

RR - MP 3

# 大気汚染防止基準の作成 に関する調査研究

(平成16年度報告書)

平成17年3月

社団法人 日本造船研究協会

## はしがき

本報告書は、日本財団の平成 16 年度助成事業「船舶関係諸基準に関する調査研究」の一環として、RR-MP3（大気汚染防止）プロジェクトにおいて実施した「大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。

### RR-MP3 大気汚染防止プロジェクト 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 委員	田山 経二郎（日本内燃機関連合会）
	高崎 講二（九州大学）
	柴田 清（海上技術安全研究所）
	小川 重次（日本海事協会）
	半田 収（日本船主協会）
	嘉納 和之（日本船舶標準協会）
	桐明 公男（日本造船工業会）
	平田 純一（日本船用工業会）
	米倉 信義（エムイーシーエンジニアリングサービス）
	川上 雅由（新潟原動機）
	華山 伸一（日本エヌ・ユー・エス）
	庄司 勉（日本郵船）
	（大野 直幸）
	今出 秀則（国土交通省海事局安全基準課）
	梶田 智弘（国土交通省海事局安全基準課）
関係官庁	柳瀬 啓（日本造船研究協会 IMO 担当）
	井下 聡（日本造船研究協会）
事務局	

（注）（ ）内は前任者を示す。

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 調査研究の目的・内容及び背景.....	2
3. RR-MP3 の活動状況.....	3
4. IMO での審議状況.....	4
5. 大気汚染防止基準の作成に関する調査研究	
5.1 NO <sub>x</sub> モニタリング法のシミュレーション試験(第1船チーム).....	7
5.2 NO <sub>x</sub> モニタリング法のシミュレーション試験(第2船チーム).....	45
5.3 SCR 脱硝装置 IMO ガイドライン日本案作成.....	59
5.4 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成及び燃焼基礎試験.....	100
6. まとめ.....	124

## 1 . はじめに

地球環境の保護は 21 世紀最大のテーマといわれている。陸上部門における環境保護の動きと比較して、大幅に遅れをとっていた海上部門でも、ようやく IMO において採択されていた“海洋汚染防止条約—附属書 VI”が発効要件を満たし、近々発効される。規制がいよいよ実行の段階に入った事は重要な進展であるといえる。日本は、世界的な造船・海運国として、附属書 VI の適切な運用と今後の発展を積極的に支援すべき立場にある。

本研究では、このような現状認識の上で、附属書 VI に含まれている内容の技術的補強、また、今後含まれるべき内容の基礎的研究を先行実施し、日本として IMO に提案してゆくことを大きな目的としている。

## 2. 調査研究の目的・内容及び背景

本研究では、大きく分けて以下の3項目について実施した。

- 1) NO<sub>x</sub> モニタリングの実船試験
- 2) SCR 脱硝装置のガイドライン作成
- 3) 総合評価指標の検討と燃焼基礎試験

それぞれの項目の目的・内容及び背景について述べる。

### 1) NO<sub>x</sub> モニタリングの実船試験

窒素酸化物の排出規制は強制決議「NO<sub>x</sub> テクニカル・コード」によって詳細に規定されており、MEPC49 において定期的な検査時の検証方法の一つとして船上での排出量のモニタリングガイドラインが採択された。しかしながら、検証実績が乏しいことから、検証の運用面で懸念が残っている。

本研究では、NO<sub>x</sub> モニタリング法 (MEPC.103(49)) に基づく検証方法で IAPP 証書再認証シミュレーション試験を行い、その結果及び改正すべき点を IMO へ提案する。船舶の選定に当たっては、過去に実施した大型 2 サイクル低速機関搭載船に変え、今回は中・高速 4 サイクル機関搭載船を選定し、さらに機関の運用方法も発電機特性運転機関、コンビネーターコントロール機関を選定した。

### 2) SCR 脱硝装置のガイドライン作成

今後附属書 VI の定期的見直しで、NO<sub>x</sub> 規制が一層強化されることが予想される。より厳しい規制の下では、船上排ガス洗浄装置 (脱硝、脱硫) の必要性が高まり、IMO としてこれら諸装置のガイドラインの作成が急がれる。現在、脱硫装置のガイドライン作成作業が DE で進行中である。次のステップとして、既に欧州においては多数の船舶に実用されている SCR 脱硝装置のガイドライン作成が作業項目として予定されている。本研究は、たたき台となる SCR 脱硝装置のガイドライン案を IMO 審議に先立ち日本で構築し、IMO へ提案しようとするものである。また、各国からの反応があれば対応フォローする。

### 3) 総合評価指標の検討と燃焼基礎試験

窒素酸化物、温室効果ガス、硫黄酸化物などの有害排気エミッション全てを網羅する評価基準は、今後、船主が自発的に各船の環境に対する配慮を進める上でも、その度合いを評価する指針が必要となってくる。IMO に対して、その必要性和具体的日本案を提案する。これまで日本に欠けていたコンセプト提案を目指すものである。

これまでの一連の試験において、重油を燃料とするディーゼル機関の NO<sub>x</sub> 発生は極めて不安定であることが確認された。NO<sub>x</sub> の発生を左右する要因については、まだ未知のものがあ、数値予測手法の改善と大型定容燃焼装置 (CVCC、燃焼室内径φ260mm、高さ100mm) および可視化試験装置などの基礎的燃焼試験装置を使用してその主たる要因を把握しようとするもの。

### ３． RR-MP3 の活動状況

今年度は以下の日時、議題で RR-MP3（大気汚染防止）プロジェクト ステアリング・グループ 会議を行った。

- ・第１回 平成 16 年 6 月 22 日（火）14:00～17:00（社）日本造船研究協会 会議室  
議題（1）今年度研究計画について、（2）事務手続きについて、（3）その他
- ・第２回 平成 16 年 11 月 30 日（火）14:00～17:00 海洋船舶ビル 8 階 第 1 会議室  
議題（1）今年度調査研究中間報告について、（2）来年度事業計画について、（3）その他
- ・第３回 平成 17 年 2 月 2 日（水）14:00～17:00 霞山会館 9 階 さつきの間  
議題（1）今年度調査研究最終報告について、（2）報告書について、（3）来年度事業計画について、（4）その他

## 4 . IMO での審議状況

### 4.1 DE47 での動向及び対応

#### 4.1.1 船上排気ガス洗浄システム(EGCS: Exhaust gas cleaning systems)に関する指針の米国提案 (DE47/20)

米国からの提案文書(DE47/20)の説明として「MARPOL73/78 附属書 VI の発効が目前に迫っており、第 14 規則(4) (b)の SO<sub>x</sub> 排出規制海域(SO<sub>x</sub> Emission Control Area)での排気ガス洗浄装置に関するガイドラインの策定は緊急を要する。」との発言があった。

それを受けて、パナマからガイドライン作成の必要性に賛同の意見を述べた上で、時間制約上から、DE47/20 ANNEX を starting point としたコレスポンディンググループ(CG)を設けて来年開催の DE48 にガイドライン案のレポートを提出し、DE48 で本ガイドラインを審議することを提案し、それに対して英国、日本、シンガポール、ノルウェーが指示した。

ICS は米国提案に対し、「排気ガス洗浄装置に関する既存船への適用も考慮するのか」、「残渣物の排出基準はMEPC 議題ではないか」と質問した。米国はパナマ提案のCG 活動に賛同すると前置きした上で、前者の質問に対しては、CG にて検討すべき事項と答えた。後者の質問の MEPC 議題の件は議長が CG 活動結果の後で考えれば良いとコメントした。

議長より、CG の設置は原則、同時に 3 まで、3 以上の場合には High Priority 議題しか認められず、他議題で 3 の CG 設置が既に提案されており、更に本議題は Low Priority 議題であるとの指摘があった。これに関し、シンガポールから MEPC にて本議題を High Priority 議題に変更するよう提案があった。

最終的には、近い将来 MARPOL 附属書 VI が発効する観点から MEPC に対し本議題を High Priority に変更するよう要請すること及び DE48 での審議のための本ガイドライン案を策定するための CG を設置することが同意された。

### 4.2 MEPC51 の動向及び対応

#### 4.2.1 MARPOL 条約附属書 VI

1997 年に採択された、船舶からの窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 等の排出抑制に関する MARPOL 条約附属書 VI については、これまで 13 カ国が同附属書を締結し、発効要件である 15 カ国まであと 2 カ国になったことが報告された。なお、同附属書は、発効要件を満たしてから 1 年後に発効する。

#### 4.2.2 船舶からの温室効果ガス(GHG)の排出抑制

国際航海に従事する船舶から排出される、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 等の温室効果ガスの抑制については、旗国、寄港国、荷主国等のどこの国からの排出とすべきか明らかでないこと、世界全体での温室効果ガスの排出量の把握が簡単でないこと等の理由から、気候変動枠組条約ではなく、専門的知見を有する IMO で実施方策が検討されてきている。

昨年 12 月に開催された第 23 回 IMO 総会において、海洋環境保護委員会に対し、世界全体の温室効果ガスの排出量を把握するとともに、それぞれの船舶からどの程度の温室効果ガスが排出されるかの指標 (インデックス) を作成するよう指示があった。

しかしながら、中国、インド、パングラデシュ及びサウジアラビアは、先進国だけの取り組みとすることを明確にしなければこれらの検討を行うことは受け入れられない旨強硬に主張した。

一方、日本及び欧州諸国は、国際海運の実態を勘案すれば、すべての船舶を対象に温室効果ガスの排出抑制を実施しなければ、世界全体の温室効果ガスの効果的な排出抑制は実現できず、総会からの指示に従い作業を進めるべき旨主張した。

結局、今次会合においては、本件に関する結論は得られず、次回会合で引き続き検討を行うこととなった。

### 4.3 MEPC52 の動向及び対応

#### 4.3.1 船舶からの大気汚染の防止 (議題 4 関連)

##### (1) 船舶からの温室効果ガス放出抑制

前回会合で中国、インド、サウジアラビアがブロックした温室効果ガスの抑制に関する事項については、個々の船舶から放出される温室効果ガスの量を算定する方法について技術的検討を行うことについては合意され、ドイツ、ノルウェー、イギリスによる共同提案をベースに算式を策定し、今後、実船データをとって検証していくこととした。

## (2) IACS 統一規則

MALPOL Annex VI は 2005 年 5 月 19 日に発効することになっており、この条約を実施するに当たり IACS 内での統一した解釈を本年 7 月に IACS の統一解釈(IACS UI)として採択した。IACS UI は、MALPOL Annex VI に対する UI MPC12～29、NO<sub>x</sub> テクニカルコードに対する UI MPC30～81 の合計 70 の UI からなっている。

今回 MEPC52 に IACS UIs を提出し審議を要請していたが、時間の制約上 MEPC52 では審議されず、来年 2 月開催の DE48 (第 48 回 DE 小委員会) で検討の上、次回 MEPC53 で最終化することとなった。

## (3) 検査の指針

附属書 VI の検査に関する指針の必要性を英国が提案 (MEPC52/4/10) し、FSI 小委員会に付託する提案を行った。日本もこれを支持し、加えて PSC 手順の指針も合わせて作成する必要があることを指摘した。これに対し FSI 議長から、支持された。

委員会は、本件を FSI 小委員会 (FSI13 : 2005 年 3 月) に付託することに同意した。

## (4) 燃料中の硫黄分のモニタリング

蘭より、2003 年に実施したモニタリングの結果が報告された。(MEPC52/4/8)

モニタリングの結果、90%以上が 1.5～4.0%に入り、その内、半数以上は 2～3%の間である。また、4.0%を超えたのは、1%で、平均は 2.67%であったと報告された。

韓国より、このモニタリングを続け、次回会合の議題に入れ検討を続けることの提案があった。議長は、それを受け入れ、理事会の予算委員会にかけることとした。

## (5) SO<sub>x</sub> 排出抑制海域 (SECA)

MSC44 で承認された北海を SECA に指定する改正案は、本附属書が発効した後、次回会合で採択予定。

## (6) 附属書 VI 14 規則改正関連

イランより、14(4)規則の適用拡大及び規制強化は世界貿易に多大なるインパクトを与えるため、SECA の導入無しで現行より厳しい規制手段を要しない現実的なレベルで求められる硫黄分低減のタイムテーブルの構築をすべきという提案 (MEPC52/4/12) があり、産油国及び途上国 (サウジアラビア、インド、ブラジル、レバノン、シリア、中国等) が賛同した。これに対し、蘭、ノルウェー、アイルランド、デンマーク、米国、シンガポール、パナマ、フィンランド、韓国、ギリシャ、マーシャル諸島、独、イタリア等が、反対をした。米国は、現行の燃料中の硫黄分を決定した背景を述べ、併せて今後の規制のあり方を述べた。また次回会合は、本附属書が発効した後であり、改正案が提出されるであろうと加えた。議長は、この関連の改正案について、各国、団体に次回会合に提出するよう要請し次回以降検討していくこととした。

本件に関連して、FOEI から SECA に拡大強化についての提案 (MEPC52/4/4) が対案されたが、前述の議論と同様、次回会合に提案するように要請した。ここでも、サウジアラビアは、SECA の拡大は世界貿易に多大なインパクトを与え、アジア、アフリカ、欧州、アメリカへの交通に問題をきたすと発言した。議長はこれをノートした。

## 4.4 DE48 への対応

本プロジェクトで作成した SCR に関する指針案 (DE48/INF.3) を情報として提出した。近い将来 SCR の指針の構築が IMO で行われることが予想されるところ、検討の際には、たたき台として活用してもらう意向で提出した。

### 4.4.1 DE48 での動向及び対応

SCR に関する指針案 (DE48/INF.3) の説明を行い、併せて DE 小委員会の作業計画の「船舶からの大気汚染防止に関する MARPOL ANNEX VI の基の指針」で現在検討している「船上排ガス浄化



装置の指針」が終了後、次回会合（DE49）から「船上 NO<sub>x</sub> 排出量低減のための同等手段の指針」を開始することを要請し、次回会合の議題に含めることが合意された。完了予定は 2007 年。

## 5. 大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

### 5.1 NOx モニタリング法のシミュレーション試験（第1船チーム）

#### はじめに

本書は、日本造船研究協会“RR MP3”平成16年度研究計画 Steering Group の決定に従い、NOx モニタリング法のシミュレーション試験プロジェクトチーム(第1船チーム) として調査研究を行い、実施報告書として取り纏めたものである。

#### 研究体制

氏 名	所 属	役 職
米倉 信義*	エムイーシーエンジニアリングサービス株式会社	社長室 技術主席
吉川 梨紗	同上 プラントエンジニアリング事業部	事務担当
小川 重次	財団法人 日本海事協会	機関部長
佐藤 一也	同上	機関部
木原 信隆	株式会社 堀場製作所 エンジン計測開発部	副部長
日下 竹史	同上 同部 P/Msampling チーム	チームリーダー
松永 伸宏	ヤンマー株式会社 特機エンジン事業部	グループリーダー
(田山経二郎)	日本内燃機関連合会	理事
(高崎 講二)	九州大学	教授
(岩政 佳和)	株式会社 イコース	船舶管理部長

\* チームリーダー

#### 研究日程

←.....→ は予定線   ←→ は実施線、 または は全体会議、 は書面審議  
 または▼は契約関係の開始と終了を示す。

項 目	担 当	期 間								
		平成 16 年						平成 17 年		
		7	8	9	10	11	12	1	2	3
事務・契約関係	MEC			←.....→ ←.....→						
			事前全体打合 会議（第1回）		実施計画書審議 計測要領書審議			第2回全体会議 報告書作成要領審議		
本船側改造関係 機関の背圧計算・確認 機関の改造内容決定 機関の改造依頼	ヤンマー MEC MEC			←.....→ ←.....→ ←.....→ ←.....→						
計測装置製作関係 計測装置本体設計 装置製造 機関記録改良作業	堀場 堀場 ヤンマー			←.....→ ←.....→ ←.....→ ←.....→	←.....→					



ある。

テストサイクルは、本船がディーゼル電気推進であることから、MP/CONF.3/34 Appendix II に従って、E2 タイプを採用した。試験は 100%Speed ( 1,200min-1 ) にて、50 & 75%Power を選択した。表 5.1.1.1.1 に計測項目を示す。

Power の変動量に関しては、MEPC49/22/Add.1 に従って、変動量±5 %を目標とした。またデータの計測は、1-Hertz とする。

表 5.1.1.1.1 計測項目

試験設定項目		単位	特記事項	備考
時間		h、m、s		* 印の検出端は、試験用として仮に設置したものである。
機関出力 (発電機出力)		kW	発電機出力を機関出力に換算する	
機関回転速度		min-1		
掃気圧 *		MPa		
空気冷却器入口温度				
空気冷却器出口温度				
燃料流量		L/min	工場運転のデータで換算する	
吸気温度 *				
機関室	気圧	hPa		
	温度			
	絶対湿度	%	相対値より換算する	
	*			
大気	気圧 *	hPa		
	気温			
排ガス	NO 濃度	ppm	g/kWh に換算	
	O2 濃度	ppm	NO 濃度補正用として使用	

#### 5.1.1.2 対象船『千 祥』の紹介

船 名 千 祥 (せん しょう)  
 船 類 内航ケミカルタンカー船  
 推進方式 ディーゼル電気推進  
 寸 法 全長 57m、 幅 10m、 深さ 4.5m 喫水 3.71m  
 総トン数 498 t  
 最大速力 12 . 4 Kt  
 船 主 吉祥海運(株) 山口県防府市  
 運行管理 (株)イコーズ 山口県徳山市

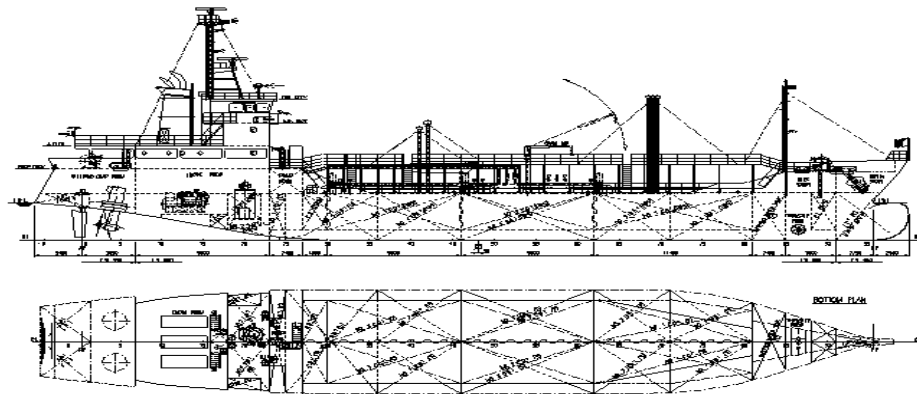


図 5.1.1.2.1 『千 祥』 一般配置図

本船の全景写真は付属資料 1.に示す。

#### 5.1.1.3 対象機関の概要

##### 機関要目

形 式 : 4 サイクル直列 L 型 中速ディーゼル機関  
 型 式 : 6N165L-EN ( ヤンマーディ - ゼル ( 株 ) 製 )  
 連続最大出力 : 530 kW ( 連続 )  
 シリンダ  
 数 : 6  
 口径 : 165 mm  
 ストローク : 232 mm  
 ピストン速さ : 9.28 m/s  
 平均有効圧力 : 1.78 MPa

##### 発電機要目

形 式 : 横型ブラシレス自励式交流発電機  
 型 式 : NTAKL-VE ( 西芝電機 ( 株 ) 製 )  
 出 力 : 490 kW ( 連続 )  
 電 圧 : 445 V 3 相  
 周波数 : 60 Hz ( 1,200min-1 )

試験の対象となった 3 号主発電機関の写真を図 5.1.1.3.1 に示す。  
 過給機の付近の状態を図 5.1.1.3.2 に示す。



図 5.1.1.3.1 試験対象の 3 号主発電機関



図 5.1.1.3.2 過給機の付近の状態

## 5.1.2 NO<sub>x</sub> 計測装置

船舶からの大気汚染防止に関する MARPOL 条約付属書 VI は本年 5 月 19 日に発効される。

NO<sub>x</sub> の排出規制は、NO<sub>x</sub> テクニカルコードによって規定されており、MEPC49 において定期検査時の検査方法として船上での排出量のモニタリング指針が採択された。また、オンボード NO<sub>x</sub> 認証手順とモニタリング方法についての詳細が MEPC49/22/Add.1 1 項に追加された。今回のプロジェクトでは MEPC49/22/Add.1 1 項に追加された仕様に基づき設計した分析装置を導入し、計測を実施した。

### 5.1.2.1 NO<sub>x</sub> 計測装置

#### 1) 記録装置の仕様

MEPC49/22/Add.1 1 項では NO<sub>x</sub> 分析計としては Chemiluminescent Detector (CLD) を使用することになっている。分析計の精度、耐久性を考慮すると CLD が推奨されるが、ユーティリティガス、サンプリング装置が必要なため装置自身も大きくなり、船内の限られたスペースでは設置が困難になる可能性がある。また、メンテナンスも高度な技術が必要となり、価格も高価であるため、船内における定期検査で使用するには困難である。

そこで今回の計測には精度、耐久性に優れ、サンプリング装置も不要、さらに価格についても低価格なジルコニア NO<sub>x</sub> センサを用いた NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub> 分析装置を導入した。

表 5.1.2.1.1 にその装置の仕様を示す。

表 5.1.2.1.1 NO<sub>x</sub> 記録装置仕様

測定対象ガス	船舶用ディーゼルエンジンからの排ガス (ストイキ～リーンの範囲内)
測定範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 0～2000 ppm (<math>\lambda</math> が 1 以上の雰囲気にて)</li> <li>酸素 (O<sub>2</sub>) 0～25 vol%</li> </ul>
表示範囲・表示形式	<ul style="list-style-type: none"> <li>窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 0～5000 ppm、1 ppm 刻み (#### ppm)</li> <li>酸素 (O<sub>2</sub>) 0.00～50.00 vol%、0.01vol%刻み (##.## vol %)</li> </ul>
装置構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置本体 (受信機)</li> <li>センサ取付けアダプタ (ロング、ショートタイプいずれか選択)</li> <li>センサ <ul style="list-style-type: none"> <li>原理: ジルコニア (ZrO<sub>2</sub>) センサ</li> <li>センサ温度: 約 800</li> </ul> </li> <li>ケーブル (顧客準備) <ul style="list-style-type: none"> <li>センサケーブル (CVVS 2sq-6c 相当)</li> <li>レコーダケーブル (MVVS0.5sq-2c 相当)</li> <li>電源ケーブル (CVVS 2sq 相当)</li> </ul> </li> <li>配管 (顧客準備) <ul style="list-style-type: none"> <li>装置本体-センサ取付けアダプタ間 <math>\Phi 6/\Phi 4</math> テフロン管 (校正用、冷却用各 1 本)</li> <li>装置本体 (計装エア) <math>\Phi 6/\Phi 4</math> ナイロン管</li> </ul> </li> </ul>
ユーティリティ	計装エア (0.2～0.9MPa) パージ、及び冷却用 顧客準備 SPAN ガス (校正用): NO 約 1500ppm/N <sub>2</sub> (0.1MPa) SPAN ガス(校正用): O <sub>2</sub> 約 13%vol/N <sub>2</sub> (0.1MPa)
外部出力	<ul style="list-style-type: none"> <li>内部データログ-用出力 <ul style="list-style-type: none"> <li>DC 0～5 V、2 チャンネル アナログ出力 (NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> 非絶縁)</li> <li>DC 0/24V パージ確認用状態出力</li> </ul> </li> <li>アナログ出力(オプション) <ul style="list-style-type: none"> <li>顧客要求仕様による (電圧、電流、絶縁、非絶縁)</li> </ul> </li> </ul>
質量	本体: 約 50 kg (ボンベ除く) 可搬時上下分離可能 上部: 約 30kg、下部: 約 20kg センサ取付けアダプタ: 約 5k g
電源	100 V $\pm$ 10% 約 0.5kVA

## 2) 測定原理

次に測定原理について説明する。計測部分は図 5.1.2.1.1 (上) に示された長さ 20mm、厚み数 mm 程度のエレメントである。図 5.1.2.1.1 (下) にそのエレメントを拡大した模式図を示す。

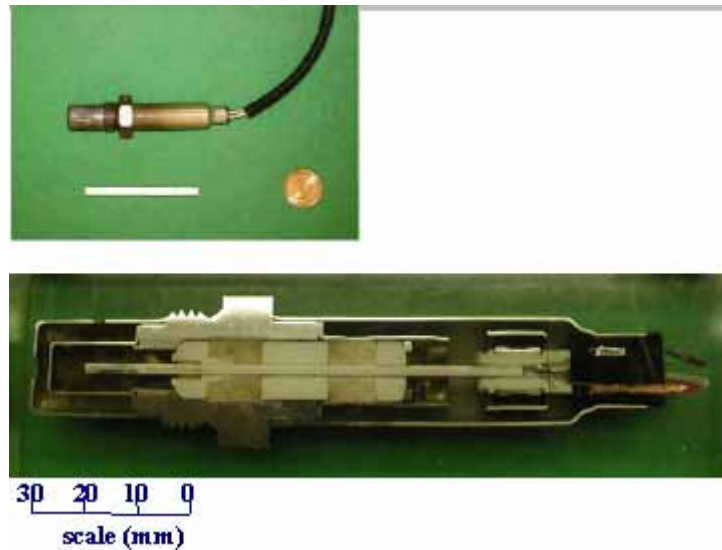


図 5.1.2.1.1 ジルコニア NO<sub>x</sub> センサ

ジルコニア固体電解質であるエレメントの両面に電極を形成すると、その前後に酸素濃度差があると電極間に起電力が発生する。逆に電極間に外部より電圧（電流）を加えると酸素イオンがエレメント中を移送され、エレメント前後で酸素濃度差が作られる。この電流の量が酸素濃度に比例することを利用して、酸素濃度が測定できる。図 5.1.2.1.2 に示された第一内部空間において酸素濃度が測定され、第二内部空間では、還元作用の大きい電極材料により無酸素状態で NO が N<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> に分解される。分解された O<sub>2</sub> を同様の方法で測定する。この電流の量は、測定された酸素濃度と等価の NO<sub>x</sub> の量と比例することから、NO<sub>x</sub> 濃度が計測可能となる。

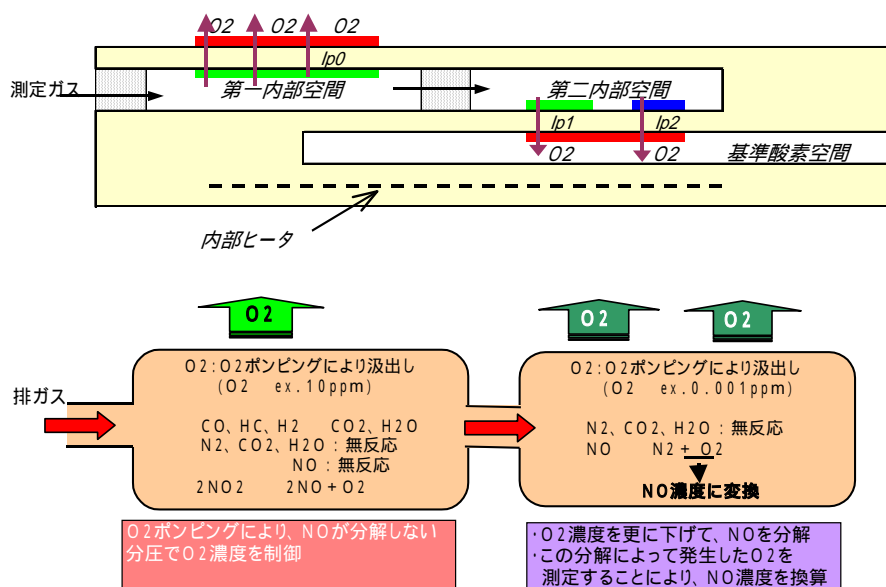


図 5.1.2.1.2 センサエレメント原理図



### 5.1.2.2 分析装置外寸図

装置は、狭い場所へ設置できるよう、できるだけコンパクトに設計した。また、搬入時の利便性を考え、架台の上下を分離できる構造とした。

図 5.1.2.2.1 に分析装置外寸図を示す。

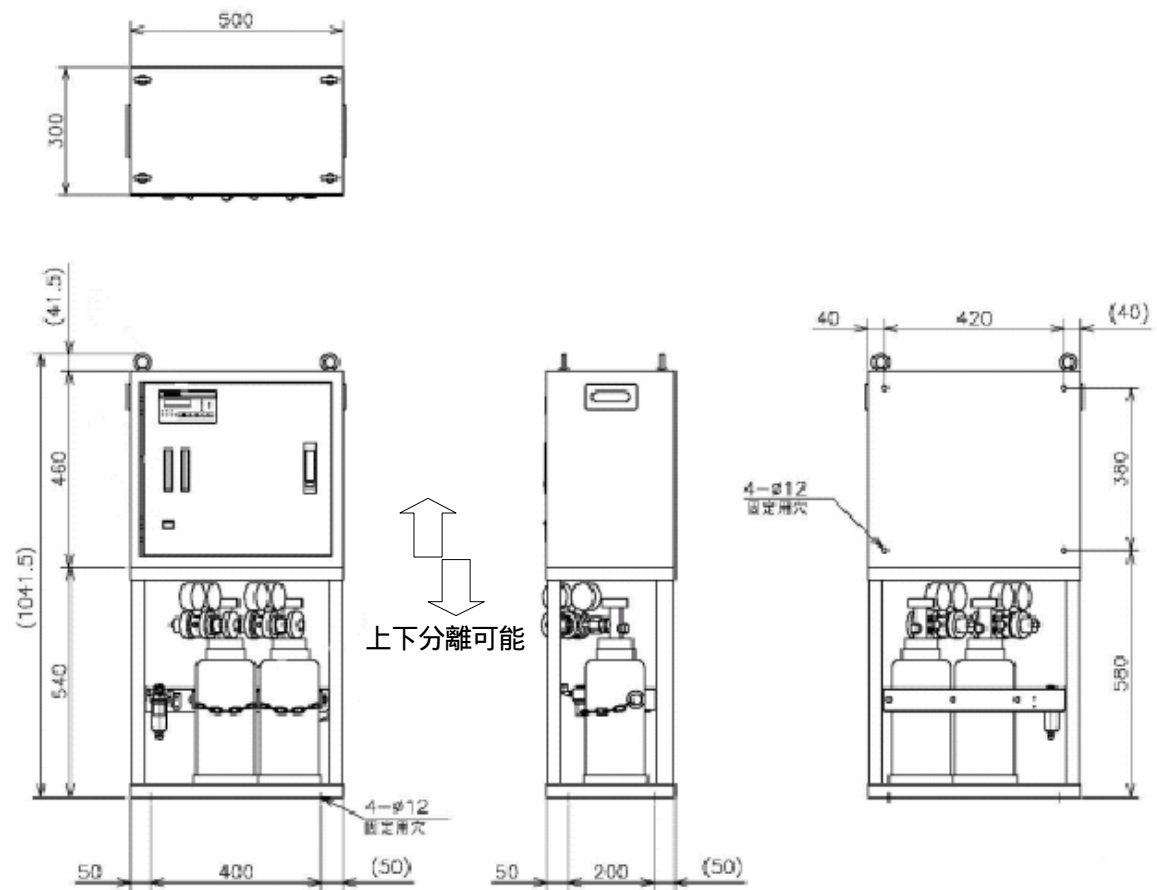


図 5.1.2.2.1 分析装置外寸図

### 5.1.2.3 取付けアダプタ外寸図

センサ部取付けのため、図 5.1.2.3.1 (A,B) のようなアダプタを設計した。このアダプタは、煙道壁に取り付けたガイドパイプに固定する構造で、NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub> センサ本体はアダプタの先端に取り付けられている。MEPC49/22/Add.1 ANNEX5 APPENDIX1 で規定されている煙道径の 10% から 90% の位置にセンサ部を挿入できるよう、アダプタは 2 種類 (220 mm・360 mm) 準備した。今回の第 1 船「千祥」では、このうち、短い方にあたる 220 mm のものを設置した。なお、各アダプタで対応できる煙道径は、表 5.1.2.3.1 のとおりである。

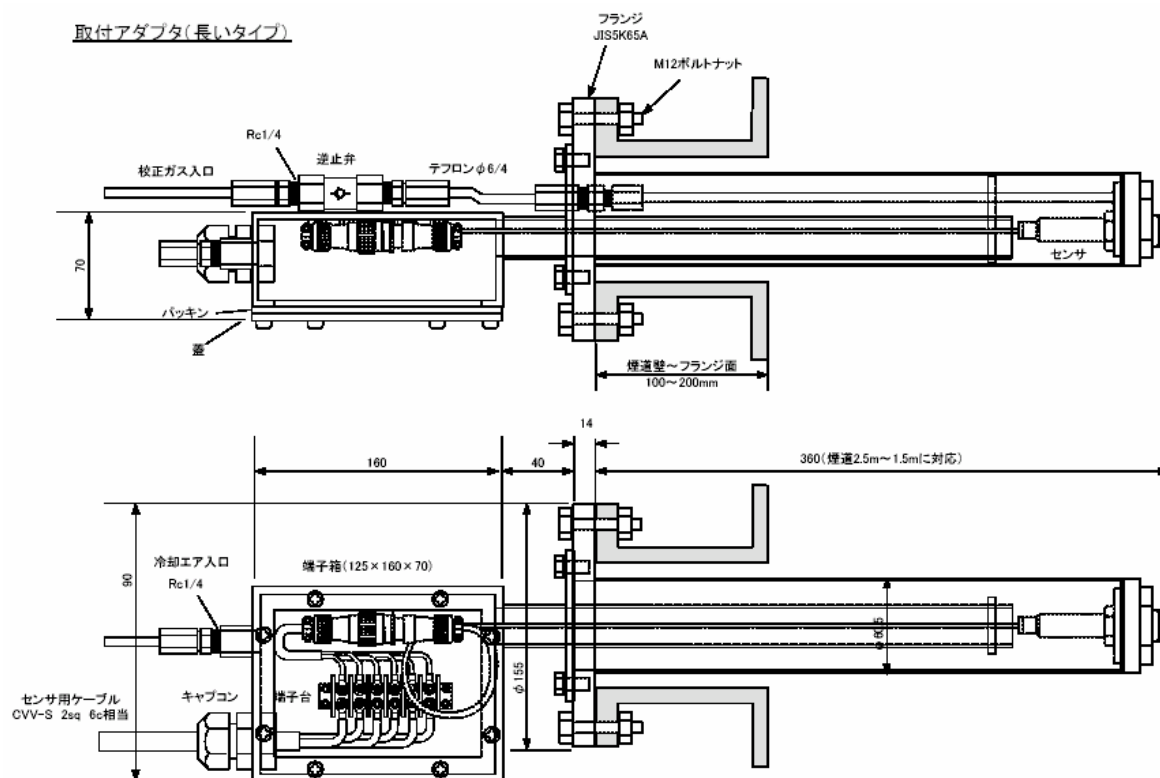


図 5.1.2.3.1 (A) センサ取付けアダプタ

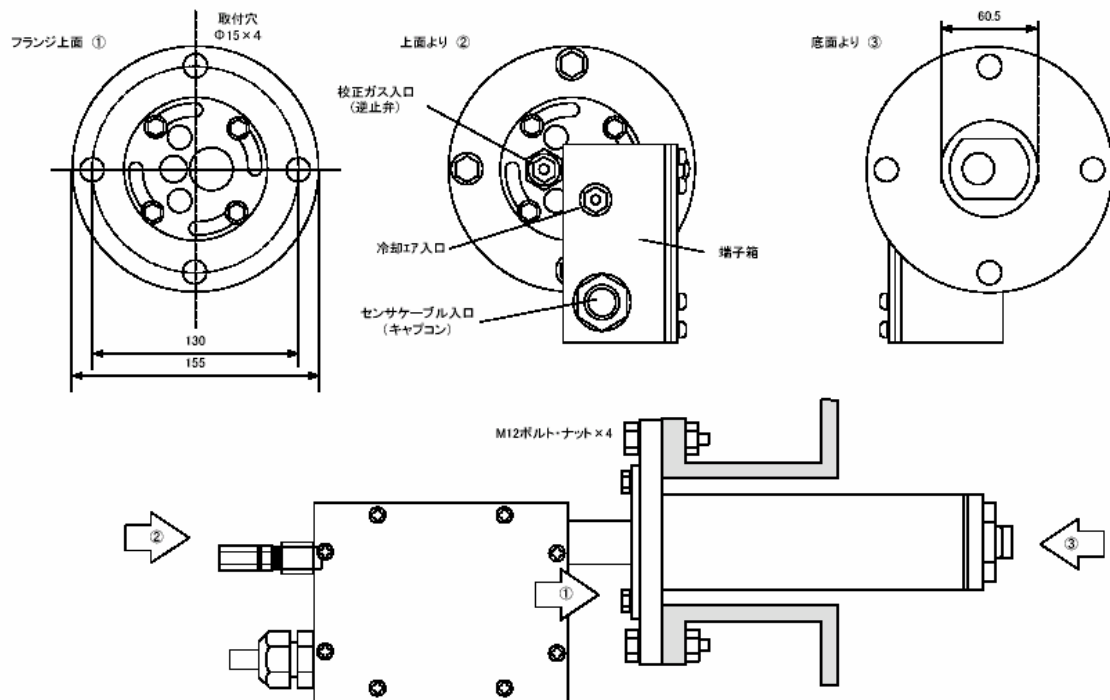


図 5.1.2.3.1 (B) 取付けアダプタ外寸図

表 5.1.2.3.1 アダプタの種類

取り付けアダプタ長	ガイドパイプ長	対応する煙道径
220 mm	100 mm ~ 200 mm	0.2 m ~ 2.4 m
360 mm	100 mm ~ 200 mm	1.5 m ~ 2.5 m

#### 5.1.2.4 記録計

記録計は分析装置架台天板に設置した。仕様は以下のとおりである。

型式： NR-1000 (KEYENCE 製)  
 入力： NO<sub>x</sub> : 0-5 V / 0-2000 ppm  
       O<sub>2</sub> : 0-5 V / 0-25 vol %  
 サンプルング周期 : 1 Hz

#### 5.1.2.5 フロー図

ページ用及びセンサ冷却用にエアが必要であるため、船内のコンプレッサより圧縮空気 (約 700 kPa) を供給した。冷却用エアについては 10 L/min の流量で常時流すようにした。

図 5.1.2.5.1 にフローを示す。

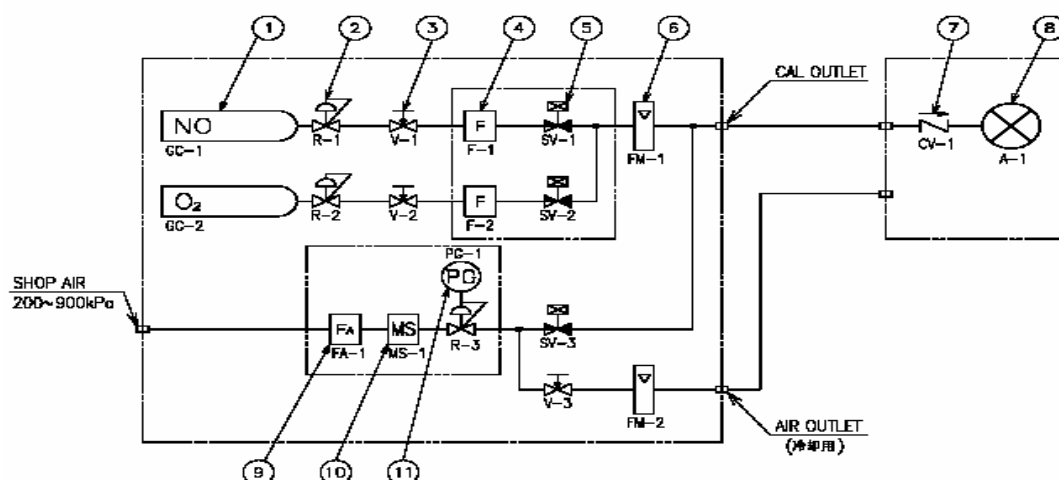


図 5.1.2.5.1 フロー図

#### 5.1.2.6 記録装置の設置

##### 1) 機関関係記録装置

本船は、機関の陸上監視を行っており、その為に常時機関部のデータを監視している。

この記録装置は、試験用にも使用できるようにソフトを内蔵しており、MEPC で規制されている 1-Hertz 計測が可能であるので、これを使用して、機関部のデータを記録することにした。

##### 2) NOx 関係記録装置



図 5.1.2.6.1 計測装置装備位置 (1)

推進器制御盤 (左手) 後方の消火器の位置に設置した。  
(消火器は、仮に別の場所に再配置した。)



図 5.1.2.6.2 計測装置装備位置 (2)

推進器制御盤の下方に校正用ガスボンベ (NO ガス、O2 ガス各 1 本) を設置した。



図 5.1.2.6.3 NOx 検出端

取付け直前の検出端図である。  
検出端には、信号線、冷却用の空気、および校正ガスの供給配管が見える。



図 5.1.2.6.4 NOx 検出端装備

NOx 検出端を 3 号機排気管に装備した状態を示す。



図 5.1.2.6.5 冷却用空気（圧縮空気 700Kpa）

検出端の電子部品部の冷却用として、船内のサービスラインより圧縮空気 700Kpa を供給した。

### 3）録装置の同期化

機関関係記録装置と NOx 関係記録装置の記録の同期性が必要であり、何れかのクロック信号を取り出して、相手と同期することを検討したが、計測ソフトの変更が生じるので、今回は行わなかった。

従って、機関関係記録装置と NOx 関係記録装置を同期させるために、試験時の時間を合致させることにした。

### 5.1.2.7 記録装置の設置

記録装置は、図 5.1.2.7.1 に示す様に設置した。



図 5.1.2.7.1 記録装置の設置

### 5.1.3 機関記録装置

#### 5.1.3.1 記録装置

本船では、今回の試験以前より陸上からの機関監視を行う為に、機関各部の温度、圧力等がモニタリングされている。今回の計測では、この監視システムの機能を利用し、機関データの1秒サンプリングを行い、別途計測しているNO<sub>x</sub>データとの整合性を図った。

但し、機関室内湿度や大気圧に関しては、通常モニタリング項目では無い為、追加計測項目とした。

図 5.1.3.1.1 に本船内の監視装置モニター部分を示す。



図 5.1.3.1.1 機関記録装置

#### 5.1.3.2 計測項目

記録装置でのデータは、対象となる3号機のみでなく、1号機、2号機の各温度、圧力等が計測されるが、その中から機関状態の異常有無確認および今回のシミュレーションに必要な項目をピックアップした。

表 5.1.3.2.1 にその計測項目を示す。

表 5.1.3.2.1 機関計測項目一覧表

計 測 項 目	単 位	計 測 項 目	単 位
N o 3 号機 発電機出力	KW	N o 3 号機 過給機入口吸気温度	
N o 3 号機 機関回転速度	min-1	N o 3 号機 I C 出口給気温度	
N o 3 号機 排気温度 ( 1 CYL )		N o 3 号機 潤滑油機関入口温度	
N o 3 号機 排気温度 ( 2 CYL )		N o 3 号機 潤滑油クーラ入口温度	
N o 3 号機 排気温度 ( 3 CYL )		N o 3 号機 冷却水機関出口温度	
N o 3 号機 排気温度 ( 4 CYL )		N o 3 号機 冷却水機関出口温度	
N o 3 号機 排気温度 ( 5 CYL )		N o 3 号機 給気圧力	KPa
N o 3 号機 排気温度 ( 6 CYL )		海水温度	
N o 3 号機 排気温度 ( TC 入口 1 )		機関室内温度	
N o 3 号機 排気温度 ( TC 入口 4 )		機関室内湿度	%
N o 3 号機 排気温度 ( TC 出口 )		機関室内気圧	hPa

尚、本船には燃料流量計も装備されていて、その出力も確認は可能であるが、流量計そのものの分解能が 0.1L/min と粗く、長期間での計測ならば問題無いが、今回の 10 分間の試験では使用不可能である。よって、燃費に関しては、本機関の陸上出荷試験時のデータを参考とすることとした。

#### 5.1.4 本船側の改造

##### 1) 背圧確認

本船の排気管は、公称 250A のガス管を使用しており、大きな NO<sub>x</sub> 計測用検出端を装備した場合は、排気管内の背圧の上昇が予想されたので、事前に原動機メーカーで検討した。

以下に示す様に、背圧の検討結果、運転性能には影響が無いことが確認された。

##### 使用検出端

外形： 48φ mm (60.5)

挿入長： 40 mm

##### 使用排気管

公称： 250A SGP

内径： φ254.2 mm

##### 背圧に関して

現状千祥での排気背圧の計測は実施していないが、仕様書に準拠した形での施工が実施されていることを考慮すると、350mmH<sub>2</sub>O 以下と考えられる。

陸上試験として φ60mm の丸棒での挿入長さ変更の試験結果では、背圧 350mmH<sub>2</sub>O を基準として、70mm 挿入時で排気背圧上昇は、40mmH<sub>2</sub>O であり、排気温度上昇は、わずか 10 程度の上昇となった。

今回の千祥における実船試験では、計測器の挿入長さは更に短い 40mm である為、排気温度で 5 程度、背圧で 20mmH<sub>2</sub>O 程度の上昇が予想されることになる。しかしながら、本船において NO<sub>x</sub> 計測器設置前後での明らかな排気温度差の確認は確認出来なかった。これは、実際の排気背圧が 350mmH<sub>2</sub>O より低く施工されており、有意な差が出なかったものと推定される。

いずれにせよ、今回の千祥でのシミュレーションにおいては、計測器取付けによる性能影響は無いと判断出来る。

##### 2) 排気管の改造前

3 号機排気管の改造前の写真を図 5.1.4.1 に示す。

機関の排気管のサイズによって検出端の長さを、その都度変更を行うことは、今後のモニタリング法に影響もあることを予想して、検出端の長さを一定にして、短管で処理することで計画した。

間座

使用フランジ：JIS 5 K 65AFF （ボルト穴等は、MEPC49/22/Add.1 に従った。）

短 管 ： JIS 5 K 65A スケジュール 10S



図 5.1.4.1 排気管改造前

### 3) 排気管の改造後

3号機排気管の改造後の写真を図 5.1.4.2 に示す。

その短管は、図 5.1.4.2 に矢印で示す。



図 5.1.4.2 排気管改造後

## 5.1.5 試験経過及び計測結果

### 5.1.5.1 機関・発電機の工場運転成績

#### 1) 発電機関工場運転成績

本船用機関の工場試験データを表 5.1.5.1.1 に示す。

表 5.1.5.1.1 工場試験データ

負 荷 ( % )	出 力 ( kW )	燃費 ( g / kWh )	排気温度 ( 各筒出口平均 ) ( )	給気温度 ( )	給気圧力 ( kPa )
5 0 %	2 4 5 . 0	2 2 7 . 9	3 0 3	3 8	6 0
7 5 %	3 6 7 . 5	2 1 4 . 6	3 4 5	4 5	1 0 8

尚、本機関での工場運転においては鑑定対象外の機関であった為、排ガス計測は実施されておらず、NO<sub>x</sub> 値に関しては同型機関のデータを参照とする。



## 2) 発電機運転成績

発電機関の出力の算定には、発電機の負荷から算出するので詳細計算を行い決定したので、以下に示す。まず、発電機関の工場試験における効率等を表 5.1.5.1.2 に示す。

表 5.1.5.1.2 発電機工場試験成績表[\*1]

発電機負荷率 (%)	試験時力率	発電機軸端効率 (%)
50	0.8	93.9
	1.0	94.8
75	0.8	94.5
	1.0	95.6

次に、海上公試運転時の発電機の運転状態より本船の発電機運転力率および効率を算定した。その、算定結果を表 5.1.5.1.3 に示す。計算式を 5.1.5.1.1 および 5.1.5.1.2 に示す。

$$\text{力率 (\%)} = \text{有効電力} / \text{皮相電力} \times 100 \quad (5.1.5.1.1)$$

$$\text{皮相電力(kVA)} = \sqrt{3} \times \text{電圧} \times \text{電流} \quad (5.1.5.1.2)$$

表 5.1.5.1.3 発電機効率算定表 [\*2]

推進電動機負荷率 (%)	発電機負荷				計算値 力率 (%)	発電機効率 (%) 表 3.3 より
	電圧 (V)	電流 (A)	有効電力 (kW) (負荷率(%))	皮相電力 (kVA)		
50	445	403	250 (51)	311	0.8	93.9
75	445	550	370 (75.5)	424	0.87	94.9

以上のことから、発電機電力を機関の負荷に換算する場合、正式には以下の値を使用する。

原動機メーカーでの工場運転時は、発電機が水負荷であることから発電機効率は、表 5.1.5.1.2 より、50%負荷時 94.8%、75%負荷時 95.6%とする。

一方、海上運転後の推進電動機駆動時の発電機効率は、表 5.1.5.1.3 より 50%負荷時 93.9%、75%負荷時 94.9%とする。

MEPC49/22/Add.1 に規定の NO<sub>x</sub> モニタリングの場合、機関出力の変動量は±5%以内との規定なので上記の差は許容範囲に含まれる為、実質的にはいずれかに統一して使用することで問題ないと判断している。

本報告書では、発電機効率を 負荷 50%、75%時の効率を 93.9%と 94.9%と定めて使用した。

### 5.1.5.2 海上試運転成績

海上試運転時に NO<sub>x</sub> の計測は実施せず。 燃料流量計の不調も加わって、試験中の燃料消費量は、発電機の出力より算出したとの報告を受けた。表 5.1.5.2.1 にその内容を示す。

表 5.1.5.2.1 海上試運転時のデータ[\*3]

推進器 負荷 (%)	発電機			発電機関		燃料消費		燃料 ラック値
	出力 (kW)	効率 (%)	入力 (kW)	出力 (kW)	負荷率 (%)	消費率 (g/kWh)	消費量 (L/h)	
50	214	93.9	228	228	43.0	246	63.4	14
	213		227	227	42.8		61.4	14
75	325	94.9	342	342	64.5	220	85.7	16
	310		327	327	61.7		79.7	16
90	385	94.9	406	406	76.6	216	98.6	17
	385		406	406	76.6		98.6	17
100	416	94.0	443	443	83.6	214.8	106.0	18.5
	416		443	443	83.6		106.2	18.5
110	458	94.0	487	487	91.9	212	116.5	19.25
	460		489	489	92.3		113.7	19.25

使用燃料油： A 重油 比重 0.8430

#### 5.1.6 モニタリング試験

本来 EIAPP 証書の再認証の為に、一度の試験で十分であるが、今回調査の目的の中に運行パターンによる変化も必要であることから、5 度に渡り実施した。

##### 5.1.6.1 第 1 回目試験

##### 1) 試験条件

海域 : 伊勢湾  
(N34° 54.40', E136° 41.66')

##### 気象

天気 : 晴れ  
気温 : 17  
気圧 : 1,023 hPa  
風向 : 真 336 Deg  
風速 : 真 6 m/s

##### 海象

波高 : 0.5 m

##### 針路・コース維持

針路 : GCO 165Deg  
保針性 : +0.9 ~ -0.9Deg/min で針路保持  
速力 : 対地 11.8kt  
積荷状態 : 空船 (喫水 F1.7m A3.2m)

##### 2) NOx モニタリング試験

##### 50%負荷試験

日時 : 12月8日 12時00分~12時10分

##### 75%負荷試験

日時 : 12月8日 12時18分~12時28分

### 5.1.6.2 第2回目試験

#### 1) 試験条件

海域 : 大阪湾  
(N34° 23.75' E136° 56.86')

#### 気象

天気 : 晴れ  
気温 : 16.6  
気圧 : 1,022 hPa  
風向 : 真 345 Deg  
風速 : 真 2.1 m/s

#### 海象

波高 : 0.5m

#### 針路・コース維持

針路 : GCO 184Deg  
保針性 : +0.5 ~ -0.5Deg/min で針路保持  
積荷状態 : 荷船 (喫水 F 3.0m A 3.9m)

#### 2) NOx モニタリング試験

##### 50%負荷試験

日時 : 12月9日 15時15分 ~ 15時25分

##### 75%負荷試験

日時 : 12月9日 15時35分 ~ 15時45分

### 5.1.6.3 第3回目試験

#### 1) 試験条件

海域 : 伊勢湾  
(N34° 40.97' E136° 45.38')

#### 気象

天気 : 晴れ  
気温 : 13  
気圧 : 1,023hPa  
風向 : 真 343Deg  
風速 : 真 3.7m/s

#### 海象

波高 : 平穏

#### 針路・コース維持

針路 : GCO 341Deg  
保針性 : +0.5 ~ -0.5Deg/min で針路保持  
積荷状態 : 空船 (喫水 F2.1m A3.3m)

#### 2) NOx モニタリング試験

##### 50%負荷試験

日時 : 12月10日 12時04分 ~ 12時14分

##### 75%負荷試験

日時 : 12月10日 12時20分 ~ 12時30分

#### 5.1.6.4 第4回目試験

##### 1) 試験条件

海域 : 東京湾  
気象  
天気 : 晴れ  
風向 : 真 74Deg  
風速 : 真 4m/s  
海象  
波高 : 0.5m  
積荷状態 : 空船 (喫水 F 1.7m A 3.2m)

##### 2) NO<sub>x</sub> モニタリング試験

###### 50%負荷試験

日時 : 1月6日 14時22分 ~ 14時32分

###### 75%負荷試験

日時 : 1月6日 14時50分 ~ 15時00分

#### 5.1.6.5 第5回目試験

##### 1) 試験条件

海域 : 大阪湾  
気象  
天気 : 晴れ  
風向 : 真 NE  
風速 : 真 4m/s  
海象  
波高 : 0.3m  
針路 : GCO 030Deg  
積荷状態 : 荷船 (喫水 F 2.58m A 3.68m)

##### 2) NO<sub>x</sub> モニタリング試験

###### 50%負荷試験

日時 : 1月28日 7時20分 ~ 7時30分

###### 75%負荷試験

日時 : 1月28日 7時48分 ~ 7時58分

#### 5.1.7 対象機関の整備状況

製造から試験日までの主要日時・整備状況を次に示す。

##### 1) 機関の主要項目と運転時間

工場試験 : 平成14年 4月22日  
海上運転試験 : 平成14年 7月 1日  
完工・引渡 : 平成14年 7月11日  
1年目までの総運転時間 : 約3,000時間  
2年目までの総運転時間 : 約6,700時間  
1回目試験日までの運転時間 : 約8,000時間

## 2) 機関の整備状況

機関の燃焼に関する項目のみ示す。（平成 14 年 7 月 11 日以降を示す。）

ピストンリング交換 : 平成 15 年 11 月 23 日 (部品調査)  
平成 17 年 11 月 10 日 (部品調査)  
ピストン交換 : 平成 15 年 11 月 23 日 (部品調査)  
平成 17 年 01 月 10 日 (部品調査)  
シリンダヘッド交換 : 平成 15 年 11 月 23 日 (部品調査)  
平成 17 年 01 月 10 日 (部品調査)  
燃料弁交換 : 平成 15 年 11 月 25 日 (メンテ)

### 5.1.8 試験準備と条件

#### 1) 試験の条件

MEPC49/22/Add.1 に規定の NOx モニタリングの場合、試験に条件が規定されており、その点を確認した。

#### Table-1 対応

本船の計測記録より、Table-1 に規定されている単位に変換した項目等を表 5.1.8.1 に示す。

内航では、現在使用している単位の方がより理解し易いことと、国内でのみ使用できる範囲に限定されていることから、本船の計測単位を使用した。但し外航船は、IMO の規制に従う事が要求されるので、資料 6.に添付したデータは単位を併記した。

表 5.1.8.1 Table-1

Symbole	Parameter	Dimension	
		規則	今回の記録
nd	Engine Speed	min-1	min-1
Pbe	Charge Air Pressure at Intake Manifold	kPa	kPa
P	Brake Power	kW	kW
Paux	Auxiliary Power	KW	kW
Tsc	Charge Air temperature at Receiver	K	
Tcaclin	Charge Air Cooler Coolant Inlet Temperature	K	
Tcaclout	Charge Air Cooler Coolant Outlet Temperature	K	
Tsea		K	
GFUEL		kg/h	L/min

#### Table-2 対応

本船の計測記録より、Table-2 に規定されている単位に変換した項目等を表 5.1.8.2 に示す。

絶対湿度に関しては、本試験の場合、相対湿度と湿球を求め換算して求めた。

データは Table- 1 と同様に、今回の計測の単位を使用した。

表 5.1.8.2 Table-2

Symbole	Parameter	Dimension	
		規則	今回の記録
Ha	Absolute Humidity	g/kg	g/kg
Pb	Total Barometer Pressure	kPa	kPa
Ta	Temperature at Air Inlet	K	

Power Set Point Stability (MEPC49/22/Add.1 Annex 5、3.1.8 項)  
MEPC49/22/Add.1 Appendix 3 に従って計算した。

負荷変動は、 $\pm 5\%$ 以内の規制である。本試験では、表 5.1.8.3 にその結果を示す通り、その条件を満たしている。

表 5.1.8.3 負荷変動量

負荷	試験	Power Set Point Stability		
		Ave (kW)	S.D.	%C.O.V(%)
50%	第 1 回	242.5	2.5	1.0
	第 2 回	241.6	5.0	2.1
	第 3 回	254.7	4.1	1.6
	第 4 回	237.4	3.6	1.5
	第 5 回	254.5	3.6	1.4
75%	第 1 回	362.3	2.3	0.6
	第 2 回	372.8	2.6	0.7
	第 3 回	379.4	4.6	1.2
	第 4 回	377.0	2.9	0.8
	第 5 回	377.6	3.7	1.0

計測器の校正 (MEPC49/22/Add.1 Annex 5、3.3 項)

計測に先立ち、計測器の零とスパンを確認しておく必要があるが、第 1 回試験から第 3 回試験まで本船で実施しているが、記録されていないので、第 5 回試験で計測器の校正データも記録した。

校正データは、資料 3. 1 ) 試験計測データ第 5 回試験 ゼロ・スパン記録に示す。

DATA Evaluation (MEPC49/22/Add.1 Annex 5、4 項)

表 5.1.8.4 NO<sub>x</sub> 値計算結果

Data Evaluation		採用値			備考
項目	Data	採用値	選択項目	使用値	
4.1	Fuel Composition	Default Value	Diesel oil Carbon 量	86.2%	
4.2	Exhaust Gas Density	Default Value		1.293kg/m <sup>3</sup>	
4.3	Dry/Wet Correction	Nox Technical Code			
4.4	NO <sub>x</sub> correction For Humidity and temperature	Nox Technical Code			
4.5	Exhaust Gas flow Rate				

<参考文献>

1. 西芝電機（株）試験番号 366010A-3、工場試験成績書 規約効率試験
2. 千 祥 海上運転成績書 米倉ノート 平成 14 年 7 月
3. 「千 祥」の海上試運転時の FO 消費量について 平成 14 年 7 月 6 日  
吉祥海運（株）殿向け報告書 中谷造船（株）/ヤンマー（株）

5.1.9 NO<sub>x</sub> の判定等（IAPP 証書再認証要件）のシミュレーション

5.1.9.1 判定基準

NO<sub>x</sub> の最大許容排出量は、附属書 VI 第 13 規則により、機関回転数に応じて定められており、その最大許容排出量は次のとおりである。

$$45 \times n^{-0.2} \text{ g/kWh} \times 1.10 = 10.09 \times 1.10 \text{ g/kWh}$$

n: エンジンの定格回転数（min-1）

本(船)機の場合、最大許容排出量は 10.9g/kWh である。

5.1.9.2 証書発行までの流れ

NO<sub>x</sub> に関する証書発行と検査の流れはおよそ次の通りである。

- 1) 製造工場における予備認証検査(EIAPP の発給)
- 2) 船内における初回検査(NO<sub>x</sub> 以外の排出物の検査を含め、IAPP 証書の発給)  
パラメータチェック法、又は船上簡易計測法による確認検査
- 3) 船内における再認証検査(NO<sub>x</sub> 以外の排出物の検査を含め、IAPP 証書の再発給)  
パラメータチェック法、船上簡易計測法、又は NO<sub>x</sub> モニタリング法による確認検査

今回の実船での NO<sub>x</sub> 計測は、この「NO<sub>x</sub> モニタリング法」を実際に行って、運用上の評価と問題点の確認を目的とするものである。

5.1.9.3 判定結果

5 回の試験を行い、結果は表 5.1.9.3.1 の通り、NO<sub>x</sub> 制限値および同型機の陸上運転時の結果をクリアーした。

第 4 回試験時に A 重油燃料油サンプルを取り、燃料中の窒素分を分析確認してところ 300ppm つまり 0.03%であったので、NO<sub>x</sub> 換算時の影響は無視した。

(九大・高崎先生/出光興産・研究所にて実施)

表 5.1.9.3.1 判定結果 ( 1 )

単位: g/kWh

		第 1 回		第 2 回		第 3 回		第 4 回		第 5 回	
計測日		2004.12.8		2004.12.9		2004.12.10		2005.1.6		2005.1.28	
NOx 制限値		10.9									
計測結果	実測値	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%
		8.01	8.14	7.91	8.06	7.98	7.90	8.24	8.76	6.55	6.99
	サイクル値	8.13		8.03		7.91		8.68		6.92	
同型機の陸上 運転時の E2 サイクル値		9.95                      （鑑定時の噴射時期 14°BTDC）									
同型機の陸上 運転時の E2 サイクル値 （推定値）		8.95（推定値） （今回実測した本船の機関は、噴射時期が 12.5°BTDC であり、推定換算した）									

注) 実測結果のサイクル値はガイドラインに従い、50%: 0.23、75%: 0.77 の重み付け係数を使用した。

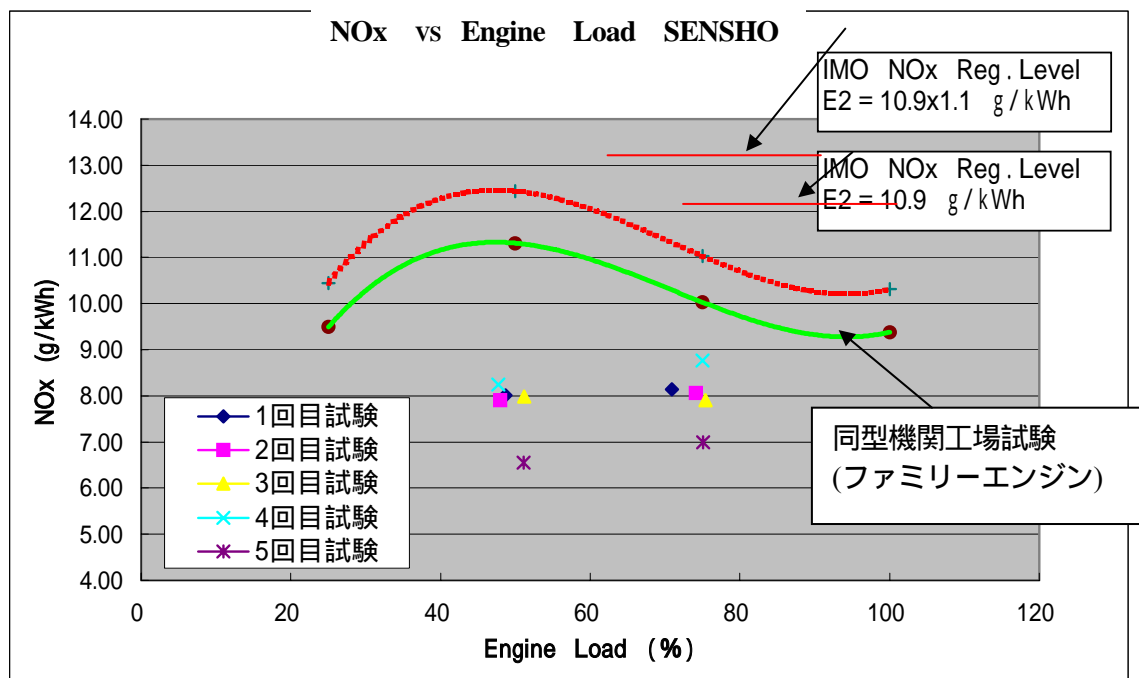


図 5.1.9.3.1 試験結果 ( 2 )



#### 5.1.9.4 所見と課題

##### 5.1.9.4.1 所見

前 5.1.9.3 項に各試験結果及び本機関と同型機の陸上運転データを示すが、全 5 回の NO<sub>x</sub> 計測値がより同型機の陸上運転データより 20%程度小さな値となった。

この点、IMO の規制値以下であり、NO<sub>x</sub> 鑑定上の課題はないが技術面の課題が予想されるので、以下の通り所見を示す。

本船の NO<sub>x</sub> 値については、本船の機関が出荷段階で排ガス計測が実施されていない為、同型陸上機関からの表 5.1.9.4.1.1 に示した様にデータを推定した。

同型陸上機関のサイクル値は、噴射時期 14°BTDC において、サイクル値で 9.95g/kWh( 50% 10.0 , 75% 11.3 ) となっている。

それに対して今回の試験機関(本船)の噴射時期は、12.5°BTDC となっており、過去のデータから推定すると 1.5°リタードすることにより、サイクル値で約 1 ポイント程度低下することが予想される。

またその際には、全体的に各負荷において NO<sub>x</sub> 排出が減少していくが、もともとの NO<sub>x</sub> が多い 50%負荷の方が減少割合は大きいと言える。ここでは、鑑定機関における 12.5°BTDC のデータをサイクル値で 8.95g/kWh と推定し、今回の調査結果と比較すると約 1g/kWh 差となる。

今回の試験機関(本船)では、噴射噴射弁が 3,000 時間以上使われている( 値は本船側からの連絡による。) ことや燃料ポンプの使用時間( 約 8,000 時間) を考慮すると、使用時間により実際の動的噴射時期は、出荷状態より更に遅れていることが予想される。また、使用燃料の違い、NO<sub>x</sub> 値のバラツキも考慮に入れれば、今回の試験結果はやむを得ない状態と考えている。

表 5.1.9.4.1.1 計測値比較表

			61	62	64	71	72	73	74	75	77	90	114	144	145			
チャンネル			0308	0309	0311	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0409	0611	0660	外			
チャンネル名称			No.3 給気 圧力	No.3 冷却 清水 出口 温度	No.3 給気 入口 温度	No.3 排ガス 出口 平均 温度	No.3 過給機 入口 温度 1~3	No.3 過給機 入口 温度 4~6	No.3 過給機 出口 温度	No.3 機関 回転数	No.3 過給機 入口 空気 温度	No.3 発電機 出力	機関室 温度	機関 室内 気圧	機関 室 湿度	燃費 (Gen)	燃料 消費 量	NOx
単位			kPa							min-1		KW		hPa	%	g/kWh	kg/h	g/kWh
50% 負荷 状態	1回目平均値	12/8 12:00~12:10	58.5	71.0	41.2	307.1	380.2	370.0	340.8	1196.3	24.0	242.5	24.0	1024.1	32.4		55.26	8.01
	2回目平均値	12/9 15:15~15:25	57.7	71.0	44.6	311.1	386.5	379.0	349.7	1194.6	27.0	241.6	26.0	1027.0	25.9		55.05	7.91
	3回目平均値	12/10 12:04~12:14	61.0	71.0	40.8	317.8	392.8	383.8	354.5	1195.8	28.0	254.7	27.9	1023.0	40.1		58.05	7.98
	4回目平均値	1/6 14:22~14:32	57.9	71.0	36.7	303.2	361.2	379.3	335.5	1196.3	18.0	237.4	18.0	1021.3	26.5		54.10	8.24
	5回目平均値	1/28 07:20~07:30	70.1	71.1	48.0	322.6	380.3	401.4	347.3	1195.7	22.0	254.5	20.0	1014.5	25.8		58.00	6.55
	回目~5回目の平均値(A)		61.1	71.0	42.3	312.4	380.2	382.7	345.5	1195.7	23.8	246.1	23.2	1022.0	30.1		56.09	7.72
	出荷データ(B)		60.0	74.0	38.0	303.0	350.0	360.0	345.0	1200	28.0	245.0	22.0			228		
	出荷データとの差(A-B)		1.1	-3.0	4.3	9.4	30.2	22.7	0.5	-4.3	-4.2	1.1	1.2					
	鑑定値(推定値)																	8.95
75% 負荷 状態	1回目平均値	12/8 12:18~12:28	109.8	72.0	61.6	358.2	442.8	428.0	374.4	1194.9	26.0	356.6	24.0	1024.0	30.9		76.53	8.14
	2回目平均値	12/9 15:35~15:45	117.4	72.0	65.0	369.0	453.2	439.3	382.7	1194.3	28.0	372.8	26.4	1026.6	26.4		80.00	8.06
	3回目平均値	12/10 12:20~12:30	117.8	72.0	57.7	370.2	451.5	439.0	380.7	1195.0	29.2	379.4	28.0	1022.8	39.1		81.42	7.90
	4回目平均値	1/6 14:50~15:00	119.4	72.0	58.1	363.9	425.8	450.2	371.7	1197.6	20.0	377.3	18.0	1021.0	26.4		81.04	8.76
	5回目平均値	1/28 07:48~07:58	130.3	72.0	71.7	380.3	439.5	463.8	377.4	1194.7	23.0	377.6	19.8	1015.0	25.7		81.11	6.99
	回目~5回目の平均値(A)		118.9	72.0	62.8	368.3	442.6	444.0	377.4	1195.3	25.2	372.8	23.2	1021.9	29.7		80.02	7.99
	出荷データ(B)		108.0	74.0	45.0	345.3	415.0	420.0	370.0	1200	26.0	367.5	24.0			215		
	出荷データとの差(A-B)		10.9	-2.0	17.8	23.0	27.6	24.0	7.4	-4.7	-0.8	5.3	-0.8					
	鑑定値(推定値)																	8.95

#### 5.1.9.4.2 課題

##### 1) 試験結果に対する再評価

表 5.1.9.3.1 判定結果(1)および表 5.1.9.4.1.1 計測値比較表に対する実際の試運転再検証を踏まえて再評価が必要である。NO<sub>x</sub>の規制の枠内において、工場試験データを所有していない機関に対して、モニタリング法は、今回の様に整合性の取れないものとなる可能性がある。勿論、計測時点において規制値内であるから、問題はないと言えるかも知れないが、整合性が取れない限り NO<sub>x</sub> 量算出の根拠まで見直さなければならない状態にまで発展しない事を望むものである。

##### 2) NO<sub>x</sub> 計測装置の許容誤差(経年変化)

酸素濃度に関しては、全計測において安定した数値となっているが、NO<sub>x</sub> 値については、計測日が近い1回目~3回目で50ppm程全体に高めの4回目と低めの5回目では、75%においては180ppm程のバラツキとなっている。(また、計測値としては、5回目のデータが計測前のセンサーの交換、計測前でのスパン確認が実施されており、一番信頼出来ると言える。)

これらより、センサーそのものの精度は±2%であっても、実機においては機関運転状態、機関燃焼状態、取付状態、計測管理状態等によりある程度のバラツキが存在し、そのバラツキは短期間で計測に比べ、期間が離れるとその差は大きくなる傾向と言える。

本調査研究が NO<sub>x</sub> モニタリングによる判定を行うことを目的としているので、100ppm 程度のバラツキは許容すべきと判断しているが、今後に詰めを必要とする課題である。

##### 3) 工場試験時の NO<sub>x</sub> 値等データの必要性

今回の試験においては、肝心のベースとなる機関そのものの陸上排ガスデータが無いことが結果を複雑にしまった。実際に機関本体、運転状態、燃料性状、計測器等バラツキの要因は数多く有り、今回の様に複雑な判定をする整合性確認作業においては、出来る限りバラツキの要因を削除しないと明解な判断が出来ない。

今回の NO<sub>x</sub> 測定装置でのシミュレーション試験には、問題なく採用できると判断しているが、長期間の使用に伴う計器の経年変化は、ゼロとスパンの確認のみで十分か否か今後検討を要する課題であると考えている。

前項1) 試験結果に対する再評価でも記述した様に推定部分の確証試験は、今回のシミュレーション試験とは切り離して考えることが必要である。

この課題は、今後他船のシミュレーション試験において是非とも注意が必要な点である。

#### 5.1.9.5 Nox 計測装置の課題

NO<sub>x</sub>の濃度と質量濃度に換算するための所要データが、計画通り採取できたことは本試験の大きな成果であったが、第4回の試験まで、試験前に校正試験を行っていたにも係わらず、記録が出来ていなかったと言うアクシデントに見回れ、第5回の試験結果にも、機関関係の技術的な整合性の確認に効果が発揮できなかった。

NO<sub>x</sub> 計測装置の高信性や取り扱い易さが求められるので、改めて原則を記述した。

- 1) 今回使用した NO<sub>x</sub> 分析計の適合性の評価は、前項の検討結果による。
- 2) 機関性能および周囲条件監視機器は、許容される誤差が NTC Appendix 4 に適合すること。
- 3) 分析装置のレスポンスチェック(ゼロとスパン)の出力を確実に記録する。(MEPC Res.103(49)-3.4.1)
- 4) NO<sub>x</sub> 分析装置の仕様が NTC Appendix 3 に適合すること。

経年変化の課題に関しては、前項 2) NO<sub>x</sub> 計測装置の許容誤差(経年変化)に示す。

#### 5.1.10 IAPP 証書再認証のシミュレーション

内航船の場合、臨時検査、中間検査または定期検査の段階で提示する事に成るので、本船側でまとめておく必要がある。

取り纏めるデータは次の3種類である。

- 1 . Technical File
- 2 . Engine Record Book
- 3 . NOx Monitoring Data

本シミュレーション試験では、3 . 項のみ実施したので、その部分のみ記述する。

##### 5.1.10.1 編集方法と要領

本船は、船舶運航管理会社によって管理運行されており、公的資格や受検に関しては、船舶側でデータを収集して、管理会社が編集することになった。

従って、その様な要領でシミュレーションしたので、以下記述する。

##### 1 ) 管理書類

試験結果は、本船の中間検査時または定期検査時に提示する必要があるので、まずそのフォームを試験用に定めた。

提出書類に記載が必要な項目は計測日時、試験海域、機関データ、NOx モニターデータ等であり、そのフォームを具体的にはシミュレーション用として添付資料

2 . 鑑定用(PSC 用)管理書類に示す。

##### 2 ) データの編集

データの編集は、本船の乗組員によって計測されたデータが、船舶の運行管理会社に送付され、そこで最終的にシミュレーション用のフォーム(資料 2.)に記入され、正式に本船の計測データとした。

##### 3 ) 内航船

今回の試験は、内航船としての試験であり外国の港に寄港にした場合は想定していない。(基本的には、内航でも外航でも技術要件に大差は無い。)

##### 5.1.10.2 データ作成の作業工程と実績

本試験では、表 5.1.10.2.1 に示す作業工程を考えた。

本試験に際しては、実質的な本船の運行管理者の指導を受け、管理者の立場にて実施した。

今回の場合、零からの試験であり、手探り状態で実施した為、工数の実績は把握できなかった。従って表 5.1.10.2.1 に記載の人工は、今回の作業より想定した数字である。

表 5.1.10.2.1 に記載の1工数は、8h とする。

表 5.1.10.2.1 作業項目と工程

作成資料			作業		
工程	部署	資料名称	作業の項目	作業（負担）内容	人工（工数）
1	管理者		試験の実施の指示	試験モードの決定 (75%、50%負荷)	0.1 人工
2	本船	機関データ	計測実施	船長（場所の決定等指揮） 機関長（計測纏め等）	0.5 人工 x2 人
3	本船	NO <sub>x</sub> データ	計測実施	データの計測から、管理者への データ送付までを含む	
4	管理者	データの確認		データの整合性の確認	0.5 人工
5	管理者	提示資料作成		提示書の作成（資料 2.） 計測データの整理・添付	1.0 人工

### 5.1.10.3 作成書類

前述のシミュレーションフォームを利用して、提出の報告書を作成した。

作成報告書は、『IMO 規則 NO<sub>x</sub> 監視データ届出書』、『Engine Record Data』および『NO<sub>x</sub> Monitoring Data』の 3 種類である。

『NO<sub>x</sub> Monitoring Data』は資料 2.～4.に示す。

### 5.1.11 技術評価及び今後の課題

#### 5.1.11.1 技術評価

今回の試験は、前項 5.1.2 に示した様に、基本的にガイドラインに忠実に実施したことおよび ジルコニア式 NO<sub>x</sub> 分析装置が船上 NO<sub>x</sub> 検証手段に充分有効であることが検証できたことは、大きな成果であったと評価している。

今回は NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> の 2 成分を計り、NTC で規定されている酸素バランス法（完全燃焼法）を使用して、NO<sub>x</sub> の質量濃度を算出した。本機の予想 CO 濃度、数百 ppm 程度では完全燃焼として扱っても、十分な精度であることが判ったことは、今後のモニタリングの際に適用可能と考えるれと判断できる事は、十分な成果であったと評価している。

今回、試験計測した NO<sub>x</sub> 値が同型機の陸上における値に較べ約 20%低いことが判明したことから、技術面の整合性の検証試験は今後の課題として残ったが、小型機関でも船上モニタリング法は有効であるとの結論を得たことは有意義であった。

#### 5.1.11.2 今後の課題

今回の調査研究を実施して以下の様な課題が判明した。

##### 1) 小型の機関への適応 (Sampling Point Connection Flange)

今回計測に使用した機関は、内航船の代表的な大きさである 499t 型の船舶であり、電気推進船の代表発電機関である。排気管の内径は、254.2mmφ に対し、IMO に規定される計測用フランジサイズは、外形 160mmφ、内径 35mmφ であり、小型機関へ適応した場合は、排気ガス管路の背圧の上昇が問題となると予想している。

## 2) ファミリーエンジンのデータ

電気推進船を含む発電機関の場合、一般に同型形式の機関を採用するケースが多いと思われる。

この場合、代表機関1台のモニタリングであれば、他の2台は運転パラメータ確認程度の試験に緩和できると考える。

## 3) 機関記録装置

本船の機関部データ記録装置は、幸いして高度の計測が出来たが、NO<sub>x</sub>の鑑定に使用する機関部データは、今回の様に短時間での記録が可能な仕様とする必要がある。

130kw以下の主機関を搭載している船舶には、機関記録装置は大半搭載されていないと考えるので、モニタリング法が実施できる下限を提案する必要があると考えている。

## 4) 次世代機関部記録装置

データの内、気圧、湿度の検出端も初期の段階で固定装備しておくべきである。

## 5) 小型機関用燃料消費量の測定

本船の燃料消費量(530kw×75%負荷にて215g/kWh)から換算すると、10分間では約16.8Lである。本船の場合、燃料流量計は装備されているが、最少計測量(分解能)が、0.1L/minであり10分間では1L(0.1L/min×10min)の誤差が生じるので、16.8Lの値は15.8~17.8Lの範囲となり、結果的に±6%の誤差と成る。

この6%の値が大きいか小さいかは、別にして本船の場合50%負荷では、誤差はもっと大きくなるだろうし、もっと小型の機関では難しいと予想する。

## 6) 電気推進船を含む発電機関のデータ採取間隔

今回のような発電機関の場合、出力、回転速度、NO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>、給気温度、給気圧力等のデータ採取は、ガイドラインに従って1秒毎に行ったが記録装置に大きな容量を必要とした。

発電機関のガバナ特性が主機関用のガバナ特性より敏感である事、電気制御部の回転数制御により安定した負荷変化が得られることから、5秒間隔程度でも実用上問題ないと思う。

## 7) 停泊用発電機関や荷役専用の発電機関等の検査

陸上規格の発電装置が、搭載されている場合があるが、海上で使用する場合は、同様な検査(EIAPP証書等)が必要であり、対応策が求められる。

## 8) 燃料消費量の計測

今回の試験では、燃料消費量計測は実施せず、本機の陸上運転データの値を使用した。

しかし経時変化が問題になる場合には、実測が必要と考える。但し他のデータと同じ間隔(例えば1秒、5秒毎)のデータ採取が技術的に難しいため、負荷安定時の数十秒程度の積算値で十分と考える。

## 9) 電気推進船の機関試験

電気推進船の機関は、航行中では無く入渠中に負荷をとることにより短時間で正確に実施できるので、今後試験上のメリットを考えていく必要がある。

#### 5.1.12 総括

本調査研究の最大の成果は、MEPC49/22/Add.1 に記述されている Direct Measurement And Monitoring Method を採用した試験を行い、分析装置ならびに監視、計測装置の仕様および精度が NTC に適合を条件に、ジルコニア式 NO<sub>x</sub> 分析装置が有効であることが実証でき、IAPP 証書の再認証のシュミレーションを成功裏に完了させた事である。

具体的には、以下の成果を得た。

- 1) IMO に規定する計測用フランジサイズを採用した。 (5.1.4 本船側の改造)  
この場合、配管の寸法に応じて検出端の挿入長さに問題が出ないように、排気管と検出端のフランジ間に間座 (Distance Piece) を挿入した。
- 2) 負荷の安定保持 (5.1.8 試験準備と条件 1)  
機関負荷の出力の確認は電気推進である為、推進軸外力の影響を受けずに、正確に計測が可能であった。試験中の負荷の変動量は、0.6～2.1%であった。  
安定したデータ下での計測が出来た。
- 3) NO<sub>x</sub> モニタリング法による計測結果 (表 5.1.9.3.1 判定結果(1))  
国内初の商用電気推進船を対象に、IMO のガイドラインに従って直接計測を行った。
- 4) 機関室内での気圧測定 (表 5.1.9.4.1 計測値比較表)  
機関室内の気圧は、常時計測していないが、機関メーカー側の努力により試験用の気圧計を接続し試験を行った。
- 5) NO<sub>x</sub> の判定等のシュミレーション (5.1.9.3 判定結果)  
IAPP 証書再認証要件となる各工程を踏み、モニタリング法が実施できることを検証した。
- 6) 試験データ作成の作業労働負荷 (表 5.1.10.2.1 作業項目と工程)  
モニタリング法の実施による船内作業の労務負荷を、経験値として算出した。

おわりに

昨年は、地球温暖化の影響らしく、温水塊の北上で台風のコースが例年より東にそれた影響で、国内全土で大きなダメージを受けた年であった。

特に 9 月に発生した台風 14 号の影響で、名古屋 (四日市) 地区は冠水し大きな被害が出た。本船の荷主関係の工場や工事業者の工場も同様に、被害に会った為、本船の動静にも影響がでた。

この為、本試験の日程より大幅に遅れてしまったが、関係者の方々の努力とご支援のお陰で、何とか約束が果たせたのは幸いであった。

今年の 5 月より、IMO の正式な規制が効力を持ち、海運界にも排気ガス規制がなされようとしているが、実施に当たって沢山の課題があり、苦勞しそうに思っていたが、曲りなりにも実施できたことは、専門家の方々のご支援の賜物と感謝申し上げる。

以上

**\*\*付属資料\*\***

- 資料 1. 『千 祥』の紹介（GA、全景写真等）  
平成 17 年 12 月撮影の本船の全景を示す。





資料 2. 鑑定用 (PSC 用) 管理書類

サンプル

IMO 規則 NOx 監視データ試験報告書

宛先：船舶管理担当 岩政 佳和 殿

就航：平成 14 年 7 月 11 日

船名：千 祥 母港：山口県防府市

所属：吉祥海運 (株) 住所：山口県

検査対象機関名称：第 3 主発電機関

前回検査日：平成 16 年 月 日

前回検査場所：広島県佐伯郡能美町高田 中谷造船 (株)

MP/CONF.3/34 Regulation 13 に従い、以下の通り試験データを取り纏めましたので、提出します。

発行：平成 16 年 12 月 26 日

船 長：印

機関長：印

1. 機関の緒元

用途	種類	出力 (kW)	回転数 (min-1)	台数 (台)	燃料の種類	
主発電機関	ディーゼル機関	530	1,200	3	A 重油専焼	
停泊用 発電機関	同上	150	1,800	1	同上	

2. 監視項目等

1) 対象物：主発電機関

監視方法：Direct Measuring and Monitoring 法

計測結果：

試験日 平成 16 年 月 日

海域 湾

以下省略

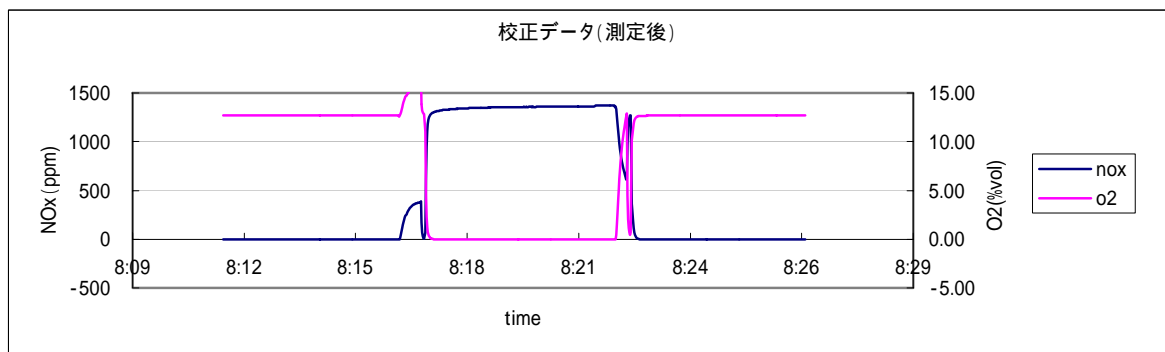
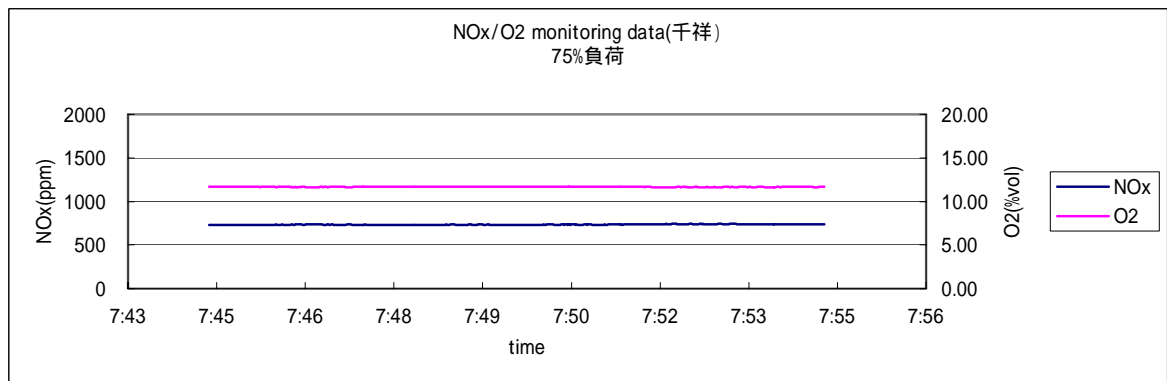
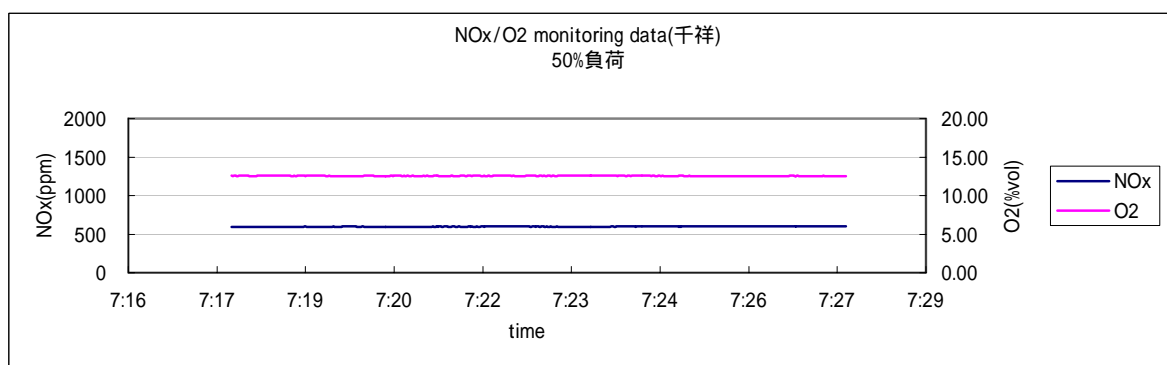
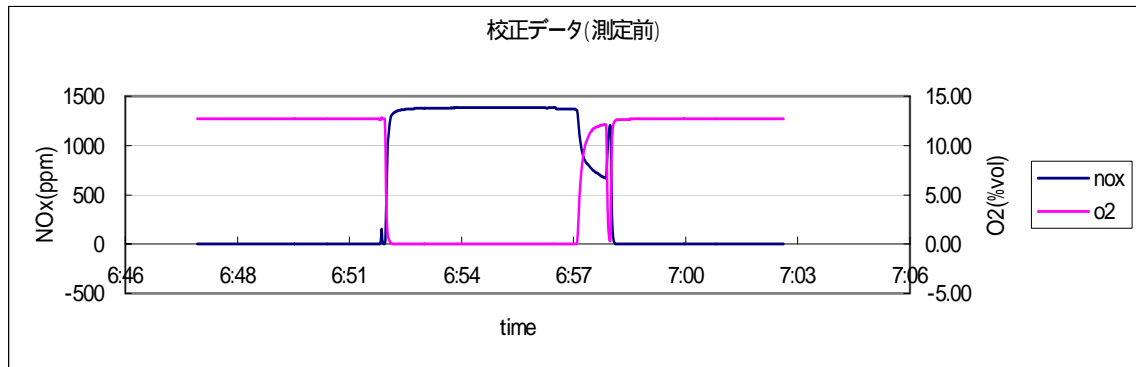
添付

1) 機関負荷試験データ 50% および 75%

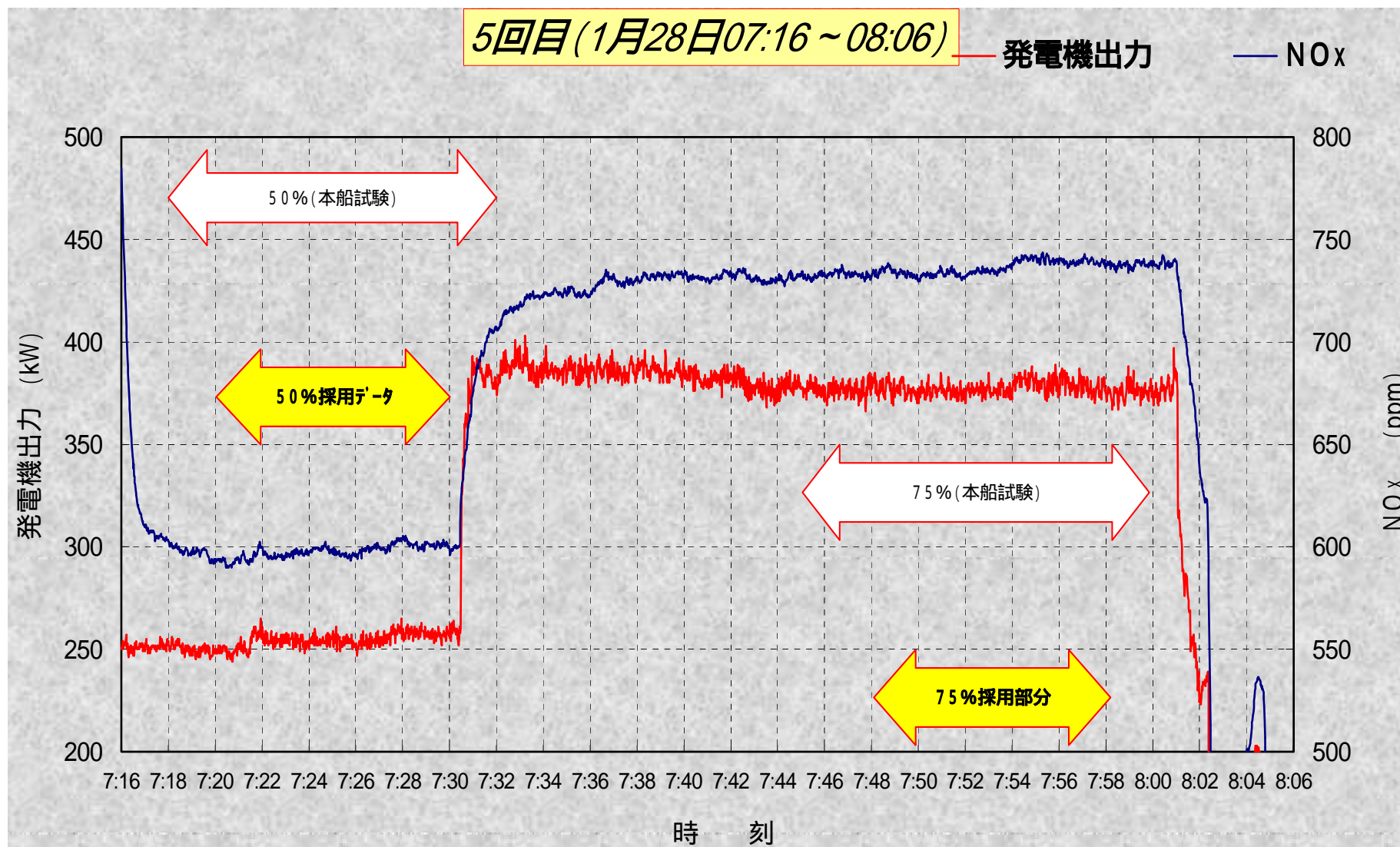
2) ゼロおよびスパン 校正記録

### 資料 3. 試験計測データ

#### 1) 第5回 ゼロ・スパン記録



2) 第5回試験 50%および75% 試験グラフ



3) 第5回試験 50% 試験データ(一部)

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	77	80	90	95	113	114	144	145	*	**
チャンネル	0308	0309	0310	0311	0316	0317	0318	0319	0320	0321	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0337	0409	0414	0610	0611	0660	外	*	**
チャンネル名称	No. 3 給気 圧力	No. 3 冷却 清水 出口 温度	No. 3 潤滑 油 入口 温度	No. 3 給気 入口 温度	No. 3 排気 温度 1 CY L	No. 3 排気 温度 2 CY L	No. 3 排気 温度 3 CY L	No. 3 排気 温度 4 CY L	No. 3 排気 温度 5 CY L	No. 3 排気 温度 6 CY L	No. 3 排ガ ス 出口 平均 温度	No. 3 過給 機 入口 温度 1 ~ 3	No. 3 過給 機 入口 温度 4 ~ 6	No. 3 過給 機 出口 温度	No. 3 機関 回転 数	No. 3 過給 機 入口 空気 温度	No. 3 潤滑 油 クー ラ 入口 温度	No. 3 発電機 出力	母線 周波 数	海水 温度	機関 室 温度	機関 室内 気圧	機関 室 湿度	NOx	O2
単位	kPa														min-1			KW	H Z			hPa	%	p p m	%
7 時 20 分 00 秒67	71	55	47	309	325	328	307	325	329	320	378	399	346	1196	22	63	249	60	10	20	1014	26.0	594.0	12.6	
7 時 20 分 01 秒67	71	55	47	309	325	329	307	325	329	321	378	400	346	1196	22	63	248	60	10	20	1015	26.0	594.0	12.6	
7 時 20 分 02 秒67	71	55	48	309	325	328	307	325	329	321	378	400	346	1196	22	63	250	60	10	20	1015	26.0	593.2	12.6	
7 時 20 分 03 秒67	71	55	47	309	325	329	307	325	329	321	378	399	346	1196	22	63	250	60	9	20	1014	25.9	592.8	12.6	
7 時 20 分 04 秒67	71	55	47	309	325	328	307	325	329	320	378	399	346	1196	22	63	248	60	9	20	1015	25.9	593.2	12.6	
7 時 20 分 05 秒67	71	55	47	309	325	328	307	325	329	320	378	399	346	1196	22	63	248	60	10	20	1015	26.0	593.6	12.6	
7 時 20 分 06 秒67	71	55	47	309	325	328	307	325	329	321	378	399	346	1196	22	63	250	60	9	20	1015	26.0	594.0	12.6	
7 時 20 分 07 秒67	71	55	47	309	325	328	307	325	329	321	378	399	346	1196	22	63	251	60	10	20	1014	26.0	593.6	12.6	
7 時 20 分 08 秒68	71	55	47	309	325	329	307	325	329	321	378	399	346	1196	22	63	252	60	10	20	1015	25.9	593.6	12.6	
7 時 20 分 09 秒69	71	55	47	309	325	328	307	325	329	320	378	399	346	1196	22	63	249	60	10	20	1014	26.0	594.0	12.6	
7 時 20 分 10 秒68	71	55	47	309	325	328	307	325	329	320	378	399	346	1196	22	63	248	60	10	20	1014	26.0	594.0	12.6	
7 時 20 分 11 秒68	71	55	47	309	325	328	307	325	329	321	378	398	346	1196	22	63	252	60	10	20	1015	26.0	592.8	12.6	
7 時 20 分 12 秒69	71	55	47	309	325	328	307	325	329	321	378	398	346	1196	22	63	252	60	10	20	1014	25.9	593.2	12.6	
7 時 20 分 13 秒68	71	55	47	309	325	328	307	325	329	321	378	399	346	1196	22	63	251	60	10	20	1015	26.0	593.2	12.6	
7 時 20 分 14 秒68	71	55	47	309	325	328	307	325	330	321	378	399	346	1196	22	63	251	60	9	20	1015	26.0	594.0	12.6	
7 時 20 分 15 秒67	71	55	47	309	325	328	307	325	330	321	378	399	346	1196	22	63	248	60	9	20	1014	26.0	593.6	12.6	

4) 第5回試験 75% 試験データ(一部)

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	77	80	90	95	113	114	144	145	*	**
チャンネル	0308	0309	0310	0311	0316	0317	0318	0319	0320	0321	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0337	0409	0414	0610	0611	0660	外	*	**
チャンネル名称	No. 3 給気 圧力	No. 3 冷却 清水 出口 温度	No. 3 潤滑 油 入口 温度	No. 3 給気 入口 温度	No. 3 排気 温度 1 CY L	No. 3 排気 温度 2 CY L	No. 3 排気 温度 3 CY L	No. 3 排気 温度 4 CY L	No. 3 排気 温度 5 CY L	No. 3 排気 温度 6 CY L	No. 3 排ガ ス 出口 平均 温度	N 過給 機 入口 温度 1 ~ 3	N 過給 機 入口 温度 4 ~ 6	N 過給 機 出口 温度	No. 3 機関 回転 数	N 過給 機 入口 空気 温度	No. 3 潤滑 油 クー ラ 入口 温度	No. 3 発電 機 出力	母線 周波 数	海水 温度	機関 室 温度	機関 室内 気圧	機関 室 湿度	NOx	O2
単位	kPa														min-1			KW	H Z			hPa	%	p p m	%
7時48分00秒	134	72	54	72	367	385	390	368	387	382	380	439	464	377	1194	23	66	383	60	9	20	1014	26.0	732.4	11.7
7時48分01秒	132	72	54	72	367	386	390	368	387	383	380	439	464	378	1194	23	66	377	60	9	20	1015	26.0	733.2	11.7
7時48分02秒	130	72	54	72	367	385	389	368	387	383	380	439	464	378	1194	23	66	378	60	9	20	1015	26.0	733.2	11.7
7時48分03秒	132	72	54	72	367	385	390	368	388	383	380	439	464	378	1193	23	66	382	60	10	20	1015	26.1	733.6	11.7
7時48分04秒	132	72	54	72	367	386	389	368	387	383	380	439	464	377	1195	23	66	380	60	10	20	1015	26.0	734.4	11.7
7時48分05秒	132	72	55	71	367	385	390	368	388	383	380	439	464	378	1193	23	66	381	60	9	20	1015	26.0	735.2	11.6
7時48分06秒	132	72	55	71	367	385	390	368	388	383	380	439	464	377	1195	23	66	380	60	9	20	1015	26.1	733.6	11.6
7時48分07秒	133	72	55	72	367	385	390	368	388	383	380	440	464	377	1195	23	66	384	60	9	20	1015	26.1	733.2	11.7
7時48分08秒	133	72	54	71	367	385	390	368	388	383	380	440	464	377	1192	23	66	385	60	9	20	1015	26.0	732.0	11.7
7時48分09秒	134	72	54	72	367	386	390	368	388	383	380	439	464	377	1194	23	66	382	60	9	20	1015	26.1	732.4	11.7
7時48分10秒	132	72	54	72	367	386	390	368	388	383	380	440	464	378	1196	23	66	375	60	9	20	1015	26.1	733.2	11.7
7時48分11秒	130	72	55	72	367	386	390	368	388	383	380	440	464	377	1194	23	66	377	60	10	20	1015	26.1	735.2	11.7
7時48分12秒	132	72	55	72	367	386	390	368	388	383	380	440	464	378	1194	23	66	381	60	10	20	1015	26.0	732.0	11.7
7時48分13秒	131	72	54	72	367	386	390	368	388	383	381	440	464	377	1194	23	66	379	60	9	20	1015	26.0	732.0	11.7
7時48分14秒	130	72	55	72	367	386	390	368	388	383	380	440	464	377	1195	23	66	374	60	9	20	1015	26.1	731.6	11.7
7時48分15秒	130	72	55	72	367	386	390	368	388	383	380	440	464	377	1195	23	66	375	60	9	20	1015	26.1	732.4	11.7

# 5) 全試験データ取纏表

チャンネル			0308	0309	0310	0311	0316	0317	0318	0319	0320	0321	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0337	0409	0414	0610	0611	0660	外①	*	**			
チャンネル名称			No. 3 給気 圧力	No. 3 冷却 清水 出口 温度	No. 3 潤滑油 入口 温度	No. 3 給気 入口 温度	No. 3 排気 温度 1CYL	No. 3 排気 温度 2CYL	No. 3 排気 温度 3CYL	No. 3 排気 温度 4CYL	No. 3 排気 温度 5CYL	No. 3 排気 温度 6CYL	No. 3 排ガス 出口 平均 温度	No. 3 過給機 入口 温度 1~3	No. 3 過給機 入口 温度 4~6	No. 3 過給機 出口 温度	No. 3 機関 回転数	No. 3 過給機 入口 空気 温度	No. 3 潤滑油 クーラ 入口 温度	No. 3 発電機 出力	母線 周波数	海水 温度	機関室 温度	機関 室内 気圧	機関室 温度	NOx	O2	燃費 (Gen)	燃料消 費量	NOx
単位			kPa	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	min-1	℃	℃	KW	HZ	℃	℃	hPa	%	ppm	%	g/kWh	kg/h	g/kWh
50% 負荷 状態	1回目平均値	12/8 12:00~12:10	58.5	71.0	56.0	41.2	295.2	311.9	319.6	293.9	304.5	317.8	307.1	380.2	370.0	340.8	1196.3	24.0	63.0	242.5	60.0	13.3	24.0	1024.1	32.4	689.5	12.8		55.26	8.01
	2回目平均値	12/9 15:15~15:25	57.7	71.0	55.6	44.6	297.1	315.7	322.7	300.7	310.5	319.7	311.1	386.5	379.0	349.7	1194.6	27.0	64.0	241.6	60.0	17.0	26.0	1027.0	25.9	670.4	12.9		55.05	7.91
	3回目平均値	12/10 12:04~12:14	61.0	71.0	52.9	40.8	303.9	324.0	329.5	307.1	316.8	326.1	317.8	392.8	383.8	354.5	1195.8	28.0	63.0	254.7	60.0	15.4	27.9	1023.0	40.1	653.9	12.8		58.05	7.98
	4回目平均値	1/6 14:22~14:32	57.9	71.0	56.0	36.7	293.2	312.0	311.1	290.6	298.7	314.2	303.2	361.2	379.3	335.5	1196.3	18.0	62.9	237.4	60.0	11.7	18.0	1021.3	26.5	732.1	12.9		54.10	8.24
	5回目平均値	1/28 07:20~07:30	70.1	71.1	55.0	48.0	311.2	326.2	330.9	309.2	326.7	331.0	322.6	380.3	401.4	347.3	1195.7	22.0	63.0	254.5	60.0	9.8	20.0	1014.5	25.8	597.7	12.6		58.00	6.55
	1回目~5回目の平均値(A)		61.1	71.0	55.1	42.3	300.1	317.9	322.7	300.3	311.4	321.7	312.4	380.2	382.7	345.5	1195.7	23.8	63.2	246.1	60.0	13.4	23.2	1022.0	30.1	668.7	12.8		56.09	7.72
	出荷データ(B)		60.0	74.0	56.0	38.0	296.0	306.0	301.0	299.0	303.0	313.0	303.0	350.0	360.0	345.0	1200	28.0	60.0	245.0	60.0	22.0	22.0					227.9		
	出荷データとの差(A-B)		1.1	-3.0	-0.9	4.3	4.1	11.9	21.7	1.3	8.4	8.7	9.4	30.2	22.7	0.5	-4.3	-4.2	3.2	1.1	0.0	-8.6	1.2							
75% 負荷 状態	1回目平均値	12/8 12:18~12:28	109.8	72.0	54.0	61.6	344.1	368.9	373.0	346.4	353.3	363.4	358.2	442.8	428.0	374.4	1194.9	26.0	65.0	356.6	60.0	14.7	24.0	1024.0	30.9	815.1	11.9		76.53	8.01
	2回目平均値	12/9 15:35~15:45	117.4	72.0	55.0	65.0	355.6	378.4	382.2	358.8	367.6	371.3	369.0	453.2	439.3	382.7	1194.3	28.0	66.0	372.8	60.0	17.0	26.4	1026.6	26.4	805.2	11.9		80.00	8.06
	3回目平均値	12/10 12:20~12:30	117.8	72.0	54.0	57.7	354.8	382.0	381.7	360.0	369.7	373.1	370.2	451.5	439.0	380.7	1195.0	29.2	64.9	379.4	60.0	15.2	28.0	1022.8	39.1	754.5	11.9		81.42	7.90
	4回目平均値	1/6 14:50~15:00	119.4	72.0	54.0	58.1	353.4	375.7	372.0	354.0	360.0	367.8	363.9	425.8	450.2	371.7	1197.6	20.0	65.0	377.3	60.0	11.3	18.0	1021.0	26.4	916.9	11.9		81.04	8.76
	5回目平均値	1/28 07:48~07:58	130.3	72.0	54.4	71.7	366.9	386.0	390.1	368.5	387.4	382.1	380.3	439.5	463.8	377.4	1194.7	23.0	66.0	377.6	60.0	9.1	19.8	1015.0	25.7	736.2	11.7		81.11	6.99
	1回目~5回目の平均値(A)		118.9	72.0	54.3	62.8	355.0	378.2	379.8	357.5	367.6	371.6	368.3	442.6	444.0	377.4	1195.3	25.2	65.4	372.8	60.0	13.5	23.2	1021.9	29.7	805.6	11.9		80.02	7.99
	出荷データ(B)		108.0	74.0	56.0	45.0	335.0	349.0	346.0	348.0	345.0	349.0	345.3	415.0	420.0	370.0	1200	26.0	62.0	367.5	60.0	23.0	24.0					214.6		
	出荷データとの差(A-B)		10.9	-2.0	-1.7	17.8	20.0	29.2	33.8	9.5	22.6	22.6	23.0	27.6	24.0	7.4	-4.7	-0.8	3.4	5.3	0.0	-9.5	-0.8							

6) ユニバーサル酸素バランス法(完全燃焼)

ユニバーサル酸素バランス法(完全燃焼)

Manufacturer ヤンマー

Engine Type 6N165L-EN

"千祥"

2004-12-8 ~ 2005-1-28計測

Mode D2(E2)

ITEM	d/w	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		5回平均	
		12/8/12:00-28		12/9/15:15-45		12/10/12:04-30		1/6 14:22-15:00		1/28:0720-58			
		75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%
回転数 (rpm)		1194.9	1196.3	1194.3	1194.6	1195.0	1195.8	1197.6	1196.3	1195.7	1194.7	1195.7	1195.3
出力 (KW)		356.6	242.5	372.8	241.6	379.4	254.7	377.3	237.4	377.6	254.5	372.8	246.1
Ta( )		26.0	24.0	28.0	27.0	29.2	28.0	20.0	18.0	23.0	20.0	25.2	23.8
Pb(kPa)		102.4	102.4	102.7	102.7	102.3	102.3	102.1	102.1	101.5	101.5	102.2	101.5
Ra(%)		30.9	32.4	26.4	25.9	39.1	40.1	25.7	26.5	25.7	25.8	29.7	30.1
燃料質量流量(kg/h)		76.53	55.26	80.00	55.05	81.42	58.05	81.04	54.10	81.11	58.00	80.08	56.09
CO2(%)													
CO(ppm)													
HC(ppm)													
NOx(ppm)	dry	815.1	689.5	805.2	670.4	754.5	653.9	916.9	732.1	736.2	597.7	805.6	668.7
O2(%)	dry	11.9	12.8	11.9	12.9	11.9	12.8	11.9	12.9	11.7	12.6	11.9	12.8
Tsc( )		61.6	41.2	65.0	44.6	57.7	40.8	58.1	36.7	71.7	48	62.8	42.3
Tsc-ref( )		61.6	41.2	65.0	44.6	57.7	40.8	58.1	36.7	71.7	48	62.8	42.3
Pc(kPa)		212	161	219	161	220	163	221	160	232	172	221	163
燃料組成													
C含有量(%m/m)		86.4											
H含有量(%m/m)		13.4											
S含有量(%m/m)		0.09											
N含有量(%m/m)		0.01											
O含有量(%m/m)		0											
Pa(kPa)		3.361	2.983	3.779	3.565	4.052	3.779	2.338	2.063	2.809	2.338	3.205	2.948
Psc(kPa)		21.455	7.860	25.031	9.387	17.899	7.696	18.239	6.173	33.579	11.162	22.664	8.329
Ha(g/kg)		6.373	5.927	6.102	5.643	9.784	9.353	3.681	3.349	4.455	3.718	5.848	5.485
Hsc(g/kg)		70.04	31.93	80.27	38.51	55.09	30.82	55.95	24.96	105.26	43.17	71.07	33.49
EXHDENS		1.296	1.297	1.297	1.297	1.289	1.290	1.301	1.302	1.300	1.301	1.297	1.298
Kw,r		0.932	0.938	0.932	0.939	0.927	0.933	0.936	0.942	0.933	0.940	0.933	0.939
VEEXHW(m3/h)													
GEXHW(kg/h)		2531	2011	2645	2026	2691	2111	2681	1992	2628	2063	2648	2041
KHDIES		0.953	0.943	0.955	0.948	1.000	0.992	0.911	0.903	0.925	0.911	0.945	0.938
Gas mass(g/h)		2902	1942	3003	1912	2998	2033	3306	1957	2640	1666	2977	1901
Wi		0.77	0.23	0.77	0.23	0.77	0.23	0.77	0.23	0.77	0.23	0.77	0.23
Mass Wi(g)		2234.4	446.6	2312.3	439.8	2308.3	467.6	2545.5	450.0	2032.7	383.2	2292.3	437.2
NOx値(g/kWh)		8.14	8.01	8.06	7.91	7.90	7.98	8.76	8.24	6.99	6.55	7.99	7.72
NOx 制限値(g/kWh)		10.9											
NOxサイクル値		8.12		8.03		7.91		8.68		6.92		7.94	

注\*1 燃料流量は本機の陸上運転データを使用した。

\*2 NOx,O2ともドライとした。

\*3 給気温度のリファレンス値は実測値そのものとした。

\*4 燃料組成は同型機のNOx計測時(1999-11-05)のものを引用した。

\*5 MEPC49/22 Annex1 "船上NOx評価手順に関するガイドライン"から引用した。

\*6 陸上NOx値は同型機のNOx計測時(1999-11-05)のデータから算出した。

	個別計算後平均	平均後計算	陸上データ*6
75%平均	7.97	7.99	10.03
50%平均	7.74	7.72	11.31
サイクル値	7.93	7.94	9.95

## 5.2 NOx モニタリング法のシミュレーション試験（第2船チーム）

### 5.2.1 はじめに

#### 5.2.1.1 試験研究の目的

海洋汚染防止条約（MARPOL 73/78）付属書 VI が平成 17 年 5 月 19 日より発効の予定であり大気汚染に関する規制がいよいよ実施される事になるが、この規則の実施にあたっては、放出量の確認、テクニカルファイルの確認及び IAPP 証書の発行等沢山の仕組が必要である。

加えて船の運航状態は PSC の対象となり場合によっては国際間でも立会検査されることになった。この新しい仕組を、各組織体にあってスムーズな運営のために事前にシミュレーションを行う事は非常に重要である。

本試験研究は、以上のような背景の下に高速フェリー「ニュー かめりあ」をモデル船にして、放出量の確認、テクニカルファイルの整合性の確認に続いて、IAPP 証書再認証までを関係者でシミュレーションする事を最終の目的とするが、今年度の目的としては、NOx モニタリング計測の準備を完了させ、第一次計測データの収集及び解析を行うこととする。

#### 5.2.1.2 試験研究体制

下記メンバー構成で実施した。

- 1) (財) 日本海事協会 / 小川機関部長（シミュレーション作業実施）
- 2) JFE エンジニアリング（株）/ 生澤部長（データ解析・評価）
- 3) (株) 堀場製作所 / 木原マネージャー（分析装置取り付け、指導）
- 4) 日本郵船（株）/ 庄司グループ長代理（全体取り纏め、NOx モニタリングデータ取得）

#### 5.2.1.3 試験日程

当プロジェクトを下記日程に実施した。

表 5.2.1.3.1 平成 16 年度試験日程

項 目	平成16年(2004)年度												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
分析装置設置													
実船での第1次NOxデータ収集													
第1次データ解析													
ジルコニア式Nox分析方法の検証													
取り纏め													
修正													
打ち合わせ													

平成 16 年 8 月 2 日 業務委託契約締結

平成 16 年 8 月 18 日 キックオフミーティング（第 1 回）開催

平成 16 年 11 月 9 日 第 2 回会合開催

平成 17 年 2 月 9 日 第 3 回会合開催



## 5.2.2 試験内容

### 5.2.2.1 試験船

下記に試験船の要目を示す。

- 1)船名：ニュー かめりあ
- 2)船種：Ro-Ro フェリー
- 3)主要寸法：全長 170.00m、幅 24.00m、深さ 17.90、喫水 6.00m
- 4)総トン数：19,961
- 5)純トン数：5,988
- 6)主機関：JFE 18PC2-6V 2 基  
MCR 9,900 kW / 520 RPM  
NOR 8,415 kW / 493 RPM
- 7)主機関制御方法：テレグラフハンドルによる主機回転及び CPP 翼角連動のコンビネータ制御

### 5.2.2.2 計測装置

#### 5.2.2.2.1 NO<sub>x</sub> 計測装置

船舶からの大気汚染防止に関する MARPOL 条約付属書 VI は本年 5 月 19 日に発効する。NO<sub>x</sub> の排出規制は、NO<sub>x</sub> テクニカルコードによって規定されており、MEPC49 において定期検査時の検査方法として船上での排出量のモニタリング指針が採択された。また、オンボード NO<sub>x</sub> 認証手順とモニタリング方法についての詳細が MEPC49/22/Add.1 1 項に追加された。今回のプロジェクトでは MEPC49/22/Add.1 1 項に追加された仕様にに基づき設計した分析装置を導入し、計測を実施した。

#### 1) 仕様

MEPC49/22/Add.1 1 項では NO<sub>x</sub> 分析計としては Chemiluminescent Detector (CLD)を使用することになっている。分析計の精度、耐久性を考慮すると CLD が推奨されるが、ユーティリティガス、サンプリング装置が必要なため装置自身も大きくなり、船内の限られたスペースでは設置が困難になる可能性がある。また、メンテナンスも高度な技術が必要となり、価格も高価であるため、船内における定期検査で使用するには困難である。そこで今回の計測には精度、耐久性に優れ、サンプリング装置も不要、さらに価格についても低価格なジルコニア NO<sub>x</sub> センサを用いた NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub> 分析装置を導入した。下記にその装置の仕様を示す（表 5.2.2.2.1.1）。

表 5.2.2.2.1.1 NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub> 分析装置の仕様

測定対象ガス	船舶用ディーゼルエンジンからの排ガス (ストイキ～リートの範囲内)
測定範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>窒素酸化物(NO<sub>x</sub>) 0～2000 ppm( 1 以上の雰囲気にて)</li> <li>酸素(O<sub>2</sub>) 0～25 vol%</li> </ul>
表示範囲・表示形式	<ul style="list-style-type: none"> <li>窒素酸化物(NO<sub>x</sub>) 0～5000 ppm、1 ppm 刻み (#### ppm)</li> <li>酸素(O<sub>2</sub>) 0.00～50.00 vol%、0.01vol%刻み(###.### vol %)</li> </ul>
装置構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置本体(受信機)</li> <li>センサ取付けアダプタ(ロング、ショートタイプいずれか選択)</li> <li>センサ <ul style="list-style-type: none"> <li>原理: ジルコニア(ZrO<sub>2</sub>)センサ</li> <li>センサ温度: 約 800</li> </ul> </li> <li>ケーブル(顧客準備) <ul style="list-style-type: none"> <li>センサケーブル(CVVS 2sq-6c 相当)</li> <li>レコーダケーブル(MVVS0.5sq-2c 相当)</li> <li>電源ケーブル(CVVS 2sq 相当)</li> </ul> </li> <li>配管(顧客準備) <ul style="list-style-type: none"> <li>装置本体-センサ取付けアダプタ間 6/ 4 テフロン管 (校正用、冷却用各 1 本)</li> <li>装置本体(計装エア) 6/ 4 ナイロン管</li> </ul> </li> </ul>
ユーティリティ	計装エア(0.2～0.9MPa)パージ、及び冷却用 顧客準備 SPAN ガス(校正用):NO 約 1500ppm/N <sub>2</sub> (0.1MPa) SPAN ガス(校正用):O <sub>2</sub> 約 13%vol/N <sub>2</sub> (0.1MPa)
外部出力	<ul style="list-style-type: none"> <li>内部データログ-用出力 <ul style="list-style-type: none"> <li>DC 0～5 V、2 チャンネル アナログ出力 (NO<sub>x</sub>,O<sub>2</sub> 非絶縁)</li> <li>DC0/24V パージ確認用状態出力</li> </ul> </li> <li>アナログ出力(オプション) <ul style="list-style-type: none"> <li>顧客要求仕様による(電圧、電流、絶縁、非絶縁)</li> </ul> </li> </ul>
質量	本体: 約 50 kg(ボンベ除く)可搬時上下分離可能 上部:約 30kg、下部:約 20kg センサ取付けアダプタ: 約 5k g
電源	100 V ± 10% 約 0.5kVA

## 2) 測定原理

次に測定原理について説明する。計測部分は 図 5.2.2.2.1.1 (下) に示された長さ 20mm、厚み数 mm 程度のエレメントである。図 5.2.2.2.1.2 にそのエレメントを拡大した模式図を示す。

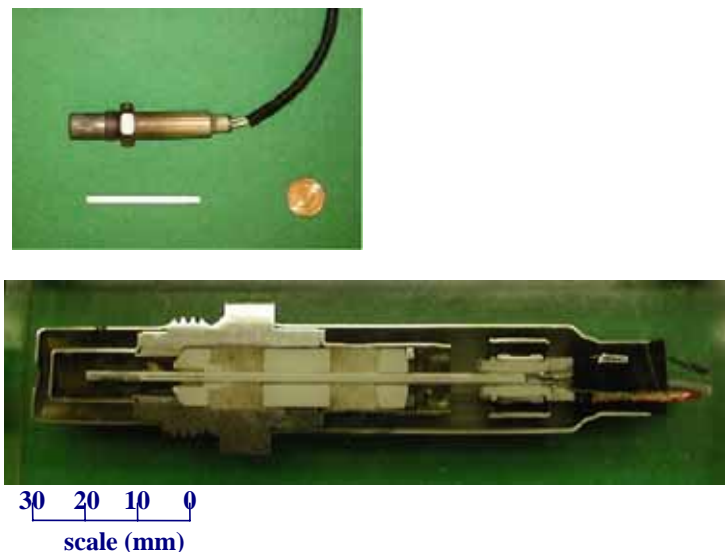


図 5.2.2.2.1.1 ジルコニア NO<sub>x</sub> センサ

ジルコニア固体電解質であるエレメントの両面に電極を形成すると、その前後に酸素濃度差があると電極間に起電力が発生する。逆に電極間に外部より電圧（電流）を加えると酸素イオンがエレメント中を移送され、エレメント前後で酸素濃度差が作られる。この電流の量が酸素濃度に比例することを利用して、酸素濃度が測定できる。図に示された第一内部空間において酸素濃度が測定され、第二内部空間では、還元作用の大きい電極材料により無酸素状態で NO が N<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> に分解される。分解された O<sub>2</sub> を同様の方法で測定する。この電流の量は、測定された酸素濃度と等価の NO<sub>x</sub> の量と比例することから、NO<sub>x</sub> 濃度が計測可能となる。

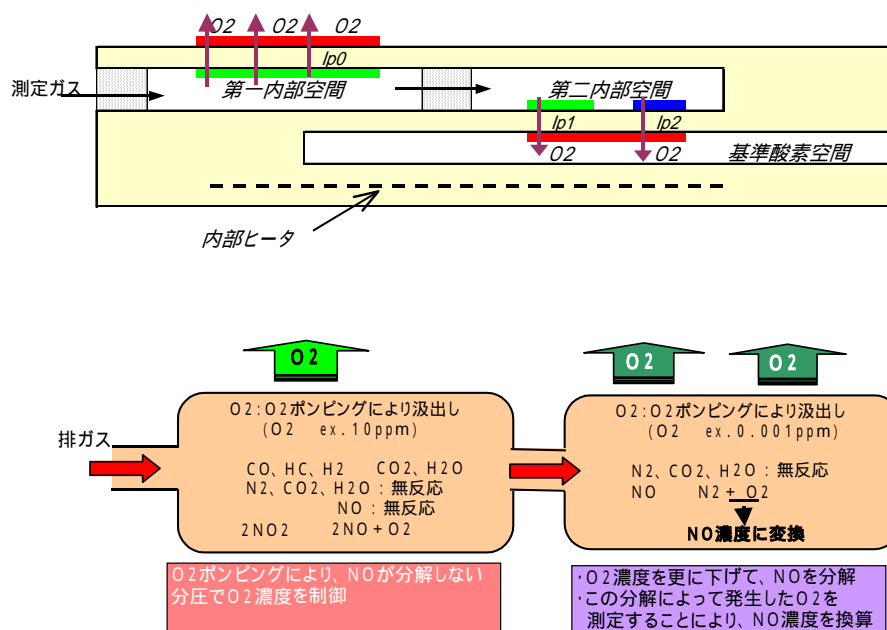


図 5.2.2.2.1.2 センサエレメント原理図

### 3) 分析装置外寸図

装置は、狭い場所へ設置できるよう、できるだけコンパクトに設計した。また、搬入時の利便性を考え、架台の上下を分離できる構造とした。

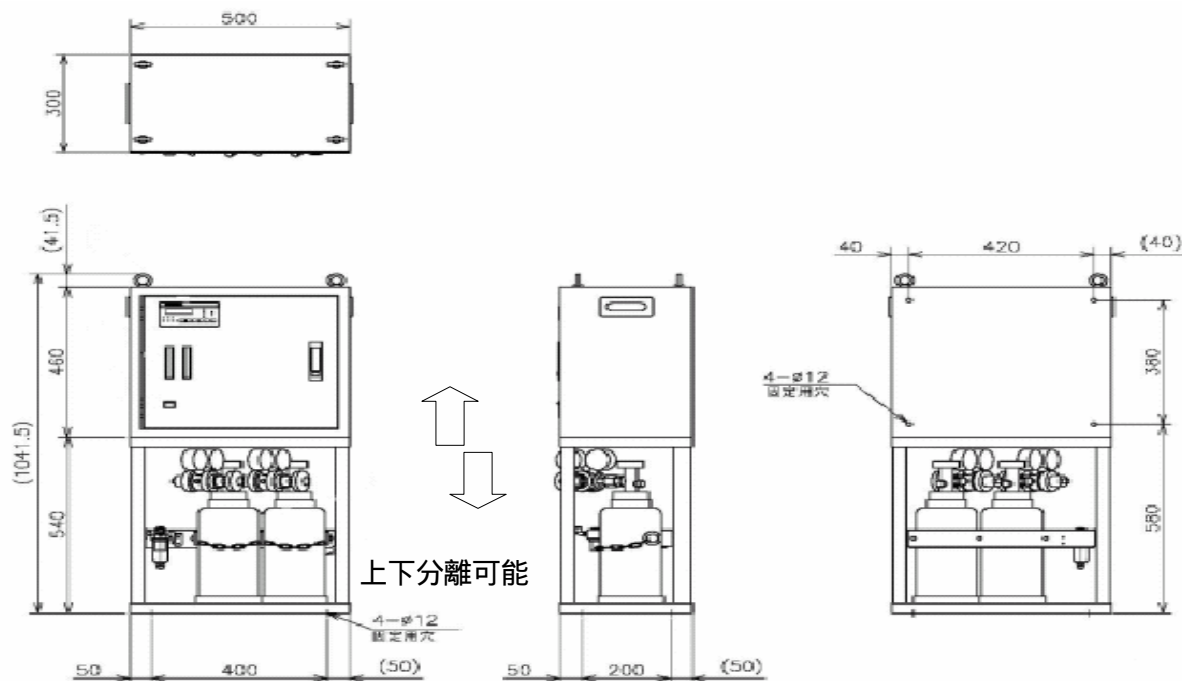


図 5.2.2.2.1.3 分析装置外寸法

### 4) 取り付けアダプタ外寸図

センサ部取り付けのため、図 5.2.2.2.1.4 のようなアダプタを設計した。このアダプタは、煙道壁に取り付けたガイドパイプに固定する構造で、NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub> センサ本体はアダプタの先端に取り付けられている。MEPC49/22/Add.1 ANNEX5 APPENDIX1 で規定されている煙道径の 10% から 90% の位置にセンサ部を挿入できるよう、アダプタは 2 種類 (220 mm・360 mm) 準備した。今回の第 2 船「ニュー かめりあ」では、このうち、長い方にあたる 360 mm のものを設置した。なお、各アダプタで対応できる煙道径は、表 5.2.2.2.1.2 のとおりである。

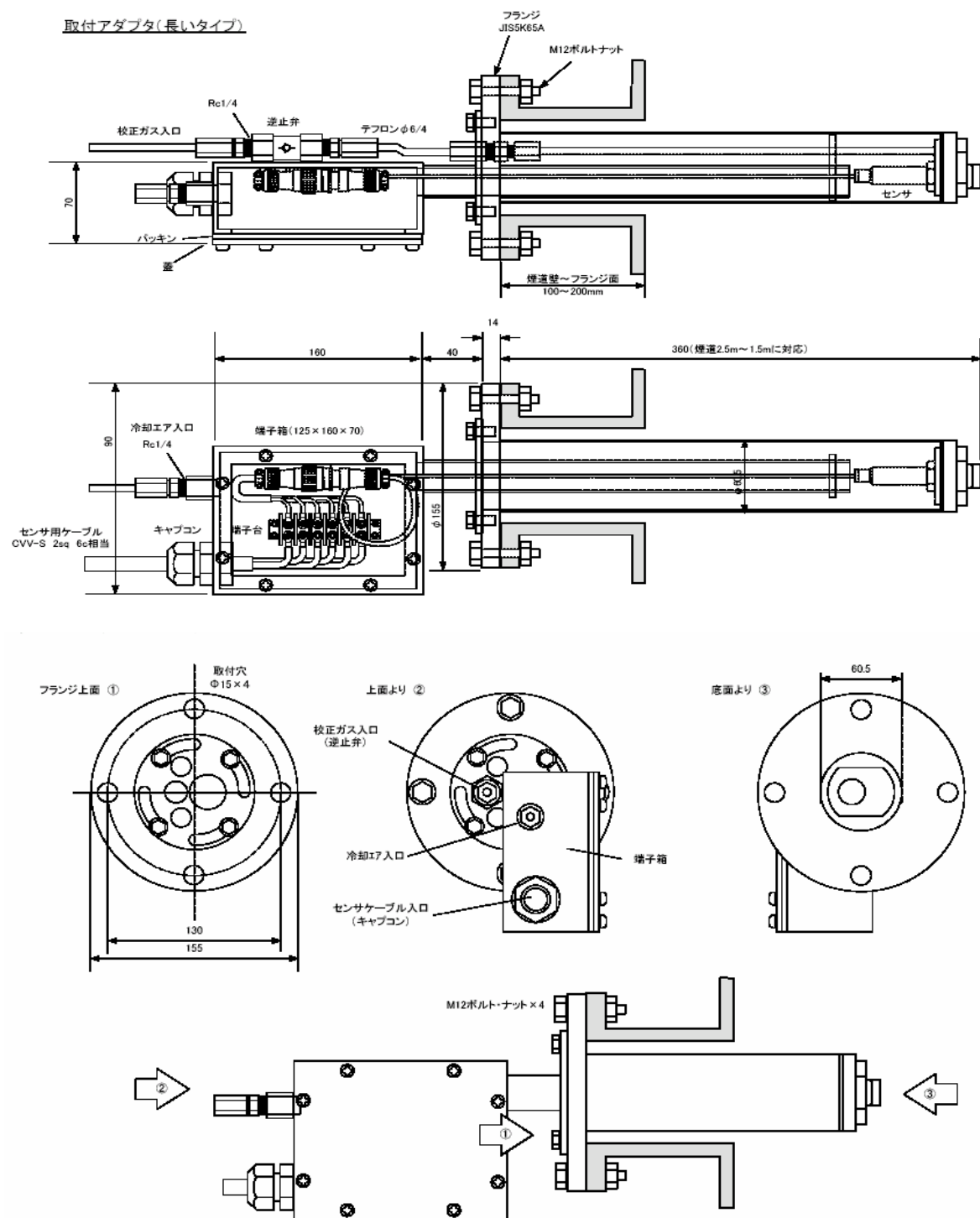


図 5.2.2.2.1.4 センサ取り付け用アダプタ外寸図

表 5.2.2.2.1.2 取り付けアダプタ長に対する煙道径

取り付けアダプタ長	ガイドパイプ長	対応する煙道径
220 mm	100 mm ～ 200 mm	0.2 m ～ 2.4 m
360 mm	100 mm ～ 200 mm	1.5 m ～ 2.5 m

## 5) フロー図

パージ用及びセンサ冷却用にエアが必要であるため、船内のコンプレッサより圧縮空気(約 700 kPa)を供給した。冷却用エアについては 20 L/min の流量で常時流すようにした。

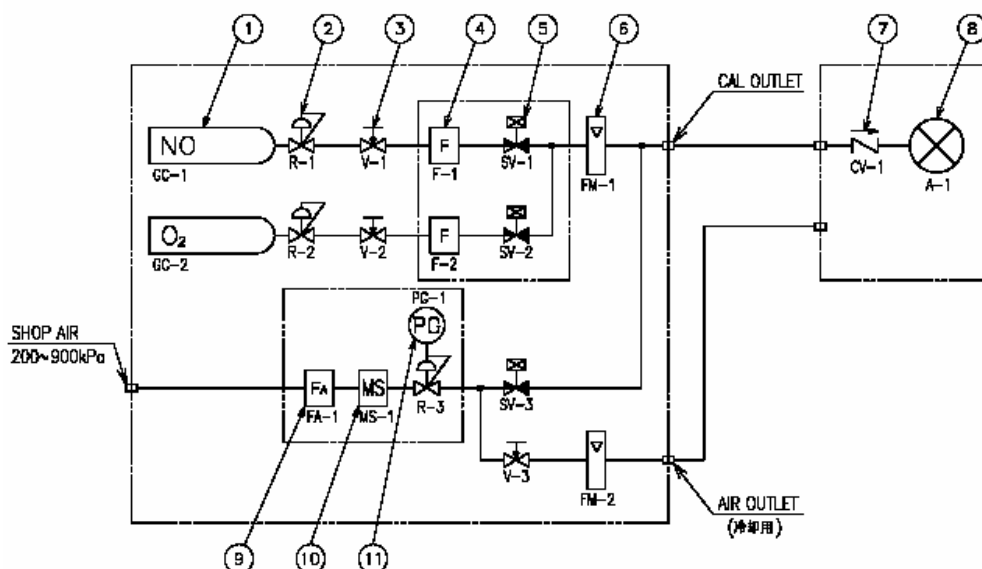


図 5.2.2.2.1.5 フロー図

## 6) 記録計

記録計は分析装置架台天板に設置した。仕様と外観は以下のとおりである。

型式： NR-1000 (KEYENCE 製)  
 入力： NOx : 0-5 V / 0-2000 ppm  
           O2 : 0-5 V / 0-25 vol %  
 サンプリング周期：1 Hz

## 7) 計測方法

データは2週間に1回、機関データと同時にNOx/O2のデータも記録し、データ取得前に校正を実施した。また、福岡 - 釜山間の片道の周航データについてはエンジン始動からエンジンストップまでの間でデータを取得した。(片道約6時間)この場合、基本的に装置は連続通電で自動校正(2週間に1回の設定)のみで対応した。

## 8) 設置位置

左舷機 A-Bank の過給機出口に設置した。

センサ挿入位置は、NOx 鑑定要領第 5.3.3 に従った位置となっており、センサプローブ長は排気管口径 850mm に対して 130mm である。

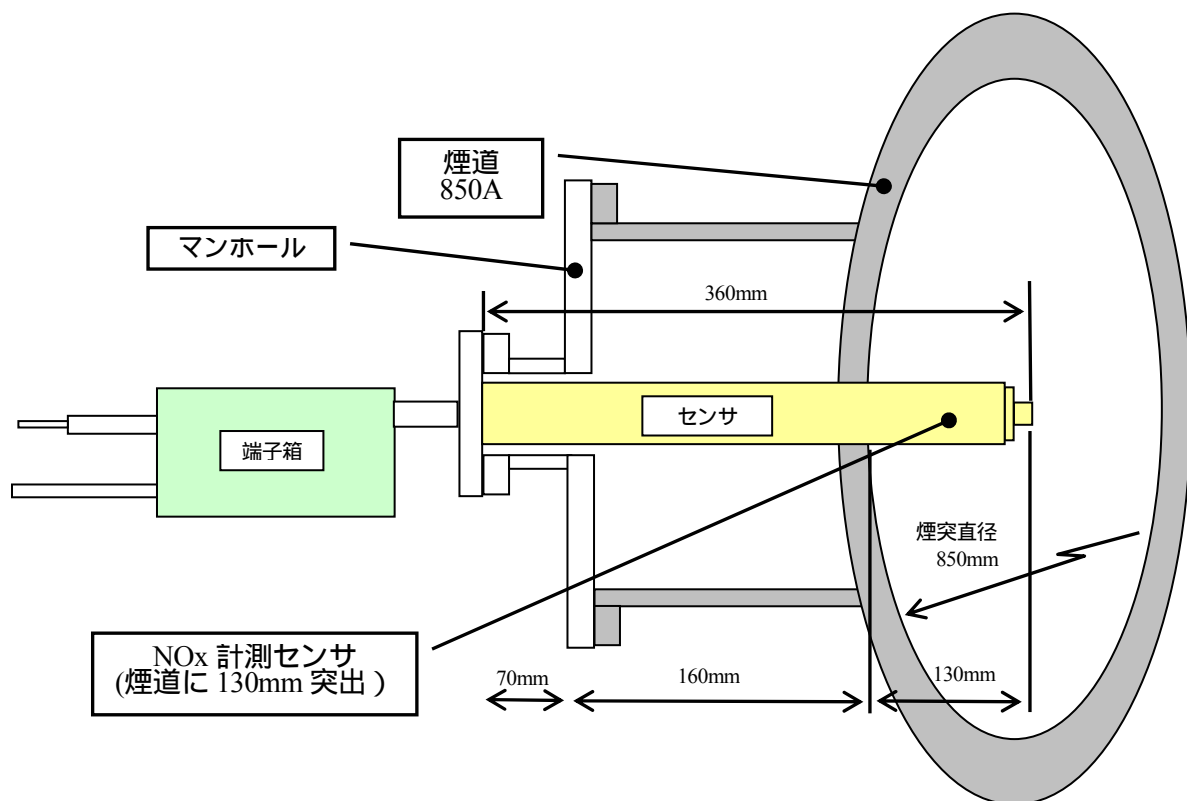


図 5.2.2.2.1.6 センサ取り付け詳細図



図 5.2.2.2.1.7 NOx センサ取付け用フランジ部



図 5.2.2.2.1.8 センサ取付け状況



図 5.2.2.2.1.9 NOx 分析装置



図 5.2.2.2.1.10 NOx 計測用データロガー

#### 5.2.2.2.2 機関関係記録装置

##### 1) データロガー仕様

本船装備の機関計測装置であるデータロガーの型式は以下のとおりである。

データロガー型式：JRCS 製 JMC-SMS-22

CTA ユニット：SMS-U500

アラームプリンタ：SMS-U20F

ローカルユニット：SMS-U650A

##### 2) その他

データロガーにて計測不可能な下記項目に関しては、本船乗組員の計測に拠る。

##### ・気圧

気圧計：（株）佐藤計量器製作所

計測精度は、 $\pm 1 \text{ hPa}$ （ $950 \sim 120 \text{ hPa}$ ）であるが、使用方法として都度、測候所にて海面の気圧を聞き、微調整ネジにて指針を合わせている。

##### ・機関室乾湿温度

市販の乾湿温度計

#### 5.2.3 試験経過と計測データ解析結果

##### 5.2.3.1 本船運航状況

本船は博多港と韓国釜山港間を以下のスケジュールにてピストン航海を実施している。

往航：博多発 1130 時 → 釜山着 1700 時（航海時間 5.5 時間）

復航：釜山発 2300 時 → 博多着 0600 時（航海時間 7.0 時間）

##### 5.2.3.2 計測方法

###### 5.2.3.2.1 陸上運転

陸上運転での NOx 排出率は、本機関の親機関にてカーボンバランス法にて計測評価を実施している。本船の主機関はこの親機関と全てのパラメータは同一である。



#### 5.2.3.2.2 実船運転

NO<sub>x</sub> 鑑定要領に規定されている 100, 75, 50, 25%の内少なくとも 2 点(含む 75%)を計測すべく、本船の運航を考慮して、50%と 75%負荷の 2 点において計測する事とし、当該負荷状態で少なくとも 10 分間整定した状態で計測を実施した。

#### 5.2.3.2.3 第 1 回目計測

平成 16 年 12 月 3 日に博多港において NO<sub>x</sub> モニタリング装置を設置、計測を開始し、装置の正常な運転状況を確認後、平成 17 年 1 月 7 日～8 日に第 1 回目の計測を行った。

##### 1) NO<sub>x</sub> モニタリング試験

- ・ 50%負荷試験 1 月 7 日 0000 時～0015 時
- ・ 75%負荷試験 1 月 8 日 2330 時～2400 時

##### 2) 試験条件

- ・ 海域：釜山～博多 34-51N、129-26E
- ・ 海気象：風向 NW、風力 4～5、天候 BC
- ・ 喫水：F 5.65m、A 5.65m

#### 5.2.3.3 主な不具合

##### 5.2.3.3.1 NO<sub>x</sub> 計測装置

機関長よりNO<sub>x</sub>の指示値が途中5000ppmでフルスケールオーバーする時があり、計測ができない連絡があり、12/17調査に訪船した。訪船直後に現状の設定値、センサ電流感度等の確認を実施。特に異常はなく、また校正についても問題なく実施することができ、NO<sub>x</sub>値が異常になる現象は見らなかった。

海上運転中、エンジン負荷をSlow->Half->Fullと順番にあげていくとFull時に指示が5000ppmになる現象が出るということでセンサを取り外し確認したところ、特に外観には問題なかったがセンサ配線部を固定しているゴムブッシュが硬化した状態であり高温状態で劣化しているような状態であった。

Fullの状態では排ガス温度は380～400 くらいになるということなので、10L/minの冷却Airではゴムブッシュ部が200 くらいにまで上昇し、耐熱温度ぎりぎりであったと推測される。高温時に絶縁破壊が起こり出力に影響を及ぼしていた可能性があり、センサ交換と冷却Airの流量を20L/minに変更して対応した。

##### 5.2.3.3.2 その他の機器

特に問題は発生しなかった。

#### 5.2.3.4 計測データ及び解析結果

##### 5.2.3.4.1 機関データ及び NO<sub>x</sub> 排出率計算

計測した機関データ、燃料油性状分析値、排ガス計測値(機関データ採取開始から 10 分間の連続記録データの平均値)及び酸素バランス法により NO<sub>x</sub> 排出率を計算した。なお、本船には軸馬力計は設置されていないので、機関出力は機関回転数及びポンプ圧より計算により算出した。

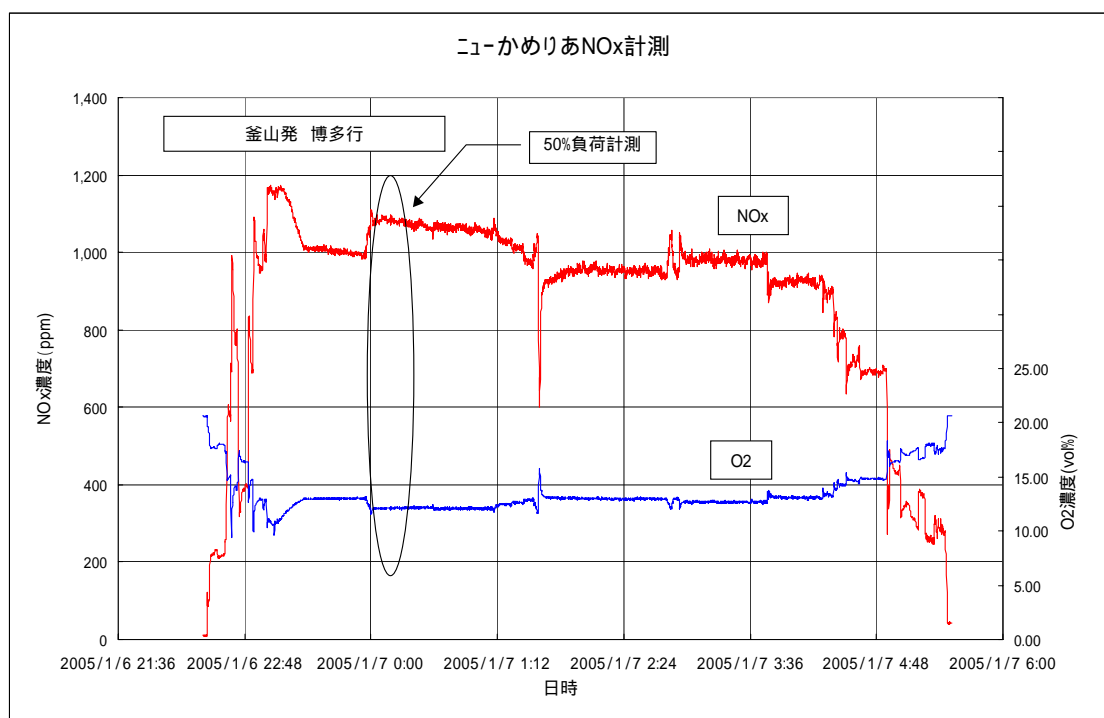


図 5.2.3.4.1.1 50%負荷時の NO<sub>x</sub> 及び O<sub>2</sub> 濃度

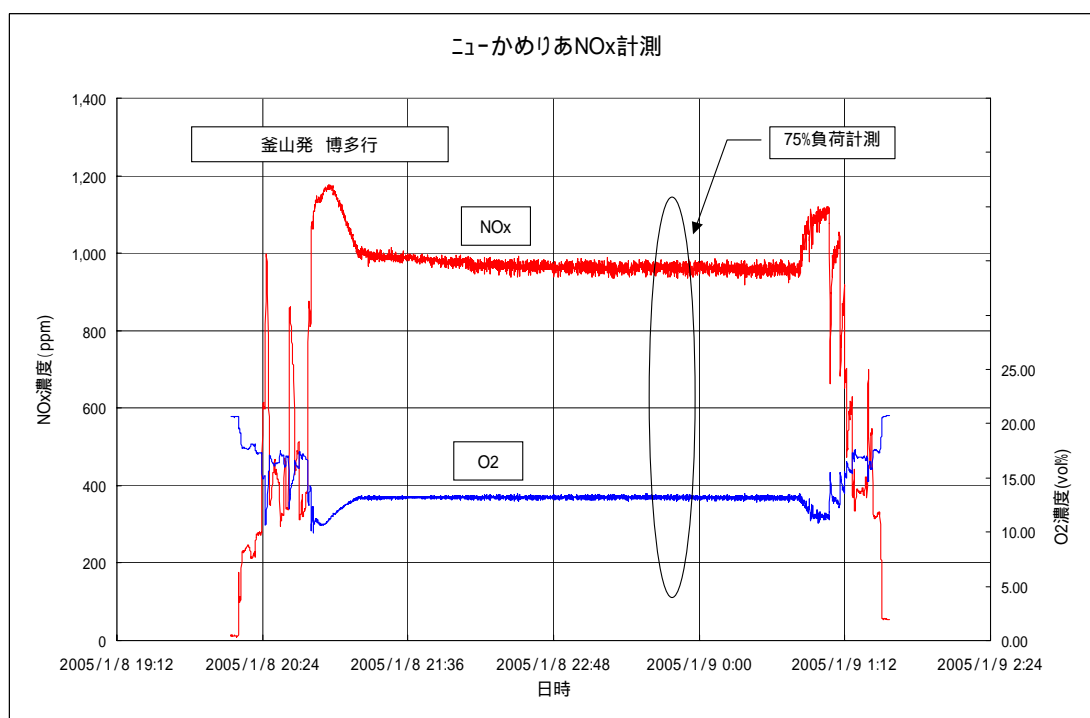


図 5.2.3.4.1.2 75%負荷時の NO<sub>x</sub> 及び O<sub>2</sub> 濃度

表 5.2.3.4.1.1 計測結果一覧表（陸上公試時の計測結果を含む）

計測場所	-	海上		陸上				陸上			
サイクル	-	コombine-タ		E2				E3			
負荷率	%	50	75	25	50	75	100	25	50	75	100
回転数	RPM	434	485	520	520	520	521	327	417	475	521
出力	kW	5,734	7,493	2,501	4,958	7,425	9,956	2,482	4,964	7,426	9,956
NOx濃度	ppm	1,080	960	1,015	1,010	1,126	1,009	1,879	1,319	1,253	1,009
O2濃度	vol%	12.1	13.2	14.3	13.3	13.3	12.8	9.9	11.4	12.7	12.8
NOx排出率	g/kWh	12.60	12.25	12.64	10.33	11.26	10.13	14.03	10.78	11.70	10.13

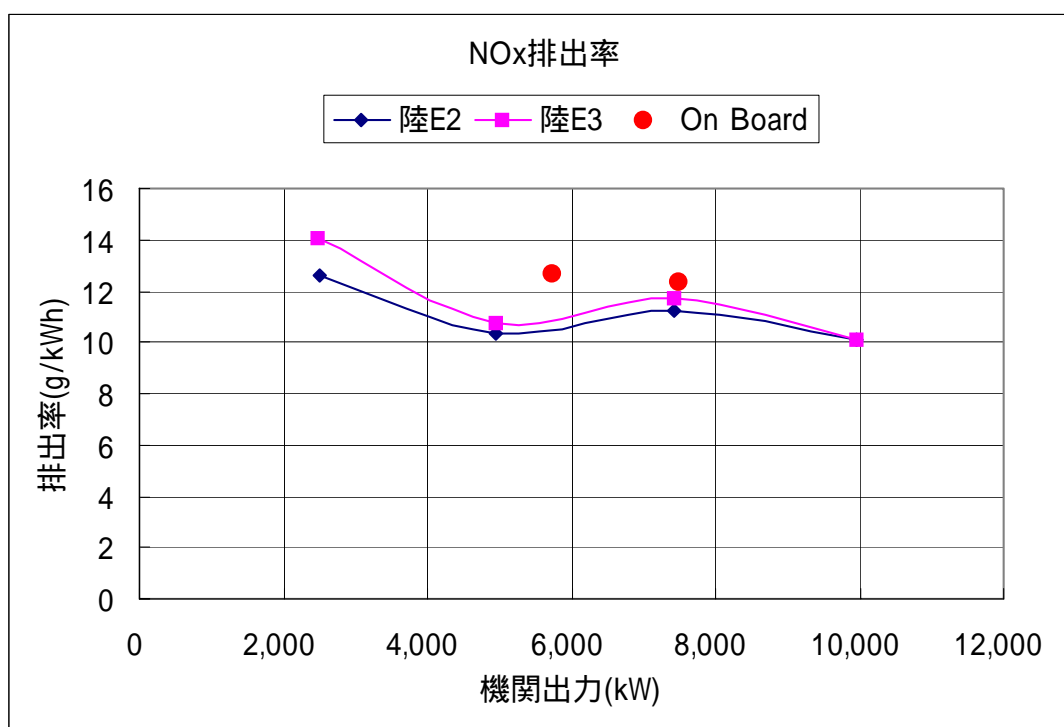


図 5.2.3.4.1.3 NOx 排出率

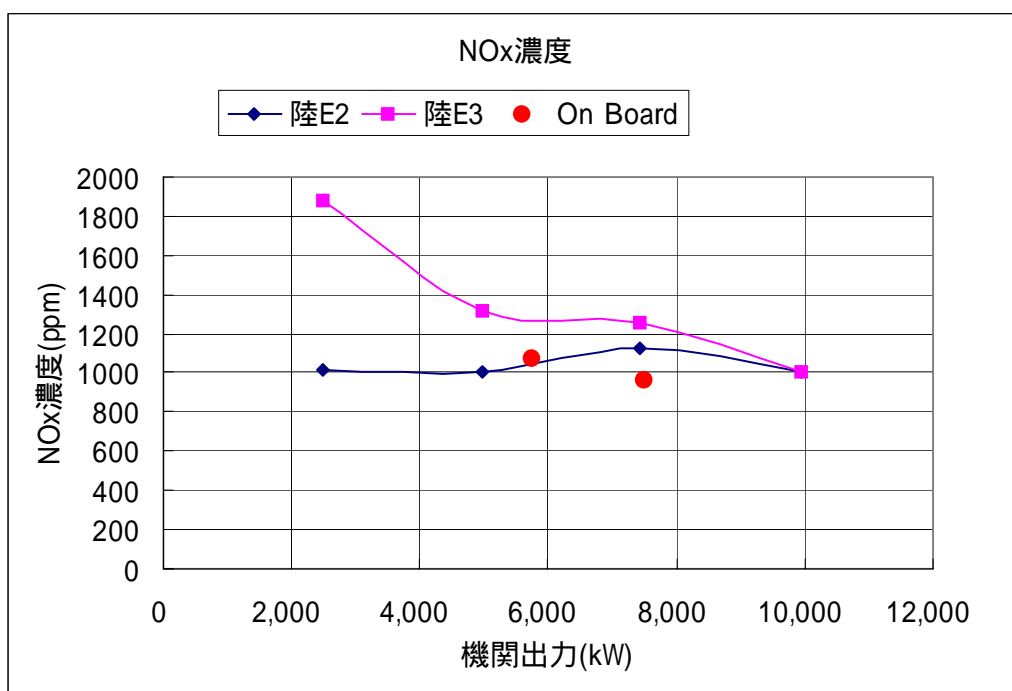


図 5.2.3.4.1.4 NOx 濃度

表 5.2.3.4.1.2 使用燃料油分析結果 (第 1 回目計測時)

使用時		陸上運転	On Board
試料油名		特A重油	IF-180
密度 (15 )	g/cm3	0.8676	0.9712
動粘度 (40 )	mm2/s (cSt)	3.751	
動粘度 (50 )	mm2/s (cSt)		163.3
流動点		-15.0	-10.0
引火点 (PM)		95	116
水分	%(m/m)	0.01	0.01
残留炭素	%(m/m)	0.05	10.5
灰分	%(m/m)	<0.01	0.01
硫黄分	%(m/m)	0.08	2.90
アスファルテン	%(m/m)	-	4.33
総発熱量(計算)	J/g	45380	42879
真発熱量(計算)	J/g	42560	40539
CCAI		819	841
元素分析			
C	%(m/m)	87.37%	86.20%
H	%(m/m)	12.50%	12.40%
N	%(m/m)	0.04%	0.20%
O	%(m/m)	0.01%	0.60%

#### 5.2.3.4.2 適用されるテストサイクルと重み付け係数

本船は可変ピッチプロペラ装備船で、主機関の制御方式は、回転数及び翼角の両方を制御するコンビネータ方式を採用しており、試験台でのテストサイクルは別途計測された親機関の E2 型を採用し、鑑定書が発給されている。但し、当該主機関の制御方式は、前述のとおり回転数及び翼角の両方を制御するコンビネータ方式を採用しており、実際は、プロペラ則に近い運転サイクルとなっている。NTC では、何れのテストサイクルを採用しても、規制値は同一であること及び NO<sub>x</sub> モニタリング計測のためだけに本船の運転サイクルと異なる E2 型テストサイクルを実行し、規制値と比較するのは実際的でないことから、予め設定された本船のコンビネータ方式での運転モードで NO<sub>x</sub> モニタリング計測をした。なお、NO<sub>x</sub> 排出率計算では、E2 型、E3 型テストサイクル共に計測負荷点での重み付け係数は同じである。

#### 5.2.3.4.3 解析結果

陸上公試時と実船運転時の NO<sub>x</sub> 排出率を比較すると、陸上公試時の NO<sub>x</sub> 排出率は E3 型テストサイクルで 11.3g/kWh、E2 型テストサイクルで 10.9g/kWh であるが、実船時の C 重油（180cst）使用時の NO<sub>x</sub> 排出率は 12.3g/kWh となり、本船の NO<sub>x</sub> 規制値である 12.88g/kWh 以内となったが、陸上公試時の E3 型テストサイクルでの計測結果に比較して約 10%程度高い排出率となった。

### 5.2.4 平成 17 年度の課題

#### 5.2.4.1 実船における NO<sub>x</sub> 排出率の傾向把握

本年度の計測データ収集は 1 回のみであったので、今後 NO<sub>x</sub> 排出率の傾向を把握する為にデータ採取を継続する。これと共に現在 NO<sub>x</sub> 鑑定要領で認められている実船での NO<sub>x</sub> 排出率制限値の 15%以内に収まっているのかどうかの検証を行う。

#### 5.2.4.2 計測データの信頼性

##### 1) NO<sub>x</sub> 計測装置の信頼性

本計器の信頼性を検証する。

##### 2) 計測データの信頼性

50%及び 75%負荷での定常運転を確認する為に、計測時の海気象及び本船のコースレコーダのデータを採取する。また、定常状態（10 分間）の始端と終端の機関データも採取する。

#### 5.2.4.3 使用燃料油性状による影響

窒素含有率による NO<sub>x</sub> 排出率（所謂、Fuel NO<sub>x</sub>）の影響を検証する。

#### 5.2.4.4 IAPP 証書再認証シミュレーション

実験によって得られた結果から IAPP 証書を再認証する為のシミュレーションを行う。

### 5.3 SCR 脱硝装置 IMO ガイドライン日本案作成

#### 5.3.1 はじめに

IMO MARPOL 73/78/97 ANNEX VI が 2005 年 5 月に発効されようとしている中、これに伴うガイドラインが作成されている。現在作成されている船上排気ガス洗浄装置ガイドラインに引き続き、船用ディーゼル機関の NO<sub>x</sub> 削減後処理システムの SCR 脱硝装置のガイドラインが作成される予定である。これにいち早く対応するため、今までの日本での実績を踏まえ日本案ドラフトを作成し、平成 17 年 2 月に開催される IMO DE48 に作成したドラフトを Information Paper として提出し、各国のコメントを求め、IMO のガイドライン作成に貢献することを目的としてガイドライン日本案を作成したので報告する。

#### 5.3.2 IMO における経緯

1998 年に開催された第 41 回 IMO MEPC（海洋環境保護委員会）において、船舶からの大気汚染防止に関する MARPOL 新付属書 VI に関する以下のガイドライン作成が合意された。

- 1 Guidelines on representative samples of the fuel delivered for use on-board ships
- 2 Guidelines for on-board NO<sub>x</sub> monitoring and recording devices
- 3 Guidelines on equivalent methods to reduce on-board NO<sub>x</sub> emission
- 4 Guidelines on on-board exhaust gas cleaning systems
- 5 Guidelines on other technological methods verifiable or enforceable to limit SO<sub>x</sub> emission

上記ガイドラインの中で 1 の燃焼用燃料油のサンプリングに関するガイドライン及び 2 の船上 NO<sub>x</sub> モニタリング及び記録装置に関するガイドラインの優位性が高いということで、その後 DE（設計設備小委員会）で作成作業が進められた。燃料油サンプリングガイドラインは 2002 年 3 月に開催された第 47 回 MEPC で承認され、NO<sub>x</sub> モニタリングガイドラインは 2003 年 7 月に開催された第 49 回 MEPC で承認された。

引き続き欧米の要望で 4 の船上排気ガス洗浄装置ガイドラインのドラフト作成が DE で行われている。これは SO<sub>x</sub> 特別規制海域で低硫黄燃料を使用しないで対応するためのものである。

これに対し、既に SCR 脱硝装置を搭載した船舶があることから、日本としては 3 の船上 NO<sub>x</sub> 低減装置の 1 つとして SCR 脱硝装置ガイドラインの作成が必要との観点から、ガイドラインの日本案を作成し、2005 年 2 月に開催される第 48 回 DE にインフォメーションペーパーとして提出し、海外諸国からのコメントを得るとともに、本ガイドライン作成にあたっての優位な立場を築くべく作業している。

#### 5.3.3 研究計画及びチームメンバー

本 SCR 脱硝装置のガイドラインの日本案ドラフトの作成実施項目は、

##### 1) ガイドライン全体構成計画

船舶に搭載されている SCR 脱硝装置の例等を調査し、ガイドライン全体の構成について検討する。

##### 2) ドラフト作成

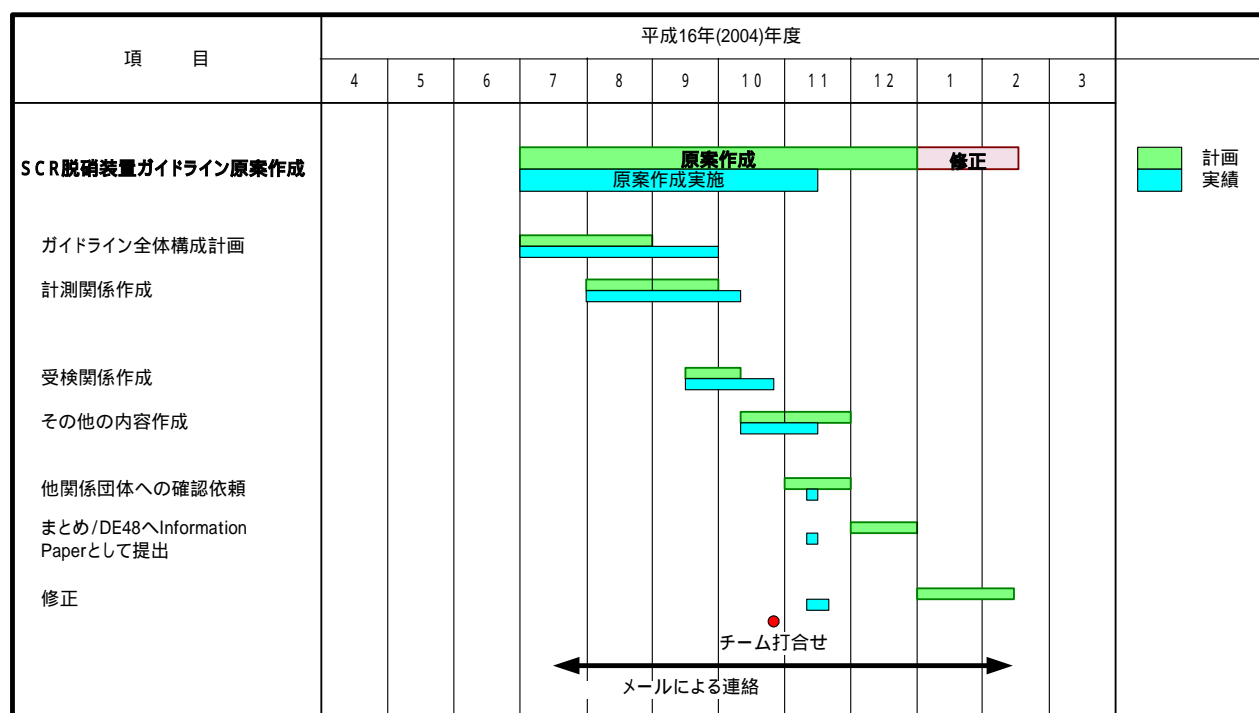
上記全体構成計画を踏まえ、IMO テクニカルコード、ISO 規格等を基に NO<sub>x</sub> の計測関係に関する項目、及び受検関係その他の項目についてドラフトを作成する。

### 3) IMO へ日本案ドラフト提出

DE48 へ作成したドラフトを送付し、各国のコメントを求める。

であり、作成日程計画及び実績を表 5.3.3.1 に示す。

表 5.3.3.1 SCR 脱硝装置 IMO ガイドライン日本案作成日程



チームメンバー： リーダー 川上 雅由 新潟原動機株式会社  
 委員 高野 敏男 MHI ディーゼルサービス株式会社  
 委員 佐藤 一也 財団法人 日本海事協会  
 委員 矢口 敬一 新潟原動機株式会社

### 5.3.4 ガイドライン日本案作成

現在、IMO DE Correspondence Group で Exhaust Gas Cleaning Systems(EGCS)のガイドライン作成の審議が継続されているが、このガイドライン作成検討は最終段階に入っているので、このガイドライン“GUIDELINE ON-BOARD EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS”を基本として、以下の考え方で日本案ドラフトを調整した。

- EGCS を SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION SYSTEM (SCRs)に変更するとともに、NO<sub>x</sub> 関連の計測方法等は NO<sub>x</sub> テクニカルコード<sup>1)</sup>から引用した。
- 計測方法等については ISO 8178-1「排気排出物計測 第1部 ガス状及び粒子状排出物の台上試験」<sup>2)</sup>も参考にした。
- 船上計測法については、“GUIDELINES FOR ON-BOARD NO<sub>x</sub> VERIFICATION PROCEDURE-DIRECT MEASUREMENT AND MONITORING METHOD,DE46/WP.3 ANNEX1”を引用した。

- ・ 陸上、または船上で試験するものとした。
- ・ 運行時の装置適正使用の担保方法についての案を記載した。
- ・ 冷態始動時に予想される問題点等を RESIDUES に追加した。

EGCS ガイドラインを基に上記考え方で日本案構成を検討した比較表を資料 1.に示す。

以上の検討結果を踏まえ、ガイドライン日本案を以下の章で構成した。

## **Principles**

SCR は NO<sub>x</sub> 規制値を満足するための一つのオプションであること、SCR の検査は搭載されるエンジンと接続して計測されること等を記述した。

### **1. NO<sub>x</sub> MEASUREMENT**

NO<sub>x</sub> の計測方法について、テクニカルコード主体に以下の項目について記述した。

- 1.1 General
- 1.2 Test Parameters to be measured and recorded
- 1.3 Brake Power and fuel consumption
- 1.4 Test Fuels
- 1.5 Sampling for Gaseous Emissions
- 1.6 Permissible Deviation of Instruments for Engine-Related Parameters and Other Essential Parameters
- 1.7 Test Cycles
- 1.8 Calculation of Gaseous Emissions
- 1.9 Test Report

### **2. Durability of SYSTEM**

本装置を接続した際の耐久性、背圧、メンテナンスについて、以下の項目について記述した。

- 2.1 Corrosion Effects on Materials
- 2.2 Backpressure
- 2.3 Maintenance

### **3. CERTIFICATION AND COMPLIANCE**

NO<sub>x</sub> 排出規制の検査と適合について記述した。

### **4. PLEDGE**

運行時の装置適正使用の担保方法について案を記載した。

### **5. RESIDUES**

その他注意事項を記載した。

上記に本案ドラフト及び概要をそれぞれ資料 2.及び資料 3.に示す。

#### **5.3.5 業界のコメントと対応**

以下の業界に 5.3.4 ガイドライン日本案ドラフトを送付し、コメントを依頼した。コメントとその対応のまとめを資料 4.に示す。



社団法人 日本船主協会  
社団法人 日本造船工業会  
社団法人 日本船用工業会

#### 5.3.6 おわりに

ここでは、2005 年 5 月に発効される IMO MARPOL 73/78/97 ANNEX VI に伴う船上 NO<sub>x</sub> 削減装置に関する SCR 脱硝装置のガイドライン日本案ドラフトを作成したが、上記削減装置には水噴射装置及び水乳化油装置もあるので、今回の調査・検討結果を活かしてこれらに関するガイドライン作成に繋げ、船舶からの排気ガス低減に貢献できればと考えている。

#### 5.3.7 参考文献

- 1) 船用ディーゼルエンジンからの NO<sub>x</sub> 排出規制に関するテクニカルコード, 1998 年 8 月, 日本海事協会
- 2) ISO 8178-1 Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement-  
Part 1 : Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions

H16.8.26/9.13/9.17/10.1/11.5	Guidelines for Selective Catalytic Reduction System			備考(テクニカルコード/ガイダンス)
Guidelines for Marine Exhaust Gas Cleaning system	Guidelines for Selective Catalytic Reduction System (案)	同左 (改定案)		流用
Principles	Principles	Principles		
1 SOx Measurement	NOx Measurement	NOx Measurement		
1.1 General	General	General		
1.1.1 この節でECGS後流のSOxを計測、計算方法を記述する旨紹介	この節でSCR後流のNOxを計測、計算方法を記述する旨紹介	同左	1.3.1	
1.1.2 本計測手順は船上に設置されたECGSの試験のため	本計測手順は船上に設置されたSCR脱硝装置の試験のため	同左		
1.1.3 本計測手順はECGSを通して排気する全ての機関が対象	本計測手順はSCR脱硝装置を通して排気する全ての機関が対象	主機関、補助機関が対象		
1.1.4 カーボンバランス法のためのO2,HC,CO,CO2の計測はECGSの上流側で実施	カーボンバランス法のためのO2,HC,CO,CO2の計測はSCR脱硝装置の上流側で実施	カーボンバランス法のためのO2,HC,CO,CO2の計測はSCR脱硝装置の下流側で実施	5.9.3.3	
1.1.5 最終評価数値は船舶からの合計SOxを合計正味出力で割って求める。	最終評価数値はSCR脱硝装置から排出されるNOxを正味出力で割って求める。	主機、補機の排気管を一緒にしない (NKコメント)		
1.1.6 テスト結果を1.9節に基づいて作成	テスト結果を1.9節に基づいて作成	同左	6.3.1.5	
1.2 Test parameters to be measured and recorded	Test parameters to be measured and recorded	Test parameters to be measured and recorded		
1.2.1 計測、計算される周囲条件及びテストパラメータのリスト	計測、計算される周囲条件及びテストパラメータのリスト	同左	6.3.2 table6	
1.2.2 インジゲン運転条件を決定する他のセッティングの記録	インジゲン運転条件を決定する他のセッティングの記録	同左		
1.2.3 ECGSのセッティング及び運転条件の記録	SCR脱硝装置のセッティング及び運転条件の記録	同左		
1.2.4 インジン出力と回転数の計測	インジン出力と回転数の計測	同左		
1.2.5 インジン性能及び周囲条件のモニタリング装置の設置	インジン性能及び周囲条件のモニタリング装置の設置	同左	2.3.4.	
1.2.6 電気装置は耐久性、防火、耐湿材質	電気装置は耐久性、防火、耐湿材質	同左		
1.3 Brake power and fuel consumption	Brake power and fuel consumption	Brake power and fuel consumption		
1.3.1 出力の直接計測が困難な場合は、官側の認可する他の手法で推測	出力の直接計測が困難な場合は、官側の認可する他の手法で推測	同左	6.3.1.3	
1.3.1.1 インジゲンのトルクと回転数の直接計測	インジゲンのトルクと回転数の直接計測	同左		
1.3.1.2 製造者のデータを用いたエンジンのトルクと回転数の間接決定	製造者のデータを用いたエンジンのトルクと回転数の間接決定	同左	6.3.3.1, 6.3.3.2	
1.3.1.3 ボイラーの出力を間接決定	-	-	-	
1.3.2 The fuel flow (actual consumption rate) should be determined by;	The fuel flow (actual consumption rate) should be determined by;	The fuel flow (actual consumption rate) should be determined by;		
1.3.2.1 Direct measurement, or by:	Direct measurement, or by:	同左		
1.3.2.2 テストベッドデータ	テストベッドデータ	同左	6.3.1.4	
1.4 Test fuels	Test fuels	Test fuels	5.3	
1.4.1 テスト燃料性状の記録	テスト燃料性状の記録	同左	5.3.1	
1.4.2 テスト燃料の選択はテストの目的による。船上鑑定の場合は硫黄分4.5%もしくは官側の認める燃料で実施	テスト燃料の選択はテストの目的による。船上鑑定の場合は硫黄分4.5%もしくは官側の認める燃料で実施	DM-grade	5.3.2, 6.3.4.1	
1.4.3 船上鑑定燃料(S分4.5%)の代替案	船上鑑定燃料(S分4.5%)の代替案	RM-grade、	6.3.4.2	
1.4.3.1 4.5%以下のS分燃料を使用したときのSox排出量は、4.5% S分に補正		-	-	
1.4.3.2 4.5%以下のS分燃料を使用し、このS分を超える燃料を使用しない		-	-	
1.4.4 船主の許容できない負担を避けるため、SECAでの確認テスト計測は、そこで使用する船上の燃料で実施	船主の許容できない負担を避けるため、SECAでの確認テスト計測は、そこで使用する船上の燃料で実施	1.4.3に	6.3.4.2	
1.4.5 燃料温度は製造者推奨による。	燃料温度は製造者推奨による。	1.4.4に	5.3.3	
1.5 Sampling for gaseous emissions	Sampling for gaseous emissions	Sampling for gaseous emissions	5.9.3	
1.5.1 一般	一般	同左		
1.5.1.1 SoxはSO2ベースの計測	NOxはNO2ベースの計測	同左	1.3.1, 3.1.2	
1.5.1.2 計測システムにおいて排気成分の凝縮が内容注意を払う	計測システムにおいて排気成分の凝縮が内容注意を払う	同左	5.9.2.2	
1.5.1.3 排気サンプルはEGCSの後流側で採取	排気サンプルはSCR脱硝装置の後流側で採取	同左	2.3.4, 5.9.3.1	
1.5.1.4 エンジン及びEGCSの船上設置	エンジン及びSCR脱硝装置の船上設置	同左	6.3.5.2	
1.5.2 SO2 analyser specification	NOx analyser specification	NOx analyser specification	付録3	

H16.8.26/9.13/9.17/10.1/11.5		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System		備考(テクニカルコード/ガイダンス)
	Guidelines for Marine Exhaust Gas Cleaning system	Guidelines for Selective Catalytic Reduction System(案)	同左 (改定案)	
1.5.2.1	分析器は排ガス成分濃度を計測するのに必要な精度を満たす計測レンジを持つものを使用。	分析器は排ガス成分濃度を計測するのに必要な精度を満たす計測レンジを持つものを使用。	同左	2.5倍
1.5.2.2	フルスケールの15%未満の濃度でも十分な精度のある読み取りシステムを持つ場合は、15%未満でも使用できる。	フルスケールの15%未満の濃度でも十分な精度のある読み取りシステムを持つ場合は、15%未満でも使用できる。	同左	
1.5.2.3	EMC計測器は最小の誤差レベル。	ジルコニアセンサ	EMC計測器は最小の誤差レベル。	付録3 1.1 付録3 1.2 付録3 1.3 付録3 1.4 付録3 1.4.1
1.5.2.4	定義	定義	同左	
1.5.2.4.1	計測器の再現性は校正またはスパンガスで与えられた10回の繰り返しに対する2倍の標準偏差で定義される。	計測器の再現性は校正またはスパンガスで与えられた10回の繰り返しに対する2.5倍の標準偏差で定義される。	同左	付録3 1.4.2 付録3 1.4.3 付録3 1.4.4
1.5.2.4.2	計測器の0応答は30秒間隔の0ガスに対するノイズを含んだ平均応答で定義される。	計測器の0応答は30秒間隔の0ガスに対するノイズを含んだ平均応答で定義される。	同左	
1.5.2.4.3	スパンはスパン応答と0応答の差で定義される。	スパンはスパン応答と0応答の差で定義される。	同左	付録3 1.5 付録3 1.6 付録3 1.7 付録3 1.8 付録3 1.9 付録3 2, 5.9.2.2
1.5.2.4.4	スパン応答は30秒間のスパンガスに対するノイズを含む平均応答で定義される。	スパン応答は30秒間のスパンガスに対するノイズを含む平均応答で定義される。	同左	
1.5.2.5	計測誤差	計測誤差	同左	NDIR, PMD, ZRDO・ECS, CLD・HCLD, ZrO <sub>2</sub> ・HFID 付録3 3
1.5.2.6	再現性	再現性	同左	
1.5.2.7	ノイズ	ノイズ	同左	付録4 6.1
1.5.2.8	ゼロドリフト	ゼロドリフト	同左	
1.5.2.9	スパンドリフト	スパンドリフト	同左	5.9.3.2
1.5.2.10	ガスドライ	ガスドライ	同左	
1.5.2.11	計測器 (NDUV)	計測器 (NDUV)	NDIR, PMD, ZRDO・ECS, CLD・HCLD, ZrO <sub>2</sub> ・HFID 付録3 3	5.9.4 5.9.5 5.9.7 5.9.8 5.9.9
1.5.3	純ガス及び校正ガス	純ガス及び校正ガス	同左	
1.5.3.1	純ガス及び校正ガスは1.6節を満足しなければならない。	純ガス及び校正ガスは1.6節を満足しなければならない。	同左	付録4 1.1 付録4 1.2 付録4 1.3, 1.3.2, table3.4 付録4 2 付録4 2.1 付録4 2.2
1.5.3.2	計測器スパンガスは計測器スパン範囲の80～100%。	計測器スパンガスは計測器スパン範囲の80～100%。	80%以上	
1.5.4	ガスサンプリングとトランスファースystem	ガスサンプリングとトランスファースystem	同左	5.8, 付録4 1.1 付録4 1.2 付録4 2.1 付録4 2.2
1.5.4.1	サンプリングガスはエンジン全体の平均排気エミッションであること。	サンプリングガスはエンジン全体の平均排気エミッションであること。	同左	
1.5.4.2	排気ガスサンプルはダクト径の10%から90%の範囲から採取のこと。	排気ガスサンプルはダクト径の10%から90%の範囲から採取のこと。	同左	付録4 2.2.1
1.5.4.3	サンプリンググローブ設置のためにサンプリングポイント接続フランジが必要。	サンプリンググローブ設置のためにサンプリングポイント接続フランジが必要。	同左	
1.5.4.4	ガスサンプルは乾燥しないこと。	ガスサンプルは乾燥しないこと。	-	付録4 2.2.1
1.5.4.5	ガスサンプリングシステムは漏れがないこと。	ガスサンプリングシステムは漏れがないこと。	1.5.4.4に	
1.5.4.6	近接した他のサンプリングポイント	近接した他のサンプリングポイント	1.5.4.5に	付録4 2.2.1
1.5.5	計測中計測器の性能	計測中計測器の性能	同左	
1.5.5.1	計測器は製造者推奨に基づいて操作のこと。	計測器は製造者推奨に基づいて操作のこと。	同左	付録4 2.2.1
1.5.5.2	計測前に、ゼロ及びスパンを確認し、必要あれば調整のこと。	計測前に、ゼロ及びスパンを確認し、必要あれば調整のこと。	同左	
1.5.5.3	テストサイクル	テストサイクル	同左	付録4 2.2.1
1.5.5.4	計測器応答	計測器応答	同左	
1.5.5.5	エンジン条件	エンジン条件	同左	付録4 2.2.1
1.5.5.6	計測終了後の計測器再チェック	計測終了後の計測器再チェック	同左	
1.6	Permissible deviation of instruments for engine-related parameters and other essential parameters	Permissible deviation of instruments for engine-related parameters and other essential parameters	Permissible deviation of instruments for engine-related parameters and other essential parameters	付録4 2.2.1
1.6.1	エンジンパラメータ計測に使用する計測器の校正	エンジンパラメータ計測に使用する計測器の校正	同左	
1.6.2	計測、データ、計算結果が必要	計測、データ、計算結果が必要	同左	付録4 2.2.1
1.6.3	分析器の精度	分析器の精度	同左	
1.6.4	校正ガス	校正ガス	同左	付録4 2.2.1
1.6.4.1	テストベッド計測ではSO <sub>2</sub> 純度99.5%超を使用。	テストベッド計測ではSO <sub>2</sub> 純度99.5%超を使用。	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> +He, 合成空気	
1.6.4.2	校正及びスパンガス	校正及びスパンガス	同左	付録4 2.2.1
1.6.4.2.1	純N <sub>2</sub> 及びSO <sub>2</sub> ガスの混合気が可能	純N <sub>2</sub> 及びSO <sub>2</sub> ガスの混合気が可能	CO+N <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> +N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	

H16.8.26/9.13/9.17/10.1/11.5		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System		備考(テクニカルコード/ガイダンス)
	Guidelines for Marine Exhaust Gas Cleaning system	Guidelines for Selective Catalytic Reduction System(案)	同左 (改定案)	
1.6.4.2.2	校正及びスパンガスの実際の濃度は公称値の+2%以内。	校正及びスパンガスの実際の濃度は公称値の+2%以内。	±2%以内	付録4 2.2.2
1.6.4.2.3	校正及びスパン調整に使用されるガスは純N2または純粋な合成空気で希釈されたガスでもよい。	校正及びスパン調整に使用されるガスは純N2または純粋な合成空気で希釈されたガスでもよい。	±2%以内	付録4 2.2.3
1.6.5	計測器及びサンプリングシステムの操作手順	計測器及びサンプリングシステムの操作手順	同左	付録4 3
1.6.6	漏れテスト	漏れテスト	同左	付録4 4
1.6.6.1	システム漏れテストの実施。	システム漏れテストの実施。	同左	付録4 4.1
1.6.6.2	真空サイドの最大許容漏れ率は流量の0.5%	真空サイドの最大許容漏れ率は流量の0.5%	同左	付録4 4.2
1.6.6.3	他の方法として最初にサンプリングラインで0からスパンガスへのステップ変動を与えて実施。	他の方法として最初にサンプリングラインで0からスパンガスへのステップ変動を与えて実施。	同左	付録4 4.3
1.6.7	校正手続き	校正手続き	同左	付録4 5
1.6.7.1	計測装置について実施	計測装置について実施	同左	付録4 5.1
1.6.7.2	ウォーミングアップ時間は製造者の推奨による。	ウォーミングアップ時間は製造者の推奨による。	同左	付録4 5.2
1.6.7.3	NDUVは必要の場合調整する。	NDUVは必要の場合調整する。	NDIR、HFID	付録4 5.3
1.6.7.4	校正	校正	同左	付録4 5.4
1.6.7.4.1	各通常使用レンジを校正	各通常使用レンジを校正	同左	付録4 5.4.1
1.6.7.4.2	合成空気または窒素でSO2計測器の0設定	合成空気または窒素でSO2計測器の0設定	CO、CO2、NOx、O2計	付録4 5.4.2
1.6.7.4.3	適正な校正ガスで計測器校正	適正な校正ガスで計測器校正	同左	付録4 5.4.3
1.6.7.4.4	必要であれば、0設定及び校正手続きを再実施	必要であれば、0設定及び校正手続きを再実施	同左	付録4 5.4.4
1.6.7.5	校正カーブの作成	校正カーブの作成	同左	付録4 5.5
1.6.7.5.1	一般ガイドライン	一般ガイドライン	同左	付録4 5.5.1
1.6.7.5.1.1	最低5点で作成	最低5点で作成	同左	付録4 5.5.1.1
1.6.7.5.1.2	校正カーブは最小二乗法で計算。	校正カーブは最小二乗法で計算。	同左	付録4 5.5.1.2
1.6.7.5.1.3	校正カーブは各校正位置の通常値から+2%以内、0のときにフルスケールの+1%以内	校正カーブは各校正位置の通常値から+2%以内、0のときにフルスケールの+1%以内	±2% ±1%	付録4 5.5.1.3
1.6.7.5.1.4	校正カーブと校正点から、校正が正しかったか判断可能	校正カーブと校正点から、校正が正しかったか判断可能	同左	付録4 5.5.1.4
1.6.7.5.2	フルスケール15%未満の校正	フルスケール15%未満の校正	同左	付録4 5.5.2
1.6.7.5.2.1	0を除いた最低10点で校正カーブ作成。50%の校正点はフルスケールの10%未満。	0を除いた最低10点で校正カーブ作成。50%の校正点はフルスケールの10%未満。	同左	付録4 5.5.2.1
1.6.7.5.2.2	校正カーブは最小二乗法で計算。	校正カーブは最小二乗法で計算。	同左	付録4 5.5.2.2
1.6.7.5.2.3	校正カーブは各校正位置の通常値から+4%以内、0のときにフルスケールの+1%以内	校正カーブは各校正位置の通常値から+4%以内、0のときにフルスケールの+1%以内	±4% ±1%	付録4 5.5.2.3
1.6.7.5.3	コンピュータ、電子制御レンジスイッチ等の同等の精度が可能となる他の技術を用いることができる。	コンピュータ、電子制御レンジスイッチ等の同等の精度が可能となる他の技術を用いることができる。	同左	付録4 5.5.3
1.6.8	分析前に使用レンジチェック	分析前に使用レンジチェック	同左	付録4 6
1.6.9			NOx変換器効率の試験	付録4 7
1.6.9.1			新規追記	付録4 7.1
1.6.9.2			"	付録4 7.2
1.6.9.3			"	付録4 7.3
1.6.9.4			"	付録4 7.4
1.6.9.4.1			"	付録4 7.4.1
1.6.9.4.2			"	付録4 7.4.2
1.6.9.5			"	付録4 7.5
1.6.9.6			"	付録4 7.6
1.6.9.7			"	付録4 7.7
1.6.9.8			"	付録4 7.8
1.6.9.9			"	付録4 7.9
1.6.9.10			"	付録4 7.10
1.6.10	干渉	干渉	分析している成分以外の排気中ガスが読値に影響を与える	付録4 8
1.6.10.1	分析している成分以外の排気中ガスが読値に影響を与える	分析している成分以外の排気中ガスが読値に影響を与える	CO分析器干渉	付録4 8.1
1.6.10.2	NOxはNDUVに干渉する	NOxはNDUVに干渉する	NOx分析器クインチチェック	付録4 8.2
1.6.10.2.1			新規追記	付録4 8.2.1

H16.8.26/9.13/9.17/10.1/11.5		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System		備考(テクニカルコード/ガイダンス)
Guidelines for Marine Exhaust Gas Cleaning system		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System(案)	同左 (改定案)	
1.6.10.2.1.1			//	付録4 8.2.1.1
1.6.10.2.1.2			//	付録4 8.2.1.2
1.6.10.2.1.3			//	付録4 8.2.1.3
1.6.10.2.2			//	付録4 8.2.2
1.6.10.2.2.1			//	付録4 8.2.2.1
1.6.10.2.2.2			//	付録4 8.2.2.2
1.6.10.2.2.3			//	付録4 8.2.2.3
1.6.10.3			//	付録4 8.3
1.6.10.3.1			//	付録4 8.3.1
1.6.10.3.2			//	付録4 8.3.2
1.6.10.3.3			//	付録4 8.3.3
1.6.9.3	最初の使用のときに干渉チェックを行い、その後主サービス間隔で実施。	最初の使用のときに干渉チェックを行い、その後主サービス間隔で実施。	-	
1.6.11	校正間隔 少なくとも最低3ヶ月ごとに校正実施。または、校正に影響を及ぼす修理、変更をした場合も実施。	校正間隔 少なくとも最低3ヶ月ごとに校正実施。または、校正に影響を及ぼす修理、変更をした場合も実施。	HC分析計とサンプリング	
1.6.11.1			新規追記	
1.6.11.2			//	
1.6.11.2.1			//	
1.6.11.2.2			//	
1.6.12			校正間隔 少なくとも最低3ヶ月ごとに校正実施。または、校正に影響を及ぼす修理、変更をした場合も実施。	付録4 9
1.7	Test cycles	Test cycles	Test cycles	6.3.9
1.7.1	船上で使用するテストサイクルはテクニカルコード第3章、3.2節に定義されているテストサイクル	船上で使用するテストサイクルはテクニカルコード第3章、3.2節に定義されているテストサイクル	同左	6.3.9.1
1.7.2	船上のエンジン運転は常にテストサイクル通りにできるとは限らないが、官側が承認したテクニカルコードに定義された手順に極力近づけて実施	船上のエンジン運転は常にテストサイクル通りにできるとは限らないが、官側が承認したテクニカルコードに定義された手順に極力近づけて実施	同左	6.3.9.2
1.7.3	E3テストサイクルにおいて、実際のプロペラカーブがE3カーブと異なる場合は、エンジン回転数、または相当平均有効圧力、または平均図指圧力を使用	E3テストサイクルにおいて、実際のプロペラカーブがE3カーブと異なる場合は、エンジン回転数、または相当平均有効圧力、または平均図指圧力を使用	同左	
1.7.4	船上での計測点数がテストベッドと異なる場合は、測定点及び重み係数の官側承認が必要	船上での計測点数がテストベッドと異なる場合は、測定点及び重み係数の官側承認が必要	同左	6.3.9.3
1.7.5	E2/E3/D2テストサイクルに関しては、最低負荷点数がテクニカルコードに示されているように重み係数が0.5以上	E2/E3/D2テストサイクルに関しては、最低負荷点数がテクニカルコードに示されているように重み係数が0.5以上	同左	
1.7.6	C1テストサイクルに関しては、負荷点の最小数は各々定格、中間、アイドル使用	C1テストサイクルに関しては、負荷点の最小数は各々定格、中間、アイドル使用	同左	
1.7.7	船上の計測点数がテストベッド計測と異なる場合は、合計が1.0になるように比例で増加させる	船上の計測点数がテストベッド計測と異なる場合は、合計が1.0になるように比例で増加させる	同左	
1.7.8	実際の負荷点は定格の±5%	実際の負荷点は定格の±5%	同左	
1.7.9	アイドル以外の選択された負荷点では、最初の遷移期間後、10分以上、出力を負荷点のCOV5%以内に維持する	アイドル以外の選択された負荷点では、最初の遷移期間後、10分以上、出力を負荷点のCOV5%以内に維持する	同左	
1.7.10	C1テストサイクルに関しては、アイドル回転数許容値は申請。官側の認可要。	C1テストサイクルに関しては、アイドル回転数許容値は申請。官側の認可要。	同左	
1.8	Calculation of gaseous emissions	Calculation of gaseous emissions	Calculation of gaseous emissions	6.3.10, 5.12
1.8.1	テスト条件	テスト条件	同左	
1.8.2	エミッション計算のためのデータ	エミッション計算のためのデータ	同左	

H16.8.26/9.13/9.17/10.1/11.5		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System		備考(テクニカルコード/ガイダンス)
Guidelines for Marine Exhaust Gas Cleaning system		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System(案)	同左 (改定案)	
1.8.2.1	テスト及び全てのチェックに関する計測器出力を記録	テスト及び全てのチェックに関する計測器出力を記録	最後の10分間流した状態で記録	5.9.7
1.8.2.2	ガスエミッションの評価は、各負荷点の安定した10分間の1Hzミニマムチャートを平均する	ガスエミッションの評価は、各負荷点の安定した10分間の1Hzミニマムチャートを平均する	各モードの最終60秒のチャート読みの平均	5.11
1.8.2.3	上記10分間の最低限、エミッション濃度、エンジン性能、周囲条件のデータを記録する。	上記10分間の最低限、エミッション濃度、エンジン性能、周囲条件のデータを記録する。	エンジンが安定したら計測	5.9.8
1.8.2.4			上記10分間の最低限、エミッション濃度、エンジン性能、周囲条件のデータを記録する。	
1.8.3	燃料性状	燃料性状	-	
1.8.3.1	湿り排気ガス量を計算する燃料組成は、燃料性状分析または鑑定試験でなく燃料組成がわからないときは添付表使用	湿り排気ガス量を計算する燃料組成は、燃料性状分析または鑑定試験でなく燃料組成がわからないときは添付表使用	添付表使用禁止、-	
1.8.4	排気ガス密度	排気ガス密度	-	
1.8.4.1	湿り重量流量及び1.8.7節からの係数"u"を計算するため、排気ガス密度を計算またはデフォルト値で与える	湿り重量流量及び1.8.7節からの係数"u"を計算するため、排気ガス密度を計算またはデフォルト値で与える	-	
1.8.3	排気ガス量 排気ガス量は1.8.5.1,1.8.5.2、または1.8.5.3で定義された評価方法を用いて決定	排気ガス量 排気ガス量は1.8.5.1,1.8.5.2、または1.8.5.3で定義された評価方法を用いて決定	排気ガス量 排気ガス量は1.8.3.1から1.8.3.3で定義された評価方法を用いて決定	5.12.1
1.8.3.1	直接計測(ISOで認められたノズルまたは同等の計測方法)	直接計測(ISOで認められたノズルまたは同等の計測方法)	同左	5.5.1
1.8.3.2	空気及び燃料計測方法	空気及び燃料計測方法	同左	5.5.2
1.8.3.2.1	空気と燃料計測方法を用いて排気エミッション流量を決定する方法はISO規格に基づいて実施	空気と燃料計測方法を用いて排気エミッション流量を決定する方法はISO規格に基づいて実施	同左	5.5.2.1
1.8.3.2.2	空気流量計及び燃料流量計は1.6.3で定義された精度のものを使用	空気流量計及び燃料流量計は1.6.3で定義された精度のものを使用	空気流量計及び燃料流量計は付録4の1.3.1で定義された精度のものを使用	5.5.2.2
1.8.3.2.3	SOxエミッション計測はECGSの後流で湿りベースで計測	NOxエミッション計測はSCR脱硝装置の後流で計測	排気ガス量計算方法	5.5.2.3
1.8.3.2.4	排気ガス量計算方法	排気ガス量計算方法	-	
1.8.3.3	カーボンバランス法	カーボンバランス法	カーボン及び酸素バランス法を用い燃料性状と排気ガス濃度から排気ガス量を計算	5.5.3
1.8.3.3.1	カーボン及び酸素バランス法を用い燃料性状と排気ガス濃度から排気ガス量を計算	カーボン及び酸素バランス法を用い燃料性状と排気ガス濃度から排気ガス量を計算	-	
1.8.5.3.2	カーボンバランス計算のアプローチではECGS上流側の湿度を決定するのに用いられる	カーボンバランス計算のアプローチではSCR脱硝装置上流側の湿度を決定するのに用いられる	-	
1.8.5.3.3	ECGSの後流側の湿度は排気ガス温度を計測し、この温度を排気ガスの露点とすることで求められる	SCR脱硝装置の後流側の湿度は排気ガス温度を計測し、この温度を排気ガスの露点とすることで求められる	-	
1.8.4	乾き/湿り補正 湿りサンプルを使用すれば補正不要	乾き/湿り補正 湿りサンプルを使用すれば補正不要	乾き/湿り補正	5.12.2
1.8.4.1			新規追記	5.12.2.1
1.8.4.2			"	5.12.2.2
1.8.4.3			"	5.12.2.3
1.8.4.4			"	5.12.2.4
1.8.4.5			"	5.12.2.5
1.8.4.6			"	5.12.2.6
1.8.4.7			"	5.12.2.7
1.8.5			湿度/温度のNOx補正	5.12.3
1.8.5.1			新規追記	5.12.3.1
1.8.5.2			"	5.12.3.2
1.8.5.3			"	5.12.3.3
1.8.5.4			"	5.12.3.4
1.8.5.5			一般のDE	5.12.3.5
1.8.5.6			中間空気冷却器付きDE	5.12.3.6

H16.8.26/9.13/9.17/10.1/11.5		Guidelines for Selective Catalytic Reduction System		備考(テクニカルコード/ガイダンス)
	Guidelines for Marine Exhaust Gas Cleaning system	Guidelines for Selective Catalytic Reduction System(案)	同左 (改定案)	
1.8.6	エミッション流量及びエミッション排出率計算	エミッション流量及びエミッション排出率計算	エミッション流量計算	5.12.4
1.8.6.1	計算式	計算式	同左	5.12.4.1
1.8.6.2	係数"u", "w"の定義	係数"u", "w"の定義	係数"u", "v", "w"の定義	5.12.4.2
1.8.7	エミッション排出率計算	エミッション排出率計算	同左	5.12.5
1.8.7.1	SO2排出率の計算式	NOx排出率の計算式	各成分排出量の計算式	5.12.5.1
1.8.7.2	重み係数とモード数	重み係数とモード数	同左	5.12.5.2
1.8.7.3	(5)によって求めた排出率が6g/kWh以下になること		3.1 図1との比較	5.12.5.3
1.9	Test report	Test report	Test report	5.10
1.9.1	ECGSの証書が必要	SCR脱硝装置の証書が必要		5.10.1
1.9.2	ECGSのテクニカルファイルとしてテストレポートを添付	SCR脱硝装置のテクニカルファイルとしてテストレポートを添付	同左	5.10.2
2	Durability of System	Durability of System	Durability of System	
2.1	材料の腐食	材料の腐食	腐食に対して過酷な条件で使われる材料は、腐食許容力が必要	
2.1.1	腐食に対して過酷な条件で使われる材料は、腐食許容力が必要	腐食に対して過酷な条件で使われる材料は、腐食許容力が必要	-	
2.1.2	システムは煙道の過度の腐食がないよう設計要	システムは煙道の過度の腐食がないよう設計要	-	
2.2	Backpressure	Backpressure	Backpressure	
2.2.1	エンジン製造者によって決められた背圧限界を超えないよう設計	エンジン製造者によって決められた背圧限界を超えないよう設計	同左	
2.2.2	ECGSは上記のモニタリングシステムを付属のこと	SCR脱硝装置は上記のモニタリングシステムを付属のこと	同左	
2.3	Maintenance	Maintenance	Maintenance	
2.3.1	ECGS製造者は性能維持のための通常のメンテナンスを明確にする	SCR脱硝装置製造者は性能維持のための通常のメンテナンスを明確にする	同左	
2.3.2	ECGS製造者のメンテナンス説明書を使って、ECGSを維持するのは船主の責任	SCR脱硝装置製造者のメンテナンス説明書を使って、SCR脱硝装置を維持するのは船主の責任	同左	
3	Certification and Compliance	Certification and Compliance	Certification and Compliance	2.2.5, 2.3.7, 2.3.8
4			Pledge追加	
5	Residues	Residues	Residues	
追加分		<p>排気ガス温度が許容運転温度範囲以外の対応</p> <p>計測器の各ガスの校正等 簡易計測法、直接計測法 排気ガスデータの評価(最終60秒のチャートの読み)、10分間流す NOxの許容差</p>	<p>NOxモニター 還元剤の消費量の記録 検証手段(運転中) SCR脱硝装置の作動チェック</p> <p>SCR脱硝装置後のリークアンモニアの配慮 その他有害物質への配慮</p>	<p>2.3.8 2.3.4, 2.3.7, 2.4.5 6.2.1.8</p> <p>5.11、5.9.7 6.3.11</p>

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION



IMO

*E*

SUB-COMMITTEE ON SHIP DESIGN AND  
EQUIPMENT  
48th session  
Agenda item 13

DE 48/INF.3  
17 November 2004  
ENGLISH ONLY

## GUIDELINES ON ON-BOARD EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS

### Investigation for draft guidelines for MARPOL Annex VI, regulation 13(3)(b)(i) Marine selective catalytic reduction systems

Submitted by Japan

#### SUMMARY

**Executive summary:** This document provides the information on investigation for draft Guidelines for marine selective catalytic reduction systems related to regulation 13(3)(b)(i) of MARPOL Annex VI. This work has been included in the future work programme of the DE Sub-Committee but the work has not yet been initiated at the Sub-Committee. Considering that many vessels with SCR system are already running, we should establish the guidelines for the SCR system as soon as possible. This paper should be used as draft SCR guidelines to be developed by the Sub-Committee to speed up the work

**Action to be taken:** Paragraph 6

**Related document:** MEPC 51/4/1

#### Background

1 At present, SCR NO<sub>x</sub> reducing system is widely used in the land based 4-stroke cycle power generating diesel plant. It is also used in marine application recently. The developing work of the SCR guidelines is listed as future work programme of the DE Sub-Committee but not yet initiated.

#### Purpose

2 Japan started to investigate for draft Guidelines for marine selective catalytic reduction systems related to regulation 13(3)(b)(i) of MARPOL Annex VI (SCR NO<sub>x</sub> reducing system).

3 To speed up the issue of work at the Sub-Committee, Japan has drafted the guidelines on the SCR NO<sub>x</sub> reducing system for the review of interested countries before starting the official drafting work. This draft is basically arranged using the Guidelines on on-board exhaust gas cleaning systems (EGCS) that is under drafting work at the Sub-Committee. It is highly appreciated to receive many comments from parties interested to brush up the draft at any time.

For reasons of economy, this document is printed in a limited number. Delegates are kindly asked to bring their copies to meetings and not to request additional copies.

I:\DE\48\INF-3.doc



4 Japan intends to develop the drafts of the water injection system and emulsified fuel system as NOx reduction devices in the same manner as the next step.

5 The Sub-Committee is invited to consider these draft Guidelines for SCR NOx reducing system attached as annex to this document, when discussing the issue on reduction of NOx emission at further sessions.

**Action requested of the Sub-Committee**

6 The Sub-Committee is invited to take note of the information provided in the annex and take action as appropriate.

\*\*\*

## ANNEX

### GUIDELINES FOR MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(i); MARINE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION SYSTEMS

#### PRINCIPLES

These Guidelines are intended as an objective, performance-based document. These Guidelines are recommendatory in nature. However, national administrations are invited to base their implementation on these guidelines. The use of a Selective Catalytic Reduction System (SCRS) is one of options to meet the NO<sub>x</sub> emission limits as required by regulation 13 (3) of Annex VI.

The NO<sub>x</sub> emission standard of Regulation 13 (3) should be achieved based on the emissions from each engine. For the purpose of this standard, NO<sub>x</sub> refers to the each weight of the Nitrogen dioxides emission from the engine. However, no other pollutant should be increased as the consequence of a SCRS, either in the exhaust.

The SCRS should be considered an integral part of the ship's power plant. Therefore, the SCRS should be certified with using the engines that it will be connected to on board the ship or to on test bed of the shop. This is important because a SCRS may not achieve the same emission results regardless of the engine on which it is installed. The ability of a SCRS to reduce NO<sub>x</sub> is dependent on engine and operation characteristics that are not constant across all marine diesel engines. Factors that may affect the performance of a SCRS are load of the engine, exhaust flow rates, exhaust temperature. Certification of a SCRS independent of an engine may not ensure attainment of the standards in use.

#### 1 NO<sub>x</sub> MEASUREMENT

##### 1.1 General

1.1.1 This section specifies the measurement and calculation methods for NO<sub>x</sub> exhaust emissions (calculated as the weighted emission of NO<sub>2</sub>) downstream of a selective catalytic reduction system (SCRS) from engines, under steady-state conditions, necessary for determining the average weighted value for the NO<sub>x</sub> exhaust gas emission.

1.1.2 These measurement procedures are intended for testing a SCRS while installed on-board a vessel. This procedure can also be used for testing a SCRS at test bed measurement.

1.1.3 The measurement procedure shall capture emissions from the engines that are covered by the SCRS. These engines include propulsion and auxiliary diesel engines.

1.1.4 Measurements for O<sub>2</sub>, HC, CO, and CO<sub>2</sub> used for carbon balance calculations shall be made downstream of the SCRS using the procedures specified in the NO<sub>x</sub> Technical Code.

1.1.5 In principle, exhaust pipes of two or more engines are not to be connected together. But if the pipes have to be led to a common silencer, effective means are to be arranged to prevent the return of exhaust gases to the cylinders of non-operating engines.

1.1.6 Except as otherwise specified, all results of measurements, test data, or calculations required by this section shall be recorded in the SCRS's test report in accordance with section 1.9.

## 1.2 Test parameters to be measured and recorded

1.2.1 Table 1.1 lists the ambient conditions and test parameters that shall be measured, or calculated, and recorded at each mode point during on-board NOx measurement.

Table 1.1 – Engine parameters to be measured and recorded

Symbol	Parameter	Dimension
$b_{x,i}$	specific fuel consumption (if possible) (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	kg/kW h
$H_a$	absolute humidity (mass of engine intake air water content related to mass of dry air)	g/kg
$n_{d,i}$	engine speed (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	min <sup>-1</sup>
$n_{turb,i}$	turbocharger speed (if applicable) (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	min <sup>-1</sup>
$p_B$	total barometric pressure (in ISO 3046-1, 1995: $p_x = P_x =$ site ambient total pressure)	kPa
$p_{be,i}$	air pressure after the charge air cooler (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	kPa
$P_i$	brake power (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	kW
$P_{aux,i}$	Auxiliary power (if relevant)	kW
$s_i$	fuel rack position (of each cylinder, if applicable) (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	
$T_a$	temperature at air inlet (in ISO 3046-1, 1995: $T_x = TT_x =$ site ambient thermodynamic air temperature)	K
$T_{ba,i}$	air temperature after the charge air cooler (if applicable) (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	K
$T_{clin}$	coolant temperature inlet	K
$T_{clout}$	coolant temperature outlet	K
$T_{Exh,i}$	exhaust gas temperature at the sampling point (at the $i^{\text{th}}$ mode during the cycle)	K
$T_{Fuel}$	fuel oil temperature before the engine	K
$T_{sc}$	charge air temperature at receiver (if applicable)	K
$T_{caclin}$	Charge air cooler inlet coolant temperature (if applicable)	K
$T_{caclout}$	Charge air cooler coolant outlet temperature (if applicable)	K
$T_{Sea}$	sea-water temperature	K
$T_{oil\ out/in}$	lubricating oil temperature, outlet/inlet	K
$G_{FUEL}$	Fuel flow (as specified below)	Kg/h

1.2.2 Other engine settings necessary to define engine operating conditions, e.g. wastegate, charge air bypass, turbocharger status, should be determined and recorded.

1.2.3 The settings and operating conditions of the SCRS should be determined and recorded.

1.2.4 The engine power and speed should be measured to determine whether the engine operated in a mode according to the specified test cycles (see section 1.7).

1.2.5 The engine performance and ambient condition monitoring equipment should be installed and maintained in accordance with manufacturers' recommendations such that requirements of paragraph 1.6 of this appendix, tables 1.2 and 1.3 are met in respect of the permissible deviations.

1.2.6 Electrical equipment should be constructed of durable, flame-retardant, moisture resistant materials, which are not subject to deterioration in the installed environment and at the temperatures to which the equipment is likely to be exposed. This equipment should be designed such that the current carrying parts with potential to earth are protected against accidental contact.

### **1.3 Brake power and fuel consumption**

1.3.1 If it is difficult to measure power directly, uncorrected brake power may be estimated by any other means approved by the Administration. Possible methods to determine brake power include but are not limited to:

1.3.1.1 Directly measuring the engine torque and engine speed. For directly coupled gearboxes, the uncorrected brake power should be readily obtainable through direct measurement such as using strain gages. The permissible deviations of instruments for measurement of engine-related parameters for on-board verification purposes are specified in section 1.6.

1.3.1.2 Indirect determination of engine torque and engine speed using manufacturer data. The engines, as may be presented on-board, could, in many applications, be arranged such that the measurements of torque (as obtained from a specially installed strain gauge) may not be possible due to the absence of a clear shaft. Principal in this group would be generators, but engines may also be coupled to pumps, hydraulic units, compressors, etc. The engines driving such machinery would typically have been tested against a water brake at the manufacture stage prior to the permanent connection of the power-consuming unit when installed on-board. For generators this should not pose a problem to use voltage and amperage measurements together with a manufacturer's declared generator efficiency. For propeller-law-governed equipment, a declared speed-power curve may be applied together with ensured capability to measure engine speed, either from the free end or by ratio of, for example, the camshaft speed.

1.3.2 The fuel flow (actual consumption rate) should be determined by:

1.3.2.1 Direct measurement, or by:

1.3.2.2 Test bed data: In practical cases, it is often impossible to measure the fuel consumption once an engine has been installed on-board a ship. To simplify the procedure on-board, the results of the measurement of the fuel consumption from an engine's pre-certification test-bed testing may be accepted. In such cases, especially concerning heavy fuel operation, estimation with a corresponding estimated error shall be made. Since the oil fuel flow rate used in the calculation ( $G_{\text{FUEL}}$ ) must relate to the oil fuel composition determined in respect of the fuel sample drawn during the test, the measurement of  $G_{\text{FUEL}}$  from the test-bed testing shall be corrected for any difference in net calorific values between the test-bed and test oil fuels. The consequences of such an error on the final emissions shall be calculated and reported with the results of the emission measurement.

### **1.4 Test fuels**

1.4.1 Fuel characteristics may influence the engine exhaust gas emission. Therefore, the characteristics of the fuel used for the test shall be determined and recorded. Where reference fuels are used, the reference code or specifications and the analysis of the fuel shall be provided.

1.4.2 The selection of the fuel for the test depends on the purpose of the test. Unless otherwise agreed by the Administration and when a suitable reference fuel is not available, a DM-grade marine fuel specified in ISO 8217, 1996, with properties suitable for the engine type, shall be used.

1.4.3 To avoid an unacceptable burden to the shipowner, the measurements for confirmation tests or re-surveys may, based on the recommendation of the engine manufacturer and the approval of the Administration, be allowed with an engine running on the heavy fuel oil of an ISO 8217, 1996, RM-grade. In such a case the fuel bound nitrogen and the ignition quality of the fuel may have an influence on the NO<sub>x</sub> emissions of the engine.

1.4.4 The fuel temperature shall be in accordance with the manufacturer's recommendations. The fuel temperature shall be measured at the inlet to the fuel injection pump or as specified by the manufacturer, and the temperature and location of measurement recorded.

## **1.5 Sampling for gaseous emissions**

### **1.5.1 General**

1.5.1.1 NO<sub>x</sub> shall be calculated as the total weighted emission of NO<sub>2</sub>. NO<sub>x</sub> Emissions means the total emission of nitrogen oxides, calculated as the total weighted emission of NO<sub>2</sub> and determined using the relevant test cycles and measurement methods as specified in the NO<sub>x</sub> Technical Code.

1.5.1.2 For the raw exhaust gas, the sample for all components may be taken with one sampling probe or with two sampling probes located in close proximity and internally split to the different analysers. Care must be taken that no condensation of the exhaust components (including water and sulphuric acid) occurs at any point of the analytic system.

1.5.1.3 The sampling probes for the gaseous emissions shall be fitted at least 0.5 m or 3 times the diameter of the exhaust pipe – whichever is the larger – upstream of the exit of the exhaust gas system, as far as practicable, but sufficiently close to the engine so as to ensure an exhaust gas temperature of at least 343K (70°C) at the probe to prevent condensation.

1.5.1.4 The installation on-board of all engines and SCRS shall be such that these tests may be performed safely and with minimal interference to the engine. Adequate arrangements for the sampling of the exhaust gas and the ability to obtain the required data shall be provided on-board a ship. The uptakes of all engines shall be fitted with an accessible standard sampling point.

### **1.5.2 NO<sub>x</sub> analyser specifications**

1.5.2.1 The analysers shall have a measuring range appropriate for the accuracy required to measure the concentrations of the exhaust gas components (see 1.5.2.5). All analysers shall be capable of continuous measurement from the gas stream and provide a continuous output response capable of being recorded. It is recommended that the analyser range should be operated such that the measured concentration falls between 15% and 100% of full scale.

1.5.2.2 If read-out systems (computers, data loggers, etc.) that provide sufficient accuracy and resolution below 15% of full scale are used, concentrations below 15% of full scale may also be

acceptable. In this case, additional calibrations shall be made to ensure the accuracy of the calibration curves (see 1.6.7.5.2).

1.5.2.3 The electromagnetic compatibility (EMC) of the equipment shall be on a level to minimize additional errors.

#### 1.5.2.4 Definitions

1.5.2.4.1 The repeatability of an analyser is defined as 2.5 times the standard deviation of 10 repetitive responses to a given calibration or span gas.

1.5.2.4.2 The zero response of an analyser is defined as the mean response, including noise, to a zero gas during a 30 seconds time interval.

1.5.2.4.3 Span is defined as the difference between the span response and the zero response.

1.5.2.4.4 The span response is defined as the mean response, including noise, to a span gas during a 30 seconds time interval.

#### 1.5.2.5 Measurement error

The total measurement error of an analyser, including the cross sensitivity to other gases (see 1.6.10), shall not exceed  $\pm 5\%$  of the reading or  $\pm 3.5\%$  of full scale, whichever is smaller. For concentrations of less than 100 ppm, the measurement error shall not exceed  $\pm 4$  ppm.

#### 1.5.2.6 Repeatability

The repeatability of an analyser shall be no greater than  $\pm 1\%$  of full scale concentration for each range used above 155 ppm (or ppm C) or  $\pm 2\%$  of each range used below 155 ppm (or ppm C).

#### 1.5.2.7 Noise

The analyser peak-to-peak response to zero and calibration or span gases over any 10 seconds period shall not exceed 2% of full scale on all ranges used.

#### 1.5.2.8 Zero drift

The zero drift during a one hour period shall be less than 2% of full scale on the lowest range used.

#### 1.5.2.9 Span drift

The span drift during a one hour period shall be less than 2% of full scale on the lowest range used.

#### 1.5.2.10 Gas drying

The optional gas drying device shall have a minimal effect on the concentration of the measured gases. Chemical dryers are not an acceptable method of removing water from the sample.

#### 1.5.2.11 Analyser

The gases to be measured shall be analysed with the following instruments. For non-linear analysers, the use of linearising circuits is permitted.

- .1 Carbon monoxide (CO) analysis  
The carbon monoxide analyser shall be of the Non-Dispersive InfraRed (NDIR) absorption type.
- .2 Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) analysis  
The carbon dioxide analyser shall be of the Non-Dispersive InfraRed (NDIR) absorption type.
- .3 Oxygen (O<sub>2</sub>) analysis  
Oxygen analysers shall be of the ParaMagnetic Detector (PMD), Zirconium DiOxide (ZRDO) or ElectroChemical Sensor (ECS) type.

Note: Electrochemical sensors shall be compensated for CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> interference.

- .4 Oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>) analysis  
The oxides of nitrogen analyser shall be of the ChemiLuminescent Detector (CLD) or Heated ChemiLuminescent Detector (HCLD) type with a NO<sub>2</sub>/NO converter, if measured on a dry basis. If measured on a wet basis, an HCLD with converter maintained above 333K (60°C) shall be used, provided the water quench check (see 1.6.10.2.2) is satisfied.  
Zirconia (ZrO<sub>2</sub>) sensors analyzer can also be used for the nitrogen oxides at site measurement.
- .5 Hydrocarbon (HC) Analysis  
The hydrocarbon analyzer shall be of the heated flame ionization detector (HFID) type with detector, valves, pipework, etc. heated so as to maintain a gas temperature of 463 K ±10K (190 C ± 10°C)

#### 1.5.3 Pure and calibration gases

1.5.3.1 Pure and calibration gases, as required should comply with Section 1.6. Declared concentrations should be traceable to national and/or international standards. Calibration gases should be in accordance with the analysing equipment manufacturer's recommendations.

1.5.3.2 Analyser span gases should be more than 80% of full scale of the measuring range.

#### 1.5.4 Gas sampling and transfer system

1.5.4.1 The exhaust gas sample should be representative of the average exhaust emission downstream of the SCRS. The gas sampling system should comply with paragraph 1.5.1.3 of these guidelines.

1.5.4.2 The exhaust gas sample should be drawn from a zone between 10% and 90% of the exhaust pipe diameter.

1.5.4.3 A sampling point connection flange is required to facilitate the installation of the sampling probe. The flange should be fitted to an insulated stub pipe of a suitable gauge material aligned with the exhaust pipe diameter. The stub pipe should be no longer than that necessary to project beyond the exhaust duct cladding sufficient to enable access to the far side of the flange and should terminate at an accessible position free from nearby obstructions which would interfere with the location or mounting of a sample probe and associated fittings. When not in use, the sub pipe should be closed with a steel blank flange and a gasket of suitable heat resisting material. The sampling flange, and closing blank flange, when not in use should be covered with a readily removable and suitable heat resistant material which protects against accidental contact.

1.5.4.4 The gas sampling system should be capable of being verified to be free of ingress leakage in accordance with analysing equipment manufacturer's recommendations.

1.5.4.5 An additional sample point adjacent to that used should be provided to facilitate quality control checks on the system.

#### 1.5.5 Analyser in-service performance

1.5.5.1 Analysing equipment should be operated in accordance with manufacturer's recommendations

1.5.5.2 Prior to measurement, zero and span values should be checked and the analyser should be adjusted as necessary.

#### 1.5.5.3 Test cycles

All engines shall be tested in accordance with the test cycles as defined section 1.7. This takes into account the variations in engine application.

#### 1.5.5.4 Analyser response

The output of the analysers shall be recorded, both during the test and during all response checks (zero and span), on a strip chart recorder or measured with an equivalent data acquisition system with the exhaust gas flowing through the analysers at least during the last ten minutes of each mode.

#### 1.5.5.5 Engine conditions

The engine speed and load, intake air temperature and fuel flow shall be measured at each mode once the engine has been stabilised. The exhaust gas flow shall be measured or calculated and recorded.

#### 1.5.5.6 Re-checking the analysers

After the emission test, the calibration of the analysers shall be rechecked, using a zero gas and the same span gas as used prior to the measurements. The test shall be considered acceptable if the difference between the two calibration results is less than 2%.



## 1.6 Permissible deviation of instruments for engine-related parameters and other essential parameters

1.6.1 Each analyser used for the measurement of an engine's parameters, as discussed in appendix 3 of the NO<sub>x</sub> Technical Code, shall be calibrated as often as necessary as set out in appendix 4 of this code.

1.6.2 Except as otherwise specified, all results of measurements, test data or calculations required by the appendix 4 of the NO<sub>x</sub> Technical Code shall be recorded in the SCRS's test report in accordance with section 5.10 of the NO<sub>x</sub> Technical Code.

### 1.6.3 Accuracy of analytical instruments

The calibration of all measuring instruments shall comply with the requirements as set out in tables 1.2 and 1.3 and shall be traceable to national or international standards.

Table 1.2 – Permissible deviation of instruments for engine-related parameters for measurements on-board a ship

No.	Item	Permissible deviation ( $\pm\%$ values based on engine's maximum values)	Calibration intervals (months)
1	engine speed	2%	3
2	torque	5%	3
3	power	5%	not applicable
4	fuel consumption	4%/6% diesel/residual	6
5	specific fuel consumption	not applicable	not applicable
6	air consumption	5%	6
7	exhaust gas flow	5% calculated	6

Table 1.3 – Permissible deviations of instruments for other essential parameters for measurements on-board a ship

No.	Item	Permissible deviation ( $\pm$ absolute values or "of reading")	Calibration intervals (months)
1	coolant temperature	2 K	3
2	lubricating oil temperature	2 K	3
3	exhaust gas pressure	5% of maximum	3
4	inlet manifold depression	5% of maximum	3
5	exhaust gas temperature	15 K	3
6	air inlet temperature (combustion air)	2 K	3
7	atmospheric pressure	0.5% of reading	3
8	intake air humidity (relative)	3%	1
9	fuel temperature	2 K	3

#### 1.6.4 Calibration gases

The shelf life of all calibration gases as recommended by the manufacturer shall not be exceeded. The expiration date of the calibration gases stated by the manufacturer shall be recorded.

##### 1.6.4.1 Pure gases

The required purity of the gases is defined by the contamination limits given below. The following gases shall be available for operation of bed measurement procedures:

- .1 purified nitrogen (contamination  $\leq 1$  ppmC,  $\leq 1$  ppmCO,  $\leq 400$  ppmCO<sub>2</sub>,  $\leq 0.1$  ppmNO);
- .2 purified oxygen (purity  $>99.5\%$  volume O<sub>2</sub>);
- .3 hydrogen-helium mixture ( $40 \pm 2\%$  hydrogen, balance helium), (contamination  $\leq 1$  ppmC,  $\leq 400$  ppmCO); and
- .4 purified synthetic air (contamination  $\leq 1$  ppmC,  $\leq 1$  ppmCO,  $\leq 400$  ppmCO<sub>2</sub>,  $\leq 0.1$  ppmNO), (oxygen content between 18-21% volume).

##### 1.6.4.2 Calibration and span gases

1.6.4.2.1 Mixtures of gases having the following chemical compositions shall be available.

- .1 CO and purified nitrogen;
- .2 NO<sub>x</sub> and purified nitrogen (the amount of NO<sub>2</sub> contained in this calibration gas must not exceed 5% of the NO content);
- .3 O<sub>2</sub> and purified nitrogen; and
- .4 CO<sub>2</sub> and purified nitrogen.

Note: Other gas combinations are allowed provided the gases do not react with one another.

1.6.4.2.2 The true concentration of a calibration and span gas shall be within  $\pm 2\%$  of the nominal value. All concentrations of calibration gas shall be given on a volume basis (volume percent or volume ppm).

1.6.4.2.3 The gases used for calibration and span may also be obtained by means of a gas divider, diluting with purified N<sub>2</sub> or with purified synthetic air. The accuracy of the mixing device shall be such that the concentration of the diluted calibration gases may be determined to within  $\pm 2\%$ .

#### 1.6.5 Operating procedure for analysers and sampling system

The operating procedure for analysers shall follow the start-up and operating instructions specified by the instrument manufacturer. The minimum requirements given in sections 4 to 9 of the appendix 4 of the NO<sub>x</sub> Technical Code shall be included.

#### 1.6.6 Leakage test

1.6.6.1 A system leakage test shall be performed. The probe shall be disconnected from the exhaust system and the end plugged. The analyser pump shall be switched on. After an initial stabilisation period, all flow meters shall read zero; if not, the sampling lines shall be checked and the fault corrected.

1.6.6.2 The maximum allowable leakage rate on the vacuum side shall be 0.5% of the in-use flow rate for the portion of the system being checked. The analyser flows and bypass flows may be used to estimate the in-use flow rates.

1.6.6.3 Another method that may be used is the introduction of a concentration step change at the beginning of the sampling line by switching from zero to span gas. After an adequate period of time, the reading should show a lower concentration compared to the introduced concentration; this points to calibration or leakage problems.

#### 1.6.7 Calibration procedure

##### 1.6.7.1 Instrument assembly

The instrument assembly shall be calibrated and the calibration curves checked against standard gases. The same gas flow rates shall be used as when sampling exhaust.

##### 1.6.7.2 Warming-up time

The warming-up time shall be according to the recommendations of the analyser's manufacturer. If not specified, a minimum of two hours is recommended for warming up the analysers.

##### 1.6.7.3 NDIR and HFID analyser

The NDIR analyser shall be tuned, as necessary.

##### 1.6.7.4 Calibration

1.6.7.4.1 Each normally used operating range shall be calibrated.

1.6.7.4.2 Using purified synthetic air (or nitrogen), the CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> analyser shall be set at zero.

1.6.7.4.3 The appropriate calibration gases shall be introduced to the analyser, the value recorded, and the calibration curve established according to paragraph 1.6.7.5.

1.6.7.4.4 The zero setting shall be rechecked and the calibration procedure repeated, if necessary.

#### 1.6.7.5 Establishment of the calibration curve

##### 1.6.7.5.1 General guidelines

1.6.7.5.1.1 The analyser calibration curve shall be established by at least five calibration points (excluding zero) spaced as uniformly as possible. The highest nominal concentration shall be greater than or equal to 90% of full scale.

1.6.7.5.1.2 The calibration curve is calculated by the method of least squares. If the resulting polynomial degree is greater than 3, the number of calibration points (zero included) shall be at least equal to this polynomial degree plus 2.

1.6.7.5.1.3 The calibration curve shall not differ by more than  $\pm 2\%$  from the nominal value of each calibration point and by more than  $\pm 1\%$  of full scale at zero.

1.6.7.5.1.4 From the calibration curve and the calibration points, it is possible to verify that the calibration has been carried out correctly. The different characteristic parameters of the analyser shall be indicated, particularly:

- .1 the measuring range,
- .2 the sensitivity, and
- .3 the date of carrying out the calibration.

##### 1.6.7.5.2 Calibration below 15% of full scale

1.6.7.5.2.1 The analyser calibration curve shall be established by at least 10 calibration points (excluding zero) spaced so that 50% of the calibration points are below 10% of full scale.

1.6.7.5.2.2 The calibration curve shall be calculated by the method of least squares.

1.6.7.5.2.3 The calibration curve shall not differ by more than  $\pm 4\%$  from the nominal value of each calibration point and by more than  $\pm 1\%$  of full scale at zero.

##### 1.6.7.5.3 Alternative methods

If it can be shown that alternative technology (e.g., computer, electronically controlled range switch, etc.) provides equivalent accuracy, then these alternatives may be used.

#### 1.6.8 Verification of the calibration

Each normally used operating range shall be checked prior to each analysis in accordance with the following procedure:

- .1 The calibration shall be checked by using a zero gas and a span gas whose nominal value shall be more than 80% of full scale of the measuring range; and
- .2 if, for the two points considered, the value found does not differ by more than  $\pm 4\%$  of full scale from the declared reference value, the adjustment parameters

may be modified. If this is not the case, a new calibration curve shall be established in accordance with section 1.6.7.5 of this appendix.

#### 1.6.9 Efficiency test of the NO<sub>x</sub> converter(Text from NO<sub>x</sub> Technical Code Appendix 4, paragraph 7)

The efficiency of the converter used for the conversion of NO<sub>2</sub> shall be tested as given in 1.6.9.1 to 1.6.9.8 below.

##### 1.6.9.1 Test set-up

Using the test set-up (see figure 1 of appendix 4 and also 3.4 of appendix 3 of the NO<sub>x</sub> Technical Code) and the procedure below, the efficiency of converters shall be tested by means of an ozonator.

##### 1.6.9.2 Calibration

The CLD and the HCLD shall be calibrated in the most common operating range following the manufacturer's specifications using zero and span gas (the NO content of which should amount to about 80% of the operating range and the NO<sub>2</sub> concentration of the gas mixture to less than 5% of the NO concentration). The NO<sub>x</sub> analyser must be in the NO mode so that the span gas does not pass through the converter. The indicated concentration shall be recorded.

##### 1.6.9.3 Calculation

The efficiency of the NO<sub>x</sub> converter shall be calculated as follows:

$$\text{Efficiency}(\%) = \left[ 1 + (a-b)/(c-d) \right] \cdot 100 \quad (1)$$

Where:

- a = NO<sub>x</sub> concentration according to 1.6.9.6 below
- b = NO<sub>x</sub> concentration according to 1.6.9.7 below
- c = NO concentration according to 1.6.9.4 below
- d = NO concentration according to 1.6.9.5 below

##### 1.6.9.4 Adding of oxygen

1.6.9.4.1 Via a T-fitting, oxygen or zero air shall be added continuously to the gas flow until the concentration indicated is about 20% less than the indicated calibration concentration given in 1.6.9.2 above (the analyser must be in the NO mode).

1.6.9.4.2 The indicated concentration "c" shall be recorded. The ozonator must be kept deactivated throughout the process.

##### 1.6.9.5 Activation of the ozonator

The ozonator shall now be activated to generate enough ozone to bring the NO concentration down to about 20% (minimum 10%) of the calibration concentration given in 1.6.9.2 above. The indicated concentration (d) shall be recorded (the analyser must be in the NO mode).

#### 1.6.9.6 NO<sub>x</sub> mode

The NO analyser shall then be switched to the NO<sub>x</sub> mode so that the gas mixture (consisting of NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>) now passes through the converter. The indicated concentration “a” shall be recorded (the analyser must be in the NO<sub>x</sub> mode).

#### 1.6.9.7 Deactivation of the ozonator

The ozonator shall now be deactivated. The mixture of gases described in 1.6.9.6 above passes through the converter into detector. The indicated concentration “b” shall be recorded (the analyser must be in the NO<sub>x</sub> mode).

#### 1.6.9.8 NO mode

Switched to NO mode with the ozonator deactivated, the flow of oxygen or synthetic air shall also be shut off. The NO<sub>x</sub> reading of the analyser shall not deviate by more than  $\pm 5\%$  from the value measured according to 1.6.9.2 above (the analyser must be in the NO<sub>x</sub> mode).

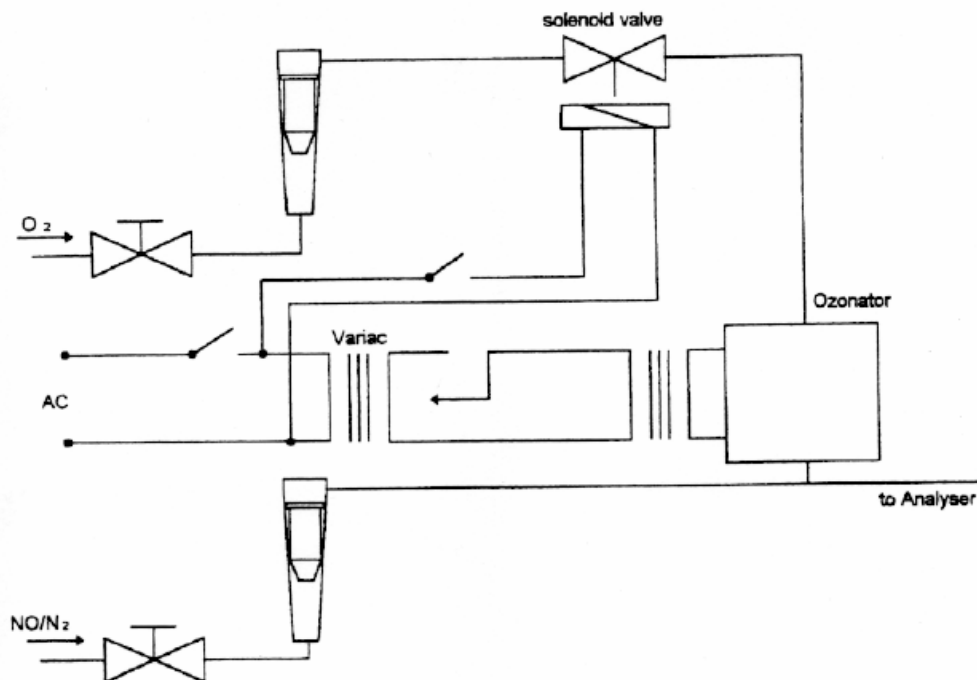
#### 1.6.9.9 Test interval

The efficiency of the converter shall be tested prior to each calibration of the NO<sub>x</sub> analyser.

#### 1.6.9.10 Efficiency requirement

The efficiency of the converter shall not be less than 90%, but a higher efficiency of 95% is strongly recommended.

Note: If, with the analyser in the most common range, the NO<sub>x</sub> converter cannot give a reduction from 80% to 20% according to 1.6.9.2 above, then the highest range which will give the reduction shall be used.



**Figure 1. Schematic of NO<sub>2</sub> converter efficiency device**

1.6.10 Interference effects with CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> analysers A (Text from NO<sub>x</sub> Technical Code, Appendix 4, paragraph 8)

Gases present in the exhaust other than the one being analysed may interfere with the reading in several ways. Positive interference may occur in NDIR and PMD instruments where the interfering gas gives the same effect as the gas being measured, but to a lesser degree. Negative interference may occur in NDIR instruments by the interfering gas broadening the absorption band of the measured gas, and in CLD instruments by the interfering gas quenching the radiation. The interference checks in 1.6.10.1 and 1.6.10.2 below shall be performed prior to an analyser's initial use and after major service intervals.

1.6.10.1 CO analyser interference check

Water and CO<sub>2</sub> may interfere with the CO analyzer performance. Therefore, a CO<sub>2</sub> span gas having a concentration of 80 to 100% of full scale of the maximum operating range used during testing shall be bubbled through water at room temperature and the analyser response recorded. The analyser shall not be more than 1% of full scale for ranges greater than or equal to 300 ppm or more than 3 ppm for ranges below 300 ppm.

1.6.10.2 NO<sub>x</sub> analyser quench checks

The two gases of concern for CLD (and HCLD) analysers are CO<sub>2</sub> and water vapour. Quench responses to these gases are proportional to their concentrations, and therefore require test techniques to determine the quench at the highest expected concentrations experienced during testing.

#### 1.6.10.2.1 CO<sub>2</sub> quench check

1.6.10.2.1.1 A CO<sub>2</sub> span gas having a concentration of 80 to 100% of full scale of the maximum operating range shall be passed through the NDIR analyser and the CO<sub>2</sub> value recorded as A. It shall then be diluted approximately 50% with NO span gas and passed through the NDIR and (H)CLD, with the CO<sub>2</sub> and NO values recorded as B and C, respectively. The CO<sub>2</sub> shall then be shut off and only the NO span gas shall be passed through the (H)CLD and the NO value recorded as D.

1.6.10.2.1.2 The quench shall be calculated as follows:

$$\% \text{Quench} = \left[ \frac{-(C \cdot A)}{(D \cdot A) - (D \cdot B)} \right] 100 \quad (2)$$

and shall not be greater than 3% of full scale.

Where:

A =	Undiluted CO <sub>2</sub> concentration measured with NDIR	%
B =	Diluted CO <sub>2</sub> concentration measured with NDIR	%
C =	Diluted NO concentration measured with (H)CLD	ppm
D =	Undiluted NO concentration measured with (H)CLD	ppm

1.6.10.2.1.3 Alternative methods of diluting and quantifying of CO<sub>2</sub> and NO span gas values, such as dynamic mixing/blending, may be used.

#### 1.6.10.2.2 Water quench check

1.6.10.2.2.1 This check applies to wet gas concentration measurements only. The calculation of water quench shall take into consideration the dilution of the NO span gas with water vapour and scaling of water vapour concentration of the mixture to that expected during testing.

1.6.10.2.2.2 A NO span gas having a concentration of 80 to 100% of full scale of the normal operating range shall be passed through the (H)CLD and the NO value recorded as D. The NO span gas shall then be bubbled through water at room temperature and passed through the (H)CLD and the NO value recorded as C. The analyser's absolute operating pressure and the water temperature shall be determined and recorded as E and F, respectively. The mixture's saturation vapour pressure that corresponds to the bubbled water temperature (F) shall be determined and recorded as G. The water vapour concentration (in %) of the mixture shall be calculated as follows:

$$H = 100 \cdot \left[ \frac{G}{E} \right] \quad (3)$$

and recorded as H. The expected diluted NO span gas (in water vapour) concentration shall be calculated as follows:

$$De = D \cdot \left[ 1 - (H/100) \right] \quad (4)$$

and recorded as De. For diesel exhaust, the maximum exhaust water vapour concentration (in %) expected during testing shall be estimated, under the assumption of a fuel atom hydrogen/carbon



(H/C) ratio of 1.8/1, form the undiluted CO<sub>2</sub> span gas concentration (A, as measured in 1.6.10.2.1 above) as follows:

$$H_m = 0.9 \cdot A \quad (5)$$

and recorded as H<sub>m</sub>.

1.6.10.2.2.3 The water quench shall be calculated as follows:

$$\% \text{Quench} = 100 \left\{ (D_e - C) / D_e \right\} \cdot \left\{ H_m / H \right\} \quad (6)$$

and shall not be greater than 3%.

where:

D <sub>e</sub>	= Expected diluted NO concentration	ppm
C	= Diluted NO concentration	ppm
H <sub>m</sub>	= Maximum water vapour concentration	%
H	= Actual water vapour concentration	%

Note: It is important that the NO span gas contains minimal NO<sub>2</sub> concentration for this check, since absorption of NO<sub>2</sub> in water has not been accounted for in the quench calculations.

### 1.6.10.3 O<sub>2</sub> analyser interference

1.6.10.3.1 Instrument response of a PMD analyser caused by gases other than oxygen is comparatively slight. The oxygen equivalents of the common exhaust gas constituents are shown in table 1.4.

Table 1.4. Oxygen equivalents

100% gas concentration	Equivalent % O <sub>2</sub>
carbon dioxide, CO <sub>2</sub>	-0.623
carbon monoxide, CO	-0.354
nitric oxide, NO	+44.4
nitrogen dioxide, NO <sub>2</sub>	+28.7
water, H <sub>2</sub> O	-0.381

1.6.10.3.2 The observed oxygen concentration shall be corrected by the following formula if high precision measurements are to be done:

$$\text{Interference} = (\text{Equivalent}\% \text{O}_2 \cdot \text{Observed Concentration}) / 100$$

1.6.10.3.3 For ZRDO and ECS analysers, instrument interference caused by gases other than oxygen shall be compensated for in accordance with the instrument supplier's instructions.

### 1.6.11 HC analyzer and sample handling system

1.6.11.1 A heated filter and sampling line shall be provided between the sampling probe and the HC analyser. The filter shall extract any solid particles from the gas sample before the analyzer. The filter shall be changed as necessary.

The temperature of the heated filter and the wall temperature of the heated line shall be  $463\text{K} \pm 10\text{K}$  ( $190^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ )

#### 1.6.11.2 Adjustment of the HFID

##### 1.6.11.2.1 Optimization of the detector response

The FID must be adjusted as specified by the instrument manufacturer. A propane-in-air span gas should be used to optimize the response on the most common operating range. With the fuel and air flow rates set at the manufacturer's recommendations, a  $350 \text{ ppmC} \pm 75 \text{ ppmC}$  span gas shall be introduced into the analyzer. The response at a given fuel flow shall be determined from the difference between the span gas response and the zero gas response. The fuel flow shall be incrementally adjusted above and below the manufacturer's specification. The span and zero response at these fuel flows shall be recorded. The difference between the span and zero response shall be plotted and the fuel flow adjusted to the rich side of the curve.

##### 1.6.11.2.2 Hydrocarbon response factors

The analyzer shall be calibrated using propane-in-air and purified synthetic air, according to 1.6.7.

Response factors shall be determined when introducing an analyser into service and after major service intervals. The response factor ( $R_f$ ) for a particular hydrocarbon species is the ratio of the FID C1 reading to the gas concentration in the cylinder expressed by ppmC1.

The concentration of the test gas must be at a level sufficient to give a response of approximately 80% of full scale. The concentration must be known to an accuracy of  $\pm 2\%$  in reference to a gravimetric standard expressed in volume. In addition, the gas cylinder must be preconditioned for 24 hours at a temperature of  $298\text{K} \pm 5\text{K}$  ( $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ).

The test gases to be used and the recommended relative response factor ranges are as follows:

Methane and purified synthetic air	$1 \pm R_f \pm 1.15$
Propylene and purified synthetic air	$0.9 \pm R_f \pm 1.11$
Toluene and purified synthetic air	$0.9 \pm R_f \pm 1.1$

These values are relative to a  $R_f$  of 1 for propane and purified synthetic air.

#### 1.6.12 Calibration intervals

The analysers shall be calibrated according to paragraph 1.6.7 at least every 3 months or whenever a system repair or change is made that could influence calibration.

### 1.7 Test cycles

1.7.1 Test cycles used on-board shall conform to the applicable test cycles specified in Chapter 3, Section 3.2, NOx Technical Code.

1.7.2 Engine operation on-board under a specified test cycle may not always be possible, but the test procedure, as approved by the Administration, should be as close as possible to the procedure defined in Chapter 3, Section 3.2, NOx Technical Code. Therefore, values measured

in this case may not be directly comparable with test bed results because measured values are very much dependent on the test cycles.

1.7.3 Regarding the E3 test cycle, if the actual propeller curve differs from the E3 curve, the load point used should be set using the engine speed, or the corresponding mean effective pressure (MEP) or mean indicated pressure (MIP), given for the relevant mode of that cycle.

1.7.4 If the number of measuring points on-board is different from those on the test bed, the number of measurement points and the weighting factors should be approved by the Administration.

1.7.5 Regarding the E2/E3/D2 test cycles a minimum of load points should be used of which the combined nominal weighting factor is greater than 0.50, as given in Chapter 3, Section 3.2, NO<sub>x</sub> Technical Code.

1.7.6 Regarding the C1 test cycle a minimum number of one load point should be used from each of the rated, intermediate, and idle speed sections.

1.7.7 If the number of measuring points on-board is different from those on the test bed, the nominal weighting factors at each load point should be increased proportionally in order to sum to unity (1.0).

1.7.8 The actual load points used to demonstrate compliance should be within  $\pm 5\%$  of the rated power at the modal point except in the case of 100% load where the range should be +0 to -10%. For example, at the 75% load point the acceptable range should be 70%-80% of rated power.

1.7.9 At each selected load point, except idle, and after the initial transition period (if applicable), the engine power should be maintained at the load set point within a 5% coefficient of variance (%C.O.V) over a 10-minute interval.

1.7.10 Regarding the C1 test cycle the idle speed tolerance should be declared, subject to the approval of the Administration.

## **1.8 Calculation of gaseous emissions**

The calculation procedure specified in chapter 5 of the NO<sub>x</sub> Technical Code shall be applied, taking into account the special requirements of this simplified measurement procedure. The final results for the test report shall be determined by following the steps in 1.8.3 to 1.8.6.

### **1.8.1 Test conditions**

Data under any prevailing ambient condition should be acceptable.

### **1.8.2 Data for emission calculation**

1.8.2.1 The output of the analysers should be recorded, both during the test and during all response checks (zero and span), on a strip chart recorder or measured with an equivalent data acquisition system with the exhaust gas flow through the analysers at least during the last ten minutes of each mode.

1.8.2.2 For the evaluation of the gaseous emissions, the chart reading of the last 60 seconds of each mode shall be averaged, and the average concentrations (conc) of CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> during each mode shall be determined from the average chart readings and the corresponding calibration data.

1.8.2.3 The engine speed and load, intake air temperature and fuel flow shall be measured at each mode once the engine has been stabilized. The exhaust gas flow shall be measured or calculated and recorded.

1.8.2.4 As a minimum, emission concentrations, engine performance and ambient condition data should be recorded over the aforementioned 10-minute period.

### 1.8.3 Determination of the exhaust gas flow

The exhaust gas flow rate ( $G_{EXHW}$ ,  $V_{EXHW}$ , or  $V_{EXHD}$ ) shall be determined for each mode in accordance with one of the methods described in 1.8.3.1 to 1.8.3.3.

#### 1.8.3.1 Direct measurement method

This method involves the direct measurement of the exhaust flow by flow nozzle or equivalent metering system and shall be in accordance with a recognized international standard.

*Note:* Direct gaseous flow measurement is a difficult task. Precautions should be taken to avoid measurement errors which will impact emission value errors.

#### 1.8.3.2 Air and fuel measurement method

1.8.3.2.1 The method for determining exhaust emission flow using the air and fuel measurement method shall be conducted in accordance with a recognized international standard.

1.8.3.2.2 Air flowmeters and fuel flowmeters with an accuracy defined in 1.3.1 of appendix 4 of the NO<sub>x</sub> Technical Code shall be used.

1.8.3.2.3 The exhaust gas flow shall be calculated as follows:

$$G_{EXHW} = G_{AIRW} + G_{FUEL} \quad (\text{for wet exhaust mass})$$

or

$$V_{EXHD} = V_{AIRD} + F_{FD} \cdot G_{FUEL} \quad (\text{for dry exhaust volume})$$

or

$$V_{EXHW} = V_{AIRW} + F_{FW} \cdot G_{FUEL} \quad (\text{for wet exhaust volume})$$

Notes: Values for  $F_{FD}$  and  $F_{FW}$  vary with the fuel type (see Table 1 of appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code).

### 1.8.3.3 Carbon-balance method

This method involves exhaust gas mass flow calculation from fuel consumption and exhaust gas concentrations using the carbon and oxygen balance method as specified in Appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code.

### 1.8.4 Dry/wet correction (Text from NO<sub>x</sub> Technical Code 5.12.2)

When applying  $G_{EXHW}$  or  $V_{EXHW}$ , the measured concentration, if not already measured on a wet basis, shall be converted to a wet basis according to the following formulae.

$$\text{Conc(wet)} = K_W \cdot \text{conc (dry)} \quad (7)$$

#### 1.8.4.1 For the raw exhaust gas:

$$K_{W,r} = [1 - F_{FH} \cdot G_{FUEL} / G_{AIRD}] - K_{W2} \quad (8)$$

$$K_{W2} = 1.608 \cdot H_a / [1000 + (1.608 \cdot H_a)] \quad (9)$$

$$H_a = 6.220 \cdot R_a \cdot P_a / (P_B - P_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}) \quad (10)$$

with:

$$\begin{aligned} H_a, H_d &= \text{g water per kg dry air} \\ R_a &= \text{relative humidity of the intake air, \%} \\ P_a &= \text{saturation vapour pressure of the intake air, kPa} \\ P_B &= \text{total barometric pressure, kPa} \end{aligned}$$

Note: Formulae using  $F_{FH}$  are simplified versions of those quoted in section 3.7 of appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code (formulae (2-44) & (2-45)) which when applied give comparable results to those expected from the full formulae.

#### 1.8.4.2 Alternatively:

$$K_{W,r} = [1 / \{1 + H_{TCRAT} \cdot 0.005 \cdot (\%CO(\text{dry}) + \%CO_2(\text{dry}))\}] - K_{W2} \quad (11)$$

#### 1.8.4.3 For the intake air:

$$K_{W,a} = 1 - K_{W2} \quad (12)$$

1.8.4.4 Formula(8) shall be accepted as the definition of the fuel specific factor  $F_{FH}$ . Defined this way,  $F_{FH}$  is a value for the water content of the exhaust in relationship to the fuel to air ratio.

1.8.4.5 Typical values for  $F_{FH}$  may be found in table 1 of appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code. Table 1 of appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code contains a list of  $F_{FH}$  values for different fuels.  $F_{FH}$  does not only depend on the fuel specifications, but also, to a lesser degree, on the fuel to air ratio of the engine.

1.8.4.6 Section 3.9 of appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code contains formulae for calculating F<sub>FH</sub> from the hydrogen content of the fuel and the fuel to air ratio.

1.8.4.7 Formula (8) considers the water from the combustion and from the intake air to be independent from each other and to be additive. Formula (2-45) in section 3.7 of appendix 6 of the NO<sub>x</sub> Technical Code shows that the two water terms are not additive. Formula (2-45) is the correct version but it is very complicated and, therefore, the more practical formulae (8)&(11) shall be used.

1.8.5 NO<sub>x</sub> correction for humidity and temperature (Text from NO<sub>x</sub> Technical Code 5.12.3)

1.8.5.1 As the NO<sub>x</sub> emission depends on ambient air conditions, the NO<sub>x</sub> concentration shall be corrected for ambient air temperature and humidity by multiplying with the factors given in formulae (13) and (14).

1.8.5.2 The standard value of 10.71g/kg at the standard reference temperature of 25°C shall be used for all calculations involving humidity correction throughout the NO<sub>x</sub> Technical Code. Other reference values for humidity instead of 10.71g/kg must not be used.

1.8.5.3 Other correction formulae may be used if they can be justified or validated upon agreement of the parties involved and if approved by the Administration.

1.8.5.4 Water or steam injected into the air charger (air humidification) is considered an emission control device and shall therefore not be taken into account for humidity correction. Water that condensates in the charge cooler may change the humidity of the charge air and shall therefore be taken into account for humidity correction.

1.8.5.5 Diesel engines in general

For diesel engines in general, the following formula for calculating K<sub>HDIES</sub> shall be used:

$$K_{HDIES} = 1 / [ 1 + A \cdot (H_a - 10.71) + B \cdot (T_a - 298) ] \quad (13)$$

where

$$A = 0.309 G_{FUEL} / G_{AIRD} - 0.0266$$

$$B = -0.209 G_{FUEL} / G_{AIRD} - 0.00954$$

$$T_a = \text{temperature of the air in K}$$

$$H_a = \text{humidity of the intake air, g water per kg dry air (as determined by formula (10))}$$

1.8.5.6 Diesel engines with intermediate air coolers

For diesel engines with intermediate air coolers, the following alternative formula (14) shall be used:

- .1 To take the humidity in the charge air into account, the following consideration is added.

$$H_{sc} = \text{humidity of the charging air, g water per kg dry air in which:}$$

$$H_{sc} = 6.220 \cdot P_{sc} \cdot 100 / (PC - P_{sc})$$

where:

$P_{sc}$  = saturation vapour pressure of the charging air, kPa  
 $PC$  = charging air pressure, kPa

- .2 If  $H_a \geq H_{sc}$ , then  $H_{sc}$  shall be used in place of  $H_a$  in formula(14). In this case,  $G_{EXHW}$  in 1.8.3.2.4 shall be corrected as follows:

$$G_{EXHW \text{ Corrected}} = G_{EXHW (1.8.3.2.4)} \cdot (1 - (H_a - H_{sc}) / 1000)$$

- .3 If  $H_a < H_{sc}$ , then  $H_a$  in formula (14) shall be used as it is.

$$K_{HDIES} = 1 / [1 - 0.012 \cdot (H_a - 10.71) - 0.00275 \cdot (T_a - 298) + 0.00285 \cdot (T_{sc} - T_{scRef})] \quad (14)$$

where:

$T_{sc}$  = Temperature of the intercooled air  
 $T_{scRef}$  = Reference temperature of the intercooled air corresponding to a seawater temperature of 25°C. The  $T_{scRef}$  to be specified by the manufacturer.

Note: For an explanation of the other variables, see formula (13).

## 1.8.6 Calculation of the emission mass flow rates

1.8.6.1 The emission mass flow rates for each mode shall be calculated as follows (for the raw exhaust gas):

$$\text{Gas mass} = u \cdot \text{conc} \cdot G_{EXHW} \quad (15)$$

or

$$\text{Gas mass} = v \cdot \text{conc} \cdot V_{EXHD} \quad (16)$$

or

$$\text{Gas mass} = w \cdot \text{conc} \cdot V_{EXHW} \quad (17)$$

1.8.6.2 The coefficients u - wet ,v-dry and w - wet shall be used as specified below:

Gas	u	v	w	conc
NO <sub>x</sub>	0.001587	0.002053	0.002053	ppm
CO	0.000966	0.00125	0.00125	ppm
HC	0.000479	-	0.000619	ppm
CO <sub>2</sub>	15.19	19.64	19.64	percent
O <sub>2</sub>	11.05	14.29	14.29	percent

Note: The coefficients for u given in above are correct values for an exhaust density of 1.293 only; for exhaust density  $\neq 1.293$ ,  $u = w/\text{density}$ .

### 1.8.7 Calculation of the specific emissions

1.8.7.1 The emission shall be calculated for all individual components in the following way:

$$GAS_x = \frac{\sum M_{GAS\ i} \cdot W_{Fi}}{\sum P_i \cdot W_{Fi}} \quad (18)$$

where:

$$P_i = P_{M,i} + P_{AUX,i} \quad (19)$$

1.8.7.2 The weighting factors and the number of modes (n) used in the above calculation are according to the provisions of Chapter 3, Section 3.2, NO<sub>x</sub> Technical Code.

1.8.7.3 The resulting average weighted NO<sub>x</sub> emission value for the engine as determined by formula (18) shall then be compared to figure 1 in 3.1 of the NO<sub>x</sub> Technical Code to determine if the engine is in compliance with regulation 13 of Annex VI.

## 1.9 Test report

1.9.1 For every SCRS tested for pre-certification or for initial certification on board without pre-certification, the SCRS manufacturer shall prepare a test report which shall contain, as a minimum, NO<sub>x</sub> emission results and the data as set out in Appendix 5 of the NO<sub>x</sub> Technical Code. The original of the test report shall be maintained on file with the SCRS manufacturer and a certified true copy shall be maintained on file by the Administration.

1.9.2 The test report, either an original or certified true copy, shall be attached as a permanent part of an engine's technical file.

## 2 DURABILITY OF SYSTEM

### 2.1 Corrosion effects on materials

Materials used for all components should be suitable for very corrosive environments where salt, sulphuric acid, moisture, and high temperatures are present; components should have a measure of corrosion allowance.

### 2.2 Backpressure

2.2.1 The SCRS shall be designed such that any exhaust backpressure created by the system is within the limits specified by the engine manufacturer at all engine operating conditions.

2.2.2 The SCRS should include a monitoring system to ensure that the exhaust does not become congested leading to backpressures above those specified by the engine manufacturers.

### 2.3 Maintenance

2.3.1 The SCRS manufacturer should specify any regular maintenance required to maintain the performance of the SCRS in-use.



2.3.2 It is the shipowner's responsibility to maintain the SCRS using manufacturer specified maintenance instructions.

### **3 CERTIFICATION AND COMPLIANCE**

The SCRS, when installed on the engine, must be recognized as an essential component of the engine and its presence will be recorded in the engine's Technical File. To receive an EIAPP Certificate for this assembly, the engine, including the SCRS, as installed, must be confirmed to show compliance with the NOx emission limits. The SCRS shall be included on the EIAPP Certificate together with all other records requested by the Administration. The engine's Technical File shall also contain on-board NOx verification procedures for the SCRS to ensure it is operating correctly. However, depending on the technical possibilities of the device used, subject to the approval of the Administration, other relevant parameters could be monitored.

Require on board certification of the entire system (both for new installs and retrofits)

- (is there any reason for a test bed precertification?)
- In the case of multiple ships with identical engines/SCRS, first certification could be used as a sort of pre-certification
- (parameter checks for subsequent installations?)
- (how many situations would we allow this? (i.e. if same SCRS used on engine combinations with lower exhaust gas flow rates)

Require a survey every five years, either;

- a) on-board survey with periodic testing; or
- b) on-board NOx verification procedures for the SCRS to ensure it is operating correctly

Recordbook would have to include:

- (are there any adjustable parameters that need to be specified for SCRSs?)
- maintenance
- when and where system is turned on and off
- where, for the purpose of achieving NOx compliance, an additional substance is introduced, such as ammonia, urea, etc., a means of monitoring the consumption of such substance shall be provided. The Technical File shall provide sufficient information to allow a ready means of demonstrating that the consumption of such additional substances is consistent with achieving compliance with the applicable NOx limit.

#### **4 PLEDGE**

A record for reasonable use at the time of service of the device must be kept by the following methods:

- NOx monitor of a SCRS exit
- A record of usage of a device and a quantity of used reducing agent
- A record, approved by the Administration, that can prove a SCRS used at the time of service appropriately.

#### **5 RESIDUES**

- Consideration of what discharges should be treated (e.g., coolant water not in contact with the exhaust stream may not need to be treated).
  - Define pollutants of concern in residues from SCRS (e.g. NOx, nitrates, sulphates, hydrocarbons, metals, others?). Pollutants generated in the exhaust system, such as ammonia gas, yellow smoke should not be dumped overboard unless it can be clearly demonstrated that this will not have a negative effect on the ecosystems involved. Harmful components should be disposed of properly.
  - Proper documentation of disposal by shipowner
-

平成 16 年 11 月 12 日

## S C R 脱硝装置 I M O ガイドライン日本案について

現在、IMO DE Correspondence Group で Exhaust Gas Cleaning Systems(EGCS)のガイドライン作成の審議が継続されていますが、この後に、SCR 脱硝装置ガイドラインが作成されることになっています。IMO でのこの作業が始まる前に日本案を提出して日本の意見を多く採用してもらうべく、社団法人日本造船研究協会の「大気汚染防止基準の削正に関する調査研究(RR-MP3)」におきまして、SCR 脱硝装置 IMO ガイドライン日本案を作成し、IMO DE48 にインフォメーションペーパーとして提出することを目的として調整作業を行っております。

EGCS 排気清浄装置のガイドライン作成検討は最終段階に入っていますので、このガイドライン“GUIDELINE ON-BOARD EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS”を基本として、以下の考え方で日本案ドラフトを調整いたしました。

- ・ EGCS を SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION SYSTEM (SCRS)に変更するとともに、NO<sub>x</sub> 関連の計測方法等は NO<sub>x</sub> テクニカルコードから引用しました。
- ・ 計測方法等については ISO 8178-1「排気排出物計測 第 1 部 ガス状及び粒子状排出物の台上試験」も参考にしました。
- ・ 船上計測法については、”GUIDELINES FOR ON-BOARD NO<sub>x</sub> VERIFICATION PROCEDURE-DIRECT MEASUREMENT AND MONITORING METHOD,DE46/WP.3 ANNEX1”を引用しました。
- ・ 陸上、または船上で試験するものとししました。
- ・ 運行時の装置適正使用の担保方法についても案を記載しました。
- ・ 冷態始動時に予想される問題点等を RESIDUES に追加しました。

これらの検討で作成しましたガイドライン日本案は、以下の章で構成されています。

**Principles**

SCR は NO<sub>x</sub> 規制値を満足するための一つのオプションであること、SCR の検査は搭載されるエン

ジンと接続して計測されること等を記述しました。

## **6. NO<sub>x</sub> MEASUREMENT**

NO<sub>x</sub> の計測方法について、テクニカルコード主体に以下の項目について記述しました。

### **6.1 General**

### **6.2 Test Parameters to be measured and recorded**

### **6.3 Brake Power and fuel consumption**

### **6.4 Test Fuels**

### **6.5 Sampling for Gaseous Emissions**

### **6.6 Permissible Deviation of Instruments for Engine-Related Parameters and Other Essential Parameters**

### **6.7 Test Cycles**

### **6.8 Calculation of Gaseous Emissions**

### **6.9 Test Report**

## **7. Durability of SYSTEM**

本装置を接続した際の耐久性、背圧、メンテナンスについて、以下の項目について記述しました。

### **7.1 Corrosion Effects on Materials**

### **7.2 Backpressure**

### **7.3 Maintenance**

## **8. CERTIFICATION AND COMPLIANCE**

NO<sub>x</sub> 排出規制の検査と適合について記述しました。

## **9. PLEDGE**

運行時の装置適正使用の担保方法について案を記載しました。

## **10. RESIDUES**

その他注意事項を記載しました。

No	コメント	修正
1	<p>メンテナンスに関しても、記載がありましたが、何%かの予備のSCRユニットを搭載して、何らかの原因でSCRの効果が低下して、NOxが急上昇した時に対応できる様にすることを義務付ける必要があると思います。SCRを搭載する場合には、燃費等で、他の船よりメリットがある訳ですから、他の船より一層NOxが上昇して、規制値を上回ることがあってはいけな</p>	<p>種々なSCR脱硝装置があるので、予備のユニットを明確に記述できないと思います。 これについては、現状の製造者のメンテナンス仕様にもとづいてユーザーの責任でSCRを維持するという記述のみにしたいと考えます。</p>
2	<p>2ストロークの大きなものを想定しますと、起動時にSCRを暖機することは、ほとんど現実的ではないと考えます。従って、低負荷域ではバイパスして、中高負荷域で使用する</p>	<p>本ガイドラインは2ストロークのみが対象でないこともあり、運用的な要素もあると思われるので、現状のままにしたいと考えます。</p>
3	<p>SCRの場合、人体に悪影響を及ぼす恐れのあるアンモニアリーク量が計測されるべきであり、リーク量の上限值で規制すべきと考えます。規制値は、陸用で使用されているものが参考であるのではないかと思います。</p>	<p>アンモニアを直接またはシステムで短時間に計測できる適正価格の計測方法がありません。ISO 8178-1ではCLDと異なる2種類のコンバーターを使用することで計測できることになっていますが、計測に約10分かかります。または、FTIR(fourier transform infrared)、NDUVR(non dispersive ultro violet resonanse)で計測されるとしていますが、ここでは、5. RESIDUESに項目を記載していますので、現状のままにしたいと考えます。</p>

No	コメント	修正
4	<p>「SCR式脱硝装置」についての本ガイドラインですので、試験時の計測又は記録項目として下記を加えるべきと考えます。</p> <p>(1) 使用還元剤の種類、化学組成、濃度</p> <p>(2) 使用還元剤の流量</p>	<p>1.9 Test reportに追加することで検討します。</p>
5	<p>Table 1.1 Engine parameters to be measured and recorded に計測項目が記載されています。この中で、Tclin; coolant temperature inlet, Tclout: coolant temperature outletとありますが、何の冷却剤かが不明確です。機関の Cylinder Jacketのことと推察しますが、より適切なParameter名称に変更する方が良く考えます。</p>	<p>本表内用はE G C Sガイドラインの内容と同じくしていますので、今後の審議の中で追加説明が必要となった場合に改訂します。</p>

注) エディトリアルコメントは記載しておりません

## 5.4 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成及び燃焼基礎試験

### 5.4.1 NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> を含む船舶用総合評価指標の基本的概念の構築

#### 5.4.1.1 NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> などの船舶排出ガスに関する規制動向の取りまとめ

##### 5.4.1.1.1 国内における船舶排出ガスの規制動向

IMO における MARPOL73/78 条約 VI 附属書の発効前に、2004 年 4 月 21 日に「海洋汚染等および海上災害の防止に関する法律」<sup>1</sup>（以下「改正海防法」という）が公布された。条約の内容に準拠し、NO<sub>x</sub> の規制基準への合致（法律施行日（2005 年 5 月 19 日）までに原動機証書などを取得するなど）、燃料中の硫黄分の制限により NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 排出量が初めて国際的なルールにより削減されることとなった。

また、従来でも一部の地方自治体において行政指導および条例によって、船舶が使用する燃料中の硫黄分を制限する動きがある。

現在、我が国では大気汚染防止法によりばい煙発生施設に対して NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、ばいじん、CO、ダイオキシンなどの排出規制が実施されており、例えば NO<sub>x</sub> 排出規制値は、陸上固定ディーゼル機関については、全国一律で 950ppm(@13%O<sub>2</sub>)となっている<sup>2</sup>。しかし、これらの規制は陸上の発生源を対象とするもので、船舶搭載の機関は規制対象に含まれていない。総量規制区域内の地方自治体は、船舶からの排出総量の把握を義務付けられてはいるが、これも排出量の把握を行うものであり直接的に規制するものではない<sup>3</sup>。しかし総量規制区域内の地方自治体では、荷主である陸上固定発生源への要請という形で、間接的に船舶への規制を実施している例がある。また、自治体からの行政指導による対応事例も認められる<sup>4</sup>。以下、平成 13 年度 SR803 報告書より国内における条例レベルでの規制および行政指導の例を紹介する。

#### (1) 行政指導の例

「神鋼神戸発電所」に係わる神戸市環境影響評価審査会の答申（平成 10 年 8 月 11 日）において、「神戸製鉄所に関連する船舶からの大気汚染物質の排出の低減を図ることも重要である。事業者にとっては、現神戸製鉄所に係る船舶も含め、船舶の構造上、陸上から受電可能な全ての船舶に対し、電気を供給できるよう設備を整備し、船舶運航事業者に陸上電気の使用や良質燃料の使用について協力を要請する必要がある。」との記載がある。神戸製鉄所では既に陸上電源を利用しており、上記の指摘に基づいて、発電所についても 2002 年 4 月の完成予定で陸上電源の使用関連施設を建設中である（神戸市への聞き取り調査結果）。

---

<sup>1</sup> 海洋汚染および海上災害の防止に関する法律。国内法として MARPOL 73/78 条約の内容が整備されている。

<sup>2</sup> 窒素酸化物総量規制区域内などでは、地方自治体が定める公害防止条例などによる上乗せ規制が行われており、陸上の固定型ディーゼル機関に対しては 950ppm より厳しい排出規制が定められている場合が多い。

<sup>3</sup> 総量規制地域とは、特に環境基準の達成状況の悪い首都圏や大阪圏に設定されている。通常のばい煙発生施設に対する排ガス濃度規制以外に施設ごとに年間の排出総量に対して、国または地方自治体が独自に規制をかけることができる。

<sup>4</sup> 工場等の立地において事業者と地方自治体とが取り交わす公害防止協定でその指導が行われている可能性は多い。一般に、公害防止協定自体は非公開であり、内容の詳細は不明である場合が多い。

また、東京湾内の民間船用ふ頭では、電源開発磯子発電所が 2 号機増設の環境影響評価時に公表した対策が注目される。同発電所は、石炭火力であり、現在は 5,000 dwt の石炭専用船を運航しており、着さん時にはタグボートも利用している。2 号増設時には、現在の運用を改め、セルフアンローダとサイドスラスターを搭載した新造専用船(10,000 dwt)を用いること、また揚炭作業に際してはセルフアンローダの動力源として陸上電源を使用すること、タグボートを使用しないことで、発電所の運用に伴う船舶からのばい煙排出量を削減する予定である。

## (2) 使用燃料に関する条例

川崎市では平成 12 年 12 月 20 日から、川崎市公害防止等生活環境の保全に関する条例(平成 11 年川崎市条例第 50 号)に基づき、船舶からの大気汚染物質の排出抑制に関して、表 5.4.1.1.1.1 に示す「船舶からの大気汚染物質の排出抑制に関する指針」を定めている。同指針には、船舶を使用して原料、製品等を出荷し、または受け取る事業者は、大気汚染防止のために関係者との連携の強化、協力体制の整備及び排出量の把握に努める旨が明記されている。

川崎市では、現在、この指針の内容を着実に進めるための方策について検討を行なっているところである(川崎市への聞き取り調査結果)。

なお、同指針中、「排出量の把握」において述べられている「船舶ばい煙排出量管理システム(ハーモニーシステム)」とは、船舶の諸元や船舶の運航状況について本指針に記載されている情報を収集し、環境省の窒素酸化物総量規制マニュアルに基づき、NO<sub>x</sub> 排出量等を算出するシステムである。

一方、神戸市は平成 6 年 3 月に「神戸市民の環境をまもる条例(条例第 52 号)」を策定しているが、その第 7 章(神戸港の環境の保全)第 48 条(港湾事業者の責務)第 3 項に「船舶運航事業者は、神戸港の区域において、船舶からの煤煙その他大気汚染の原因となるものの排出を防止するため、機関の良好な管理及び使用燃料の改善に努めなければならない。」という規定を定めている(表 5.4.1.1.1.2 参照)。

この規定に基づき、神戸市港湾整備局では黒煙の著しい船舶に対して黒煙排出の削減を指示している(神戸市への聞き取り調査結果)。



表 5.4.1.1.1.1 川崎市 公害防止等生活環境の保全に関する条例に基づく「船舶からの大気汚染物質の排出抑制に関する指針」(全文)

川崎市告示第 6 0 1 号

船舶からの大気汚染物質の排出抑制に関する指針

川崎市公害防止等生活環境の保全に関する条例(平成 1 1 年川崎市条例第 5 0 号。以下「条例」という。)第 6 0 条の規定に基づき、船舶からの大気汚染物質の排出抑制に関する指針を次のように定め、平成 1 2 年 1 2 月 2 0 日から適用する。

平成 1 2 年 1 2 月 1 日

川崎市長

事業者は、条例第 5 9 条に規定する船舶から排出される大気汚染物質の抑制に向けた措置の実施を要請するに当たり、次に掲げるところにより実施するものとする。

#### 1 船舶に係る関係者との連携

- (1) 大気汚染物質の排出抑制に向けた取組の必要性及びその実施等について、運航者、船主その他の船舶に係る関係者(以下「船舶関係者」という。)と定期的にかつ計画的に交流する機会を設けること。
- (2) 川崎港港湾区域(昭和 4 9 年川崎市公告第 1 0 号)内で排出される大気汚染物質の抑制に向けて、A 重油等の硫黄含有率の低い燃料の使用、荷役時間の短縮及び陸上電源の使用等の措置の実施について、船舶関係者と協同で取組むこと。

#### 2 協力及び推進体制の整備

- (1) 船舶関係者が行おうとする大気汚染物質の排出抑制に向けた措置が円滑に進められるよう内部の協力及び推進体制を整備すること。
- (2) 大気汚染物質の排出抑制の措置を講じた船舶を優先的に使用すること等により船舶関係者への取組を支援すること。

#### 3 排出量の把握

自らの事業活動のために、直接的又は間接的に船舶を使用して、原料、製品等を出荷し又は受け取る事業者は、総トン数 1 , 0 0 0 トン以上の船舶を対象に(1)に掲げる情報を収集し、整理し、(2)に掲げる方法により、船舶から排出される硫黄酸化物、窒素酸化物及びばいじんの量を把握すること。

##### (1) 使用船舶に係る情報の収集、整理

ア船舶の諸元について、次の情報を収集し、整理すること。

船種、船名、竣工年、内航外航の区分、総トン数、主機機関の種類

イ入港船舶の運航状況について、次の情報を収集し、整理すること。

入港船舶名、接岸日時、離岸日時、荷役時間、停泊時使用機関の種類、使用燃料の硫黄分、密度、燃料使用量

##### (2) 排出量の算定

(1)により収集、整理した情報から、川崎市が作成した船舶ばい煙排出量管理システム(ハーモニーシステム)等から排出量を算定すること。

表 5.4.1.1.1.1.2 神戸市民の環境をまもる条例(抜粋)

## 第 1 章 総則

### 第 1 節 通則

#### (目的)

第 1 条 この条例は、市民が健康で文化的な生活を営むためには、健全で快適な環境が極めて重要であることにかんがみ、健全で快適な環境の確保について、基本理念を定め、並びに市、事業者及び市民の責務を明らかにするとともに、健全で快適な環境を確保するための施策の基本となる事項その他必要な事項等を定めることにより、その施策を総合的に推進し、もって現在及び将来の市民の健全で快適な環境を確保することを目的とする。

< 中略 >

## 第 7 章 神戸港の環境の保全

### (港湾事業者の責務)

第 48 条 神戸港の区域において事業活動を行う者は、荷役その他の事業活動に伴い、貨物、荷役用具又は廃棄物(以下「貨物等」という。)が、岸壁、物揚場、道路、荷さばき地その他の港湾法第 2 条第 5 項に規定する港湾施設(以下「港湾施設」という。)又は海面に脱落し、散乱し、又は飛散することを防止するために必要な措置を講じなければならない。

2 神戸港の区域において海上運送法(昭和 24 年法律第 187 号)第 2 条第 2 項に規定する船舶運航事業を営む者(以下「船舶運航事業者」という。)は、船客により廃棄物が港湾施設又は海面へ投棄されないよう、船舶にごみ容器を設置し、効果的な広報を行い、その他必要な措置を講じなければならない。

3 船舶運航事業者は、神戸港の区域において、船舶からの煤煙その他大気汚染の原因となるものの排出を防止するため、機関の良好な管理及び使用燃料の改善に努めなければならない。

### (船舶の遺棄等の禁止)

第 49 条 何人も、神戸港の区域において、船舶を遺棄し、又は放置してはならない。

### (遺棄船舶等の処理)

第 50 条 市長は、前条の規定に違反して遺棄され、又は放置されている船舶であって、所有者又は占有者が不明であり、かつ、当該船舶が沈没船の状態にあるものは、廃棄物と認定してこれを処理することができる。

2 前項の廃棄物としての認定の基準及び手続その他必要な事項は、規則で定める。

< 中略 >

## 附 則

### (施行期日)

第 1 条 この条例は、平成 6 年 4 月 1 日から施行する。

< 後略 >

#### 5.4.1.1.2 欧州における規制

国内の動向に比べて、海外、特にヨーロッパ諸国では船舶排ガスに対する種々の抑制方策に積極的に取り組んでいる。一方欧州においては、停泊中の全船舶を対象にして硫黄分含有率 0.2%の軽油相当の燃料を使用すること、が提案されるなど、特に SO<sub>x</sub> に対して一層の規制が進められている。一方、NO<sub>x</sub> については IMO の二次規制の早期実現がうたわれているに過ぎない。

さらに、欧州においては船舶に対する経済的インセンティブ制度の導入が数年前から進んでいる。

経済的インセンティブ制度とは、民間の審査機関によって承認された一定以上の要件を満たす船舶に対して、入港料、岸壁使用料、パイロット料金、綱取料、船体保険料金、荷役料金、廃棄物回収・処理料金などを対象に、関係機関・団体(たとえば Green Award 財団)、港湾管理者などから経済的な援助を行うものである。

これは、従来の上限規制値を超えたものをサブスタンダードとする従来の規制の考え方から、一歩踏み出したものであり、技術開発の側からすれば、規制値より大きな削減幅をもつ技術の開発に対してまさに追い風となるものである。

ただし、ハンブルグ港の経済的インセンティブ制度の中止、Green Award に関しても一部の船主は脱退するなどの動きがあり、陸上においてはインセンティブ制度全般が発達している EU においてすら、大気汚染防止を主眼とした経済的インセンティブは必ずしも順調に展開しているとは言えない。特に NO<sub>x</sub> 規制については、認証の技術的な困難さ、削減技術のコスト高などが、実施上の問題点として考えられる。以下代表的な欧米におけるインセンティブ制度を SR803 報告書より紹介する。

#### (1) EU 指令

2002 年の 11 月に発表された船舶から発生する大気汚染物質削減に関する戦略と、同時に発表された船舶用燃料の硫黄含有率の規制案である。これは EU 指令(Council Directive 1999/32/EC)の改正という形をとっている。

同戦略レポートでは、規制の根拠として、EU15 ケ国において船舶からの寄与率が 2010 年においては、NO<sub>x</sub> で 40%、SO<sub>x</sub> では 44%にのぼることが予想されるため、としている。これは陸上において固定発生源および移動発生源に対する規制および対策が効果をあげていることにより、規制の緩い船舶の寄与率が必然的に上昇したこと、欧州においても、モーダルシフトやコンテナ・フェリー輸送の増大などから輸送量が年数%の割合で増大していること、などを反映しているものと考えられる。

IMO 規制では 1.5%であった硫黄酸化物は、議論の中で 0.5%とする案などが提出され、現在(2002 年末)の SO<sub>x</sub> 規制内容(COM/2002/0595 final およびその amendment)では、EU 圏のみに適用される燃料硫黄分制限の項(COM/2002/0595 final Volume II Article 4)は、以下のような内容になっている。

4a 附属書 VI で規定された特別海域(北海およびバルト海など)の設定に基づき、同海域内で使用される燃料および同海域内の港を利用するすべての客船に対する燃料の硫黄分を 1.5%附属書発効後あるいは EU 指令発効 12 ヶ月後に規制開始。

各国は規制開始までに十分な燃料供給体制(精製製造を含む)を整えること。

4b 内水域を航行する船舶および EU 域内の港に停泊中の船舶が使用する船用燃料(gas oil)の硫黄含有率を(1)本 EU 指令発効より 6 ヶ月後から 0.2%以下(タンカーボイラー燃料には適用され

ない)とする。また、(2)2008年1月からは0.1%以下とする。

国内で販売される船用燃料(gas oil)の硫黄含有率は上記の値を超えてはならない。

2004年6月28日のEU記者発表によれば、EU環境閣僚らは船舶燃料中の硫黄を規制するEU指令について合意に達したとしている。

閣僚らは、2002年11月に上程された、酸性化物質である二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)の船舶からの排出削減を目指す欧州委員会の提案を大筋で支持した。

今回の合意に従い、4a項のSO<sub>x</sub>特別海域に関しては「国際的に合意されたSO<sub>2</sub>規制海域である北海、イギリス海峡、およびバルト海では、あらゆる船舶に対し、2007年から(バルト海では2006年5月から)使用燃料の硫黄含有率を最大1.5%に規制する」とされた。欧州委員会案では、指令発効の1年後から制限を適用することを提案していた。また、1.5%の硫黄の規制値は、欧州委員会案の2007年7月ではなく、2006年5月からEUの港湾間を航行する旅客船に適用される。

次に4b項については、同指令発効の1年後から規制値を0.2%とし、2008年に0.1%にする2段階方式の規制導入を委員会は提案していたが、これに対しEU閣僚らは、2010年1月から規制値を0.1%とする1段階方式を導入することで合意した。

ただし、イタリアは、4a項旅客船用燃料に対する硫黄含有量の規制強化については2010年まで延期することを主張した。旅客船の規制対象は客員・乗組員を合わせて12人以上の船舶という定義が合意されたが、これでは12台のトレーラーとそのドライバーを運ぶ小型フェリーも規制対象になり、同国がCO<sub>2</sub>削減のため推進している海上貨物輸送の妨げになると主張している。船舶燃料の硫黄成分の制限に関する指令については、最終的にはイタリアとキプロスは規制内容が厳しいことからすぎるとして同指令を支持せず、スウェーデンは逆に実施時期について各国の同意が得られていないため実効性に欠けること理由に棄権したと伝えている。

11月に発表されたEU委員会のステートメントによれば、船舶燃料の硫黄成分の削減指令に関する6月の政治合意を受け、閣僚理事会は同指令案に対する第2読会が開かれることになった。政治的なプロセスに入っているとは言え、4b項を含めた超低硫黄燃料の使用を求めるEU指令は2010年前後に実施される可能性が高い。

さらにIMOをけん制する動きとして、NO<sub>x</sub>については2006年までに規制値の見直しが提案されない場合は、下記に述べる米国EPAのTier2や最新の削減技術を参考にEUとして独自の新たな規制案を提案することとしており、2004年末までにその内容について提案を予定している。しかし、NO<sub>x</sub>排出量に対する提案はされていない。またEU委員会は、VOC放出に関しては、船舶からの放出が大きく、他の陸上排出源の規制強化を行うよりコストパフォーマンスから船舶由来のVOC規制することのほうが効果的である可能性があるとしている。船上脱硫装置の設置、変動的港湾利用料や汚染排出税そして陸上起源汚染源との排出権取引などの経済的インセンティブなど、は今回対策の一環には含まれなかった。しかし、輸送設備利用料に関する別のイニシアチブの中では、Green Awardなどの取得した船舶の使用が条件として取り上げられたり、CSRの観点から一部の事業者が自主的に上乘せ基準を採用する動きも見られる。

欧州委員会のアドバイザーであるコンサルタント会社Neraは、船舶による大気汚染削減に向けた市

場措置の見直しを行った。この調査は、昨年秋に指示されていたものである（欧州ニュース 2003 年 9 月 10 日付）。

国内排出上限指令に基づいて、陸上の排出源からの二酸化硫黄（SO<sub>2</sub>）および窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）を削減しようとする EU の動きを受けて同社が行った見積もりによれば、船舶による同汚染物質の排出が 2020 年までに EU 全体の排出量の半分以上を占めることになるという。

EU の船舶イニシアティブに関しては、2003 年に出された Nera のレポートが注目される。同レポートによれば、傾斜港湾料金を環境に配慮した船舶に対して導入することがまず第一ステップとして考えられるとしている。この方法は、排出権取引制度などに比べれば期待される削減量は少ないが、政治的抵抗に遭う可能性は最も低く、将来的な金銭的イニシアチブの導入が期待できることになるとしている。

Nera は、港湾料金の差別化に加え、「コンソーシアム・ベンチマーキング」を主張している。これは、船主が結束して排出削減に取り組むというもう 1 つの自主的なアプローチである。別のアプローチとしては、船舶に排出目標の達成を義務付けるものの、その過程でクレジットを発行するという方法がある。船舶はそのクレジットを政府もしくは汚染上限値に直面している陸上の企業に売却できる可能性もある。本手法は既に SCR の観点から幾つかの企業集団により採用されつつある。

Nera は、排出税、キャップ・アンド・トレード方式、巡航距離に基づいた課金は、環境面および経済面で非常に効果があるが、それには世界規模での承認が必要であり、短期的には厳しい政治的制約に直面すると語った。これらの勧告を盛り込んだ提案は、2005 年に予定されている欧州委員会の大気汚染に関するテーマ別戦略「Clean air for Europe（Cafe）」の中では、採用されていない。特に、排出権取引については、陸上で最も大きな取引の枠組みである EU 炭素排出権取引制度にも、その立ち上がりにおいて排出枠の割当を必要としているが、国別割り当て量の提出を法定期限の 2005 年 2 月 28 日までに提出したのはデンマーク、フィンランドおよびオランダのわずか 3 カ国に過ぎないなど、順調に進行しているとはいえない状況であり、船舶との排出権取引が実施されるためにはさらに時間を要すると予想される。

欧州委員会は 2005 年 2 月 9 日、気候変動問題に関して、京都議定書の約束期間後となる 2013 年以降の戦略を記者発表した。排出削減参加国の拡大や対象部門の拡大、産業技術革新の推進、市場メカニズムの活用などを盛り込んでいる。

環境担当のディマス欧州委員は「気候変動との戦いは選択肢ではなく、不可避な問題。われわれは引き続き世界の模範となり、各国が協調して取り組むよう圧力をかけていく必要がある。気温上昇を 2 度以内に抑えるという目標は達成可能だと信じているし、公表された 2013 年以降の戦略に伴うコストは、経済的にも対処できる」と述べている。

戦略の柱は、排出削減を行う参加国の拡大（開発途上国も含め、排出量が多い国の参加を促す。）、規制対象部門の拡大（海運業界や航空業界、林業などの分野も含める。）、産業技術革新の推進（積極的に技術開発を進めるとともに、エネルギーや運輸、ビルのインフラに長期的視点から適切な投資を行う。）、排出権取引など、市場に応じた手法の柔軟な活用等をあげており、今後 EU 域内の海運からの排出量（現在は IMO の管轄）を UNFCCC などの管轄に置くことによって、国際モダルシフトなどの方策が、域内の排出量削減に繋がる枠組みとして捉えられるように提案して来るものと考えられる。

さらに船舶からの排出量を、EU の国別排出上限値指令（長距離大気汚染物質輸送に関する条約に基

づく)に基づいて、2010 年までにすべての陸上の排出源が排出すると予測されている量の優に半分以上を占めている。国別排出上限値指令の下に船舶からの排出も規制すべきだと欧州議会は主張していたが、最終的に含まれていない。

## (2) スウェーデンにおける対応

スウェーデンにおいては、1998 年 1 月 1 日から新たな航路使用料(fairway due)の体系を導入した。航路使用料は、従来は船舶の総トン(gross tonnage)に応じた料金と取り扱い貨物の載貨容積 (volume)に応じた料金の 2 種類の料金が定められていた。新しい料金体系では、船舶の総トンに応じた料金が NOx の排出量及び燃料中の硫黄分の比率によって変化する体系になっている<sup>5</sup>。船種と使用燃料硫黄分により、NOx 排出率に応じたトン当たりの航路使用量が設定される。

設定当初は 2002 年での NOx 及び SOx の排出量を 1997 年の 25%に削減する(75%を削減する)ことを目標にしていたが、SMA Annual Report 2001 では、バルティック海における排出量の削減幅は、NOx で 50,000 トン(12%)、SOx で 27,000 トン(18%)の削減が認められているとしている。

またスウェーデン船主協会では、SOx 排出量について陸上との排出権取引を行う方向で検討を始めたとされており、一般的な数値であるとしながらも、SOx では 10 \$/t、NOx では 15\$/t 程度の数値になると考えられている。

1996 年にはこの制度を導入した同国内の港は 25 にのぼり、継続的な低硫黄分燃料の使用を登録している船舶数は 1043 隻にのぼり、客船は 0.5%の自動車用軽油を他の船舶は 1%の重油を用いている。0.9 SEK/GRT(スウェーデンクローネ/総トン、約 10 円/総トン)の航路通行料アップは、燃料転換のインセンティブとしては充分であったとしている。ただし、低 NOx 機関搭載および連続使用を認証された船舶は、2001 年の 12 月においても、わずかに 25 隻のみであり、使用燃料の 1043 隻に比較すると極端に少なくなっている。IMO の NOx 規制のように、型式認証のみで低 NOx 排出とすることはできず、たとえば SCR であれば反応剤であるアンモニアガスまたはアンモニア水などの購買使用記録などについて整備する必要がある点が実施例を少なくさせているものと考えられる。

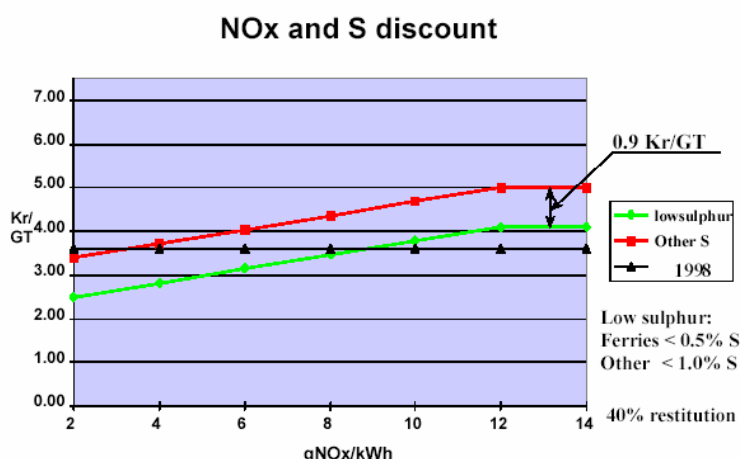


図 5.4.1.1.2.1 スウェーデンにおける環境配慮事項による航路使用料金の制度

<sup>5</sup> [http://www.imprint-eu.org/public/Papers/IMPRINT\\_Swahn\\_sea.pdf](http://www.imprint-eu.org/public/Papers/IMPRINT_Swahn_sea.pdf) からの引用

表 5.4.1.1.2.1 スウェーデンにおける環境配慮事項による航路使用料金の制度

関係項目	料金	備考
NO <sub>x</sub> の排出量に応じた基本料金	タンカー： ・ 2g-NO <sub>x</sub> /kWh 未満：3.7 SEK/GRT ・ 2g-NO <sub>x</sub> /kWh 以上 12g-NO <sub>x</sub> /kWh 未満： $Y(\text{SEK/GRT}) = 0.16 * X(\text{g-NO}_x/\text{kWh}) + 3.38$ ・ 12g-NO <sub>x</sub> /kWh 以上：5.3 SEK/GRT その他の船舶： ・ 2g-NO <sub>x</sub> /kWh 未満：3.4 SEK/GRT ・ 2g-NO <sub>x</sub> /kWh 以上 12g-NO <sub>x</sub> /kWh 未満： $Y(\text{SEK/GRT}) = 0.16 * X(\text{g-NO}_x/\text{kWh}) + 3.08$ ・ 12g-NO <sub>x</sub> /kWh 以上：5.0 SEK/GRT	NO <sub>x</sub> 排出量： 75%負荷時の値
燃料中の硫黄分に応じた割引	客船： ・ 使用燃料の硫黄分が 0.5wt%以下：-0.9 SEK/GRT その他の船舶： ・ 使用燃料の硫黄分が 1.0wt%以下：-0.9 SEK/GRT	「-」： 割引の意味

\* 1 SEK(スウェーデン・クローナ) = 約 11.6 円 (平成 13 年 12 月 4 日現在)

\* GRT：総トン (gross tonnage)

### (3) ノルウェーにおける対応

ノルウェーでは 2000 年 1 月 1 日から船舶への課税 (tonnage tax) を環境や安全への配慮事項によって割引くという制度を導入した。この制度は、船種や配慮事項によって重み係数を変えて配慮内容をポイントで評価し、最終的に課税の割引(最大 10 ポイントで 25%の割引)を行うものである。ノルウェー政府は今後種々の環境税の導入を検討しており、その一環として内航船に対する CO<sub>2</sub> 税や硫黄税も検討されている<sup>6</sup>。

環境への配慮事項に関しては廃棄物や船底塗料等様々なものが対象にあがっている点は興味深い、大気汚染物質に関してはスウェーデンと同様に NO<sub>x</sub> および SO<sub>x</sub> が対象である<sup>7</sup>。

### (4) ドイツハンブルグにおける対応

ドイツのハンブルグ港では 2001 年 7 月 1 日からグリーン SHIPPING (green shipping) と呼ばれる経済インセンティブ施策を実施していたが、2003 年 6 月 1 日で中止されている。この内容は ISO14001<sup>8</sup> の認証あるいは後でに述べる Green Award の認証を取得した船舶に対して港湾の料金(port fee)の最大で 6%を割引くといったもので、さらに NO<sub>x</sub> 排出量の削減や低硫黄燃料の使用、TBT 塗料の不使用等による特別割引(12%または Fee が 50DM になるまで)が付加されていた。

<sup>6</sup> International Conference on Incentives for Environmentally Sound Maritime Transport. (2000) The Norwegian approach(Norwegian Ministry of the Environment). からの引用

<sup>7</sup> Air Pollution and Climate Series No.11/T & E report 99/7. (1999):Economic instruments for reducing emissions from sea transport からの引用

<sup>8</sup> 環境マネジメントシステムに関する国際規格

しかし、3500 ケース以上の申請があったが、その大半が TBT フリー塗料による 12%引きの申請であったこと、同塗料に対する強制規制(EU 指令)が 2003 年 2 月 20 日に合意され、2008 年 7 月 1 日より新規塗布が事実上禁止されるため同制度は廃止された<sup>9</sup>。このように、NOx、SOx など大気汚染に関する規定は、実際に適用された例が少ないようである。

#### (5) フィンランドにおける対応

フィンランドのオーランド(Åland)島のマリエハム(Mariehamn)港では、NOx 排出量(10g-NOx/kWh 以下)に対して港湾の基本使用料を 1%、NOx 排出量(1g-NOx/kWh 以下)に対し 8%をそれぞれ減額し、かつ使用燃料の硫黄分(0.5%未満)に対して同じく 4%減額、硫黄分(0.1%未満)に対して同じく 8%減額するという環境差別化港湾料金制度が導入されている<sup>10</sup>。ただし、他の港湾に対しての制度の拡張は、港湾管理者が地方自治体であることから困難と思われる。

#### (6) その他の対応事例

Green Award 財団<sup>11</sup>は一定の基準を満足する 20,000DWT 以上の原油タンカー、プロダクトタンカー、バルクキャリアを認定(Green Award)し、認定船舶についてはロッテルダム港をはじめとした 8 カ国、41 港において港湾使用料を 3~7%割引く(港湾によって異なる)というインセンティブ手法を取り入れている<sup>12</sup>。認定基準は Green Award 財団が定める「Seacare for Operation」に詳述されているが、船舶及び事務所の両方について監査を実施し、各項目について点数評価を行い、一定の点数をクリアすることが要求されている。NOx、SOx については、MARPOL 条約附属書 の基準や同じく低硫黄燃料(3.0%および 1.5%)の使用が評価項目となっているのみであり、上乘せの努力目標は設定されていない。

このように、国や港湾の枠組みを超えて、インセンティブを与える制度は注目に値するが、近年において認証の事務的な煩雑さおよび認証料金(毎年徴収される)の高騰により一部の船社が脱退することが報じられるなど、その運用は必ずしも順調であるとは言えない。

#### 5.4.1.1.3 米国における規制

米国では新規発生源性能基準(NSPS: New Source Performance Standards)の見直しやそれに伴う従来未

---

<sup>9</sup> ハンブルグ港の 2003 年の公報より

<http://fhh.hamburg.de/stadt/Aktuell/pressemeldungen/2003/mai/14/pressemeldung-2003-05-14-bug-01.html>

<sup>10</sup> EU の硫黄規制に対する 2002 年 2 月のフィンランド政府の回答では、上記の理由によりまず 付属書の改正が優先されるべきとの環境省の見解が示されている。

[http://europa.eu.int/comm/environment/air/consultation\\_responses/finland\\_response.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/air/consultation_responses/finland_response.pdf)

<sup>11</sup> もともとは 1994 年にロッテルダム市港湾局がロッテルダムに設立した財団。

<http://www.greenaward.org/>

<sup>12</sup> ベルギー、リトアニア、ニュージーランド、ポルトガル、南アフリカ、スペイン、オランダ、イギリスは、港湾管理者または国が直接 Fee を補助する。一方、ロッテルダム港、欧州の水先案内およびタグポート組合に対しては、基金から直接補助金が支払われる。



規制であった発生源に対する MACT<sup>13</sup>の設定など、大気排出規制値の見直しが急である。船舶に対しては IMO 規制値の導入及び将来において一層厳しい規制値の提示が予定されている。

#### (1) 連邦レベルの規制(40 CFR PART 94)

米国 EPA は 1999 年に 1 シリンダー当たりの排気量が 30 リットル未満の機関(カテゴリー1 およびカテゴリー2)に対する規制を始めていたが、これは未発効の IMO 規制値をボランタリーに適用するものとされていた。2002 年 5 月 29 日に、米国船籍に搭載された新造の船用ディーゼル機関(30 リットル以上のカテゴリー3 を初めて対象とする)の排気ガスに対する規制案が示され、全カテゴリーに対する大幅な見直しが行われた。同法案は、審議を経て 2003 年 2 月 28 日に最終修正を経ており、現在 40 CFR PART 94 として施行されている。これまでカリフォルニア州の限定した海域において適用されていた SIP(State Implementation Plans)など異なり、大気清浄法(Clean Air Act)の改正であり、連邦全体に適用されるものである。

第 1 段階(Tier 1)は、NO<sub>x</sub> 基準を MARPOL 条約附属書 の基準と同等のものであり、2004 年 1 月 1 日以降に製造される新機関(全てのカテゴリー)に対して適用される。そして、第 2 段階(Tier 2)として、最短で 2004 年以降に製造される新機関に対する NO<sub>x</sub> 排出基準を、カテゴリー1 の機関についても MARPOL 条約附属書 の基準の 30%減とするとしていた。Tier1 の規制およびカテゴリー1、2 に対する Tier2 の規制はほぼ原案のまま認められ、表 5.4.1.1.3.1 に示すようにカテゴリー1 では、排気量ごとに 2004 年～2007 年以降に、カテゴリー2 では 2007 年以降に新造される米国船籍の船舶に搭載される機関に適用される。

その他、全てのカテゴリーに対して、ボランタリーな低排ガス機関基準(Blue Sky Series)の数値も記載された。MARPOL 条約附属書 の基準の 80%減を想定しており、これらの基準に適合するためには、触媒技術による排気ガスの浄化や燃料電池等の新しい機関への転換などの技術の使用が必要とされる。本調査における開発ターゲットである 80%減は、米国のカテゴリー3 に対する削減目標と合致する。

しかし、最終的にはカテゴリー3 に対する Tier2 の規制値は技術的な不確定要素から確定せず、2007 年 4 月 27 日までに公表するとされている。EPA は現時点では、カテゴリー3 に対する PM 規制は考えていない模様であり、NO<sub>x</sub>+THC(または NO<sub>x</sub> と HC を単独の規制値)、CO について規制値が公表されると予想される。インタビューなどによれば、水エマルジョン燃料や海水スクラバーさらに SCR など幅広い削減技術を検討するとされており、カテゴリー1 および 2 に適用された現在の附属書 の基準からさらに 30%削減するという目標よりさらに低い排出量を想定しているものと考えられる。カテゴリー1、2 の規制値についても今後ボランタリー規制程度(附属書 の基準 80%削減)に厳しくすることも、今後考慮するとされる。

なお、カテゴリーごとに 1,000 時間から 10,000 時間に規定されているのべ運転時間または耐用年数に渡り排気性能を満足することが求められるため、Tier2 レベルを現場レベルで担保するためには、かなりの余裕を見込むことが必要となると思われる。さらに、クランクケースやエンジン補機類から発

---

<sup>13</sup> MACT(Maximum Achievable Control Technology)。米国 EPA における排出基準の考え方であり、RACT(Reasonable Available Control Technology)、BACT(Best Available Control Technology)、MACT と後者になるに従って、コストや削減技術の実用化の程度に重点を置かず、環境面の要求に基づいた規制基準となる。

生する排気についても NO<sub>x</sub>+HC 項目については適用するとしており、自動車機関と同様にいわゆるブローバイガスや潤滑系からの排ガスにも注目した規制となっている。

なお、ガソリンエンジンについては、2004 年新造から、NMHC+NO<sub>x</sub>: 4g/kW/hr、CO: 50g/kW/hr という規制値が適用されることが 2002 年 11 月に公示されている(40 CFR Part 91)。

## (2) 大気質管理区レベルの規制

これ以外に、特に使用燃料については、自動車と同じ軽油相当の燃料(Diesel Fuel.)を船舶機関に対して用いることを定めている州および大気質管理局(AQMD)<sup>14</sup>が複数存在する<sup>15</sup>。たとえば、カルフォルニア州における船舶 NO<sub>x</sub> の寄与度は、2000 年 3%、2010 年 5%、2020 年 9%と試算されている(約 10 海里以内の海域)。このため、カルフォルニア州のロサンゼルス港においては、フェリーに対して自動車用軽油を使用することが定められており、低硫黄燃料の使用により付随的な NO<sub>x</sub> の低減が期待されている。本年中に停泊中および荷役中における陸電使用または低硫黄分燃料の使用の義務付けが再び提案される予定である。ロサンゼルス港の新規に建設中のコンテナふ頭では、これを見越して陸電供給施設を建設、本年中に実船に対する実験が行われる見込みである。また、大阪商船三井もロサンゼルス市長と将来の陸電使用に関して協定を結んだ事が報じられている。

表 5.4.1.1.3.1 EPA の新造船搭載機関に対する排ガス規制値(40CFR PART 94 より作成)

カテゴリー	シリンダーあたりの排気量 l/シリンダー	規制適用年	NO <sub>x</sub> +HC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PM (g/kWh)
1	定格出力 37kW かつ 排気量<0.9	2005 (プレジャーボートは 2007)	7.5	5.0	0.4
	0.9 排気量.<1.2	2004 (プレジャーボートは 2006)	7.2	5.0	0.3
	1.2 排気量<2.5	2004 (プレジャーボートは 2006)	7.2	5.0	0.2
	2.5 排気量<5.0	2007 (プレジャーボートは 2009)	7.2	5.0	0.2
2	5.0 排気量<15	2007	7.8	5.0	0.27
	15 排気量<20 かつ 定格出力 <3300 kW	2007	8.7	5.0	0.5
	15 排気量<20 かつ 定格出力 3300 kW	2007	9.8	5.0	0.5
	20 排気量<25	2007	9.8	5.0	0.5
	25 排気量<30	2007	11.0	5.0	0.5
3	排気量 30	2007 年 4 月 27 日までに適用年、NO <sub>x</sub> +HC、CO について規制値を公表する			

<sup>14</sup> 米国大気清浄法においては、地理的・気象学的特徴から郡などの行政的な境界とは別に大気質管理区(Air Management District)と呼ばれる管理区を設定し、管理区ごとに上乘せの排出規制値を定めることができる。

<sup>15</sup> たとえば、カルフォルニア州の州法では 75 人以上の乗客定員を持つ客船は 500ppm 未満の硫黄含有率およびアロマトニック成分が 10%を超えない自動車用軽油を用いることが定められている。

- 外国船籍および定格 37kW 未満の機関は全て対象外。
- プレジャーボートは 100 総トン未満で乗員 6 人以上の船、100 総トン以上で乗員 1 人以上の船、競艇用の船舶を除く主にレクリエーションなどに用いられる小型船舶と定義されている。
- メーカーに生産上のフレキシビリティを与え、同じ企業内の 3 年以内の新旧エンジンファミリーごと もしくは企業間のエンジンファミリーごとに排気性能のクレジットを交換できる ABT(Averaging, Banking, Trading)プログラムを採用している。ただし、この場合でも上記規制値の最大 1.5 倍を超えることはできない。

### (3) カルフォルニア州における陸電使用

カルフォルニア州の一部コンテナふ頭では、停泊時における陸電使用が行われている。以下新聞報道などを中心に紹介されている内容を示す。

ロサンゼルス港(カリフォルニア州)当局は 2004 年 6 月 21 日、停泊中の船舶が発電のためにディーゼルエンジンを回し続ける代わりに、ドック内に設置されたコンセントから電源を取ることが出来る「コールド・アイアン(cold ironing)」と呼ばれる技術を採用した、世界初の電化コンテナ・ターミナルを開業した。

ロングビーチ港(カリフォルニア州)当局が先ごろ出した報告によれば、ロサンゼルス、ロングビーチの 2 港に停泊中の船舶が排出する窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) は年間 4,000 トンを超え、サンペドロおよびウィルミントン地区における大気質の著しい悪化の原因となっている。China Shipping 社の新ターミナルに導入されたコールド・アイアンシステムにより、停泊船 1 隻につき NO<sub>x</sub> が 3 トン以上、ディーゼル排出粉子が 350 ポンド以上削減できると期待され、同システムに世界の注目が集まっている。2001 年、天然資源保護協議会(NRDC)、大気汚染防止連合(Coalition for Clean Air)、コミュニティ・フォ・ア・ベター・エンバイロメント、およびサンペドロ地区の 2 つの住民団体は、近隣社会への被害を考慮せず、あるいは軽減策を講じることなく China Shipping 社のターミナルを認可したとして、ロサンゼルス市および同港湾当局を相手取り訴訟を起こしたが、今回のコールド・アイアンシステムの導入により、同訴訟に対する一部和解が成立する。

米最高裁 Dzintra Janavs 判事により承認された和解案では、港湾当局に以下を義務付けている。

- ・ クリーンな船舶燃料の実現可能性評価のため、ドック内ではクリーンなディーゼル代替燃料で走行するトラクターを使用する。
- ・ ターミナル拡張時には現行機種よりショートアームのクレーンを設置する。
- ・ 標準サイズのガントリークレーンが景観に影響を及ぼすと考えられる場合、その影響を分析する。
- ・ 近隣社会の大気質および景観改善を目的とする 5,000 万ドル規模のファンドを設立し、うち 1,000 万ドルは旧型トラックの処分費用に当てる。
- ・ 上記とは別に、350 万ドルをサンペドロ地区における公園およびオープンスペース開発に拠出する。
- ・ 港湾地区諮問委員会(Port Community Advisory Committee)による承認など、景観改善ファンドの用途に関する評価手段を確立する。

NRDC の上級弁護士であり同訴訟の原告団長、Gail Ruderman Feuer 氏は、「China Shipping 社のターミナルは、公衆衛生を脅かさずとも港湾施設が成り立つことを実証している。コンテナ・ターミナルの空気をきれいだと感じたのはこれが初めてであり、今後もこうあって欲しいと願っている。すべてのターミナルにコールド・アイアンシステムとクリーンなトラックの導入が完了して初めて、ロサンゼルス全住民が大気汚染浄化への希望を取り戻せるのだ」とコメントした。ロサンゼルス港、ロングビーチ港の 2 港は、1 万 6,000 台のトレーラーが、1 日 24 時間エンジンをアイドリングさせた場合に匹敵するディーゼル排ガスを発生させる、一大大気汚染源である。経済学者は、2 港における貨物

取扱量は、今後 20 年で 3 倍になると予測されている。同訴訟原告団の一員である大気汚染防止連合の政策担当ディレクター(policy director)、Todd Campbell 氏は、「両港は米国にとってアジアへの玄関口であり、今後も急速な成長を続けるだろう。しかし、環境・公衆衛生を犠牲にした成長はあり得ない。本日発表されたのは、経済の拡大を阻害せずに汚染監視を続ける有用な手段である」と述べた。

コールド・アイアン技術は海軍艦艇、巡航船、フェリーなどにすでに導入されていたが、コンテナ船に採用されたのは今回が初めてである。

元記事は以下。

<http://www.nrdc.org/media/#0621port>

#### 5.4.1.1.4 今後の規制のあり方

陸上発生源に対する規制の強化に伴い、船舶の寄与率は次第に高くなる傾向にある。たとえば、欧州議会での硫黄酸化物規制のベースドキュメントによれば、欧州における船舶の寄与率は NO<sub>x</sub> で 40%、SO<sub>x</sub> では 44%にのぼる。また、カルフォルニア州においても沖合い航路帯を含めて 10%近くに上るとされている。国内においては SO 財団調査などにより、同じく 30%程度の寄与率が報告されている。こういった寄与率に対しては、現在の IMO 規制では期待される削減効果が出ないことは充分考えられる。次節で詳述する。

IMO の場においては、今後 NO<sub>x</sub> 規制値の 5 年ごとの見直しが検討される。この場合、米国などからは既に述べた IMO 規制値の 30%削減、あるいは 80%削減案などが提出されることが予想される。将来的には 9.8g/kWh 程度の値まで削減される可能性もあるだろう。

一方、国内においては地方自治体を中心に一層の取り組みが検討されることになる。対策を求められる優先順位は、NO<sub>x</sub> であり SO<sub>x</sub> への要求は低いと考えられる。燃料中硫黄分の低減は既に条例レベルで制定している自治体もあるが、硫黄分削減に伴う良質燃料の使用により、NO<sub>x</sub> およびばいじん発生量が少なくなることを期待していることには留意する必要がある。

また窒素酸化物についても IMO 規制よりも低い NO<sub>x</sub> 排出率を求めてくる可能性があると考えられる。この場合、地方自治体が管理は、港湾区域内のみに限定されることなどから、主機よりも停泊中(特に荷役中)に高負荷で稼動する補機について、対策が求められる可能性がある。特に米国 EPA によるカテゴリー1 およびカテゴリー2 の規制値に対応した補機用機関が、今後開発・製品化されと考えられ、同スペックの補機関を搭載することを港湾利用者に対して求めるといった方策が予想される。

また国内においては、本年度一部の地方自治体において行政指導および条例によって、船舶排ガスの規制を行おうとする動きがある。特に新聞発表などによれば、東京都は港内停泊中の船舶に対して、

A 重油への切換えと 陸電の使用を軸とした新たな規制への取り組みを検討する委員会を立ち上げており、本年度内に何らかの結果が示すと考えられる。ここでは、港湾使用料の割引などインセンティブ制度についても検討が行われている模様である。

また、国土交通省港湾局では次年度において停泊中の陸電の使用に関する技術的な検討を行うための予算請求を行ったと報道されている。このように、国内においては新たな規制値の設定より、具体的な削減策を示した規制案が検討されており、その中でも停泊中および荷役中における良質燃料への切換えと陸電使用が、国内における喫緊の大きな検討テーマとなることが予想され得る。

陸上においてはインセンティブ制度全般が発達している EU においてすら、船舶の大気汚染防止を

主眼とした経済的インセンティブは必ずしも順調に展開しているとは言えない。特に NO<sub>x</sub> 規制については、認証の技術的な困難さ、削減技術のコスト高などが、実施上の問題点として考えられる。

#### 5.4.1.2 規制の NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> に対する実質的な効果についての整理検討

##### 5.4.1.2.1 改正海防法による実質的な効果

米国 EPA によれば、IMO 一次規制は未規制の機関に対して、単体ではほぼ 20%近い排出量の削減が期待できるとされている。しかし実質的には C 重油の使用や自然代替によって長期の移行期間を要することから、実質的には 2020 年においても 4%程度の削減効果しかない。また、前節で述べたカテゴリ-1 およびカテゴリ-2 に対する上乘せ規制を実施したとしても、図 5.4.1.2.1.1 に示すように現状排出量レベルを維持する程度に収まっており、輸送量の将来的な増加が規制の実質的な効果を食いつぶす結果となっている。

また、カリフォルニアに本拠を置くブルーウォーター・ネットワークは、この新基準は米国海域内を航行する船舶由来のスモッグの原因となる排気ガスを 2030 年までに 12%削減するにすぎないとしている。

また、英国のコンサルタント会社 Entec 社が行った調査によって、EU 領有海域における船舶の航海では、2000 年の一年間に、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 360 万トン、二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) 260 万トン、二酸化炭素 1 億 5,700 万トンである。IMO 規制では 2030 年においておよそ 10%の削減にしか繋がらず、硫黄についても既に特別海域内を航行するフェリーの切換えが行われているため、18%程度の効果しか期待できないとしている。

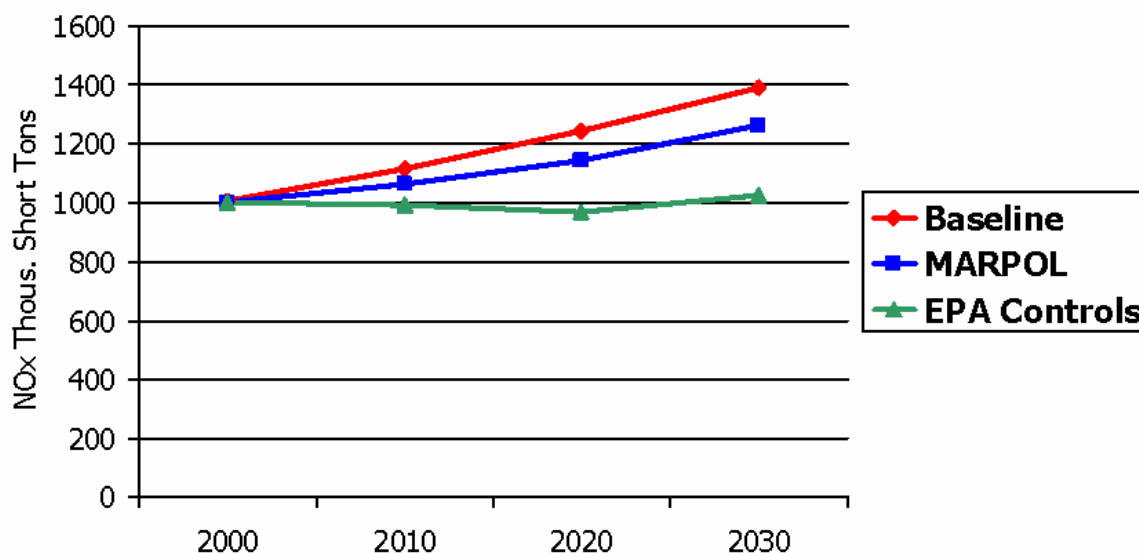


図 5.4.1.2.1.1 米国における各種規制の実質的な効果  
(連邦全体の 250mile 以内の海域からの排出量)EPA,2002

NO<sub>x</sub> 排出規制の効果を見ることを前提とするため、NO<sub>x</sub> 規制対応機関の排出率は、附属書 VI TC の規制カーブを用いることと仮定して実質的な NO<sub>x</sub> 規制効果を推定してみる。IMO 規制値および証

書で保証される排出値は、工場での A 重油試験に対する値である。海上において C 重油相当を使用した場合は、最大で 15%程度と増加し、燃料中の窒素分が影響している事などが、RR-E01 および RR-76 などの結果から明らかになっている。このように全体では機関単体であっても平均的には IMO 規制ラインの 10%増の排出係数が実質的な値と考えられる。また、今後 C 重油中の窒素化合物の含有量が増加する可能性も指摘されている。この場合、更に実質的な排出値は上昇することになる。

また、未規制機関の NO<sub>x</sub> 排出係数については、過去の実測調査における大型ディーゼル機関の値を表 5.4.1.2.1.1 に示した。また、SR224 などにより NO<sub>x</sub> 排出率で見た場合には、機関の経年変化は小さいことがわかっている。20%とした。つまり、NO<sub>x</sub> 対応機関への切換えにより、計算上 10%程度の排出量削減が単体の機関においては期待できることとなる。この場合の燃料消費量増加はほぼ無視できることから、IMO 規制による実質的な効果は、NO<sub>x</sub>10%減、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> は現状のままと考えられる。

マクロで見た場合、2001 年の遡及適用により海防法が施行される時点ではおよそ 1 割の外航船が証書を持つことになると予想される。しかし、その後の普及速度は遅く、2030 年でも 8%程度の削減効果しか期待できないと予想される。

他の規制では燃料転換があげられる。前節で既に述べたように、国内においては A 重油相当への切換え、欧州においては 1.5%さらに 0.1%程度にまで削減する案が検討されている。これらの燃料転換は硫黄酸化物排出量削減だけを目指しているのではなく、NO<sub>x</sub> および PM の排出量を削減することを目的としていることは明らかである。レポートなどによれば、NO<sub>x</sub> の期待削減量は最大で 2 割程度、PM の期待削減量は最大で 5 割程度になると考えられた。

以上を表 5.4.1.2.1.2 にまとめた。なお、PM については情報が少なく、削減期待量は今後さらに検討の余地があると考えられる。

表 5.4.1.2.1.1 過去の実測値における未規制機関の NO<sub>x</sub> 排出係数

実施機関	定格回転数に該当する基準値 (g/kWh)とそれに対する増分	
日本造船研究協会(SR224)	17 12%増	3 機関 2 サイクル
Lloyd's Register	17 28%増	8 機関 2 サイクル
川崎市	9.8 22%増	4 機関 4 サイクル
SO 財団 x	17 25%増	1 機関 2 サイクル
東京都調査	15 21%増	2 機関 2 サイクル
	9.8 19%増	2 機関 4 サイクル

表 5.4.1.2.1.2 IMO 規制値と現在検討される規制案の実質的な削減率

	具体的な内容	NOx	SOx	CO2	PM
IMO 規制	燃料中硫黄分の制限 機関の出荷時における 規制値を担保。	機関単体で 10%減、マ クロには 2030 年で 8% 減(3 割削減を うたっているが C 重油 使用などにより実質的 な削減幅は減少)	実質変化なし。(キャッ プ 4.5%に対して供給 実態は 3%弱なため)	0 (NOx 規制値による燃 費ペナルティは実質無 視できる。)	0 (NOx 規制によるスモ ーク悪化は非常に少な く現時点では使用燃料 品質に大きく影響され ている)
米国連邦規制	陸上オフロード機関排 出値との横並び 大型機関(カテゴリー 3) については未定	機関単体で最大 50% 減。マクロには米国全 体の排出量を 20%程度 削減。ただし輸送量が増 えるため絶対値は横 ばい。	実質変化なし	実質変化なし	機関単体で最大 40%減 程度(現状値を陸上オ フロード並みとした場 合)
燃料転換 日本	A 重油相当への転換 (川崎市などの条例、東京 都の検討事項)	機関単体で最大 20%減 程度。特に窒素化合物 が多い低質燃料からの 切換えを行った場合は 高い削減率が期待でき る。マクロには港湾区 域内で 8%減程度。	およそ 80%減(発熱量 で補正した場合)。マク ロには港湾域内で 30% 程度	実質変化なし (ただし国内供給量に 変化を及ぼす場合は増 加)	機関単体で最大 50%減 程度か？(PM につい ては情報が少ない)
燃料転換 欧州、カルフ ォルニア州	軽油並みの硫黄含有率 (0.1%程度)を要求	機関単体で最大 20%減 程度。特に窒素化合物 が多い低質燃料からの 切換えを行った場合は 高い削減率が期待でき る。マクロには EU 対 象域内で 13%減程度。	およそ 95%減(発熱量 で補正した場合)。マク ロには港湾域内で 75% 減程度。	実質変化なし (ただし国内供給量に 変化を及ぼすと燃料供 給メーカーは主張して いる)	同上
陸電使用	停泊中の陸電使用	機関単体で 99%減 マクロには港湾区域 内で、最大 10%減程度	機関単体で 99%減。 マクロには港湾区域 内で、最大 10%減程度	機関単体で 50%減(陸 電は原子力、水力、ガ ス火力など CO2 発生率 が低い)	機関単体で 99%減

#### 5.4.1.3 個別の対策における NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> の削減効果の整理検討

前節の規制内容と排出量に比較して、現在検討されている技術がどのように対応できるかを一覧表として示した。陸電使用は CO<sub>2</sub> を含めた全て大気汚染物質に対して削減効果がありかつ削減率が大きい。しかし、初期コストが大きいため、一般貨物船に対して大量に導入する可能性は現時点では小さい。今後はふ頭全体の CO<sub>2</sub> 削減とセットにして議論されるべきであると考えられる。

次に燃料転換は硫黄酸化物の削減効果は大きいもののコストの割に NO<sub>x</sub> 削減量が少ない。このため、水噴射やエマルジョン燃料など水利用技術や電子制御など機関の対応技術により、現在検討されているにより代替できる可能性も十分に考えられる。

今後の IMO の二次規制の議論においては、これら NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> を総合的に検討するとともに、技術の普及速度、地域ごとの削減要求の特性を十分に考慮した検討が必要になると考えられた。また、グローバル規制値を地域規制値の整合性を取ることが重要であり、機関単体での排出量を航海中に制御できるのであれば、High Sea において一定の猶予を認めるなど、一律の規制値設定についても検討が必要であると考えられる。



表 5.4.1.3.1 開発中技術と適用の可能性に関する整理

		グローバル規制	港湾域および航路規制	停泊中
IMO 規制 実施済み	適用		(硫黄については特別海域の設定も可能)	(ボイラーおよび小型は対象外)
	効果	全地球域では十分な削減効果があるか？導入速度はやや遅い。 SO <sub>x</sub> は規制による効果がない。	(NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> とも現在の規制値と導入速度ともに十分でないと考えられる。また PM についての規定がない)	(同左)
燃料転換(低硫黄分燃料への転換) EU および東京都で検討中、加州、川崎市などで実施中	適用	×	(欧州および加州では航路帯にも適用可能としている。技術的には燃料切換えが発生するため、安全性と船員の労力増加の可能性があり)	(停泊中であれば供給体制には大きな問題は生じない)
	効果		(SO <sub>x</sub> は大きな効果があるが、NO <sub>x</sub> については削減率が充分でない。モニターが困難。PM については情報が少なく評価は難しい)	(同左)
燃料転換(DME、LNG、バイオエタノールなどへの転換)	適用	×	×	(一部の専用船のみ専用ふ頭など燃料インフラが整備されているのであれば可能性がある。レトロフィットは困難)
	効果	(インフラ整備およびランニングコストが高く、LNG 船や DME タンカーなどを除き現実的でない)	(デュアルフューエルの可能性もあるが実用的でない。専用タンカーについては可能)	(同左)
	効果		(NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、PM ともに大きな効果がある。CO <sub>2</sub> についても発熱量当たりの CO <sub>2</sub> 排出係数が小さいことから、削減効果がある)	(同左)

		グローバル規制	港湾域および航路規制	停泊中
燃料改善技術 (IMO の NO <sub>x</sub> 二次規制 などで想定されている。 電子制御など)	適用	(現時点では既存船への適用 は未定)	(電子制御であれば、海域ごとに設 定が可能。大洋域は CO <sub>2</sub> に重点を 置くなど)	(D/G 補機であれば陸上技術の転用お よびレトロフィットも可能である)
	効果	全地球域では十分な削減効 果があるか？ SO <sub>x</sub> は規制による効果がない。	(NO <sub>x</sub> で IMO 規制から更に 3 割程度 の削減が期待できるためマクロに も削減効果が期待できる。上記のよ うに電子制御などによる可変制御 の場合はモニターが必要)	(同左)
水利用技術 (水エマルジョン燃料、 水噴射技術など)	適用	(造水装置などの調整により、 荷室への影響は最小限にな る見込み)	(硫黄については特別海域の設定も 可能)	(D/G 補機であれば陸上技術の転用お よびレトロフィットも可能である)
	効果	(最大で 8 割程度の NO <sub>x</sub> 削減 が期待できる)	(NO <sub>x</sub> で IMO 規制から更に 3 割程度 の削減が期待できるためマクロに も削減効果が期待できる。部分負荷 時には増水量が減少する可能性も ある)	(同左)
陸電使用	適用	×	×	(荷役作業動力源としての適用は難 しい。給電施設の共通仕様化が必要)
	効果			(CO <sub>2</sub> を含めた削減効果が期待できる)
SCR	適用	(理論上は全航海中の作動も 可能。ただし、コストは A 重 油転換のみ)	(一部船舶は航路帯での部分作動を 実施している)	×(補機への適用はコスト的に困難。)
	効果	(9 割以上の NO <sub>x</sub> 削減が期待 できる)	(9 割以上の NO <sub>x</sub> 削減が期待できる。 CO <sub>2</sub> は反応剤コストを含めて 5%程 度増加か)	× (CO <sub>2</sub> を含めた削減効果が期待できる)

## 5.4.2 燃焼シミュレーターによる各種燃料のNO<sub>x</sub>発生特性の把握

### 5.4.2.1 各種燃料の NO<sub>x</sub> 発生特性に関する調査、データ収集

本年度は、A 重油 (Marine Diesel Oil、MDO と略す。) と C 重油 (Bunker Fuel Oil、BFO と略す。) の NO<sub>x</sub> 発生特性の違い、また BFO の性状による NO<sub>x</sub> 発生特性の違いについて調査研究を行った。

図 5.4.2.1.1 は RR-E301 研究成果の一つであるが、低速 2 サイクル機関搭載の大型コンテナ船で、MDO 使用の陸上試運転時と BFO 使用の就航時の NO<sub>x</sub> を比較したものである。明らかに BFO 使用時の排出 NO<sub>x</sub> は高く、また各航の BFO データは MDO データの+20%までばらついている。さらにこの研究では、定容燃焼装置を使って燃料中 N (窒素) 分の Fuel-NO<sub>x</sub> への転換率も求めている。しかし各航で使用した BFO の N 分は 0.3 ~ 0.4% の狭い範囲に入っており、Fuel-NO<sub>x</sub> だけでは大きなばらつきの説明にはならない。またこの程度の N 分では Fuel-NO<sub>x</sub> はせいぜい全 NO<sub>x</sub> の 10% 程度であり、図 5.4.2.1.1 で多くの BFO データが MDO より 10% 以上高いことの説明にもならない。

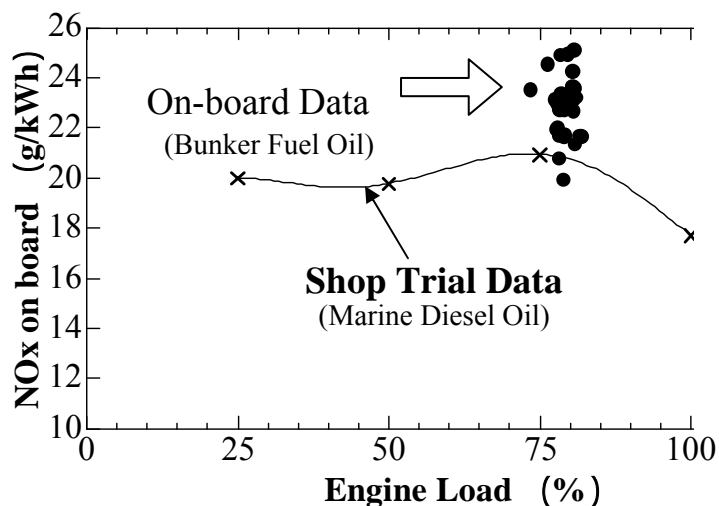
(図は省略するが) 東京商船大学の 3UEC37/88H 型 2 サイクル実験機関 (ボア 370 ミリ)、Wartsila 社のボア 460 ミリの中速 4 サイクル機関を使った実験でも、BFO 使用時の NO<sub>x</sub> は MDO や軽油使用時より明らかに高くなっている。

図 5.4.2.1.2 は、Lloyd (船級協会) が 4 種類の BFO を使用して NO<sub>x</sub> を測定 (就航時) した結果である。これによると、低負荷になるほど燃料による NO<sub>x</sub> 値のばらつきは大きくなっている。また CCAI 値で見ると最も重質な BFO と最も軽質な BFO が高い NO<sub>x</sub> 値を示しており、BFO の性状を基にした説明がしにくくなっている。

#### ・燃料によって熱発生率が異なりそれが NO<sub>x</sub> 生成に影響する可能性

ピークの高い熱発生率を描いて燃焼が進行すれば、その分サイクル最高温度が高くなり NO<sub>x</sub> 生成は増加する。しかしこれまで低速 2 サイクル実験機関で MDO と BFO 使用時の熱発生率を比較した例 (図 5.4.2.1.3) を見ると、両燃料の熱発生率にほとんど差を生じていない。ただしこのときの BFO は国内調達の良質のものであり、外国産の BFO については低速 2 サイクル機関の熱発生率データを手でできていない。

中・高速の 4 サイクル機関では、燃料によって熱発生率に違いを生ずる可能性は低速 2 サイクル機関より高い。図 5.4.2.1.4 は、ボア 200 ミリの 4 サイクル実験機関に軽油と BFO (2 種類) を使用して、熱発生率と NO<sub>x</sub> (13% O<sub>2</sub> 換算) を計測した結果である (九州大学とドイツ・ハノーファ大学との共同研究)。ここでは 3 種類の燃料とも BTDC 11° で噴射され、着火時期は軽油・W002 で BTDC 6° (着火遅れ 5°)、BFO・No.315 は BTDC 3° (着火遅れ 8°)、BFO・No.218 は BTDC 1° (着火遅れ 10°) となっている。このように BFO では軽油より着火遅れが長くなり、着火遅れ期間に形成される予混合気の燃焼による初期の熱発生ピークも高くなっている。また BFO・No.218 では顕著な後燃えも見られる。



Ship 'A'

Type of vessel : Container carrier

Engine-output / Speed : 53,300 kW/94 rpm  
(2-stroke)



図 5.4.2.1.1 燃料による排出 NOx の違い (MDO - BFO)

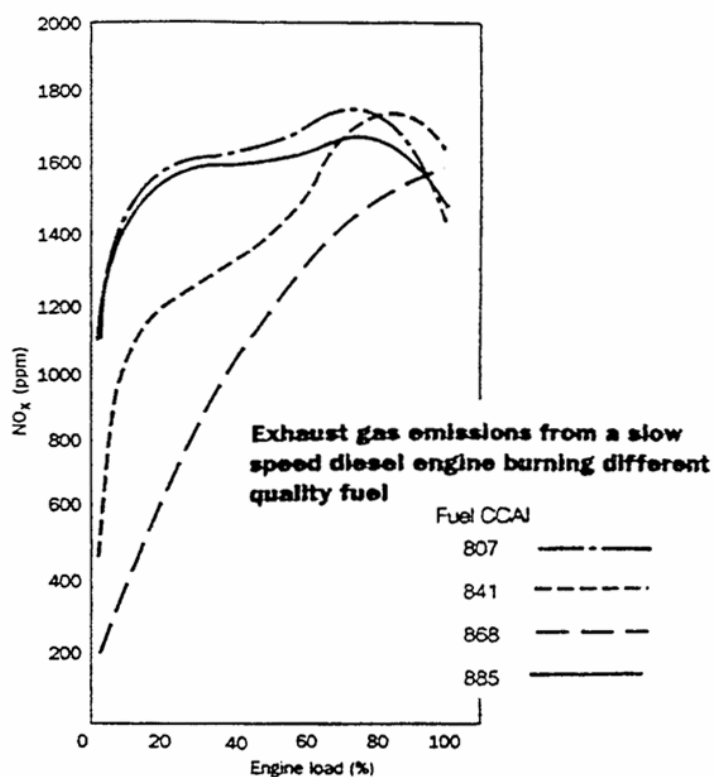


図 5.4.2.1.2 燃料による排出 NOx の違い (BFO 4 種類)

( Marine Exhaust Emissions Research Program , Lloyds Register 1990 )

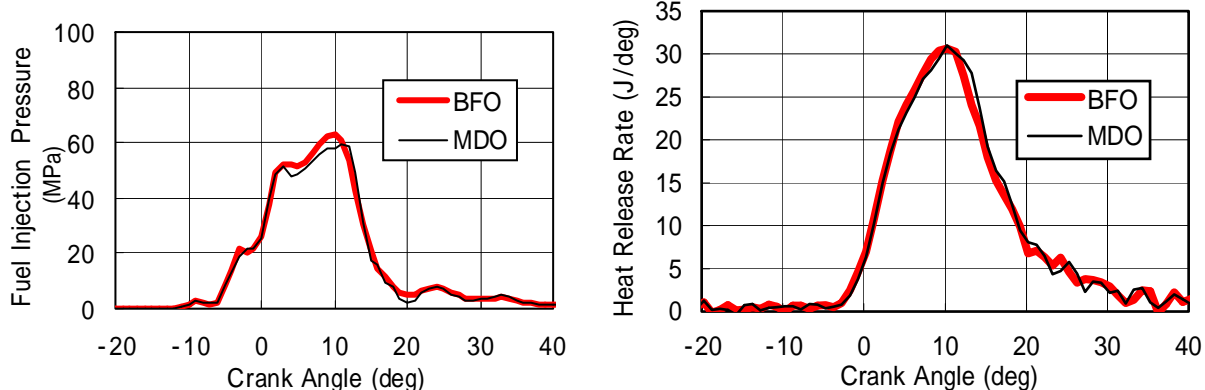


図 5.4.2.1.3 燃料による熱発生率の違い (MDO - BFO, 低速 2 サイクル機関) (RR-E301)

NO<sub>x</sub> は軽油・W002 の 620 ppm を 100% とすると、BFO・No.315 で 87%、BFO・No.218 で 54% の割合となっている。上述したように BFO では着火時期が遅れており、言ってみれば噴射時期が遅延されたのと同じ NO<sub>x</sub> 減少効果をもつ。ただし長い着火遅れによって予混合燃焼のピークは高くなり、これは NO<sub>x</sub> 生成を増加させる要因となる。実測 NO<sub>x</sub> 値は両者の影響が相殺された結果と考えられる。

このように、中・高速 4 サイクル機関では燃料によって熱発生率に大きな違いを生ずることはある。これは機関回転数が速いため（上述のボア 200 ミリ機関は 850 rpm）、燃料による着火遅れの差がクランク角度ベースで大きくなるためである。一方、着火遅れ自身がクランク角度でわずか 1~2°（従って予混合燃焼もほとんどない）の低速機関では、（NO<sub>x</sub> 生成にあまり影響のない後燃えの増加はともかくとして・・・）BFO 使用によって熱発生率が高くなることは考えにくい。以上をまとめると、

- ・低速機関では・・・BFO の方が MDO より NO<sub>x</sub> が高い理由として、BFO の方がピークの高い熱発生率となるからとは考えにくい。またそのようなデータも得られていない。

- ・中・高速機関では・・・BFO の方が長い着火遅れからピークの高い熱発生率となることはある。しかし着火時期の遅れによる NO<sub>x</sub> 減少効果もあるため、一概にこれが BFO の高 NO<sub>x</sub> の理由とは言えない。

#### 5.4.2.2 計算検討

上述の中・高速機関についての考察を確認するため、熱発生率をインプットとして NO<sub>x</sub> を計算する燃焼シミュレーターソフトを制作した。これはシリンダ内を燃焼領域と未燃領域に分けて計算する 2 領域モデルで、NO<sub>x</sub> 生成の計算は拡大 Zeldovich 機構による。

図 5.4.2.2.1 は、図 5.4.2.1.4 に示す 3 種類の燃料の熱発生率をインプットとして NO<sub>x</sub> を計算したものである。図 5.4.2.2.1 (A) は図 5.4.2.1.4 と同じ熱発生率、着火時期で計算した結果である。実測 NO<sub>x</sub> との絶対値の違いはあるが、計算 NO<sub>x</sub> を軽油 (W002) で 100% とすると、BFO・No.315 で 85%、BFO・No.218 で 57% となっており、変化割合としては概ね実測と合っている。

図 5.4.2.2.1 (B) は、熱発生率はそのままで全燃料の着火時期を軽油にそろえた計算結果である（BFO の噴射時期を軽油より早めたことに相当）。これによると予混合燃焼のピークが高い BFO・No.315 の方が軽油より NO<sub>x</sub> が高くなる。しかしその差は 6% 程度である。

#### 5.4.2.3 平成 17 年度の計画

各種燃料の NO<sub>x</sub> 発生特性の違いについて原因を明確にしなければ、今後 NO<sub>x</sub> 低減のための有効な方策も検討しにくい。17 年度は熱発生率以外の原因について検討する。例えば BFO は MDO に比べて蒸発・熱分解の速度も遅く、さらに噴射した際の粒径も大きい。高崎らが行った噴霧火炎の可視化研究では、BFO 噴霧内には MDO 噴霧には見られない大きな非蒸発部が存在し、噴霧内燃料濃度分布が不均一でさらに周囲空気の導入速度も遅い。これらのことから、（例え MDO と BFO で火炎の面積平均温度は同等でも）BFO 火炎の方にはホットスポット（火炎の高温部分）が多いことが考えられる。

（例えば周囲火炎より 200 K 高温であれば 10 倍の NO<sub>x</sub> を生成する。）BFO 使用時の高 NO<sub>x</sub> の原因の一つは、このような不均一な温度分布にあるのではないかと想像される。

17 年度は、これを解明するため可視化実験機関による火炎温度分布測定を実施する。ボア 190 mm , ストローク 350 mm のユニフロー掃気 2 サイクルの可視化実験機関（九州大学に既存）に MDO と BFO（アメリカ西海岸、ヨーロッパ、シンガポール産）を使用し、2 色法という方法で火炎温度分布の違いを詳細に観察する。

実験機関：MAN-6L20/27

(ボア 200 mm , ストローク 270 mm)

実測 NO<sub>x</sub> (13%O<sub>2</sub>)

軽油 No.W002・・・620 ppm (100%)

BFO No.315・・・540 ppm (87%)

BFO No.218・・・333 ppm (54%)

実験条件

回転数：850 rpm P<sub>me</sub>=8.7 bar

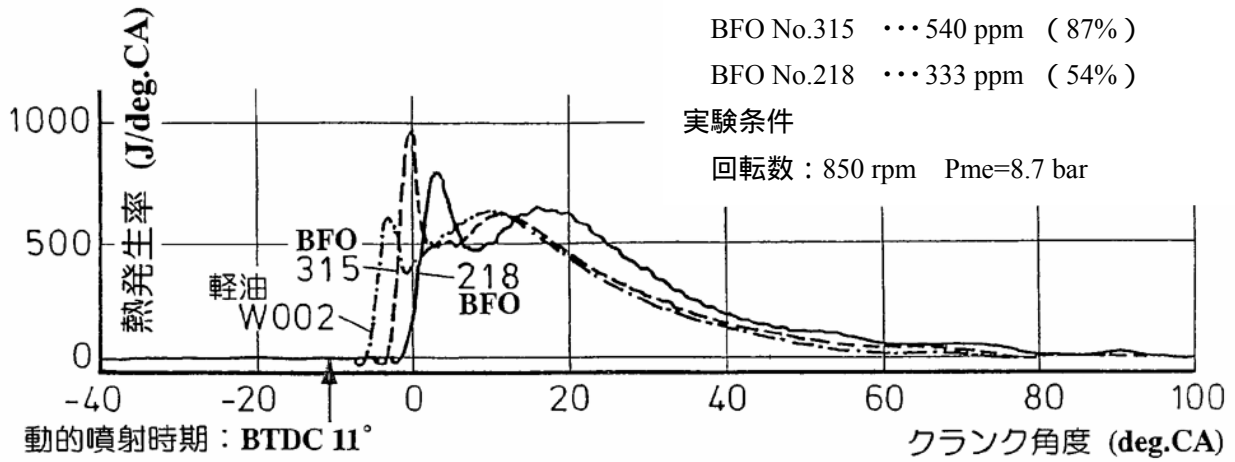


図 5.4.2.1.4 燃料による熱発生率の違い (軽油 - BFO , 中・高速 4 サイクル機関) (九州大学)

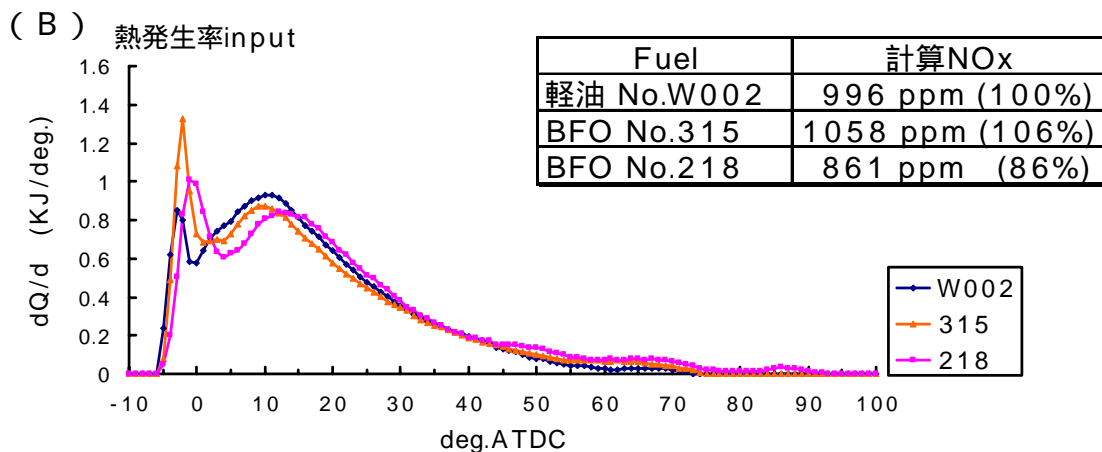
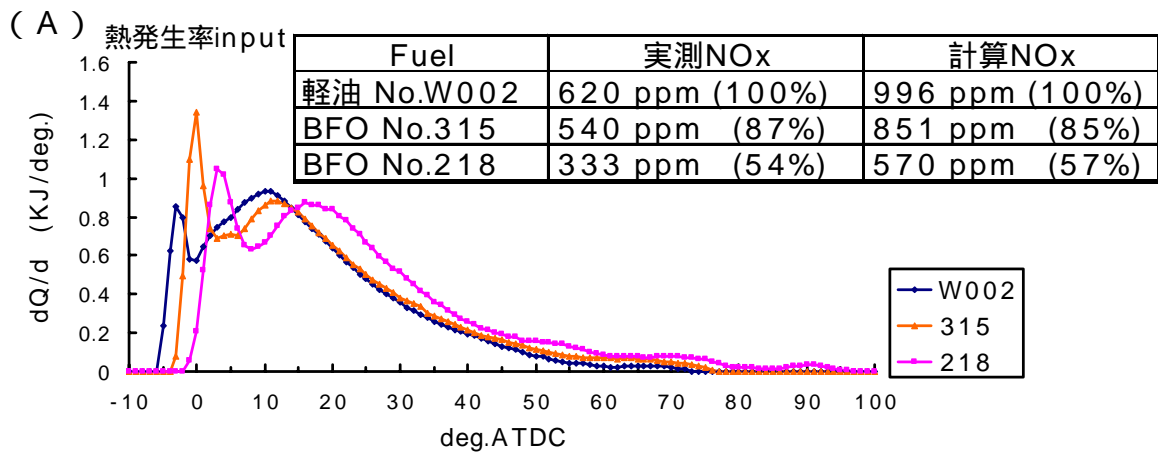


図 5.4.2.2.1 計算検討結果 (九州大学)

(A) 図 5.4.2.1.4 と同条件 (B) 図 5.4.2.1.4 と同じ熱発生率で着火時期をそろえた場合

## 6. まとめ（今後の対応、検討事項）

本年度の研究結果、NO<sub>x</sub> モニタリングの実船試験チームでは2隻の計測が実施された。第1船は、電気推進機関として同一仕様の機関を複数台搭載する極めて先進的な船舶で、第2船はCPPによるプロペラの翼角制御と固定ピッチによる回転数による制御を合わせて使用するコンビネーターコントロール方式を使用する船舶で、いずれも今後非常に有用な情報を得ることが出来た。今後具体的なIAPP 証書再認証シミュレーション例としてIMOに情報提供してゆく。

SCR 脱硝装置のガイドライン作成チームは、予定通り日本案を完成しIMOに提案することが出来た。今後各国の反応を見て対応したい。また、引き続き水噴射装置、乳化油装置のガイドライン案を作成し、IMOへ検討のたたき台として提案してゆきたい。

総合評価指標の検討と燃焼基礎試験チームでは、それぞれ、考え方の基本となる正確な現状認識を目指して作業を行った。総合評価指標については、次回のMEPCにまず指標の必要性について提案したい。燃焼基礎試験では、次年度以降に具体的な因子の特定と影響度の把握を行う。

執筆担当者

田山経二郎  
庄司 勉  
高崎 講二

柳瀬 啓  
川上 雅由

米倉 信義  
華山 伸一



発行者 社団法人 日本造船研究協会  
東京都港区虎ノ門 一丁目 15 番 16 号 (〒105-0001)  
海洋船舶ビル 6 階  
電話：03-3502-2132 (総務部)  
03-3502-2134 (基準部)  
ファックス：03-3504-2350  
ホームページ：http://www.zoken.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。