



日本財団
The Nippon Foundation

助成事業

研究資料 No.05-03

船舶の大気汚染防止基準の作成 に関する調査研究（MP3）

（2005 年度報告書）

2006 年 3 月

財団法人 日本船舶技術研究協会

はしがき

本報告書は、日本財団の平成 17 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、大気汚染防止プロジェクト（MP3）において実施した「船舶の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。なお、本調査研究は、平成 16 年度末に解散した（社）日本造船研究協会が実施した「大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」に引き続き、本会が実施したものである。

大気汚染防止プロジェクト（MP3） 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	田中 孝雄（三井造船）
	高崎 講二（九州大学）
関係官庁	井 亀 優（海上技術安全研究所）
	小川 重次（日本海事協会）
	高野 優一（日本船主協会）
	桐明 公男（日本造船工業会）
	平田 純一（日本舶用工業会）
	田山経二郎（日本内燃機関連合会）
	華山 伸一（海洋政策研究財団）
	中谷 博司 [庄司 勉]（日本郵船）
	米倉 信義（エムシーテック）
	大江 清登（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）
	岸本 幸雄（日本エヌ・ユー・エス）
	今出 秀則（国土交通省海事局安全基準課）
	村岡 英一（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）
	山口 祥功（国土交通省海事局安全基準課）
事務局	今村 智之（国土交通省海事局安全基準課）
	岡部 亮介（日本船舶技術研究協会 IMO 担当）
	井下 聡（日本船舶技術研究協会）

（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. IMO での審議状況	4
4. MP3 の活動状況	14
5. 船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究	
5.1 NO _x モニタリング法のシミュレーション試験(第1 船チーム)	15
5.2 NO _x モニタリング法のシミュレーション試験(第2 船チーム)	66
5.3 NO _x モニタリング法のシミュレーション試験(第3 船チーム)	91
5.4 NO _x 低減装置の IMO ガイドライン案作成	133
5.5 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成	212
5.6 浮遊粒子状物質に係る削減技術の調査	220
5.7 燃焼基礎試験	261
6. まとめ	268
添付資料	269
1. BLG 10/14/8 Review of the on-board NO _x direct measurements and monitoring	
2. 2005 年度 船舶関係諸基準に関する調査研究 成果報告会「船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」講演資料	

1. はじめに

地球環境保全の観点から、船舶は運行経済性と環境負荷の調和を強く求められる時代になってきており、2005 年 5 月に海洋汚染防止国際条約（MARPOL73/78）の付属書 VI（船舶からの大気汚染防止のための規則）が発効し、船舶からの NO_x、SO_x 等の排出が規制されることとなった。更に、2005 年 7 月に開催された第 53 回海洋環境保護委員会（MEPC53）において、MARPOL73/78 の付属書 VI の見直しが承認され、次期規制案の策定作業が開始されることとなった。

本研究では、このような状況下で、付属書 VI に含まれている内容の技術的補強、また、次期規制に係わる内容の基礎的研究を先行実施し、日本として IMO に提案することを目的としている。

2. 調査研究の目的・内容及び背景

本プロジェクトでは、次の5項目について調査研究を実施した。

- 1) NO_x モニタリング法による IAPP 証書再認証のシミュレーション試験
- 2) NO_x 低減装置の IMO ガイドライン案作成
- 3) 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成
- 4) 浮遊粒子状物質に係る削減技術の調査
- 5) 燃焼基礎試験

以下に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_x モニタリング法による IAPP 証書再認証のシミュレーション試験

窒素酸化物の排出規制は強制決議「NO_x 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指針（MEPC.103(49)）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あった。

そこで本調査研究では、NO_x 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 へ提案することを目的とした。調査研究の対象船舶の選定については、平成 16 年度から（社）日本造船研究協会で行ってきた同調査研究で対象とした、発電機特性運転機関をもつ電気推進船及び 4 サイクル中速機関をもつ大型フェリーに加え、今年度は 4 サイクル低速機関をもつ RORO 船も選定し、計 3 隻を対象に調査研究を行った。

2) NO_x 低減装置の IMO ガイドライン案作成

今後附属書 VI の定期的見直しで NO_x 規制が一層強化されることが予想され、本条約を運用する上で、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。

そこで本調査研究では、既に実用レベルにあり船舶に搭載できる可能性の高い水噴射装置、乳化油装置のガイドライン案を作成し IMO へ提案することを目的とした。

3) 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成

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。

そこで本調査研究では、その指針の必要性を IMO へ提案することを目的とした。

4) 浮遊粒子状物質に係る削減技術の調査

2005 年 7 月に開催された MEPC53 において、MARPOL 73/78 条約附属書 VI の改正作業が実質的に始まり、2006 年 4 月に開催される BLG10 以降、粒子状物質（PM）の規制の可否についての検討を行うこととなった。このような状況を踏まえれば、我が国の陸上における PM 規制と、その規制レベルに対応する削減対策の現状を整理しておくことや、船舶での PM 規制のための基礎的情報を整理した上で BLG に対して提供することは、BLG における議論において必要である。

また、PM 削減技術は陸上施設等を主な対象として開発されてきたが、今後の船舶への適用を考えた場合、それら削減技術の削減率及び開発動向など現状を整理・把握するとともに、適用範囲を含めた総量としての削減可能量など総合的に評価することが重要である。

そこで本調査研究では、IMO (BLG) への我が国からの情報提供文書を作成するとともに、PM 削減技術に関する情報を収集・整理し、そのマクロな削減可能幅や対応範囲などを環境面から総合的に評価することを目的とした。

5) 燃焼基礎試験

平成 16 年度に (社) 日本造船研究協会で行った調査研究では、BFO (バンカー油) 噴霧内の燃料濃度分布は MDO (A 重油) に比べ不均一で、BFO 火炎にはホットスポット (火炎の高温部分) が多いことがわかった。

そこで本調査研究では、船用 2 ストローク機関を模擬した可視化実験装置を用いて MDO と BFO を燃焼させ、火炎温度分布の違いを解明することを目的とした。

なお、火炎温度分布から NOx 生成量の差を見積もるのは困難であるため、燃焼による Thermal-NOx 生成量の相違を大型定容燃焼装置 (CVCC、燃焼室内径 $\phi 260\text{mm}$ 、高さ 100mm) を用いて実証することも目的とした。

3. IMOでの審議状況

3.1 DE48 での動向及び対応

3.1.1 船上排ガス浄化システムのガイドライン

(1) プレナリ（初日）における議論

DE47 において設置されたコレスポンデンスグループのコーディネータである米国が、コレスポンデンスグループからの報告書（DE48/13）につき以下のような趣旨の報告を行った。

「独、日本、パナマ、英国、米国、EC、OCIMF、ICS、INTERTANKO 及び ISO の 5 ヶ国と 5 機関が参加し、DE47/20 を基にガイドライン草案を作成した。大部分の項目は合意に至ったが、認証・検証方法、適用すべき燃焼装置、排水基準、及び認証試験の燃料仕様（硫黄含有量）については合意に至らなかった。また、コレスポンデンスグループでの活動の後半に ANNEX 2 が提案されたが、報告書の作成段階であったため、この内容については審議していない。ついては、本会合においてドラフティンググループを設置し、報告書（DE48/13）を基にガイドライン（最終案）の作成を行うことを要請する。」

豪、独、我が国、パナマは、DE48/13 の ANNEX 2 の基本構想を支持し、詳細審議・作成を DG にて行うよう提案した。

次に、コレスポンデンスグループからの報告書で指摘された主に議論すべき下記 4 点について、議長が各国にコメントを求めた。

（イ）EGCS は型式承認、装置仕様、性能基準のどの方式とすべきか。

（ロ）EGCS は全ての燃焼装置に適用すべきか。

（ハ）EGCS からの排水基準の策定

（ニ）認証試験用の燃料仕様（硫黄含有量）

これに対し、（イ）に関し、我が国、ICS は型式承認方式、米国、カナダ、ノルウェー、パナマは性能検証方式を支持した。（ロ）に関し、パナマは全ての油焚き燃焼装置に適用すべきであると指摘した。

（ハ）に関しては各国ノーコメントであった。（ニ）に関し、我が国は 4.5%硫黄含有燃料の使用は必要としないとコメントした。

我が国はこの機会に、NOx 削減装置（SCR）のガイドラインに関する DE48/INF.3 の作成背景・意義を説明し、各国、各機関の理解・評価と次回会合での議題化を要望した。我が国提案に対し、特に意見・コメントは無かった。

次に議長より、最終案の作成に向けて、DG に次の 2 項目が要請されるとともに、DG の議長に我が国の岡村敏氏が就任することとなった。

- ・ DE48/13 を基にしたガイドラインの最終案作成
- ・ ガイドライン（最終案）のプレナリへの提出

(2) DG での議論及び作業結果

DG には 9 ヶ国、5 機関（デンマーク、フィンランド、独、日本、ノルウェー、パナマ、韓国、英国、米国、ISO、IACS、INTERTANKO、EUROMOT、IMarEST）が参加し、コレスポンデンスグループの報告書（DE48/13）の ANNEX 2 に基づいて草案作成作業が進められた。作業結果の詳細は DG 報告書（DE48/WP5）に記載された。以下、その主要点を述べる。

(イ) ガイドライン名称の変更

今後順次策定される NO_x 等の洗浄装置のガイドラインと識別するため、本ガイドラインの名称を「Guidelines for exhaust gas cleaning systems – MARPOL ANNEX VI regulation 14 (4) (b)」から「Guidelines for exhaust gas-SO_x cleaning systems – MARPOL ANNEX VI regulation 14 (4) (b)」に変更した。

(ロ) 燃料燃焼装置の適用範囲

全ての燃料燃焼装置に本ガイドラインを適用する。焼却炉は適用除外とする。

(ハ) 認証・検証方法

本ガイドラインにおける認証・検証の方法は、性能試験による認証と間接監視による検証を組み合わせた方式（スキーム A）、あるいは、連続直接監視法の実証方式（スキーム B）のうち一方または両方を任意に選択可能とする。

(a) スキーム A

初回の性能試験は陸上試験あるいは海上試験で行い、認証を受ける。試験の基準は、主機関が 100～25%負荷、補機関とボイラが 100～10%負荷の領域でSO_x排出量の許容基準（6.0gSO_x/kWh）以下、低負荷領域ではSO₂が 50ppm以下とする。代替基準として、上記負荷域でSO₂（ppm）/CO₂（%）の比が 65（ppm/%）以下を用いてもよい。性能試験は、最大／最小排気ガス流量率、及びその間の 2 点の合計 4 負荷で行うものとする。

また、スキーム A において性能承認（認証）された洗浄装置の同一仕様機器の認証にあたっては、承認されたガス流量範囲であれば性能試験は必要ない。

スキーム A における間接監視の検証方法は、洗浄装置の仕様が記載されたテクニカルファイルを作成し、主管庁の承認を得て、船上保管し、検証を受ける。また、検証のために、最低限の装置性能データ（洗浄水の圧力、流量など）を自動記録する必要がある。

(b) スキーム B

連続直接監視の検証は、SO_x制限海域において、SO₂（ppm）とCO₂（%）を連続計測し、SO₂（ppm）/CO₂（%）の比を用いて行う。許容限度は 6.0gSO_x/kWhに等価なSO₂（ppm）/CO₂（%）の比 65（ppm/%）を用いる。また、監視機器仕様・保守が記載された船上監視マニュアルを作成し、主管庁の承認を得て、船上保管し、検証を受ける。

(ニ) 代替指標の導入

認証・検証試験時に適用される許容限度は 6.0gSO_x/kWhであるが、この代わりに 6.0gSO_x/kWhと等価なSO₂（ppm）/CO₂（%）の比 65（ppm/%）を使用してもよい。基本的に燃料中のS（硫黄）／C（炭素）の比率とSO_x排出量／CO₂排出量の比は等しいことから、規定の燃料消費率（200g/kWh）を使用すれば、6.0gSO_x/kWhに相当するSO₂（ppm）/CO₂（%）の比は約 65（ppm/%）と定まる。

(ホ) 試験燃料の硫黄含有量

認証試験に使用される燃料は 4.5%硫黄含有のものである必要はない。最低 2%以上の硫黄含有燃料とそれより 1%以上高い硫黄含有燃料の 2 種類のテスト燃料を用いて、4.5%硫黄含有の時の SO_x 量を外挿する。

(ヘ) 水基準

公海中の排水基準は現状、世界共通基準が無いため設けることは困難である。従って、港湾等における局所的な規定の排水基準については附属書VI第14規則のとおりとし、外洋等その他の海域においては共通の排水基準は設けない。但し、公海中の排水に関する国際的基準の設定を MEPC53 に求めていくこととする。

(ト) MEPC53 での妥当性検討事項

6.0gSOx/kWhの代替基準として用いるSO₂ (ppm) /CO₂ (%) = 65 (ppm/%) 及びスキームAにおける低負荷域での排出基準 (50ppm) の妥当性については、MEPC53 において妥当性を検討する。

(3) プレナリ (最終日) における議論

DE 小委員会は DG 作業報告書 (DE48/WP5) を特段のコメントなく承認した。この結果、今回作成されたガイドライン (案) は MEPC53 へ上程されることとなった。

3.2 MEPC53 の動向及び対応

3.2.1 船舶からの大気汚染の防止

(1) MARPOL 附属書 VI に基づく検査と証書の調和システム (HSSC) 検査ガイドライン案

(イ) プレナリーにおける議論

FSI13 で作成されたガイドライン案の承認について事務局から説明があった (MEPC53/4/2)。印の「NO_x の放出に影響するエンジンの構成部品等を交換した際に記載する、エンジンパラメータ記録簿を船上で維持管理し難い」及び「ガイドライン案で要求される各種データを乗組員が纏めることは難しく、船舶所有者が変更になった場合には更に難しくなる」とのコメント (MEPC53/4/17) に対して、我が国からガイドライン案通りに行う必要があるとの指摘を行ったところ、議長より、プレナリーでの審議も考慮し、FSI13 で作成されたガイドライン案を、今次会合にて採択するために WG で見直しを行うよう指示があった。

(ロ) WG における議論

当該検査ガイドライン案は特段の意見もなく、FSI13 で作成された案が合意され採択のためプレナリーに送付された。また、本件を早期に MEPC/Circ. で回章するよう事務局に指示するよう委員会に要請することとした。なお、規則 VI/16 (9) の適用に関して、デンマークよりその明確化のための提案があり、審議の結果、「当該要件は、規則 VI/16.2 (a) が適用になる焼却炉のみ適用となる」との統一解釈が必要であることが合意され、統一解釈案は WG 内に設けられた Splinter Group (SG) で検討されることとなった。

(ハ) 最終プレナリー

当該検査ガイドライン案は MEPC 決議として採択され、広く周知させるため今次会合終了後、早急に MEPC サーキュラーとして回章することとなった。

(2) PSC のためのガイドライン案

(イ) プレナリーにおける議論

INTERTANKO から、条約未締結国での油補給時に船舶がサンプル又は燃料油供給証明書 (Bunker delivery

note (BDN)) を受領できない場合の対処についてコメント (MEPC53/4/16) があり、シンガポール、露及びインドから支持があった。また、ギリシャからも同様の懸念が表明された。IACS からは IAPP 証書発給のために BDN の所持は必要であるとの意見が、米及び英からは INTERTANKO 提案文書による「補油時に船舶が BDN 又はサンプルを受領できなかった場合に船舶から旗国政府に提出する通告書及び BDN 記載事項に関連するガイドライン案の改正」は不要であるとの意見があり、議長は WG で検討するよう指示した。

(ロ) WG における議論

INTERTANKOからの提案文書の趣旨説明の後、審議が行われ、英より、Bunkerに関するCommercial documentationは入手可能ではないかとの指摘があったが、INTERTANKOは、これらが要件に適合していない場合があり、PSCにおける不要なDetainを避けるためにも改正が必要との発言があった。審議の結果、ガイドライン案の 2.1.1.8 及び 2.1.4 bis に関しては「together with a copy of commercial documentation」を追記することで、INTERTANKOの改正提案が合意された。我が国から、船長が提出する“Notification”を基に“Clear Grounds”の判断を行い、その結果により“detention”を行うかどうか決定されるべきとの発言を行ったところ、INTERTANKOからガイドライン案 2.1.6.2 及び 2.1.6.7 項の改正提案を取り下げる旨の発言があり、当該改正提案は削除されることになった。また、INTERTANKOから、BDNでは燃料の硫黄分が 4.5%以下でも、その後の試験で硫黄分が 4.5%を超えた場合にdetainされたケースがあったため、ガイドライン案 2.3.2 項の提案を行ったとの説明が行われたところ、独等から支持があったが、英及びデンマークはdetainするかどうかはデータを基に行うとの発言があった。さらに、本件に関し、INTERTANKOから当該ケースはdeficiency又はdetainの対象になるのか明確にしたいとの要請があったこと、及び特別海域を航行する船舶は通常、燃料の硫黄分 1.5%以下のものと 1.5%を超えるものを積載している場合に硫黄分の多いほうを基にdetainされる可能性があることを考慮し、我が国から、現在使用している燃料が要件に適合しているか否かで判断すべきで、ガイドライン案の 2.3.2.3 項を「fuel oil being used」に変更する提案を行ったところ、我が国提案は支持された。さらに、INTERTANKOの提案文書 9 項は、ガイドライン案 3.3 項でカバーされとの見解により採用されなかった。

本案を早く周知するための MEPC/Circ.案も合わせて審議されたが特段の反対もなく FSI13 で作成されたサーキュラー案が合意された。

本指針案は採択のため、また、MEPC/Circ.案も承認のためプレナリーに送付されることとなった。

独からの附属書 VI に係わる PSC ガイドライン案への追補に関する提案文書 (MEPC53/4/18) は Note され、特段の措置はとらないことが合意された。

IADC から提案のあった「燃料油の補給船から MODU 等の船舶への BDN 及びサンプルの移送は不可能である」等のコメント (MEPC53/4/7) については、これらの船舶 (MODUs) への附属書 VI の適用は困難であることが確認された。

(ハ) 最終プレナリー

プレナリーにおいて、WG の議長から WG の検討結果が報告され (MEPC53/WP.11) 、特段のコメントなく承認された。また、委員会は附属書 VI を批准していない国に対し、BDN 及び燃料油のサンプルを供給するよう促すことに合意した。なお、パナマから BDN の写しは何らかの証明が要るのかとの質問に対し、議長から「同様の話が以前にありコピーで構わない」との回答があった。

(3) 船上における排ガス中の SO_x 洗浄システム (EGCS-SO_x) のガイドライン案の採択

(イ) プレナリーにおける議論

洗浄水の排出基準を早急に作成すべきとの中国提案に対し、我が国は賛意を示しつつ、ガイドラインの採択の遅延を避けるため、当面洗浄水の排出基準は別の指針として作成すべきとの意見を表明し、WG で検討することとされた。DE48 で作成された EGCS-SO_x ガイドライン案の採択について事務局から説明があった (MEPC53/4/3)。

(ロ) WG における議論

プレナリーでの審議の後、WG から分離して Splinter Group が設置され、日本、加、中国、デンマーク、フィンランド、独、インド、伊、蘭、ノルウェー、英国、ベネズエラ、ICCR、IACS、EUROMOT、FOFI から約 30 名が出席し、米国 EPA の Brian Wood-Thomas 氏を議長として「EGCS-SO_x のガイドライン案」及び「EGCS-SO_x からの排水基準」について審議が行われた。

中国提案 (MEPC53/4/6) の非常用発電機関と救命ボートに搭載されている機関に関する適用除外、ガイドライン適用条件を 130kW を越える設備を対象にすることについては、一般的にいえることであり、附属書 VI 規則 3 (a) で一般的な適用除外でカバーされているので変更しないこととなった。海洋への排出を許容されない排ガス洗浄装置からの残留物を受入施設に移送するために用いられる、受入施設と船舶とを結ぶそれぞれのパイプラインの互換性を保証するために、ガイドラインに標準連結具の要件を追加する件については、現時点では種々の寸法のものが使用され、船種によって要求も異なり現時点では十分な例もなく、現時点で規格化するのは適当でないと決定された。

アイドリング時の 50ppm を 6.0g/kWh で統一してもらいたいとの提案に対しては、英国及び IACS からあくまでも基本は 6.0g/kWh であり、それに相当する ppm であるべきとの意見もあり変更しないこととなった。

英国提案 (MEPC53/4/10、MEPC53/4/11) 及び米国提案 (MEPC53/4/20) について、議長からスキーム A 及びスキーム B を一つのスキームに合併するか、このままスキーム A、B を維持して修正していくかの確認があり、英国の提案により後者で審議を進めることになった。

洗浄水の排水基準については、英国から今後排出基準が必要である旨の説明があったが、現時点ではどのパラメータを規定すべきか、また、その基準をどうすべきかデータがないことから、ガイドラインには排出基準が必要であることを記述し、委員会に今後基準を決定する検討を継続する必要があることを報告することとした。

EGCS-SO_x のガイドライン案 (DE48/25) について英の提案をベースにして審議が進められ、下記の合意が得られた。

- (a) EGCS-SO_x ガイドライン (スキーム A の承認要件) に記載する情報として、パラグラフ 2.3.1 (b) (iv) の「排ガス入口温度の範囲」に加えて、「作動中での最高排ガス出口温度」を追加。
- (b) EGCS-SO_x ガイドラインに記載する情報として、パラグラフ 2.3.1 (b) (v) (排ガス出入口圧力の範囲) を削除し、「排ガスの差圧範囲と MCR 又は 80%出力の燃料油燃焼ユニットでの最大排ガス入口圧力」とする。
- (c) EGCS-SO_x ガイドラインに記載する情報として、パラグラフ 2.3.1 (b) (vi) に、適切な中和剤を供給するために塩分レベルを追加。
- (d) スキーム A の排出ガステスト (パラグラフ 5.2) 時の SO_x 計測の誤差を「1ppm」から「5ppm」に

変更。

- (e) スキーム A の排出ガステスト（パラグラフ 5.15）は、試験手順に関することを記載しているが、「5.5－5.10 及び 5.12－5.14」のうち「5.5－5.8」は、排ガス監視技術に関する記載であるため、「5.5→5.9」に変更。
- (f) パラグラフ 5.5 のSO₂計測方法に関して吸引方式も“extracted sample”と分類されることがあるので、表現を“cross-duct or extractive sample system”に改める。
- (g) スキームAの排出ガステストに関して、SO_x/kWhの代替手法であるSO₂/CO₂比率法に必要な要件をパラグラフ 5.6 として新たに追加。
- (h) スキーム A において、船上での排ガス基準を満足していることを立証するための最低限必要な自動記録する項目として、脱硫装置入口及び出口の洗浄水の pH、脱硫装置の排ガス圧力損失及び入口排ガス圧力、燃料消費装置の負荷を追加。（パラグラフ 6.7）
- (i) 連続監視が出来ない場合は、パラグラフ 6.7 のパラメータチェックに加えて排ガスSO₂/CO₂比率のスポットチェックを毎日行い、連続監視が出来る場合は、パラメータチェックを毎日スポットで行うことを推奨。（パラグラフ 6.8）
- (j) 脱硫装置の製造者が検査と検査の間における性能を保証出来ない場合には、連続監視を推奨。（6.9）
- (k) スキーム A で利用される洗浄水の監視・記録装置の要件として、スキーム B のセクション 12（データ記録・処理装置）及び 13（船上監視マニュアル）の要求に適合しなければならない旨の規定を追加。（パラグラフ 7.2）
- (l) 一時的な負荷を含む全ての負荷地点で MARPOL73/78 附属書 VI 第 14 規則を適用する旨の規定を追加。（パラグラフ 8）
- (m) 上記（e）に合わせるため、「適当な場所で測定すること」を「EGCS-SO_x 後の適当な点で測定するとともに、スキーム A の 5.2 と 5.16 の要求に応じること」に変更。（パラグラフ 9）
- (n) SO₂/CO₂比を測定する分析器が 2 台以上ある場合、SO₂/CO₂比が排ガス成分を十分に代表できるように、サンプリング、測定頻度、データ出力は同じ状態に調整。（パラグラフ 10.2）
- (o) EGCS-SO_x への供給海水および洗浄水の pH と油分をモニタリングすること。（パラグラフ 11）
- (p) 記録・制御装置に記録する情報として、UTC に加えて GNSS による位置情報を追加。（パラグラフ 12.2）
- (q) Scheme A と Scheme B における適合条件を記述。（パラグラフ 15.2、15.3、15.7、15.8）
- (r) SECA 域内での適合条件を再整理して記述。（パラグラフ 16.1、16.2、16.3、16.4）
- (s) EGCS-SO_x の洗浄水処理に関して、今後規定されるガイドラインに従って、排水中の有害物質を削減し、洗浄水の性状や残渣が環境を汚染しないための対策をとり、記録をすること。
- (t) EGCS-SO_x から発生する残渣は海水中に排出したり、焼却せずに、陸上処理すること。

(ハ) 最終プレナリー

WG 議長より WG の報告（MEPC53/WP.11）にエディトリアルやマイナーな誤りがあり、最終的な報告書で訂正したい旨の発言があった。マーシャル諸島、ICS 及び ICCL は本ガイドラインは十分に検討されておらず、また時期尚早として DE への差し戻しを求めたが認められず、EGCS-SO_x のガイドライン案は MEPC 決議として採択され、広く周知するため、今次会合終了後、早急に MEPC サーキュラーとして回章することとなった。

プレナリーにおいて、救命ボートや非常用発電機に用いられる小さいエンジンは、排ガス処理の対象ではないこと、洗浄水の船舶から陸上げする際の接続具の標準化は時期尚早との WG の見解がノートされた。

(4) MARPOL 附属書 VI 及び NOx テクニカルコード (NTC) の IACS 統一解釈 (UI)

(イ) プレナリーにおける議論

米国より MARPOL 附属書 VI 及び NOx テクニカルコード (NTC) の IACS 統一解釈に係る問題点 (MEPC53/4/21) について説明が行われた後、議長より WG に DE48 での審議結果 (MEPC53/4/3) を基に、特に緊急性及び重要な MARPOL 附属書 VI 関連の UI を検討し、最終案を作成するよう指示があった。なお、DE48 で合意された統一解釈案は特段の反対もなく承認された。インドから附属書 VI 規則 13 (2) (a) に規定される「主要な改造」に関する統一解釈の作成提案 (MEPC53/4/9) の説明が行われたが、我が国より現行規定で判断可能であり、統一解釈の作成は必要ないとの意見を表明した。

(ロ) WG における議論

DE48 で結論が得られなかった MARPOL 附属書 VI 及び NOx テクニカルコードに関する UI について審議が行われ、FO の定義及び測定装置の校正に関する基準を“International & national”とすること (MPC64) が特段の意見もなく合意された。規則 VI/9 (4) (c) に関しては、新たな旗国に渡す書類として証書の写しの外にテクニカルファイル及び関連試験結果並びに図面が必要であることは認識されたが、守秘義務との関係で問題があるとの指摘があり、UI 作成は行われなかった。MPC16 に関しては、インドはテキストのみで十分明確と指摘し、英は短期間のみ設置されるものは適用外との発言があったが、合意に至らず UI 案は作成されなかった。MPC20 に関しては、議長より“additional engine”は附属書 VI 規則 13 (1) (b) (i) により、緊急時のみに使用されるもの以外は適用されとの見解を表明したところ、独より、“additional engine”はリストしていないとの発言があった。また、本 UI 案については、独より、新 engine とは使用していない engine も含むのかとの質問があったが、議長が 2000 年 1 月 1 日以降に製造されたものが新 engine との見解を示した。本 UI 案も新 engine の定義が各国により違うこと等のため合意にいたらず、また、議長より本 UI 案は規則改正とみなされとの見解もあったため UI 案は作成されなかった。MPC24 に関しては米より規則改正に当たるとの指摘により UI 案は作成されなかった。規則 VI/16 (9) の適用に関しては、WG では規則 VI/16 (2) (a) の焼却炉のみに適用されとの合意がなされ UI 案をスプリンターグループ (SG) で検討することとなった。SG では本件は規則改正に当たるとの指摘が議長よりあったが、本 UI は必要で、今回承認された UI には同様なものもあるため UI は作成できるとの意見が多数を占めたため UI 案を作成することとなった。NOx テクニカルコードに関しては、大型 engine の試験に関しては、規則改正に当たるとの理由により UI 案は作成されなかった。また、米より、1.2.1 項の「附属書 VI の適用を受ける船舶に搭載される engine に適用される」との項目は、400GT 以上の全ての船舶が附属書 VI の適用を受けるため、適当ではないとの指摘があった。その他、DE48 において結論が得られなかった UI 案及び時間不足のため審議が行われなかった IACS UI は、今回も時間が足りずに審議されなかった。

(ハ) 最終プレナリー

プレナリーにおいて、FO の定義及び測定装置の校正に関する UI (MPC64) 及び附属書 VI 規則 16 (9) の適用に関しては、附属書 VI 規則 16 (2) (a) の焼却炉のみに適用されとの UI が承認された。また、MPC16、MPC20、MPC24、MPC61、MPC65、MPC67、MPC68 は規則の改正にまで影響があるため、UI として承認できない旨 WG の見解がノートされた。インドからの要求により、インド提案が審議されなかつ

たため、次回 MEPC で検討する旨、最終的な報告書にノートすることとなった。

(5) 附属書 VI 及び NTC の統括的な見直しに関する BLG への付託事項 (TOR)

(イ) プレゼンテーションの実施

我が国は審議に先立ち、会合 2 日目の昼食休憩時間に華山伸一氏（（財）海洋政策研究財団）より総合的環境指標作成の必要性についてプレゼンテーションを行った。発表は GHG の非公式検討作業に引き続き行われたため、欧州各国、米国、韓国、インドを含めて 100 人程度の参加があった。同発表内では新造船に対してのみの規制では実質的な効果が少なくかつ規制対象外となる既存機関との燃焼消費率の差異が無視できないこと、特に PM については排出データが少ないことから慎重な検討が必要であることが説明された。

引き続き、柴田清氏（（独）海上技術安全研究所）から「NOx 排出モニタリングに関する簡易的な方法」についてプレゼンテーションが実施された。これは、NOx 排出率 (g/kWh) に代えてある酸素濃度（今回の発表では 13%）に補正した排ガス中の NOx 濃度 (ppm) を用いて、就航後のモニタリングを行い、陸上試験時との差がないことを確認しようとする方法の提案であった。多くの聴衆が集まり船舶からの排出ガス規制に関する関心の高さがうかがわれた。また講演後、理論的な根拠の確認、実際の実施上の手続きや問題などを含めて活発な議論が行われた。さらに、NOx モニタリング実施上の問題点の整理を踏まえて、新たな簡易モニタリング法として理解を広げる提案をする必要があると思われる。

(ロ) プレナリーにおける議論

会合 2 日目に議題 4 に関する検討事項の一つとして議論された。欧州各国は、NOx 及び SOx の排出基準に係る規則の見直しと、PM（排出粒子）及び VOC（揮発性有機化合物）に係る規則の設定を目指した MARPOL 附属書 VI の見直しを提案した (MEPC53/4/4)。また、ノルウェーは、VOC の現行規則は規制値などの具体的な数値を盛り込んでいないことから、その改正の検討の開始を提案し、議長は NOx、SOx の改正とともに審議するように総括した (MEPC53/4/12)。

FOEI から「船舶排出ガスによる大気汚染の低減」 (MEPC53/4/1) 及び「船舶からの排出ガスによる健康被害の試算」 (MEPC53/4/8) について説明があった。

米国からの工場での運転試験と船上での試運転におけるエンジンの NOx 放出量の差異に関する問題 (MEPC53/4/14) は、議長の提案により附属書 VI 及び NTC の統括的な見直しの中で検討されることとなった。

シンガポールは、NOx については、条約の規定からテクニカルコードに基づき 2000 年 1 月 1 日から搭載された機関に対して測定と規制を開始しているため、規制効果や実施上の問題点について十分に検証されており見直し作業の開始には問題はないが、SOx については本附属書が本年に発効しバンカー油から規制は開始された直後であるため、即座の見直しに難色を示した。露はバルト海における硫黄分制限規則は来年施行されるため、SOx 規制についての見直しに同様に反対した。インド、露、アルゼンチン、サウジアラビアは、附属書 VI が発効したばかりであるため、見直しの開始には難色を示した。キプロスは、見直し作業は附属書 VI を承認 (受諾) した国のみができるのか、改正した場合にはその適用国がどうなるのか、明確にする必要がある旨指摘した。我が国は欧州各国提案及び FOEI 提案に謝意を述べ、さらなる排ガス低減の余地と必要性を認識している旨述べるとともに、規制物質の新しい削減技術のレビューや規制値見直しに係る検討を開始することについて賛同を示した。スウェーデン、米、フィンランド、リベリア、ドイツ、オランダ、メキシコ、ポーランド、韓国、カナダ、フランス、ベネズエラ、中国、スペイン、マルタ、

南ア、グルジア、ベルギーも賛同し、検討の開始が必要であるとの認識で MEPC53 は合意した。

なお、中国、マルタ、ベルギーから附属書 VI の批准作業が進行中であるとの紹介もあった。

次に、我が国より選択接触還元（SCR）脱硝装置のガイドライン作成提案（MEPC53/4/15）について説明を行った。議長から DE49 は作業量が過剰となっているので BLG10 で実施することにしたい旨提案があったが、米国から NO_x について NTC の 2.2.5、2.3.4 に NO_x 低減装置のことが記載されており特にガイドラインが必要ではないのに日本はなぜ急いでガイドラインを作ろうとしているのかとのコメントがあったが、それほど大きな作業ではなくガイドラインがあったほうが良いと判断した旨回答した。

議長からの提案により MEPC53 は、附属書 VI の見直し作業を BLG にて推進することに合意し、大気汚染 WG に対して、BLG への付託事項（TOR）案を作成するよう指示した。

（ハ）WG における議論

WG では、NO_x、SO_x、PM、VOC の規制について検討作業を開始することに合意した。また、規則を現存船（現存エンジン）にも適用するか検討する必要がある点について議論した結果、NO_x と PM に関する検討を TOR に盛り込む旨合意した。PM に関する規則作成には時間を要すると予測されるが、NO_x、SO_x と規制開始時期をずらすことは混乱を招くことから、附属書 VI 総体を見直して一括して改正するほうが望ましい旨作業部会は基本的に合意した。BLG での作業を 2007 年までに終了することも盛り込まれた。さらに、スケジュールが厳しいことから、BLG における作業を速やかに推進するためには、具体的な附属書 VI 改正案を次回 BLG で検討する必要があるため、そのような提案を BLG に出すよう各国に求めることに合意した。

（ニ）最終プレナリー

インドより現存船に対しての規制は技術的に非常に困難であると懸念が示されたが、議長から検討作業の開始であるとの回答があり、各国が認識した上での TOR であるとの認識を示し、BLG に対して付託した。

（ホ）所感

BLG における検討は速い速度で行われると予想される。次年度 4 月の開催に対しての文章提出を目途として国内の検討体制について早急に検討する必要がある。

（6）その他

プレナリーにおいて、燃料中の硫黄分モニタリングについてオランダから 2004 年の 66,312 件のモニタリング結果 2.7%であり、2002 年～2004 年のモニタリング平均が 2.67%であり、ガイドライン・パラグラフ 5 の reference value 2.7%以下であることが報告された（MEPC53/4）。2005 年、2006 年もモニタリングを継続して、それぞれ MEPC54、55 に報告する提案があり承認された。

WG の最後に議長（岡村氏）から今回をもって議長を辞す旨の表明があった。これまでの WG の運営に謝意を表し、多大な拍手がわき上がった。

3.3 MEPC54 及び BLG10 への対応

3 月に開催される MEPC54 及び 4 月に開催される BLG10 では、MARPOL 附属書 VI 及び NO_x Technical Code

の見直しについて実質的な審議が開始され、NO_x、SO_xの二次規制やNO_x規制の現存船への適用等について検討の予定である。大気汚染物質削減の技術レベルや環境負荷低減の目標設定に留意し、本プロジェクトで作成した「SCR（選択接触還元）脱硝装置のガイドライン案」（BLG10/12/1）、「水噴射装置及び水乳化油装置のガイドライン案」（BLG10/12/2）、「NO_x モニタリング法」（BLG10/14/8）、「酸素濃度 13% における NO_x 濃度 ppm 換算」（BLG10/14/10）、「粒子状物質に関する基礎的な情報」（BLG10/14/11）を提出しているところ、BLG10 ではこれら提案の実現に努められたい。

4. MP3の活動状況

今年度は以下の日時、議題で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 2005年 6月21日（火）14:00～17:00 （財）日本船舶技術研究協会 会議室
議題 (1) 2005年度事業計画について、(2) 事務手続きについて、(3) その他
- ・ 第2回 2005年10月17日（月）13:30～17:30 （財）日本船舶技術研究協会 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) 成果報告会について、(4) その他
- ・ 第3回 2006年 2月 1日（水）13:30～17:00 霞山会館 うめの間
議題 (1) 今年度調査研究報告について、(2) 報告書について、(3) 来年度事業計画について、
(4) MEPC54及びBLG10対応について、(5) 成果報告会報告について、(6) その他

また、今年度は以下の日時、テーマで、「2005年度 船舶関係諸基準に関する調査研究 成果報告会 船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」を東京及び大阪で開催し、船社、造船所、機関メーカーなどから、東京 115 名、大阪 95 名の方々が参加された。（講演資料は添付資料 1.参照）

- ・ 東京 2005年 11月 14日（月）13:00～17:00 日本財団ビル 2階大会議室
- ・ 大阪 2005年 12月 16日（金）13:00～17:00 メルパルク大阪 3階牡丹の間
- ・ テーマ及び講演者（敬称略）
 1. 今後の船舶排気ガス対策について –IMO における日本の役割–
国土交通省 海事局 安全基準課長 安藤 昇
 2. 船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究プロジェクト(MP3)の概要
MP3 プロジェクト・マネージャー
田中 孝雄（三井造船株式会社）
 3. NO_x・SO_x・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方
MP3 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成チームリーダー
華山 伸一（海洋政策研究財団）
 4. SCR（選択触媒還元）脱硝装置 IMO ガイドライン日本案の解説
MP3 NO_x 低減装置の IMO ガイドライン案作成チームリーダー
川上 雅由（新潟原動機株式会社）
 5. 4サイクル主機関搭載 3 隻の連続 NO_x モニタリング結果 –IMO への情報提供内容–
MP3 NO_x モニタリング法による IAPP 証書再認証のシミュレーション試験
第 1 船チームリーダー
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）
 6. NO_x 発生に影響を与える重大因子
MP3 燃焼基準試験チームリーダー
高崎 講二（国立大学法人 九州大学）

5. 船舶の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）

本書は、(財) 日本船舶技術研究協会 大気汚染防止プロジェクト（MP3）の平成 17 年度事業計画にもとづき、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）として調査研究を行い、成果報告書として取り纏めたものである。

プロジェクトの構成員

氏 名	所 属	役 職
大江 清登* 米倉 信義 大森 泰樹	エムイーシーエンジニアリングサービス株式会社 エンジニアリング事業部	営業企画部長 技術主席 主任
堂園 吉彦	財団法人 日本海事協会	機関部主管
岩政 佳和	株式会社 イコーズ	船舶管理部長
日下 竹史	株式会社 堀場製作所 PM/Sampling チーム	チームリーダー
松永 伸宏	ヤンマー株式会社 特機エンジン事業本部	グループリーダー

* チームリーダー

5.1.1 調査研究の背景、目的および内容

5.1.1.1 調査研究の背景・目的

海洋汚染防止条約(MARPOL 73/78)付属書VIが発効になり大気汚染に関する規制が実施されることになったが、この規制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みが必要である。

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。

この新しい仕組みを、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ことは非常に重要であり、今後の為に事前に検証する必要がある。

平成 16 年度に電気推進船『千祥』を調査研究の対象として、ジルコニア式 NOx 分析装置を用い、電気推進船の運行パターンによる発生 NOx を把握すると同時に、PSC、IAPP 証書再認証作業のシミュレーションを行った。

平成 17 年度は、平成 16 年度で計測したデータを解析し、NOx 鑑定の一連の作業中での課題、ルール上の疑問点や改善点等を取りまとめて、提供することにある。

本調査研究は多岐にわたる技術が必要なことから、外部の調査研究者を定め実施するものである。

5.1.1.2 内容

解析の項目とその内容

ー 計測データの再整理

5 回実施した試験時の全データが何時でも使用できる様に整理した。

特に MEPC49/22/Add.1 にて要求される計測アイテムの生データ、船体の運動等のデータ、気象データ等本船のすべての計測データベースを作成した。

データベースは、Excel 形式とした。

ー 計測データの解析

以下の解析を行った。

- * 計測サイクルの違いによる鑑定差
- * 機関室内の気圧の変化
- * 計測開始時間と計測値の安定性

ー ファミリーエンジンの考え方の再整理（噴射時期変更時の再試験）

ー NOx 計測装置の許容誤差

経年変化を各計測値より推定した。

ー 検出端の使用限界排気管径

現在のジルコニア検出端（含むアダプタ）の使用限界を確認した。

5.1.1.3 プロジェクトの審議状況

1) プロジェクトの審議日程

プロジェクトの審議は、書面審議と全体会議で構成した。

全体会議は、基本的な項目の決定および書面審議では意を尽くせない部分の審議を行い、意見の集約やまとまった書面の意見の収集に書面審議を行い、調査研究を纏めた。

2) 会議・書面審議等の実績

全体会議

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1. 第1回 事前全体打合会議（契約の準備作業等） | 平成 17 年 7 月 27 日 |
| (本会議は契約範囲外であるが、経過として記録する必要があるため記載する) | |
| 2. 第2回 全体会議 | 平成 17 年 9 月 13 日 |
| 3. 第3回 全体会議 | 平成 17 年 11 月 16 日 |
| 4. 第4回 全体会議 | 平成 18 年 1 月 20 日 |

書面審議項目

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. 実施計画書（平成 17 年度版） | 平成 17 年 9 月 9 日作成審議 |
| 2. IMO への提言項目 | 平成 17 年 10 月 10 日作成審議 |
| 3. 報告書作成要領 | 平成 17 年 12 月 7 日作成審議 |

3) プロジェクトの日程

プロジェクトの日程に関しては、表 5.1.1 に示す。

◀.....▶ は実施線、◇または◆は全体会議、▽または▼は契約関係の開始と終了を示す。また ▽ 及び ▼ は一般的な作業の開始と終了を示す。

表 5.1.1.1 プロジェクトの日程

NO	項 目	概 要	主担当部署	期 間												備 考
				平成 17 年						平成 18 年						
				6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
1	大日程	契約関係事務処理 研究（5 課題） まとめ・報告書 機器の撤去・復旧工事 全体の進行（会議）	MEC 全員 全員 イコーズ		計測装置撤去工事 第 1 回 全体会議 ◇		第 2 回 全体会議 ◇		中間報告(MP-3) ▽		第 3 回 全体会議 ◇		最終報告(MP-3) ▽			
2		①計測データの再整理 ②計測データの解析 ③ファミリーエンジンの 考え方の再整理（データ 信頼性の確認） ④NOx 計測装置の許容誤差 ⑤検出端の使用限界排気管 径の検討	MEC, ヤンマー 全員 ヤンマー 日本海事協会 ヤンマー													
3	まとめ 報告書		全員												研究完了 ▶	

5.1.2 調査研究の実施状況

5.1.2.1 データベース

平成 16 年の調査研究で行った全 5 回の試験は、国内における全項目 1Hz 計測の事例であることから、本船のデータを今後の解析に利用できる様に区分・再編集した。

5.1.2.2 計測データベース説明

計測データベースは、以下の様な特徴を有している。

- 1) 1Hz 記録データで 10 分間の 600 標本で構成している。
データは試験開始から試験終了までの時間記録して、その間のデータの内、計測開始から計測停止までの 10 分間分を収容している。
- 2) 機関データ、推進装置データ及び船体運動データの 3 項目に区分している。
 - *機関データ : 機関のデータ (排ガス温度、機関回転速度、冷却水温度等)
 - *推進装置データ : 推進装置回転速度、CPP 翼角、海水温度等
 - *船体運動データ : 針路、位置 (北緯、東経)、速度等
- 3) 50% 負荷と 75% 負荷の 2 種類区分している。
- 4) NOx(ppm) 及び O₂(%) 計測データも機関データと同期させた、全項目 1Hz データである。

項目の一部を資料編 1. 項に示す。

5.1.2.3 データベースの保管場所と利用方法

データベースの保管場所は、基本的に日本船舶技術研究協会とし、不特定先からの要請で目的に合致している場合に限り提供する。

5.1.3 データ解析

5.1.3.1 概要

平成 16 年度のシミュレーション調査研究データを解析して、ガイドラインに記述されている規定が、実施段階で弊害が無い解析する必要がある。

特に本船は、0.5Hz の高速記録装置を固定装備しており、規定通りの試験ができたので最適状態にあると考えられる。

そこでガイドラインの評価等に当たっても、根拠となるデータを提示する必要があるので標準的な基本統計量解析を行った。

特に高速に変化する機関出力や NOx 値等に関しては、1Hz 記録の意味合いも理解できるので試験結果、1 Hz 記録が必要と思われる機関室気圧、機関室温度及び機関室湿度の 3 項目に関しては、分散分析、相関、F-検定及び Z-検定も行った。

5.1.3.2 基本統計量解析

1) 解析の目的

Guide Line に従って計測した場合に不具合点は生じないか？ 特に規定の計算式上の課題はないか？ 例えば、相加平均で良いか？ 正規分布をチェックしたら二項分布となったが計測上の問題か？等 もっと簡単にしないと誰も使用しない等の命題に対して、解析を行い改定提案の根拠を見出すことである。

2) 解析の対象

まず第 5 回目のデータで解析した。

解析結果より方向付け等の課題の発生に伴う追加データが必要な場合は、第 1 ～ 4 回のデータを使用した。

3) 解析の項目とその方法

計測データは Windows Excel フォーマットで作成されているので、Excel の標準ソフトである基本統計量解析を使用して、各試験データを解析した。

手順を簡単に以下に示す。(Excel 2003 を使用した場合を示す)

Excel シート → ツール → 分析ツール → 基本統計量

以降は基本統計量の入力方法に従って入力する。

基本統計量を評価する場合の参考に、同解析ソフトに付属している分散分析（一元配置）、相関、F 検定（2 標本）、Z 検定(2 標本)も一部の解析に追加して行った。

4) 解析結果

表 5.1.3.1 は、報告書に記載された 5 回目の試験データ(標本数 600)より相加平均した値を示す。

表 5.1.3.1 5 回目試験データ集計表

Data No		0308	0309	0311	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0409	0611	0660	—	—	—	—
計測項目		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	NOx	O2	NOx
		kPa	℃	℃	℃	℃	℃	℃	min-1	℃	KW	℃	hPa	%	ppm	%	g/kWh
5回目	平均	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	597.7	12.6	7.68
	最大	73.0	72.0	49.0	325.0	383.0	405.0	349.0	1197.0	22.0	265.0	20.0	1015.0	26.0	605.2	12.6	7.50 ～ 7.76
	最小	65.0	71.0	47.0	320.0	378.0	398.0	346.0	1193.0	22.0	244.0	20.0	1014.0	25.7	590.0	12.5	
	差	8.0	1.0	2.0	5.0	5.0	7.0	3.0	4.0	0.0	21.0	0.0	1.0	0.2	15.2	0.1	

第 5 回試験結果を NOx の計算に必要な要素を選択抽出して、基本統計量解析結果を以下に示す。

4-1) NO_x

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.2 (a) 及び表 5.1.3.2 (b) に示す。

またそのヒストグラムを図 5.1.3.2 (a) 及び図 5.1.3.2 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 No x (ppm)	
平均	597.7146667
標準誤差	0.12939772
中央値 (メジアン)	598
最頻値 (モード)	596.4
標準偏差	3.169583883
分散	10.04626199
尖度	-0.476890976
歪度	-0.138683048
範囲	15.2
最小	590
最大	605.2
合計	358628.8
標本数	600
最大値(1)	605.2
最小値(1)	590
信頼区間(95.0%)	0.254128344

表 5.1.3.2 (a)

機関室 75%負荷試験 No x (ppm)	
平均	736.1566667
標準誤差	0.134254401
中央値 (メジアン)	735.6
最頻値 (モード)	733.2
標準偏差	3.288547775
分散	10.81454647
尖度	-1.147715004
歪度	0.202752178
範囲	14
最小	729.6
最大	743.6
合計	441694
標本数	600
最大値(1)	743.6
最小値(1)	729.6
信頼区間(95.0%)	0.263666535

表 5.1.3.2 (b)

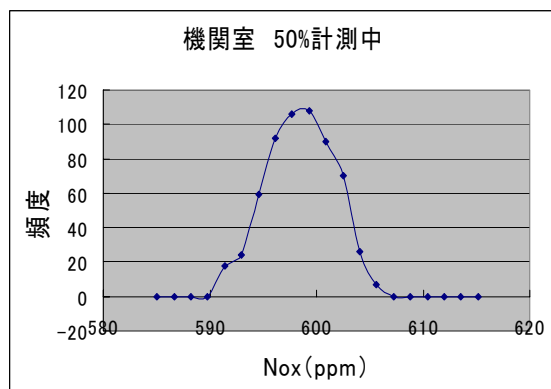


図 5.1.3.2 (a)

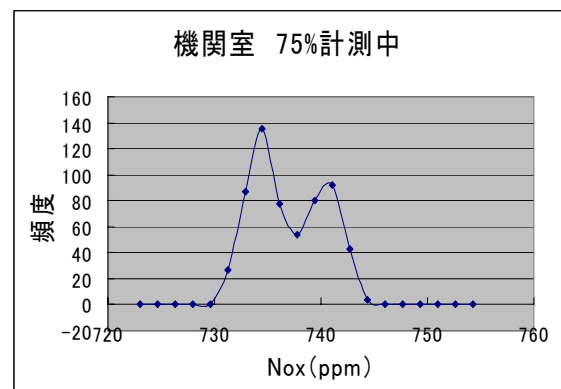


図 5.1.3.2 (b)

4-2) O₂

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.3 (a) 及び表 5.1.3.3 (b) に示す。
またそのヒストグラフを図 5.1.3.3 (a) 及び図 5.1.3.3 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 O ₂ (%)	
平均	12.56105
標準誤差	0.000635262
中央値 (メジアン)	12.56
最頻値 (モード)	12.565
標準偏差	0.015560668
分散	0.000242134
尖度	0.015380305
歪度	0.13567521
範囲	0.1
最小	12.51
最大	12.61
合計	7536.63
標本数	600
最大値(1)	12.61
最小値(1)	12.51
信頼区間(95.0%)	0.001247611

表 5.1.3.3 (a)

機関室 75%負荷試験 O ₂ (%)	
平均	11.66185
標準誤差	0.000622224
中央値 (メジアン)	11.665
最頻値 (モード)	11.67
標準偏差	0.015241325
分散	0.000232298
尖度	-0.631215899
歪度	-0.380640146
範囲	0.065
最小	11.625
最大	11.69
合計	6997.11
標本数	600
最大値(1)	11.69
最小値(1)	11.625
信頼区間(95.0%)	0.001222007

表 5.1.3.3 (b)

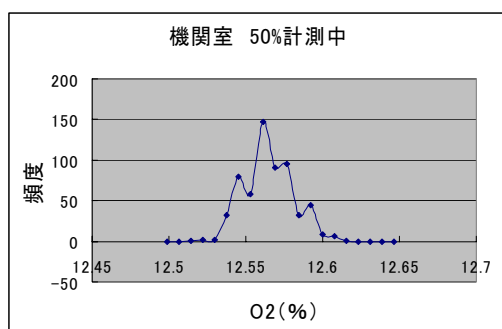


図 5.1.3.3 (a)

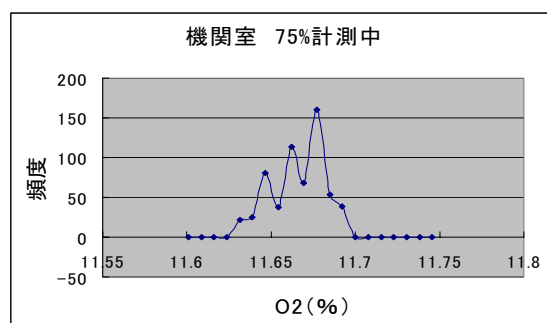


図 5.1.3.3 (b)

4-3) 機関出力

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.4 (a) 及び表 5.1.3.4 (b) に示す。
またそのヒストグラフを図 5.1.3.4 (a) 及び図 5.1.3.4 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 発電機出力 (kw)	
平均	254.4716667
標準誤差	0.145317551
中央値 (メジアン)	255
最頻値 (モード)	253
標準偏差	3.559538511
分散	12.67031441
尖度	-0.163103304
歪度	-0.132186066
範囲	21
最小	244
最大	265
合計	152683
標本数	600
最大値(1)	265
最小値(1)	244
信頼区間(95.0%)	0.285393812

表 5.1.3.4 (a)

機関室 75%負荷試験 発電機出力 (kw)	
平均	377.6416667
標準誤差	0.151893615
中央値 (メジアン)	377
最頻値 (モード)	377
標準偏差	3.720618527
分散	13.84300223
尖度	-0.351998468
歪度	0.358733146
範囲	20
最小	369
最大	389
合計	226585
標本数	600
最大値(1)	389
最小値(1)	369
信頼区間(95.0%)	0.298308756

表 5.1.3.4 (b)

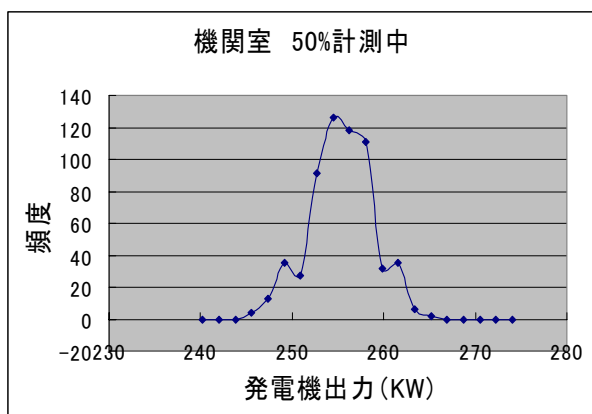


図 5.1.3.4 (a)

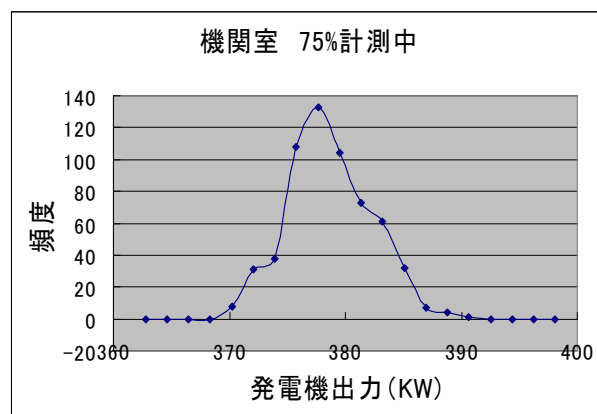


図 5.1.3.4 (b)

4-4) 機関室内気圧

＜基本統計量＞

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.5 (a) 及び表 5.1.3.5 (b) に示す。

またそのヒストグラフを図 5.1.3.5 (a) 及び図 5.1.3.5 (b) に示す。

＜分散分析＞＜相関＞＜F-検定＞＜Z-検定＞

機関室 50%負荷試験 機関室内気圧(hPa)	
平均	1014.548333
標準誤差	0.020333771
中央値 (メジアン)	1015
最頻値 (モード)	1015
標準偏差	0.49807364
分散	0.248077351
尖度	-1.968653504
歪度	-0.194730174
範囲	1
最小	1014
最大	1015
合計	608729
標本数	600
最大値(1)	1015
最小値(1)	1014
信頼区間(95.0%)	0.039934147

表 5.1.3.5 (a)

機関室 75%負荷試験 機関室内気圧(hPa)	
平均	1015.035
標準誤差	0.009176589
中央値 (メジアン)	1015
最頻値 (モード)	1015
標準偏差	0.224779618
分散	0.050525876
尖度	15.66824008
歪度	2.624737276
範囲	2
最小	1014
最大	1016
合計	609021
標本数	600
最大値(1)	1016
最小値(1)	1014
信頼区間(95.0%)	0.018022199

表 5.1.3.5 (b)

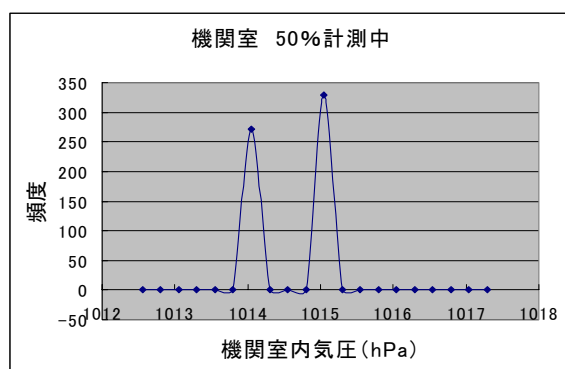


図 5.1.3.5 (a)

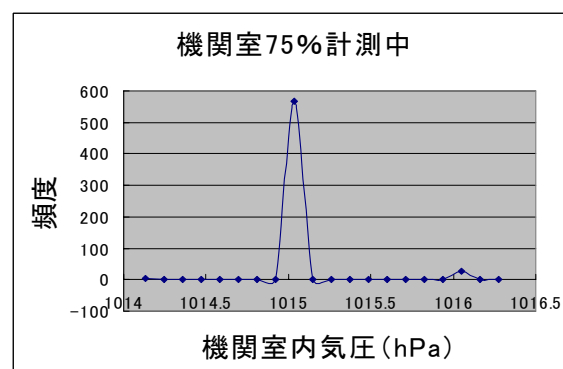


図 5.1.3.5 (b)

分散分析：一元配置

概要

グループ	標本数	合計	平均	分散
気圧 50%負荷	600	608729	1014.548	0.248077351
気圧 75%負荷	600	609021	1015.035	0.050525876

分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
グループ間	71.053333	1	71.05333	475.9046572	4.13E-89	3.849232
グループ内	178.863333	1198	0.149302			
合計	249.916667	1199				

P-値=4.13E-89 < $\alpha = 0.05$

F-境界値=3.849 < 観測分散比=475.9

表 5.1.3.6

相関

	気圧 50%負荷	気圧 75%負荷
気圧 50%	1	
気圧 75%	0.05196674	1

表 5.1.3.7

(memo：1に近いほど相関が強い)

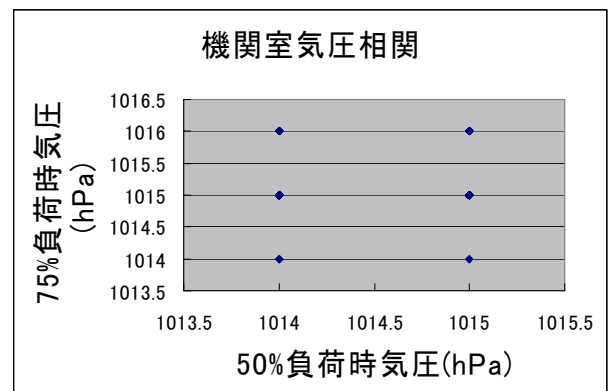


図 5.1.3.7

F検定：2 標本を使った分散の検定

	気圧 50%負荷	気圧 75%負荷
平均	1014.54833	1015.035
分散	0.24807735	0.050526
観測数	600	600
自由度	599	599
観測された分散比	4.90990693	
P($F \leq f$) 片側	3.2145E-77	
F 境界値 片側	1.14398816	

表 5.1.3.8 (a)

z検定：2 標本による平均の検定

	気圧 50%負荷	気圧 75%負荷
平均	1014.54833	1015.035
既知の分散	0.248077	0.050526
観測数	600	600
仮説平均との差		
異	0.5	
z	-44.228173	
P($Z \leq z$) 片側	0	
z 境界値 片側	1.64485363	
P($Z \leq z$) 両側	0	
z 境界値 両側	1.95996398	

表 5.1.3.8 (b)

4-5) 機関室内温度

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.9 (a) 及び表 5.1.3.9 (b) に示す。
またそのヒストグラフを図 5.1.3.9 (a) 及び図 5.1.3.9 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 機関室温度 (°C)	
平均	20
標準誤差	0
中央値 (メジアン)	20
最頻値 (モード)	20
標準偏差	0
分散	0
尖度	#DIV/0!
歪度	#DIV/0!
範囲	0
最小	20
最大	20
合計	12000
標本数	600
最大値(1)	20
最小値(1)	20
信頼区間(95.0%)	0

表 5.1.3.9 (a)

機関室 75%負荷試験 機関室温度 (°C)	
平均	19.82666667
標準誤差	0.015466529
中央値 (メジアン)	20
最頻値 (モード)	20
標準偏差	0.378851029
分散	0.143528102
尖度	0.997182033
歪度	-1.730280094
範囲	1
最小	19
最大	20
合計	11896
標本数	600
最大値(1)	20
最小値(1)	19
信頼区間(95.0%)	0.030375213

表 5.1.3.9 (b)

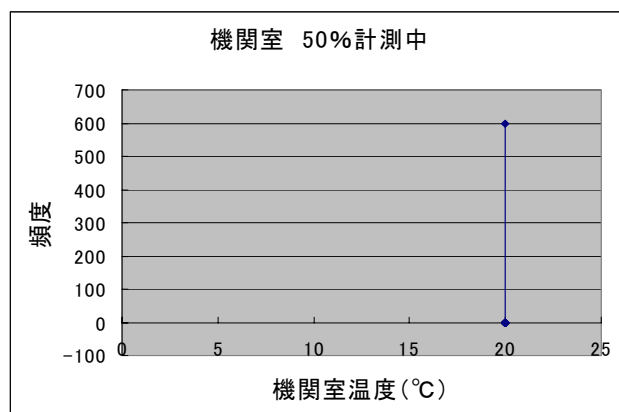


図 5.1.3.9 (a)

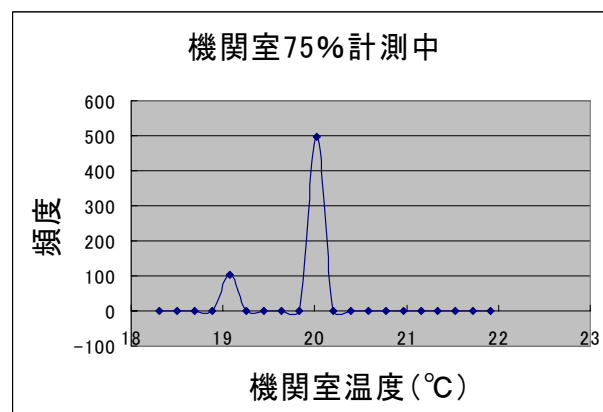


図 5.1.3.9 (b)

4-6) 機関室内湿度

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.10 (a) 及び表 5.1.3.10 (b) に示す。
またそのヒストグラフを図 5.1.3.10 (a) 及び図 5.1.3.10 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 機関室湿度 (%)	
平均	25.83206667
標準誤差	0.002867719
中央値 (メジアン)	25.845
最頻値 (モード)	25.845
標準偏差	0.070244473
分散	0.004934286
尖度	-0.727004798
歪度	0.048434196
範囲	0.245
最小	25.72
最大	25.965
合計	15499.24
標本数	600
最大値(1)	25.965
最小値(1)	25.72
信頼区間(95.0%)	0.005632005

表 5.1.3.10 (a)

機関室 75%負荷試験 機関室湿度 (%)	
平均	25.71284167
標準誤差	0.007682102
中央値 (メジアン)	25.72
最頻値 (モード)	25.56
標準偏差	0.1881723
分散	0.035408815
尖度	-1.288744484
歪度	0.308967544
範囲	0.66
最小	25.42
最大	26.08
合計	15427.705
標本数	600
最大値(1)	26.08
最小値(1)	25.42
信頼区間(95.0%)	0.015087127

表 5.1.3.10 (b)

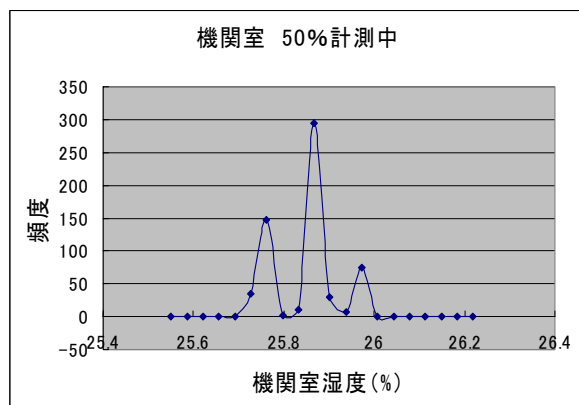


図 5.1.3.10 (a)

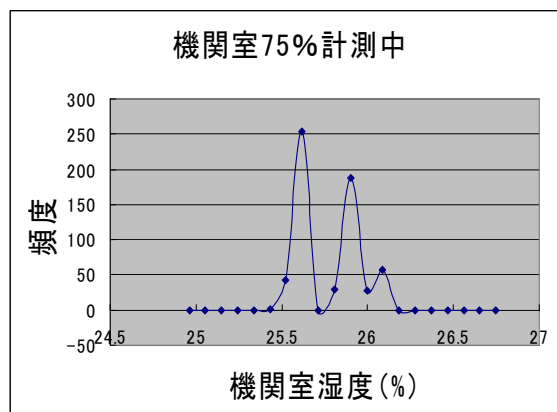


図 5.1.3.10 (b)

4-7) 給気圧力

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.11 (a) 及び表 5.1.3.11 (b) に示す。
またそのヒストグラフを図 5.1.3.11 (a) 及び図 5.1.3.11 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 給気圧力 (MPa)	
平均	70.095
標準誤差	0.061595938
中央値 (メジアン)	70
最頻値 (モード)	70
標準偏差	1.508786176
分散	2.276435726
尖度	-0.160185333
歪度	-0.311209971
範囲	8
最小	65
最大	73
合計	42057
標本数	600
最大値(1)	73
最小値(1)	65
信頼区間(95.0%)	0.120970243

表 5.1.3.11 (a)

機関室 75%負荷試験 給気圧力 (MPa)	
平均	130.3083333
標準誤差	0.068042802
中央値 (メジアン)	130
最頻値 (モード)	130
標準偏差	1.666701446
分散	2.777893712
尖度	-0.222424527
歪度	0.319908085
範囲	9
最小	126
最大	135
合計	78185
標本数	600
最大値(1)	135
最小値(1)	126
信頼区間(95.0%)	0.133631446

表 5.1.3.11 (b)

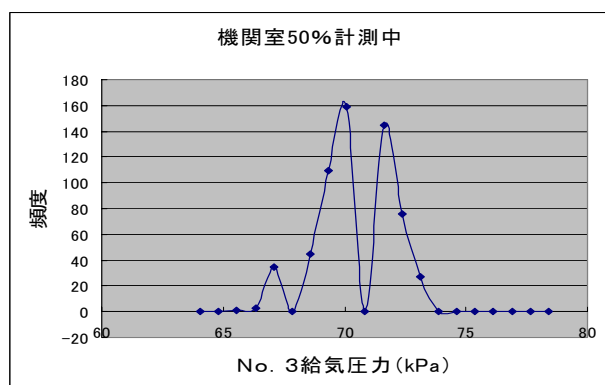


図 5.1.3.11 (a)

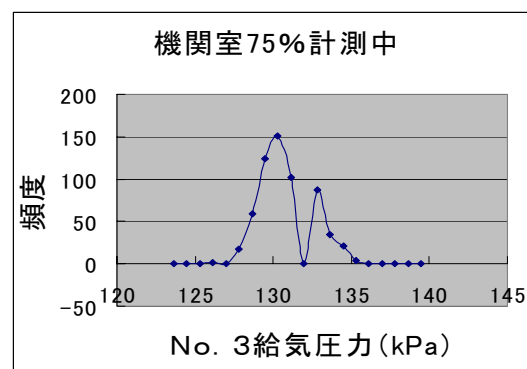


図 5.1.3.11 (b)

4-8) 給気入口温度

50%及び75%負荷の基本統計量を表 5.1.3.12 (a) 及び表 5.1.3.12 (b) に示す。
またそのヒストグラフを図 5.1.3.12 (a) 及び図 5.1.3.12 (b) に示す。

機関室 50%負荷試験 給気入口温度 (°C)	
平均	48.02333333
標準誤差	0.02603844
中央値 (メジアン)	48
最頻値 (モード)	48
標準偏差	0.637808923
分散	0.406800223
尖度	-0.533997241
歪度	-0.019785513
範囲	2
最小	47
最大	49
合計	28814
標本数	600
最大値(1)	49
最小値(1)	47
信頼区間(95.0%)	0.05113773

表 5.1.3.12 (a)

機関室 75%負荷試験 給気入口温度 (°C)	
平均	71.66333333
標準誤差	0.019308679
中央値 (メジアン)	72
最頻値 (モード)	72
標準偏差	0.472964108
分散	0.223695047
尖度	-1.524859468
歪度	-0.692989578
範囲	1
最小	71
最大	72
合計	42998
標本数	600
最大値(1)	72
最小値(1)	71
信頼区間(95.0%)	0.037920935

表 5.1.3.12 (b)

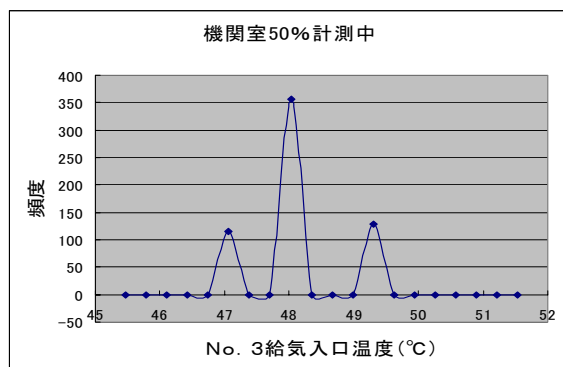


図 5.1.3.12 (a)

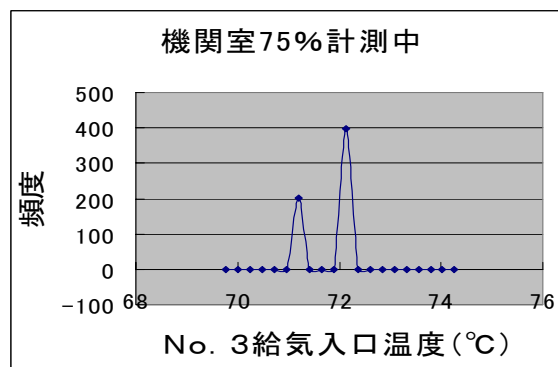


図 5.1.3.12 (b)

5.1.3.3 その他の解析

1) 機関のハンチング

5.1.3.2 4-2)に示す負荷の変動量は、外的要因のみではなく内的な両機関のハンチングはないかと、記録を拡大したが、良好な並行運転が実施されていた。このことより負荷変動の要因は、すべて推進器負荷によるものであったと言える。変動周期は、23~24Hzであった。

図 5.1.3.13 に 50%負荷並行運転中の 2 号、3 号機出力の拡大図を示す。

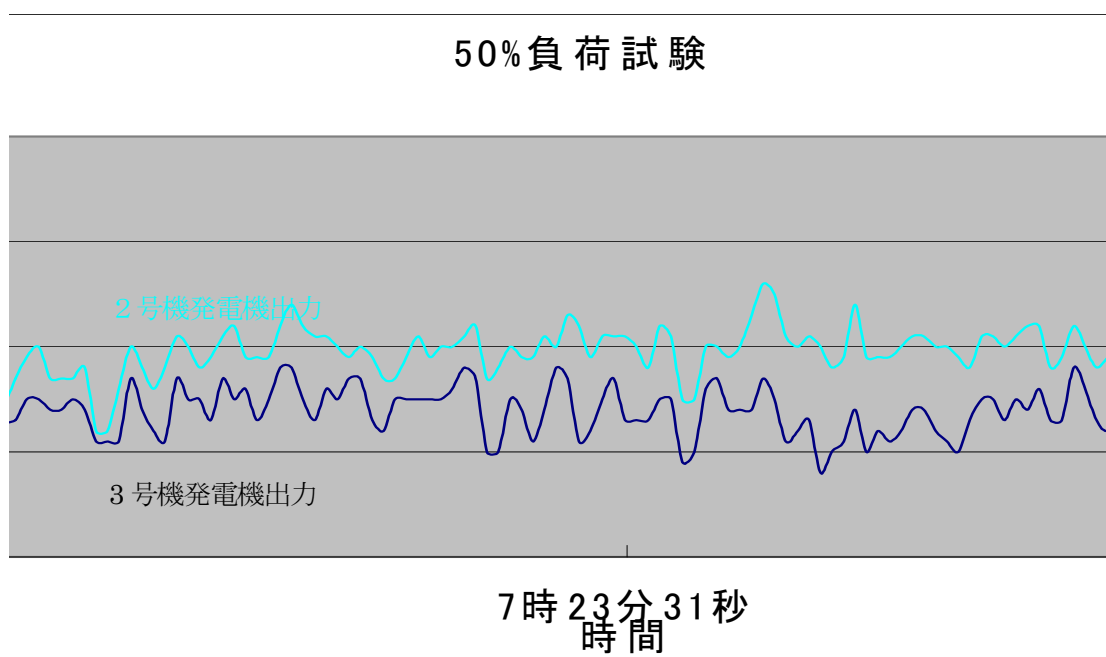


図 5.1.3.13

5.1.3.4 考察・評価

1) 機関出力に無関係な項目の記録

Weighting Factor によって変更すべき機関の出力、給気入口圧力・温度以外の項目は、基本的に試験の 1 時間程度は変化が無いと想定して解析を行った。

結果、5.1.3.2 4.4) 分散分析、相関、F-検定及び Z-検定に示す様に、50%負荷時と 75%負荷時の相関は、両測定値は誤差範囲で同値であった。

このことは、両試験期間中の少なくとも 20 分間以上は、安定していたことを示すものである。

従って、1Hz 計測は必要ないと判断できる。

計測定数が大きなセンサ及び記録装置で十分であると考えられる。

2) 変動部分

機関の出力によって変化する NO_x、O₂、出力等は、5.1.3.2 4-2) 基本統計量解析結果に示す様に範囲も狭く、少し乱れはあるが正規分布の様相を呈していると判断できる。

5.1.3.5 課題

1) センサ性能と 1Hz 記録

センサの分解能、精度及び時定数と 1Hz 記録に関する実験を行い、記録のみを高速化しても無意味である。この当たりをどの様に説明していくかが課題である。

2) 高速計測の必要性

計測期間中の機関は、5%の負荷変動内にするように規定があるがその範囲内でのNO_x生成の各要素が変化した場合に高精度の計測を行うために 1Hz 計測の規定があるが、1Hz 計測するためには、各センサは一般的に 10Hz 程度の高速が要求される。

これらの高速センサは、工業用ではなく一般に研究用であるので、長期間の使用には精度管理が必要である。

5.1.4 計測要素寄与分解析

5.1.4.1 概要

Direct monitoring で要求される各測定項目の記録は 1 Hz の速さである。ところがセンサの精度のみ規則に記述されているが、応答性に関する性能になんら言及されていない為、センサの時間遅れが発生して、本来の 1 Hz 計測の意味が無いと考える。

そこで 2 つの手法を使用して寄与度を求めた。

①最大・最小比較

分母に各要素の計測値の最大値と最小値の差、分子に計算した最大NO_x値と最小NO_x値の差を代入して、NO_xの放出量計算式に実際に各計測データを代入して、NO_x値と 1 対 1 の相関を 1 次式で求めて、その傾きを寄与分とした。

(例：Y と X の相関式が、 $Y=aX+b$ の場合、Y は X の a 倍で変化することを利用した。

つまり a の値が大きいほど ”Y に影響を与える” = ”寄与する” ことを意味する。)

5.1.4.2 計測項目と寄与度

計測項目は、NO_x の計算上必要な 6 項目に関して行った。

寄与度の大きな項目は、高精度で高速のセンサが要求されるが、平成 16 年度の調査研究で使用した検出端の応答性の確認例を以下に示す。

機関室温度計測用	型 式 : 測温抵抗体 PTR-A11 応答性 : 20sec. /100℃ (63%に到達まで)
機関室湿度計測用	型 式 : SK-RFV 精 度 : ±3 %(測定値の) 応答性 : 3sec. (63%に到達まで)
大気圧測定用	型 式 : PTB210 精 度 : ±0.3 %FS 応答性 : 1sec. (99%に到達まで)
機関室気圧測定用	大気圧測定用に同じ
給気圧計測用	型 式 : 船舶用圧力発信器 SMP-MB 応答性 : 約 50msec (0Pa～ 測定レンジまで、圧力レンジにより 多少異なる)

5.1.4.3 寄与分の確認

1) 寄与分の求め方

① 最大値、最小値の利用

各パラメータの測定値の最大値と最小値を生データより求める。同時にこの生データを使用してその状態での NO_x 値（瞬時値）を計算する。これらの計算結果より以下の式を使用して求め、計算結果と比較する。排ガス性状は **Wet.** とする。

NO_x 計算値 $\text{Max}(\text{g/kWh}) = \text{Max}$ 計測値を使用した時の NO_x の理論値

NO_x 計算値 $\text{Min}(\text{g/kWh}) = \text{Min}$ 計測値を使用した時の NO_x の理論値

NO_x の理論計算式は **IMO** の規定によった。

② ユニバーサル炭素バランス法に従った **IMO** 理論計算式を使用したもので、測定値の生データをその理論式に代入して NO_x の値を計算する。この NO_x の値と測定値の生データの比較してグラフ化する。このグラフ用近似式を求める。この近似式の傾を寄与分とした。

2) 寄与分の計算結果

前項 5.1.4.3 1) ②の方式で算出した結果を表 5.1.4.3.1 に示す。

試験データは第 4 回（12/9/15:15-45）75%試験時の値を使用した。

第 4 回試験 75%の時の NO_x 値は、8.76g/kwh であった。

表 5.1.4.3.1 計測パラメータ寄与分

NO	計測パラメータ(NO_x 生成要素)		NO_x 値 (g/kwh)		寄与分	
	項 目	測定値(x 値)		計算結果		寄与分率 (%)
		Min	Max	Min	Max	
1	発電機出力(kw)	365	381	7.80	8.14	$-0.0214x + 15.945$ 2.1
2	機関室 湿度 (%)	26.2	26.7	7.97	7.98	$0.019x + 7.4703$ 1.9
3	気圧(hpa)	1196	1201	7.97	7.97	 0
4	過給機入口温度($^{\circ}\text{C}$)	28	29	8.06	8.11	$0.0552x + 6.5093$ 5.5
5	NO_x 濃度 (ppm)	796.4	815.6	7.88	8.08	$0.0099x - 0.0438$ 0.99
6	O_2 濃度 (%)	11.8	12.0	7.91	8.02	$0.8608x - 2.272$ 86.1

3) 計測パラメータ寄与分グラフ化

前項 2) 項で求めたデータをグラフ化した。

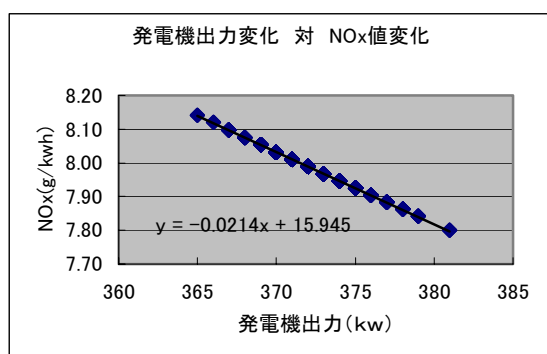


図 5.1.4.3.1 発電機負荷変化分

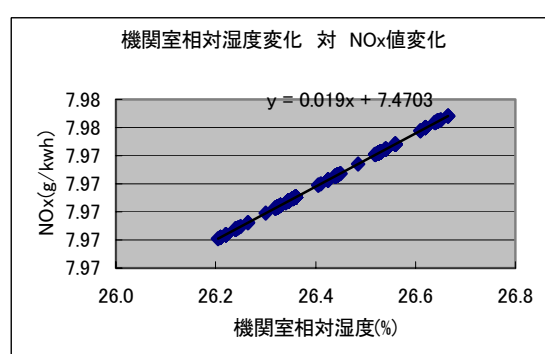


図 5.1.4.3.1.2 湿度変化分

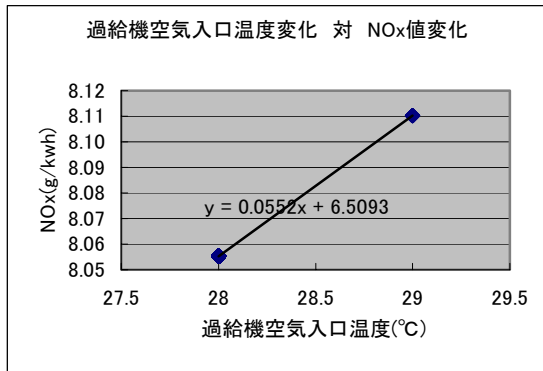


図 5.1.4.3.1.3 空気温度変化分

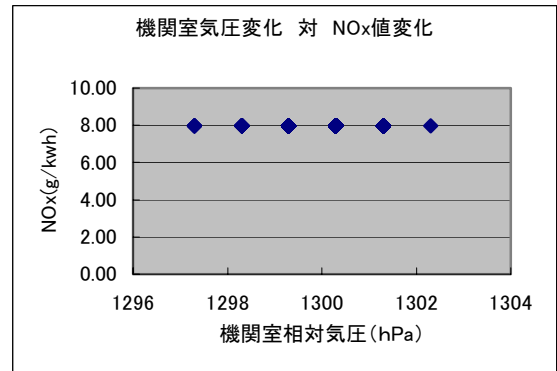


図 5.1.4.3.1.4 気圧変化分

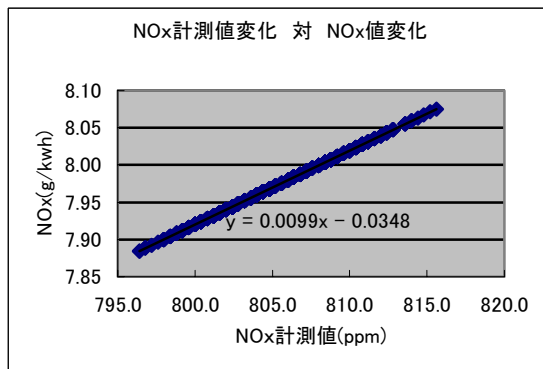


図 5.1.4.3.1.5 NO x 濃度変化分

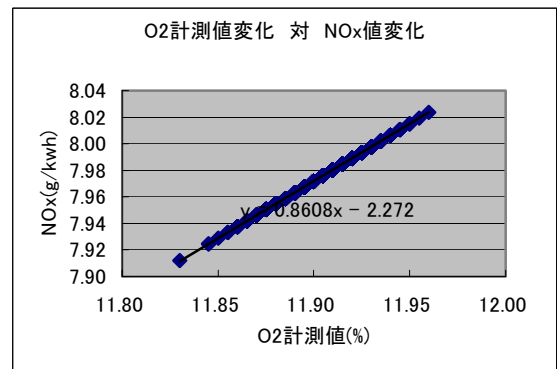


図 5.1.4.3.1.6 O2 濃度変化分

5.1.4.4 考察・評価

1) 第4回試験 75%の時のNOx値は、8.76g/kwhであったが、Max、Min計算ではその値以下であった。このことはNOx値は、単一の要素のみで決定され手いるのでは無く、複数の要素が絡み合っ、結果としてNOxの値が決定されることになると考えられる。

2) この結果より、過給機入口温度及びO2濃度に関しては寄与度が大きく、逆に1Hz計測の意味が理解できるがその他のパラメータは寄与度が小さく、1Hz計測の意味合いが乏しいと言えるのではないかと考察される。

5.1.4.5 課題

NOx生成のメカニズムの解析ができれば、計測の重み付けもはっきりとするが、今後専用の燃焼試験と解析が必要と考えられる。

特にO2の計測は、非常にNOxの値を左右するものであり、NOxセンサと同時にO2センサの精度管理が必要である。

5.1.5 nHz 計測と NO_x 値変化

5.1.5.1 概要

現在NO_xモニタリング法で規定されている1Hz計測を実施する為には、対応するレコーダ設備を本船側で保有していなければならないこと以外にも、かなりの量のデータ処理が必要となり、現実的では無いと思われる。

そこで本船での1Hz計測データを基にサンプリング周期を変えた場合を想定し、サンプリング周波数の影響に関して検討を行う。

5.1.5.2 nHz 計測シミュレーション

本船で実施した計5回の1Hzデータをベースとし、0.1Hz周期、0.01Hz周期、計測期間前後2点、以上4つの計測パターンで主要機関性能及びNO_x値を比較したものを図5.1.5.1に示す。
(なお、詳細のデータ比較は末尾添付資料参照)

0.1Hz、0.01Hzでの検討結果は、データ容量の縮小化を考慮したものであり、前後2点のデータは、レコーダによる記録が出来ない場合を考慮したものである。

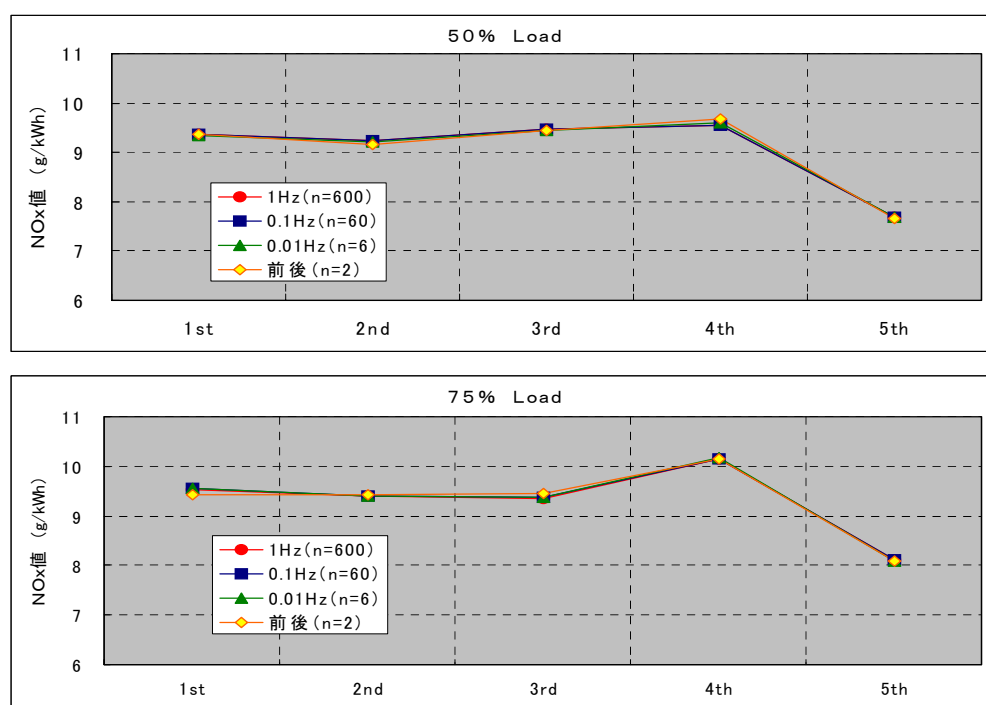


図 5.1.5.1 nHz 計測シミュレーション

5.1.5.3 考察・評価

計測した50%負荷、75%負荷どちらにおいても、今回シミュレートした4つのパターンでのNO_x値の変化は、同一試験状態の中では0.1g/kWh程度とごくわずかな変化量であり、各試験回数でのNO_x値の変化と比べると全く問題無いレベルである。

このことからすると、データレコーダ設備による規定のサンプリング方法を行わずとも、本船のNO_x状態は確認出来ると言える。つまり、試験期間である10分間の前後2点のデータを用いた計測結果でも、十分モニタリング法としての有効性はあると言える。

5.1.5.4 課題

今回のデータは、1 Hz データにより試験期間中での機関状態の異常（変化）が無いことを確認した上でのシミュレーションであり、この場合においては10分間の前後2点データでもモニタリング法としての検証に問題無いと判断出来る。つまり、規定されている1 Hz でのサンプリングではなく、データレコーダやデータ処理の観点から、サンプル数を減らしての計測でも、データの信頼性は得られる。但し、今回の検討は10分間の安定したデータを確認した上でのシミュレーションであることから、最低前後2点での計測結果を用いたモニタリング法とする場合には、機関安定状況を裏付けるデータをどのように提示していくかが問題となる。試験機関安定性の確認をNO_x や機関出力等のある程度応答性の良いデータを基に判断するとするならば、0.1 Hz 程度のサンプリングで安定性は確認出来ると判断する。

5.1.6 計測機器の応答性と影響度

5.1.6.1 概要

試験に使用した計測機器の精度や応答性は、検出の難易度からみて当然と言えるように、ばらばらである。そこで各計測項目の最大値と最小値を使用して、そのばらつきの範囲を確認したものである。

5.1.6.2 最大値・最小値計算

今回計測した1 Hz データでのばらつきを考慮した場合のデータ精度に関して検証する為に、10分間（600個）のデータの平均値でのNO_x 値評価と、10分間での各計測項目での最大値および最小値を発生する可能性がある誤差とみなし、NO_x 値への影響度合いを検討した。

5.1.6.3 考察・評価

計5回のNO_x 値の変化を図5.1.6.1に示す。（なお、詳細のデータ比較は末尾添付資料参照）

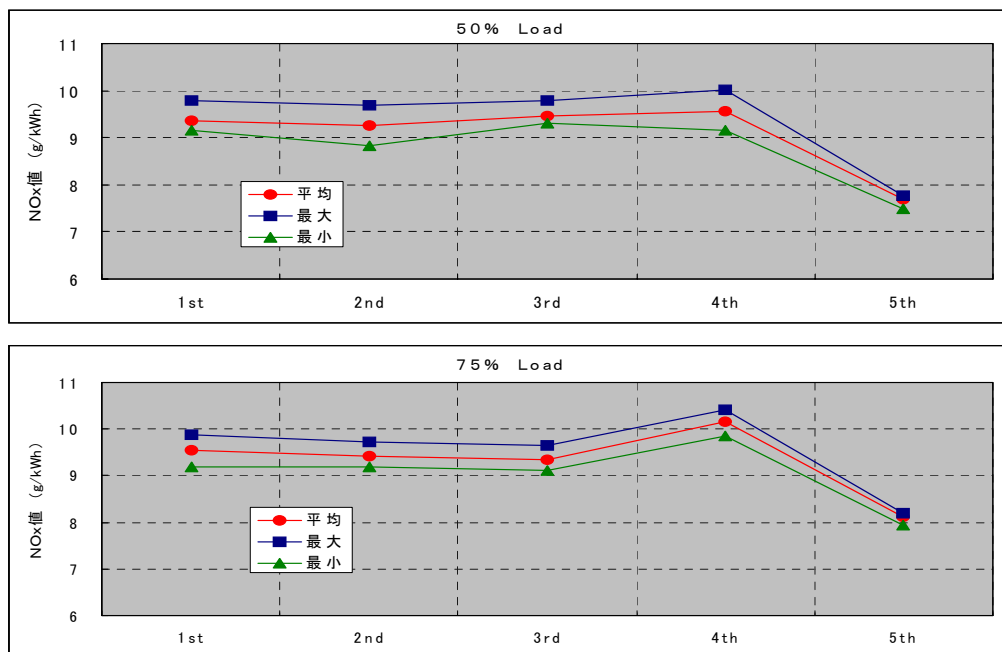


図 5.1.6.1 NO_x 変化

計測した50%負荷、75%負荷のどちらにおいても、同一試験状態の中でのNO_x値の変化量は、最大で約1 g/kWh弱であった。これは、モニタリング法での検証を考慮した場合決して少ない値とは言えない。しかしながら前項でのサンプリング数によるデータの傾向を考慮した場合と比べはるかにばらつきが多いことから、通常では有り得ない組み合わせによるNO_x値の計算結果であるとも考察される。

またNO_x値の計算から考えると、NO_xデータ、O₂データ、出力データのばらつきが大きく、この因子が計算結果に与える影響は当然大きい。特にO₂データは、0.1%の違いで約0.1 g/kWhの変化になってしまう為、精度管理は重要と言える。技術員が訪船した5回目の計測値が他の回と比べてNO_x、O₂のデータばらつきが少なく結果としてNO_x値のばらつきも小さくなっている。このことから計測する際の、NO_x計測装置の管理、使用方法にも十分注意が必要であると言える。

5.1.7 同型機関のNO_x発生検証

5.1.7.1 概要

本船でのモニタリング法によるNO_x計測は、計測方法の確認および規定の計測方法に関する問題検証として有意義でありそれなりの結果が得られ、図5.1.7.1の様に規制値に対してクリアしていることも確認することが出来た。

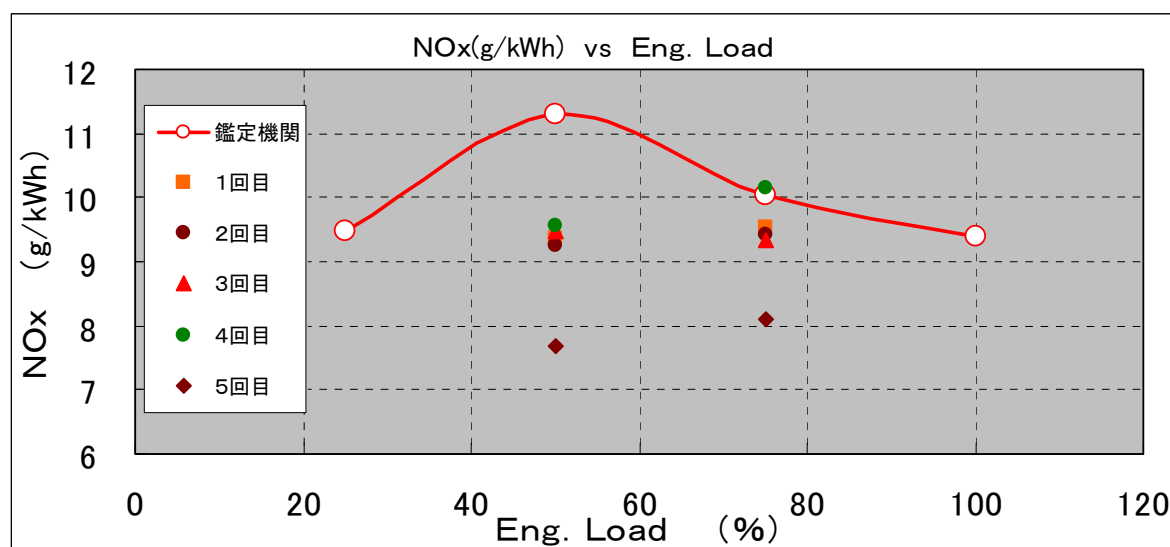


図 5.1.7.1 同型機関のNO_x 値

しかしながら、①サンプリング法による各データと同型機関でのIMO鑑定データとの違いや、②1回目～4回目での計測結果と5回目での計測結果の違いについての疑問が発生した。

①については、本船の機関での陸上運転NO_xデータが無く、残念ながら比較の為のベースデータが無い。噴射系部品の使用時間による影響や周囲(使用)環境影響によるばらつきなどいくつか要因としては考えられるが、その一つとして比較している鑑定取得データと本船機関との噴射時期の違いが上げられる。今回、陸上運転において同型機関を用いて、噴射時期変更による検証を実施した。

また、②の項目についても、データより検討を行うこととした。

5.1.7.2 同型機関の工場試験結果

本船での燃料噴射時期が 12.5° bTDC に対して、同型機関での鑑定時の噴射時期が 14° である為、同型機関での噴射時期変更試験を実施し、噴射時期による影響確認を行った。

図 5.1.7.2 および図 5.1.7.3 に噴射時期変更での NO_x 値の変化と、次頁に各データのモード値を示す。

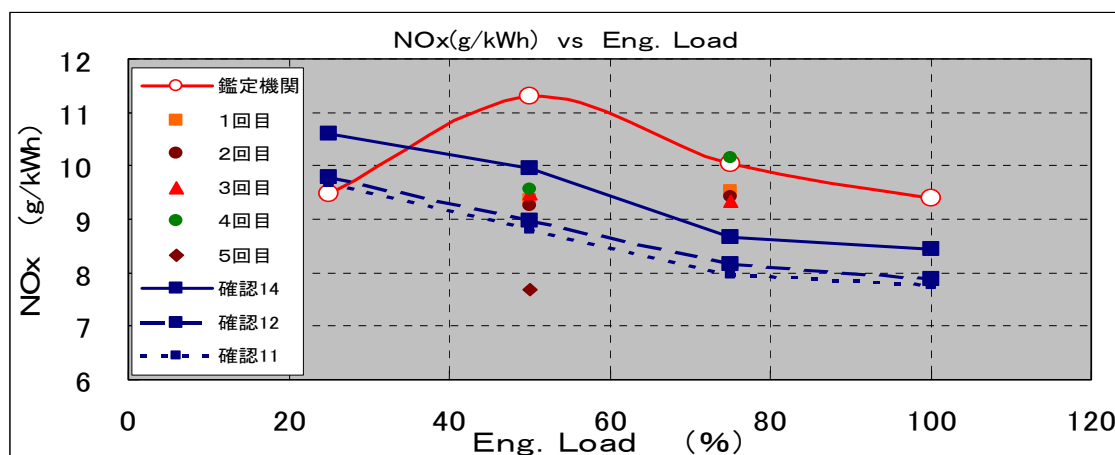


図 5.1.7.2

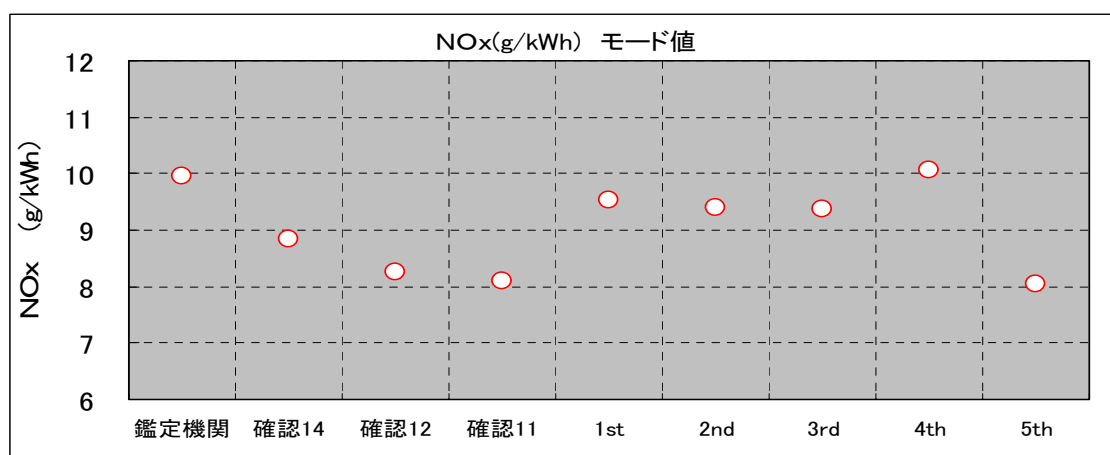


図 5.1.7.3

5.1.7.3 考察・評価

噴射時期の影響に関しては、今回の試験において $14 \sim 11^{\circ}$ bTDC まで変更して計測実施したが、当初予想されていた変化量よりは若干少なめではあるが、 NO_x 排出量の低下に伴い効果が減少していくことを考慮すると、概ね予想通りの結果と考えられる。

しかしながら、2000年頃のIMO鑑定時と今回の確認試験時とで、機関そのものの違いはあるとはいえ、 NO_x 値に 1 g/kWh 程度の差が見られる。当然、燃焼に関わる部品変更等は一切実施しておらず、どのような理由で NO_x 値が下がったのか鑑定取得時の機関が無い状態では残念ながら検証出来ない。想定するに燃焼に関わる燃料の変化や各構成部品の精度向上等が起因しているのではないかとと思われる。

今回の試験結果と鑑定時のデータ両方をばらつきとしてみた場合、本船機関の噴射時期でのNO_xモード値は下図の矢印の範囲で示す様に、おおよそ8.5～9.5の範囲と予想出来る。そう考えた場合、1回目～3回目のデータは概ね範囲内であり、4回目、5回目についてもそこからのばらつきとして考えれば、特に異常なデータとも言えない。

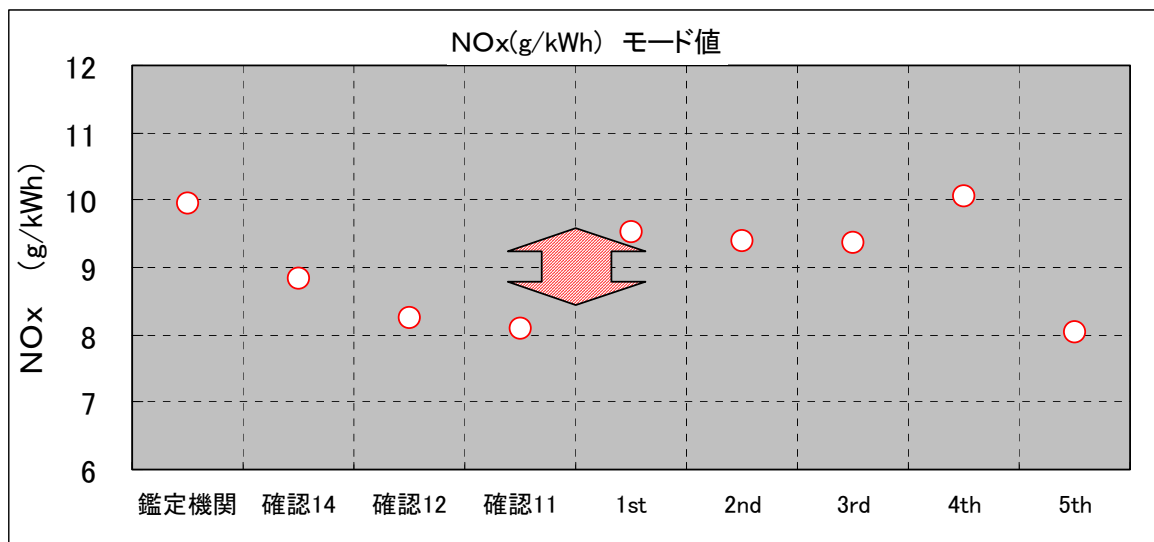


図 5.1.7.4

このように本船機関のNO_xモード値を9 g/kWh程度を予想した場合、モード値においては1回目～4回目と比較して5回目のデータだけが違うとは言えない。

各負荷でのパターンにおいて本船機関のベースデータは、今回確認試験14° b TDCデータの上下の範囲と予想される。その場合5回目計測の50%負荷においては、かなり低い傾向にあると言える。

5回目計測前の特異事項としては、機関整備が実施されシリンダヘッド&ピストンが交換されたこと。当然の事ながら弁隙調整も行われている。またNO_x計についても、センサー交換が実施されている。この部品交換による性能変化は、当然使用状態による変化として多少は関与が予想されるが、水準としては、かなり低いNO_x値であり想定範囲を外れる。

今回計5回の計測結果の誤差が、モード値において2 g/kWhあるが、機関状況および計測状況などのコンディションにより、これくらいの誤差は生ずるとして判断すべきと考える。

5.1.7.4 課題

今回の試験では、肝心の陸上データが無い機関との比較であるが為に、データばらつきに対して推定の範囲を超えることが出来ず、使用時間によるNO_x値の変化や排気管内の流れによるNO_x値の影響、またNO_x計そのものの使用コンディションでの信頼性など、今後のNO_x値の計測精度検証に向けては課題が残る形となった。

5.1.8 ジルコニアセンサ

5.1.8.1 概要

MEPC.103(49)「Guidelines for On-Board NO_x Verification Procedure — Direct Measurement and Monitoring Method」の 1.1.3 .1 では、Oxides of nitrogen(NO_x) analysis として Chemiluminescent Detector (CLD)又は Heated Chemiluminescent Detector (HCLD) type. を使用することが規定されているが、Zirconia (ZnO₂)センサでも信頼性、精度、耐久性及び繰返使用の点からも十分に使用可能であることを実証する必要がある。

NO_x 計測においても、Zirconia(ZnO₂)センサの使用も認められるように、ジルコニアセンサの応用事例に関して、追加の調査研究を行ったもので、以下にその結果を示す。

今回の試験に用いているNO_xセンサにはジルコニアセンサを用いている。

このセンサ（アダプタ取付けに関しては、①陸上試験におけるセンサ代用品（φ60丸棒）での背圧確認、および②本船でのセンサ取付け前後の性能状況によって、機関性能への影響が無いことを確認している。

今回モニタリング法を用いる上では、更に低い出力の機関への対応も必要であり、当然今回の排気管径より小さい管径への適用を考慮の必要がある。そこで排気管径に関する検討を行い、その際の問題点の有無を検討することとした。

5.1.8.2 機関の出力と背圧

1) サンプルフランジの仕様

MEPC 49/22/add.1 annex5 GUIDELINES FOR ON-BOARD NO_x VERIFICATION PROCEDURE-DIRECT MEASUREMENT AND MONITORING METHOD APPENDIX 1. Sample point connection flange の中には、排ガスサンプルポイントの詳細なフランジ仕様が記載されている。表 5.1.8.1 .は appendix1.に記載されているフランジ仕様を示す。

表 5.1.8.1 サンプルポイントのフランジ仕様詳細 (MEPC 49/22/add.1 annex5 より抜粋)

Description	Dimension
Outer diameter	160mm
Inner diameter	35mm
Flange thickness	9mm
Bolt circle diameter1	130mm
Bolt circle diameter2	65mm
Flange slots	4 holes, each 12mm diameter, equidistantly placed on each of the above bolt circle diameters. Holes on the two bolt circle diameters to be aligned on same radii. Flange to be slotted, 12mm wide, between inner and outer bolt circle diameter holes.
Bolts and nuts	4 sets, diameter and length as required
Flange should be of steel and be finished with a flat face.	

出力の低い機関においては、当然排気量の変化から排気管径も小さくなり、125Aや150Aといった排気管がついていることが予想される。そこで排気管径が与える影響を計算上検討してみた。 図 5.1.8.1 に管径と入口圧力の関係を示す。

管径と入口圧力との関係図(出口圧力固定(350mmAq))

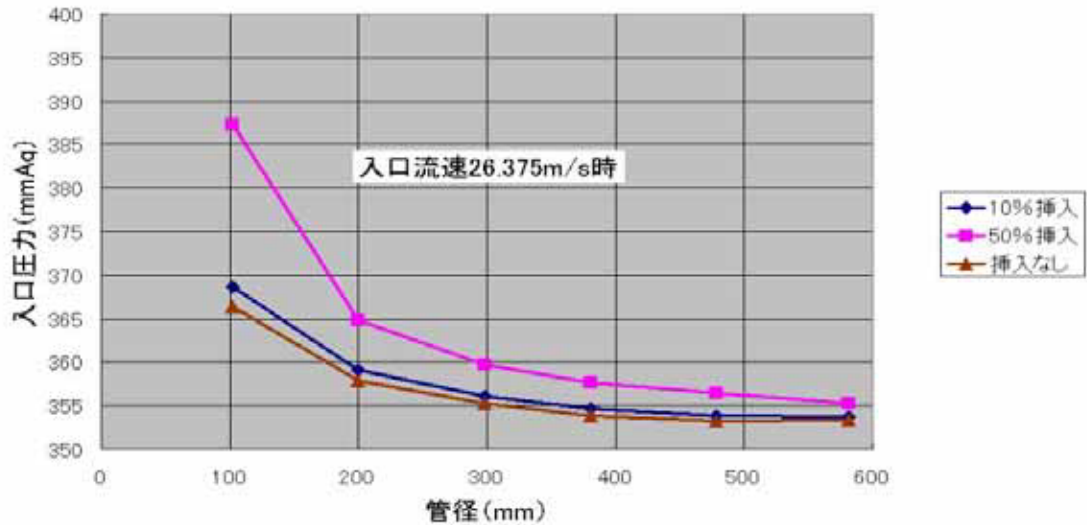


図 5.1.8.1 管径と入口圧力の関係

なお、計算条件として下記を使用している。

- ・検討管長 : 2 4 0 0 mm固定
- ・出口背圧 : 3 5 0 mmA q 固定
- ・挿入物 : $\phi 60$ の丸棒 (アダプタ想定)
- ・入口流速 : 2 6 . 3 7 5 m / s

これによると200Aの排気管までは、NO_x計測用アダプタ挿入長さの変化に対して、入口圧力の影響は少ない。つまりは排気背圧の変化も少ないことが予想される為、NO_x計測用アダプタの影響は性能上配慮する必要は無いと考えられる。しかしながら200A以下の排気管では挿入長さによる影響が大きくなっており、最小限の挿入長さに留める必要があると思われる。

実際問題としてこのような小さな排気管ではアダプタ (サンプルフランジ) 取付けの寸法上の問題もあり、この点について検討を行う。

5.1.8.3 サンプルフランジの仕様に対する検討

表 5.1.8.1 に示す仕様のフランジがすべての排気管に対応できるかを検討した。エンジン出力に対しどのような径の排気管を使用するかを調査した。その結果を表 5.1.8.2 にまとめた。

表 5.1.8.2 エンジン出力に対する排気管径の例を示す。

エンジン出力	排気管呼び径
135 ~ 150kW	100 A
180 ~ 350kW	125 A
250 ~ 600kW	150 A
300 ~ 700kW	200A
400 ~ 750kW	250 A
650 ~ 950kW	300A
1000 ~ 1600kW	350 A

これより、特にエンジン出力が 135～150kW のエンジンについては排気管呼び径が 100A で約 115mm と非常に小さくなり、表 5.1.8.2 に示すようなフランジを排気管に取り付けるのは大変困難な状況になる。

5.1.8.4 小型機関用センサの設計・取付例

エンジン出力が 135～150kw の場合、排気管の径が 100A で約 115mm となるため、表 5.1.8.1 に示すようなフランジを取り付けることは不可能である。よって、このような場合、図 5.1.8.2(a) に示すように、ジルコニアセンサを直接排気管に取り付けることで対応可能と考えられる。

この場合、NOX テクニカルコードで規定されている煙道径の 10%から 90%の位置にセンサを挿入できるようにする必要がある。このことから排気管の管径によっては、最低でも 10%以上挿入できるように、図 5.1.8.2(b)のようにアダプタを作成する必要がある。

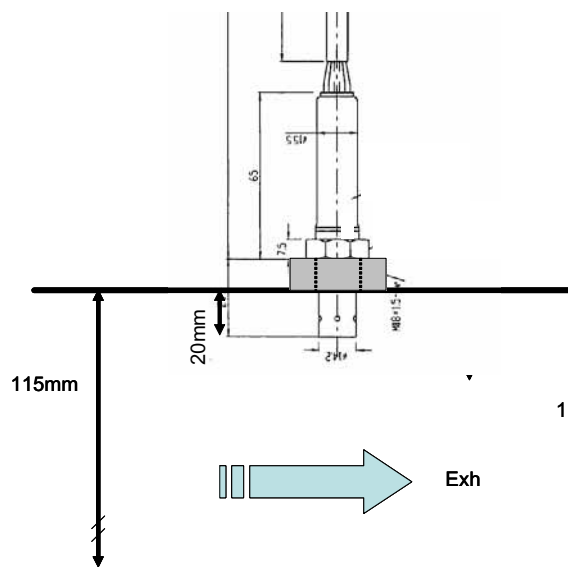


図 5.1.8.2(a)

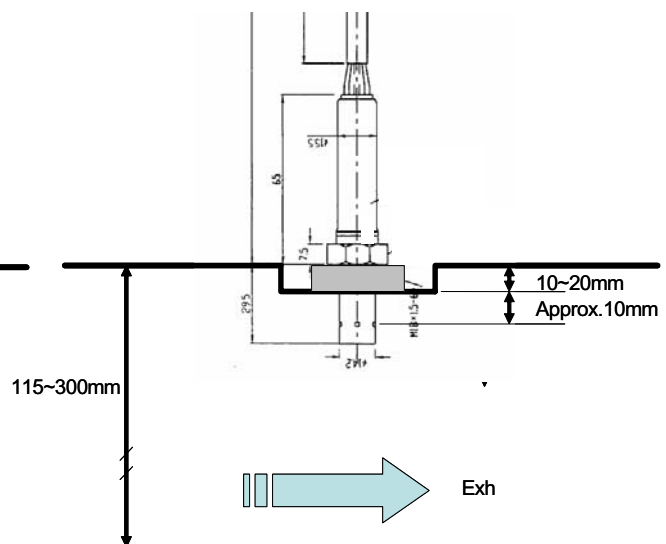


図 5.1.8.2(b)

5.1.8.5 課題

1) 連続耐久試験

ジルコニアセンサの今後の課題としては、連続耐久試験での実績がまだまだ少ない。平成 13 年から 15 年の 3 ヶ年にわたって実施した NOx モニタリングに関する調査では 2 サイクル大型機関での連続モニタリングの耐久性について調査したが、このときはエアージェクターを使用したサンプリング方式を採用し、連続耐久試験が実施された。

その間、問題点は出てきたが、対応策も確立され、所定の時期に校正及び部品を交換すれば、十分な信頼性、精度を伴う連続測定が可能となることが確認された。

さらにメンテナンス性、信頼性をあげるため、平成 16 年からの NOx モニタリング法のシミュレーション試験においては、センサを排気管に直挿するダイレクトサンプリング法を採用した。

測定に関しては MEPC 49/22/add.1 annex5 GUIDELINES FOR ON-BOARD NOX VERIFICATION PROCEDURE-DIRECT MEASUREMENT AND MONITORING METHOD に従った計測手法で NOx の排出量を算出し、同時に PSC、IAPP 証書再認証作業のシミュレーションを行うことを目的としており、ダイレクトサンプリングにおけるジルコニアセンサの連続耐久試験については十分検証できていない。

2) NOx 値の変動

今回の第 1 船の計測においても仕様上は問題ないが、例えば図 5.1.8.3 に示すように、75%負荷において NOx 値がわずかではあるが変動する現象が見られた。機関データと照らし合わせ原因について様々な検証を行ったが、今回この要因を突き詰めることはできなかった。センサ自身の耐久性に問題があるのかどうかは明確ではないが、次の課題としては、ダイレクトサンプリング法によるジルコニアセンサの耐久評価を検証する必要がある。

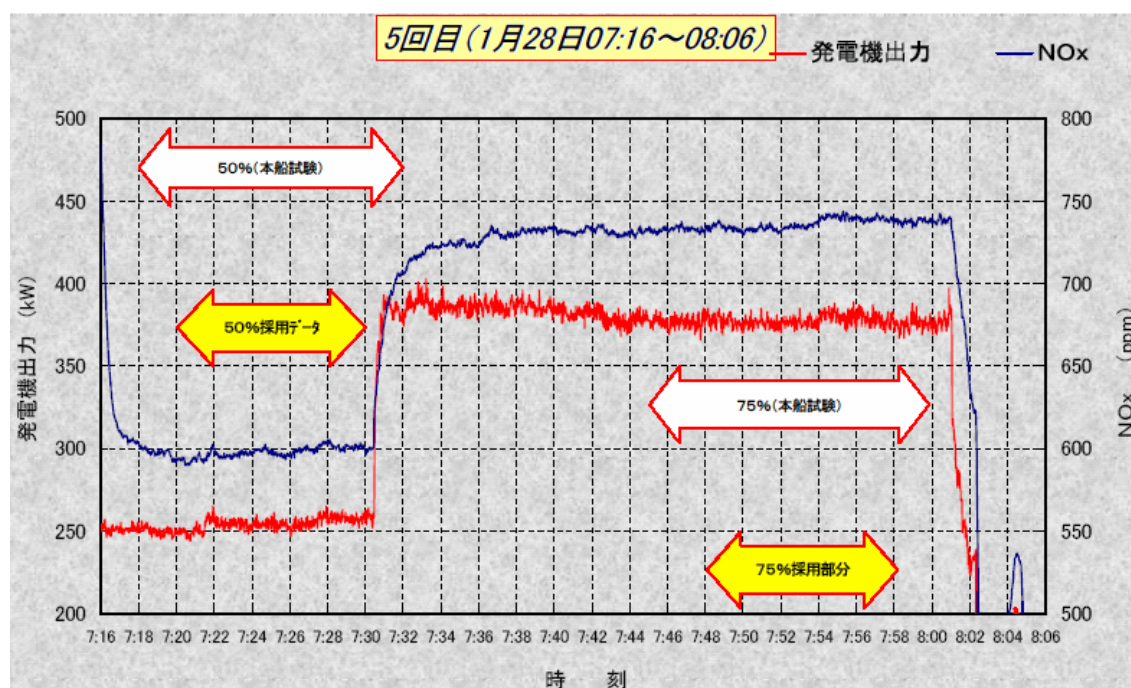


図 5.1.8.3. 実船試験の連続チャート（負荷 50%、75%）

5.1.9 IMO への提案事項

MEPC49 で採択された船上での NOx モニタリングに関するガイドライン (RESOLUTION MEPC.103(49)「Guidelines for On-Board NOx Verification Procedure — Direct Measurement and Monitoring Method」)については、検証された実績が乏しく実船におけるシミュレーションによる検証が必要である。

日本は、NOx モニタリングのシミュレーション結果についての情報提供を行ったが (MEPC49/INF.10)、その後も本対象船も含め 3 隻のサンプル船による試験を継続している。

このような背景の下に、現在までに得られた調査研究の解析結果を踏まえ、上記ガイドラインの実施に伴う問題点と改正すべき点について明確化を図る。

5.1.9.1 1 Hz 記録

MEPC.103(49)「Guidelines for On-Board NOx Verification Procedure — Direct Measurement and Monitoring Method」)3.4.2 項では、1-Hertz minute chart reading of a stable 10-minute sample interval of each load point should be averaged. と規定されているが、1-Hertz minute chart reading の必要性は疑問である。

5.1.9.2 計測機器の校正期間

MEPC 49/22/add.1 annex5 GUIDELINES FOR ON-BOARD NOx VERIFICATION PROCEDURE-DIRECT MEASUREMENT AND MONITORING METHOD APPENDIX4. 分析計のメンテナンス（校正）周期について、3 ヶ月に 1 回を推奨している。

ジルコニアセンサの寿命の目安は 2000ppm 以下の NO ガスが存在し、空気過剰率が 1 以上、ガ

ス温度 300℃以上の環境において約 500hr が目安となる。排ガス中に 2000ppm の NO が存在するとして、4hr の連続測定を実施したとすると、約 120 回の計測が可能となる。また、日常校正を計測毎に実施すれば、仕様上の性能は十分に発揮できるし、メンテナンスに関してもフィルタの清掃、もしくはセンサに寿命がくれば交換するだけで非常に簡易である。

なお、CLD 分析計のメンテナンスについてはジルコニアセンサと比較し、メンテナンスに技術が必要であるが、一般的には 1 年に 1 回のメンテナンス(校正)を実施すれば問題ないと考えられる。

5.1.10 技術評価及び課題

5.1.10.1 技術評価

NO_x モニタリング法は、船舶の就航後も引き続き、NO_x 排出規制に適合していることを確認するための定期的検査手段として NO_x テクニカルコード及び NO_x モニタリング法ガイドラインで規定されている。今回実船で計測された NO_x は、陸上での CLD 法による分析方法と異なるジルコニア式を用いたが、その他は同ガイドラインに出来るだけ忠実に計測され、その結果は、陸上での計測結果と数%の差で、かつ対象機関が NO_x 排出規制に適合していることが確認された。

このことは、ジルコニア式が有効な検証手段であることが検証できたと共に、特別な専門技術者に頼ることなく本船乗組員によって有効なデータを採取出来ることを実証している。

また、本機関はファミリーを構成するメンバーエンジンであったが、親エンジンと燃料噴射時期、環境条件等違いがあったものの、計測された NO_x 値から、NO_x 排出規制に関するエンジンの認証へのファミリー概念の適用が妥当であることが確認された。

5.1.10.2 課題

今回の調査研究を実施して以下のような課題が判明した。(平成 16 年度報告分を除く)

- 1) 計 5 回の計測を行い、その結果はいずれも関連規則への適合が確認されたが、個々のデータをみると、5 回目の計測結果が前 4 回の平均と比べ約 1.5g/kWh (16%) 低下している。4 回目と 5 回目の計測の間に、シリンダヘッド、ピストン及びコンロッドの新替が行われており、その他のパラメータの変更は一切行われていないことから、この差違の原因究明が望まれる。
一般に、部品が新しくなると燃焼状態が改善され、少なくとも NO_x 排出率は低下しないものと考えられる。その点でも部品を新替したことにより NO_x が低下した今回の結果は検討すべきである。
- 2) ジルコニア式の有効性は確認できたが、CLD 法との試験台での比較、排気温度の影響、経年変化・耐久性等について、更に検証すべきである。
- 3) 本船は、電気推進船であったため、発電機用ディーゼル機関の負荷は、比較的設計しやすく、また負荷の安定性も良好であった。今後は、荒天時を含むディーゼル機関推進方式での負荷設定について確認すべきである。

5.1.11 総括

2004 年度に電気推進船「千祥」を調査研究の対象として、ジルコニア式 NO_x 分析装置を用い、電気推進船の運航パターンによる発生 NO_x を把握すると同時に、PSC、IAPP 証書再認証作業のシミュレーションを行った。(2004 年度報告書参照)

本年度は、前年度で計測したデータを解析し、NO_x 鑑定の一連の作業中での課題、ルール上の疑問点や改善点を取りまとめて提供することになった。

5.1.11.1 解析関係

実施内容を総括すると次の通りである。

1) 計測データの再整理

2004 年度に 5 回実施した試験時の全データを使用可能なように再整理し、データベースを作成した。

Excel データベースで、機関データ、推進装置データ及び船体運動データの 3 データより構成し、研究用として外部に提供可能なように編集し、データの項目は英文で作成した。

2) 計測データの解析

基本統計量解析を試験データについて実施しグラフ化した。その結果スマートな正規分布とはならず大半が 2 項分布の形となり機関室の気圧は典型的な 2 項分布を示した。

また、各センサ計測変化量で NO_x 値がどの様に変化するか、一つの変数として捕らえ変化寄与量を試算した。5 回分で NO_x に寄与する度合いの大きい気圧、温度等についてはデータを資料編に転載した。

3) 前年度の NO_x 鑑定値の訂正

2004 年度第 5 回の試験において 30%程度工場試験データより低い値が計測されたことに對し再解析を実施した結果、計算上に誤りがあったことが判明した。

本報告書でその訂正を行った。

4) ファミリーエンジンの考え方の再整理／データの信頼性の確認（噴射時期の考え方の再整理）

認定機の工場試験時の噴射時期は 14°、NO_x 値は 9.95g/kWh で、一方対象船本船の機関の噴射時期は 12.5° BTDC であったことから理論的にこの噴射時期に換算していたが、今年度確認のため同型機関を使用し噴射時期を 14° ～11° まで変化させて NO_x 値を計測した。

その結果、認定機より 1 g/kWh 強低い計測値が得られた。また機関負荷によって認定機と NO_x 値は、山なりパターンであったが出力増に応じ g/kWh は逓減のパターンとなった。

5) NO_x 計測装置の許容誤差

計測器の誤差やデータのばらつきを考察のため各計測項目の最大値と最小値を取ってそれぞれ計算した結果、その差は NO_x 値として 1 g/kWh 弱の値となった。

特に O₂ に関しては、0.1%の変化で NO_x 値は 0.1g/kWh 変化するので測定には精度管理が重要であることが分かった。

6) 検出端の使用限界排気管径

排気管系にセンサを挿入した場合の背圧計算を実施した。

排気管の全長や管径、排気量等によって背圧は異なるが、現在の 65A フランジ用アダプタ付きセンサでは排気管径 200mm 程度が使用限度と計算された。

このことより 130kW 級でもモニターできるようにアダプターを外して小型機関への対応が可能なジルコニアセンサ案を考案し提案した。

5.1.11.2 IMO 提案関係

今回の解析を通して、1 Hz の必要性及び校正期間の延長の 2 点が論点となった。

その論点の基本になった点を以下に示す。具体的な提案内容に関しては、別の報告書を参照願う。

1) 本船は電気推進船で 1 Hz 計測が可能な船舶であり、計測サイクルの違いによる鑑定差について検討を行った。

その結果、1 Hz モニタリング記録も通常計測記録（1/10Hz 計測、1/100Hz 計測）も殆ど差異はなく通常計測記録で充分であることが判明した、

このことは IMO へ提案可能なものとして親部会（MP 3）に上程した。

計測データはどのように解析しても基本的に安定していた。これは、機関の出力が規則の 5%以下の数%であったことから当然と考察した。

2) 寄与度

IMO に規定されている数式を使用して、各計算要素に実際の計測値を代入して NO_x の値を求め、その相関から寄与度を求めた。

結果、O₂ が最も寄与していることが判明した。続いて過給機入口温度、発電機出力となった。

3) 計測機器の応答性と影響度

計測データの最大値と最小値を使用して IMO 規定の計算を行って、NO_x 値の変化を求めた。

その結果各計測点の最大値と最小値との差で約 1g/kwh となったが、O₂ のみは 0.1%の差で 0.1g/kwh の変化が生じることが判明した。

4) 校正期間

1 年に 1 回のメンテナンス(校正)を実施すれば問題ないことで提案した。

5.1.12 平成 16 年度報告書の訂正

本項は、平成 16 年度報告書の一部に誤りがあったので、報告書の 5.9.3 項を以下の通り訂正する。

5.9.3 判定結果

5 回の試験を行い、結果は表 5.9.1 の通り、NO_x 制限値をクリアした。

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たところ 300ppm つまり 0.03%であったので、NO_x 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 5.9.1 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%
		9.37	9.54	9.25	9.41	9.47	9.35	9.55	10.15	7.68	8.11
	サイクル値	9.50		9.37		9.36		10.05		8.01	
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。

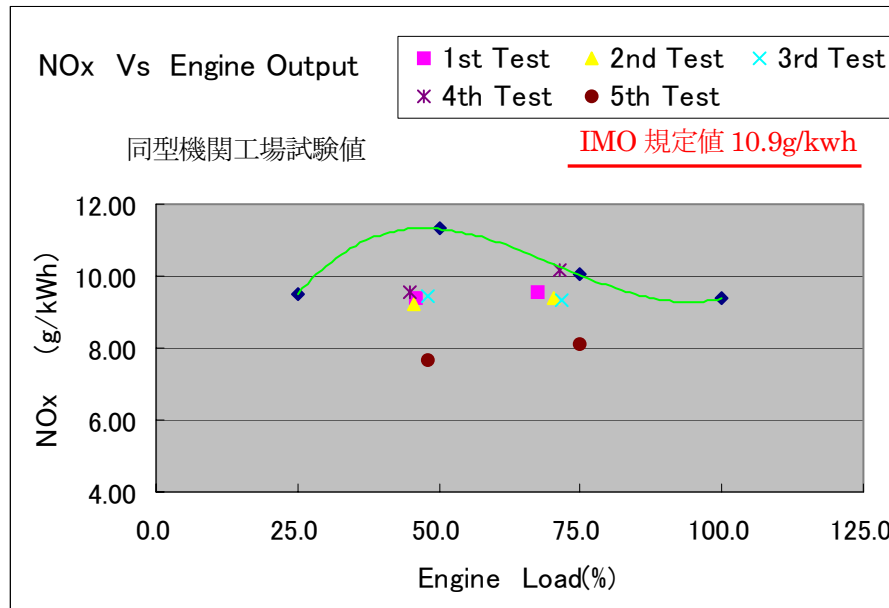


図 5.9.1 試験結果 (2)

5.9.4 所見と課題

5.9.4.1 所見

前 5.9.3 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_x 計測値がより同型機の陸上運転データより 7%程度小さな値となった。

この点、IMO の規制値以下であり、NO_x 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_x 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、同型陸上機関から下記のように推定した。なお、同型陸上機関と本船の機関のデータ比較を表 5.9.3 に示す。

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_x 排出が減少していくが、もともとの NO_x 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 と推定した。今回の調査結果とほぼ同じ排出率となる。

表 5.9.2 計測値比較表

チャンネル		61	62	64	71	72	73	74	75	77	90	114	144	145			
チャンネル名称		0308 No.3 給気 圧力	0309 No.3 冷却 排水 出口 温度	0311 No.3 給気 入口 温度	0323 No.3 排ガス 出口 平均 温度	0328 No.3 過給機 入口 温度 1～3	0329 No.3 過給機 入口 温度 4～6	0330 No.3 過給機 出口 温度	0331 No.3 機関 回転数	0333 No.3 過給 機 入口 空気 温度	0409 No.3 発電機 出力	0611 機関 室 温度	0660 機関 室内 気圧	0611 機関 室 湿度 外①	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	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	9.37
	2回目平均値	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	9.25
	3回目平均値	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	9.47
	4回目平均値	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	9.55
	5回目平均値	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	7.68
	1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
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			227.9		
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	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	9.54
	2回目平均値	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	9.41
	3回目平均値	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	9.35
	4回目平均値	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	10.15
	5回目平均値	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	8.11
	1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
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			214.6		
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

5.1.13 おわりに

本年は、昨年度に実施した計測データを再整理して、解析することで目的であった。

基本統計量解析を行ったところ、計測の 600 データが安定しているのでどの様に解析しても安定した。これは試験海域と本船が電気推進であるため推進器の制御がしっかりしており、安定して推進していた為と考えている。

このことは 600 データの機関出力の変化が 2.5%以下なので、計測の各データは安定するのが当然と言えるのではないかとと思われる。

解析途中、NO_x の算定計算の誤りが発見され、本報告書で訂正したが、関係方面にご迷惑をおかけしたことに関して、本書をお借りしてお詫び申し上げる次第である。

(幸いなことに第 2 船には、影響なく、第 3 船は注意したので影響はなかった。)

昨年 5 月より、IMO の正式な規制が効力を持ち、海運界にも排ガス規制がなされようとしているが、IMO 適用に当たって沢山の課題があり、苦労しそうに思っていたが、曲りなりにも IMO への提言項目を纏めて提案できたことは、専門家の方々のご支援の賜物と感謝申し上げます。

資料編

1. 試験データベース例

データベース記録の事例を示す。

各事例は、紙面の都合上、一部のチャンネルのみを示している。 最終チャンネル番号は、84 である。

1) 機関データ例 : 機関のデータ (排ガス温度、機関回転速度、冷却水温度等)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
チャンネル	3-a	3-b	3-c	3-01	3-02	3-03	3-04	3-05	3-06	3-07	3-08
チャンネル名称	No.3 運転 時間 (本 日)	No.3 運転 時間 (当月)	No.3 運転 時間 (累積)	No.3 冷却 清水 圧力	No.3 冷却 海水 圧力	No.3 潤滑 油 入口 圧力	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 C Y L
単位	H r	H r	H r	MPa	MPa	MPa	kPa	℃	℃	℃	℃
7 時 16 分 00 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.218	0.09	0.58	70	71	55	48	311
7 時 16 分 01 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.217	0.088	0.58	68	71	55	48	311
7 時 16 分 02 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.215	0.09	0.58	69	71	55	48	311
7 時 16 分 03 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.215	0.088	0.58	70	71	55	48	311
7 時 16 分 04 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.217	0.09	0.58	69	71	55	48	311
7 時 16 分 05 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.216	0.09	0.58	68	71	55	48	311
7 時 16 分 06 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.216	0.089	0.58	68	71	55	48	311
7 時 16 分 07 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.215	0.088	0.58	69	71	55	48	311
7 時 16 分 08 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.214	0.089	0.58	69	71	55	48	311
7 時 16 分 09 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.214	0.089	0.58	69	71	55	48	311
7 時 16 分 10 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.216	0.09	0.58	69	71	55	48	311
7 時 16 分 11 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.216	0.088	0.58	70	71	55	48	311
7 時 16 分 12 秒	7:10	246:16:00	8881:37:00	0.217	0.09	0.58	70	71	55	48	311

2) 推進装置データ例：推進装置回転速度、CPP 翼角、海水温度等
時間軸は、前述の 機関のデータに同じ。

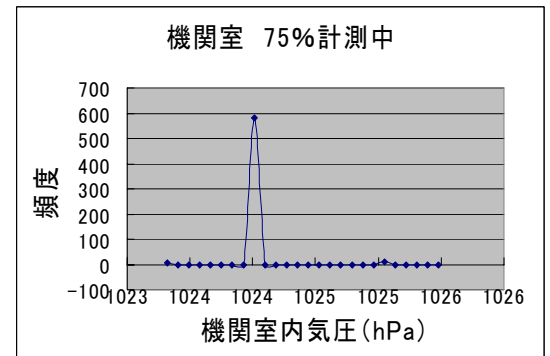
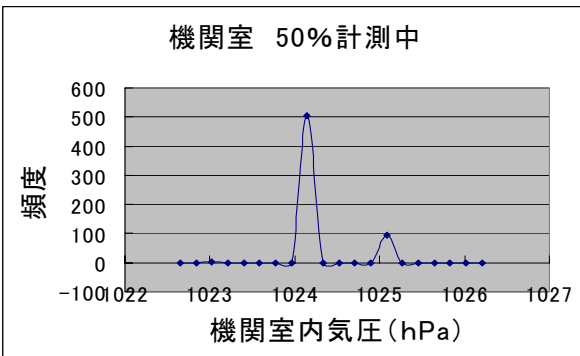
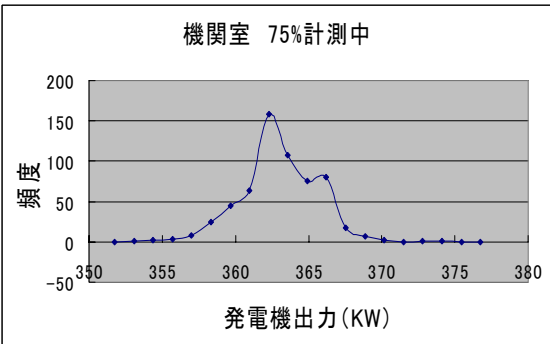
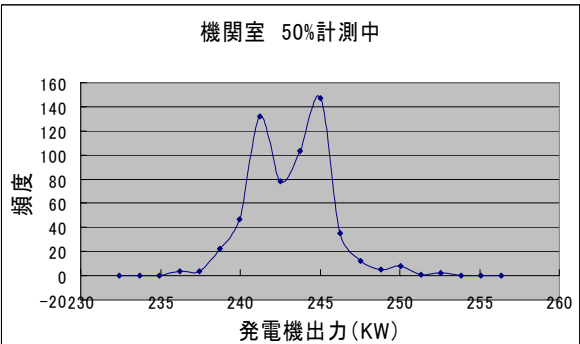
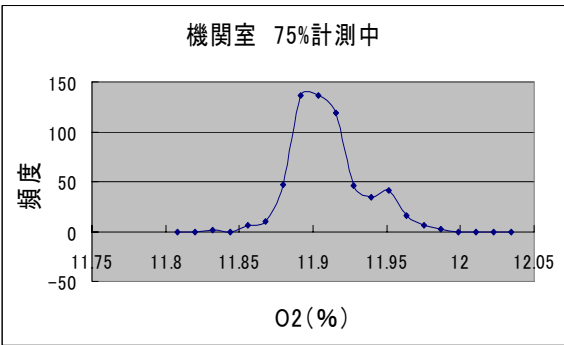
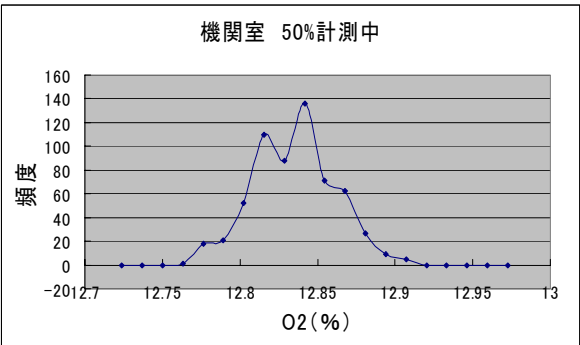
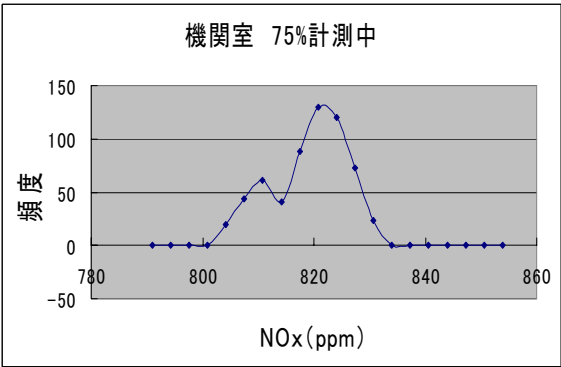
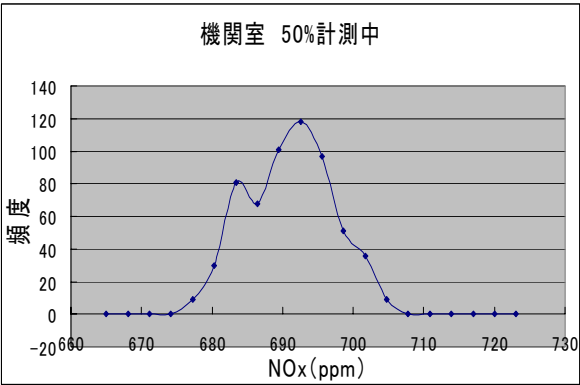
56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
全-01	全-02	全-03	全-04	全-05	全-06	全-07	全-08	全-09	全-10	全-11
海水 温度	機関室 温度	機関 室内 気圧	機関室 湿度	湿度 計測部 室温	母線 電圧	母線 周波数	No.1 推進 電動機 入力	No.1 推進 電動機 回転数	No.1 推進 電動機 固定子 温度	No.1 C P P 翼角
℃	℃	hPa	%	℃	V	H Z	K W	m i n - 1	℃	D E G
10	20	1014	26.1	21.0	436	60	237	717	37	19
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	238	717	37	19
10	20	1015	26.1	21.0	436	60	241	716	37	19
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	241	717	37	19
10	20	1015	26.2	21.0	436	60	237	717	37	19.1
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	235	717	37	19
10	20	1015	26.2	21.0	436	60	235	717	37	19
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	238	716	37	19
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	239	717	37	19
10	20	1014	26.1	21.0	436	60	238	716	37	19
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	240	716	37	19
10	20	1014	26.2	21.0	436	60	240	716	37	19

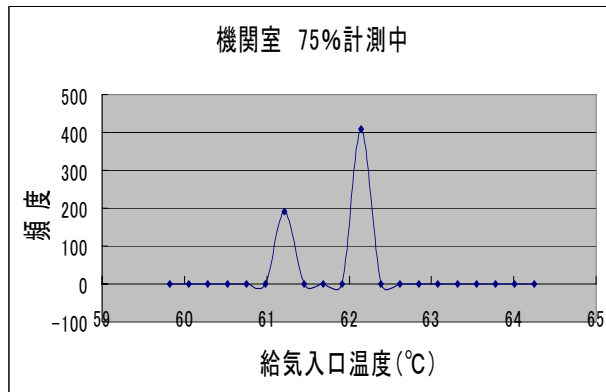
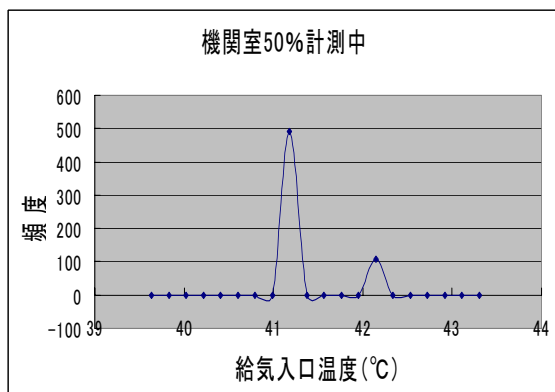
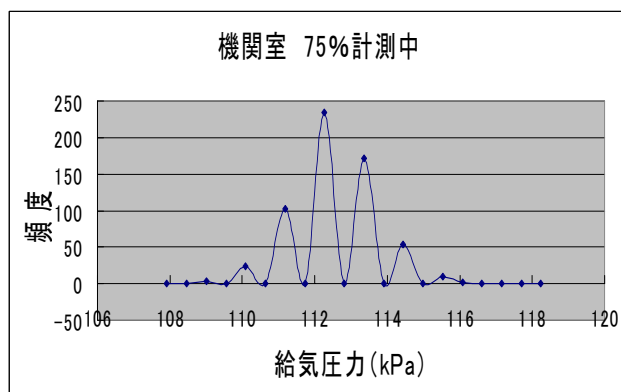
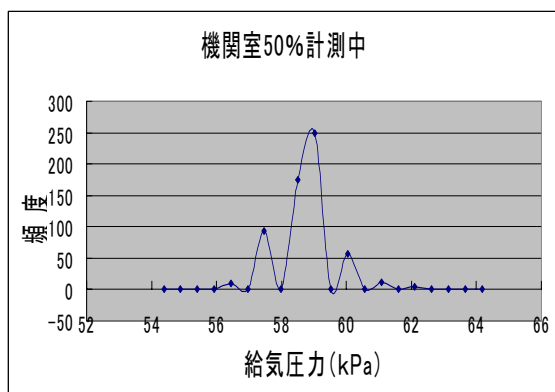
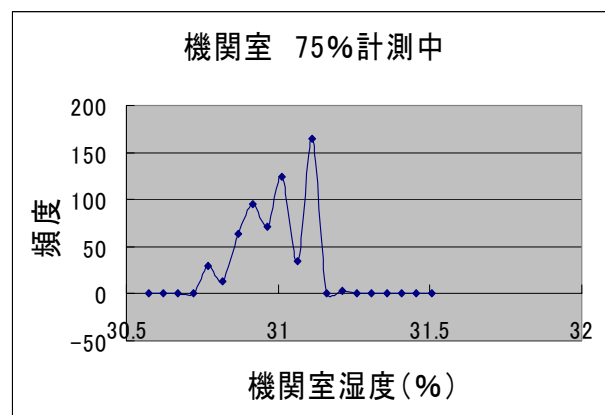
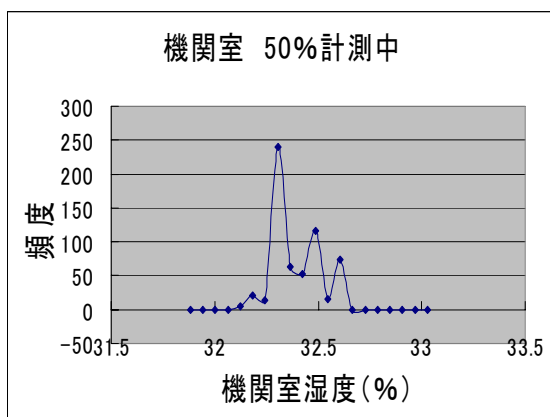
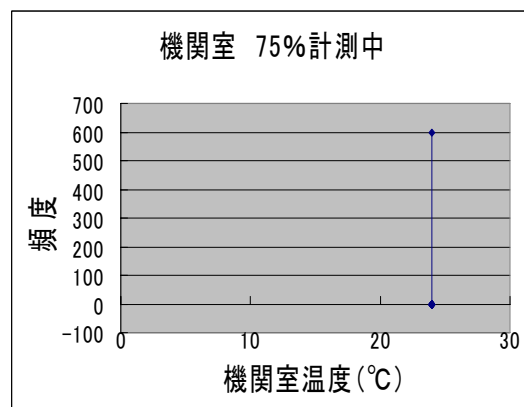
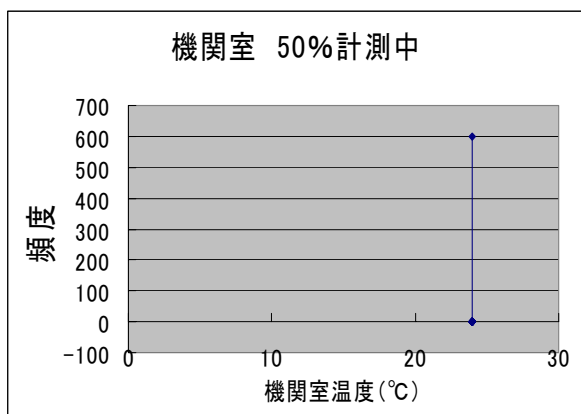
3) 船体運動データ例：針路、位置（北緯、東経）、速度等
時間軸は、前述の 機関のデータに同じ。

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
全-19	全-20	全-21	全-22	全-23	全-24	全-25	全-26	全-27	全-28	全-29
旋回角 速度	針路	緯度	経度	速力	相对 風向	相对 風速	真風 向	真風 速	外気 温度	外気 圧
D E G/M	°			kt	°	m/s	°	m/s	℃	hPa
0	27.6	N34 ° 29.31'	E135 ° 11.08'	10.2	4.4	5.9	56.8	0.7	7.5	1013
0	27.6	N34 ° 29.31'	E135 ° 11.08'	10.2	4.8	5.9	64.4	0.8	7.6	1013
0	27.6	N34 ° 29.31'	E135 ° 11.08'	10.2	3.3	6	52.4	0.8	7.6	1013
0	27.6	N34 ° 29.31'	E135 ° 11.08'	10.2	3.5	5.8	61.5	0.6	7.6	1013
0	27.3	N34 ° 29.32'	E135 ° 11.08'	10.2	4	5.7	66.6	0.6	7.6	1013
0	27.3	N34 ° 29.32'	E135 ° 11.08'	10.2	4.6	5.6	80.2	0.6	7.6	1013
0.1	27.3	N34 ° 29.32'	E135 ° 11.08'	10.2	6	5.5	98.6	0.6	7.6	1013
0	27.3	N34 ° 29.32'	E135 ° 11.08'	10.2	6.8	5.4	108.9	0.6	7.5	1013
0	27.3	N34 ° 29.32'	E135 ° 11.08'	10.2	5.7	5.6	85	0.7	7.6	1013
0.1	27.3	N34 ° 29.34'	E135 ° 11.09'	10.2	4.8	5.7	85	0.7	7.6	1013
0.1	27.2	N34 ° 29.34'	E135 ° 11.09'	10.2	357.8	5.6	24.9	0.4	7.6	1013
0	27.2	N34 ° 29.34'	E135 ° 11.09'	10.2	358.3	5.7	7.8	0.5	7.6	1013

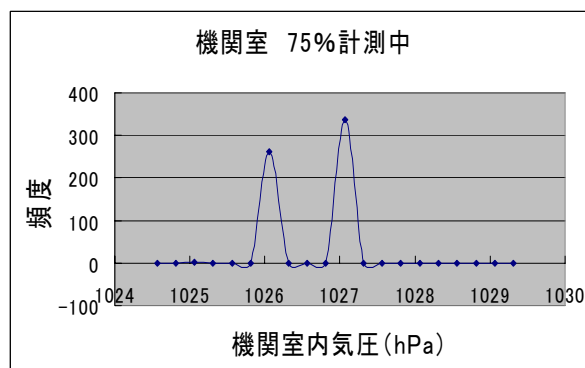
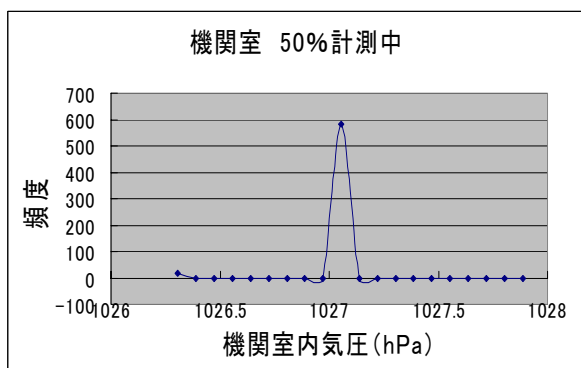
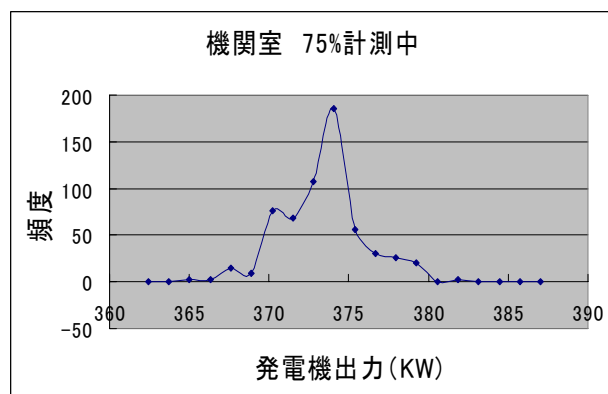
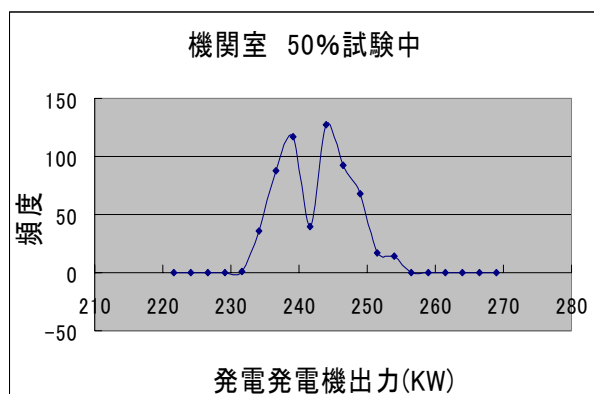
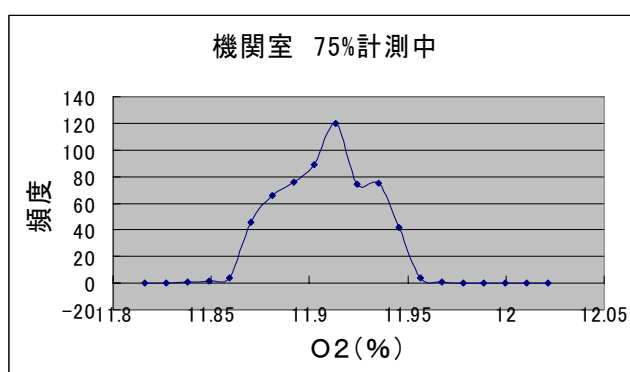
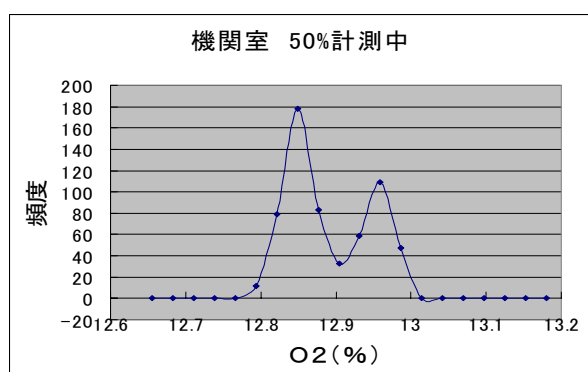
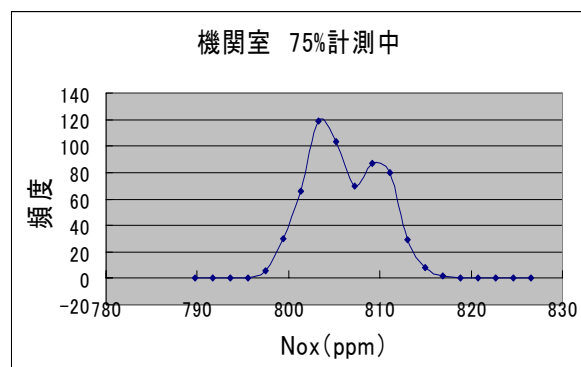
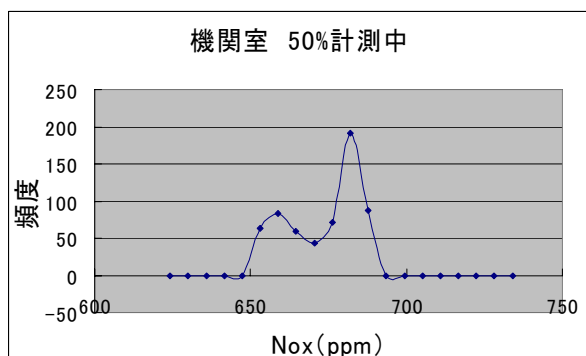
2. 基本統計量解析

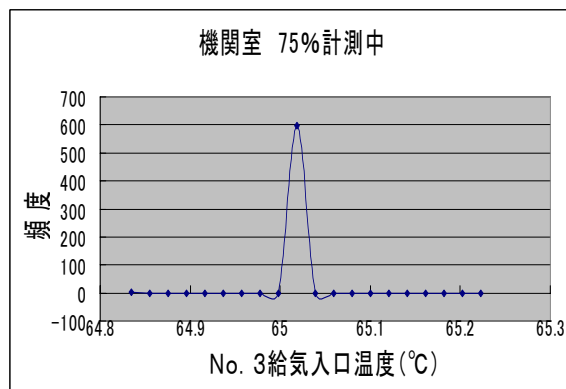
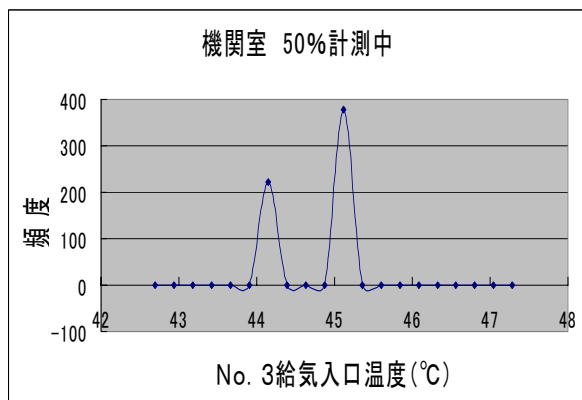
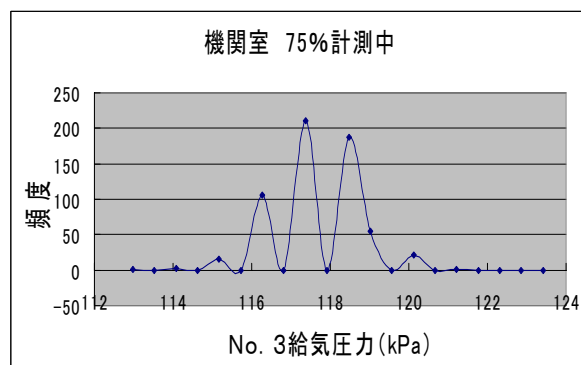
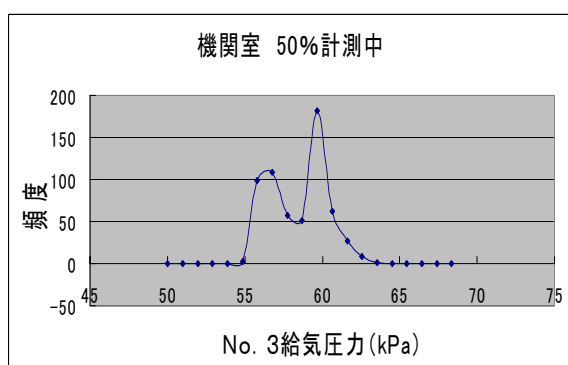
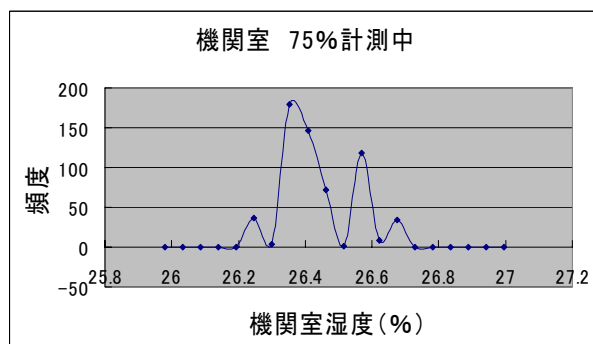
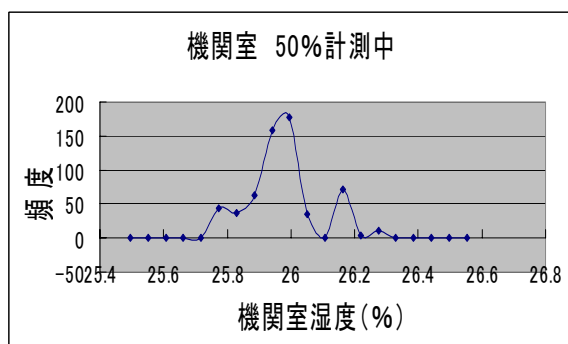
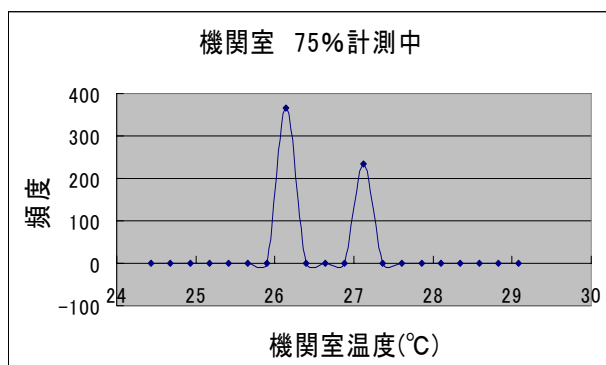
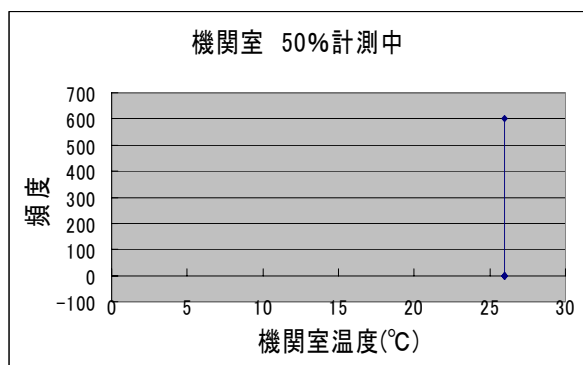
1) 1回試験



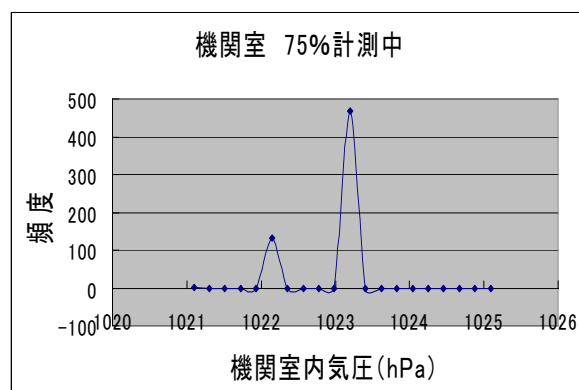
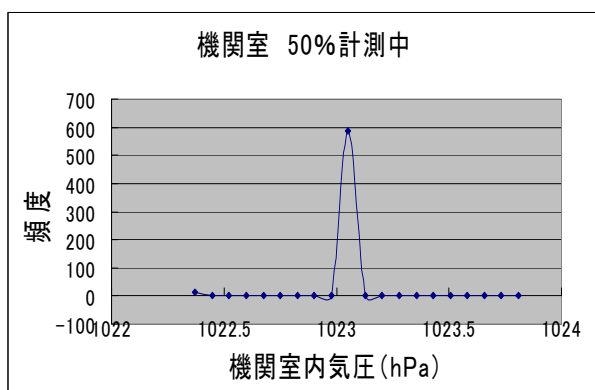
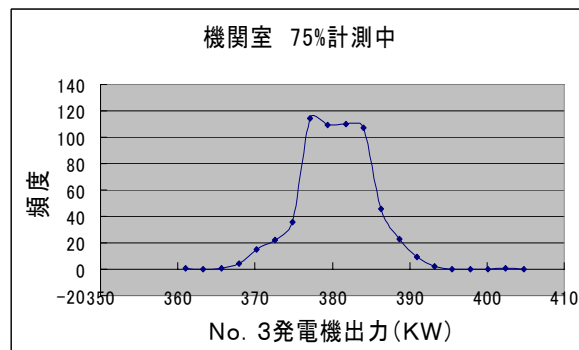
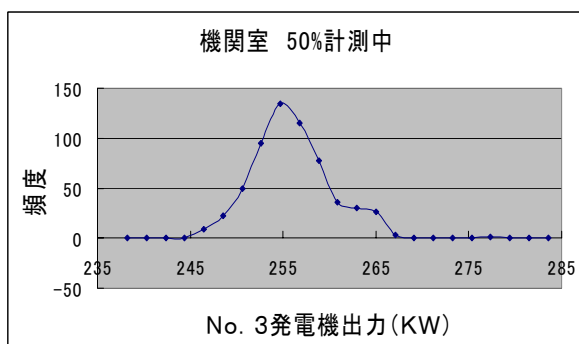
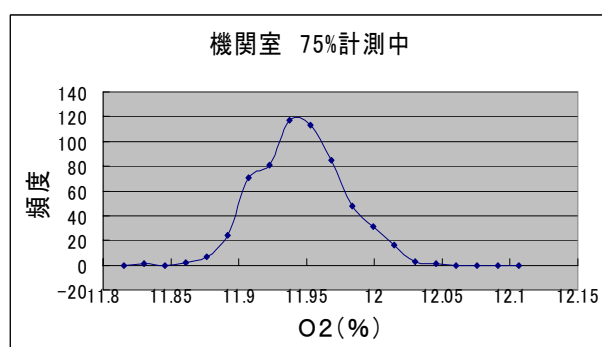
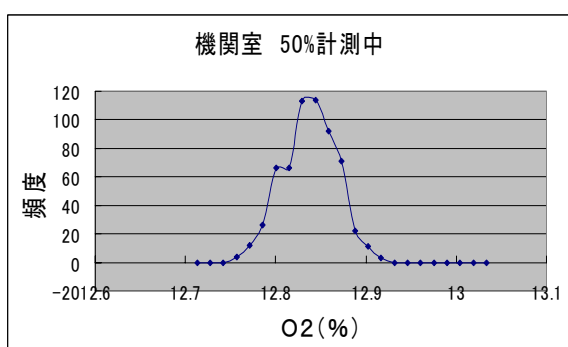
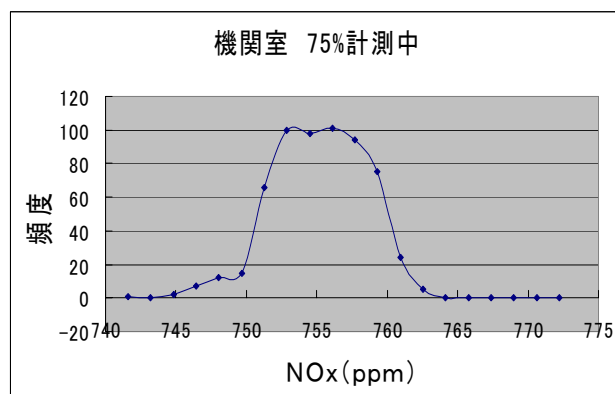
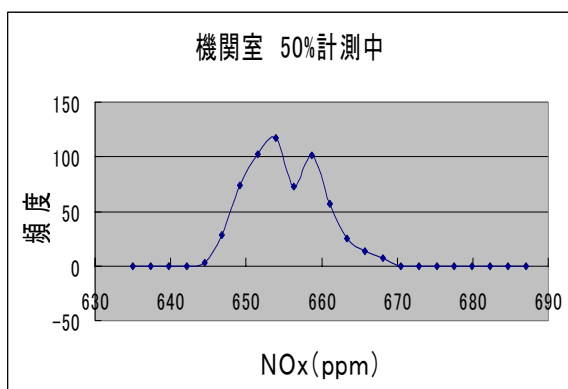


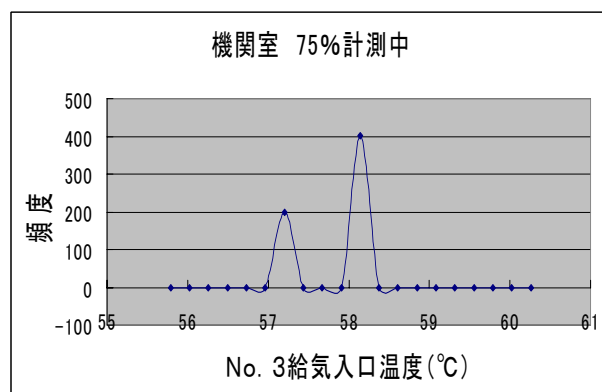
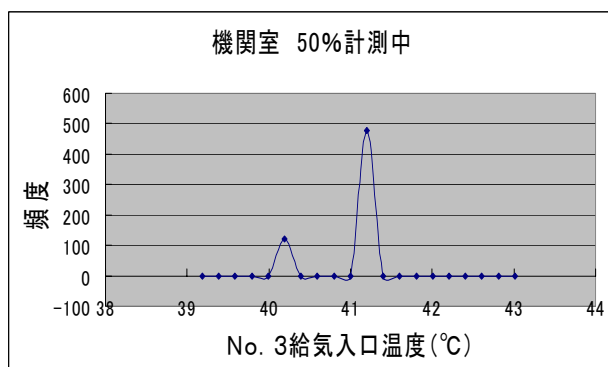
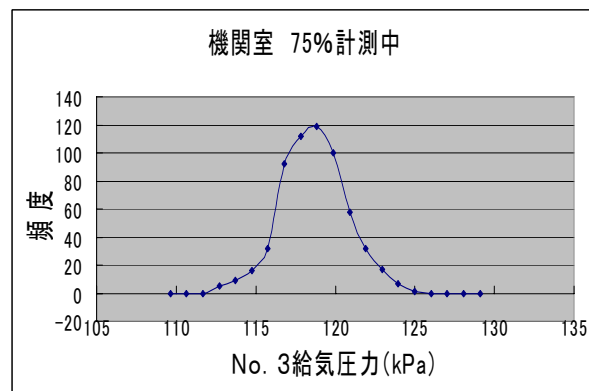
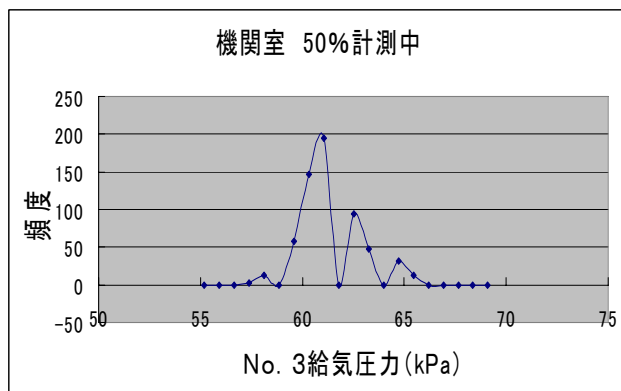
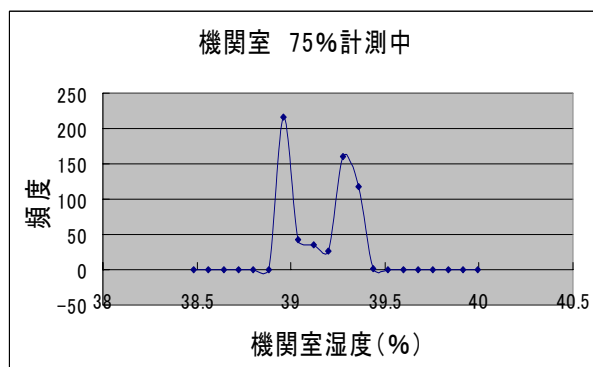
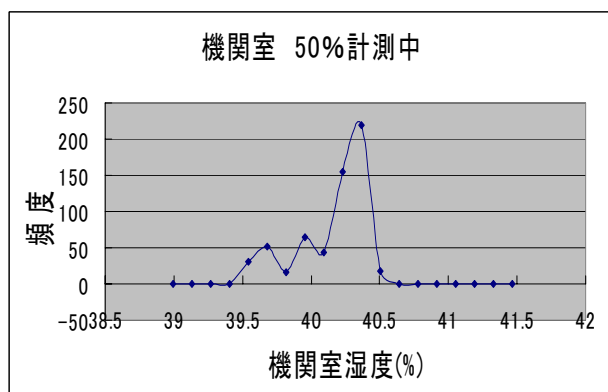
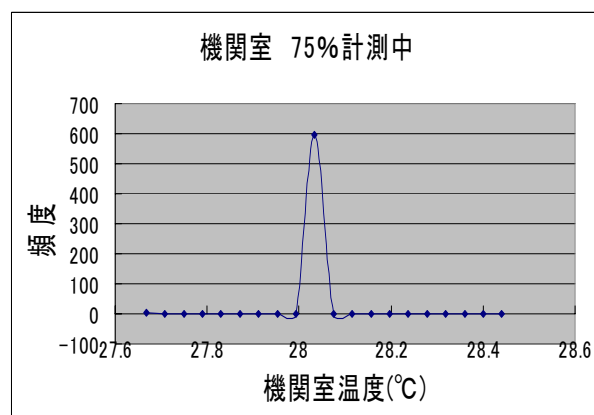
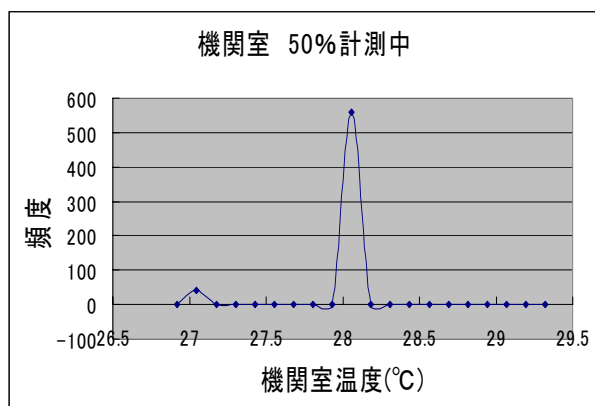
2) 2回目試験



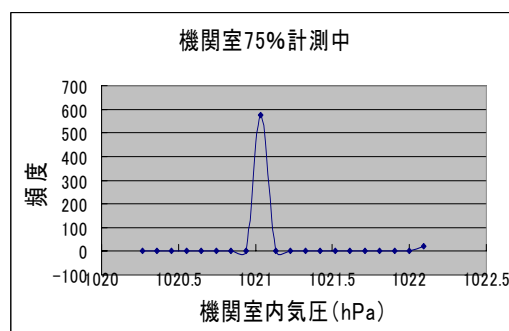
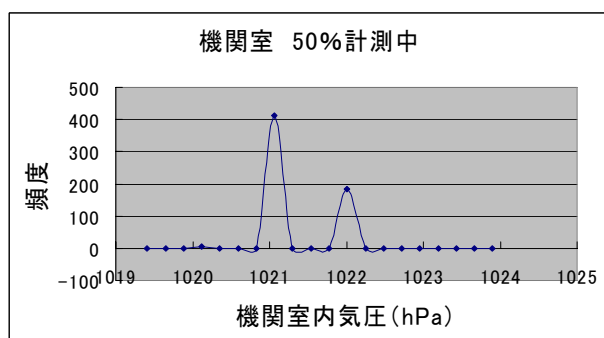
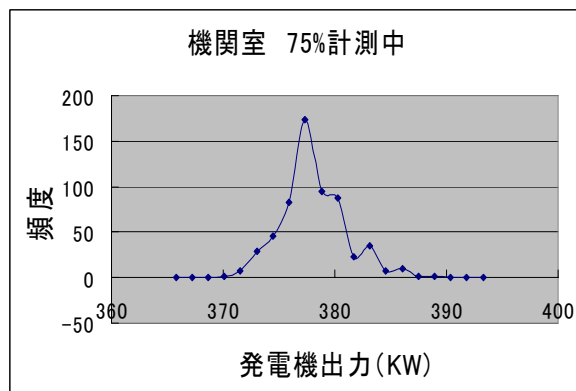
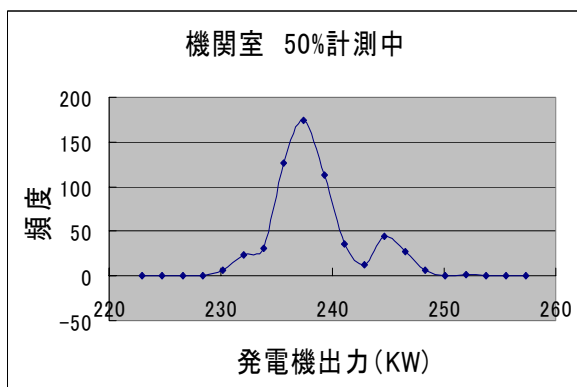
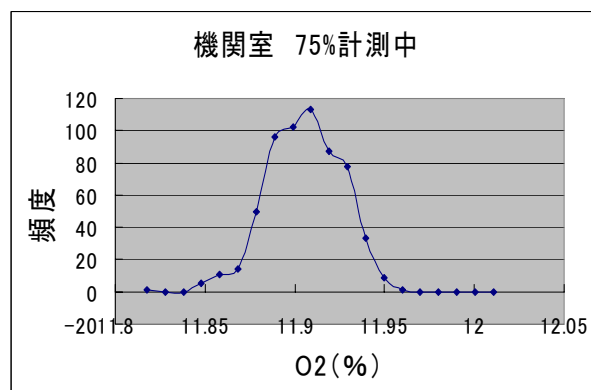
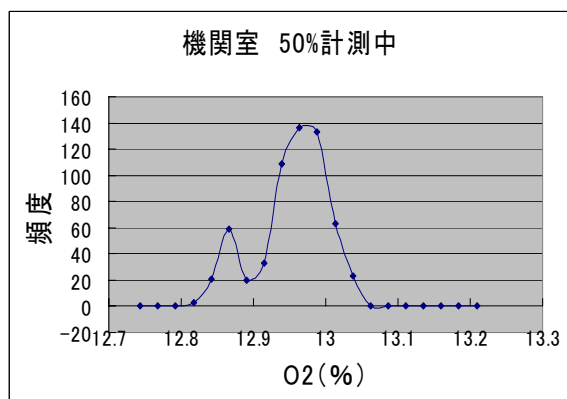
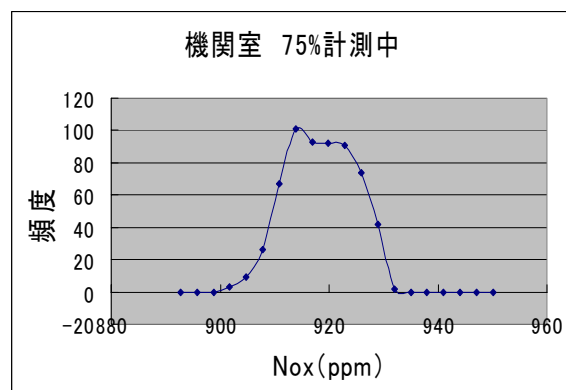
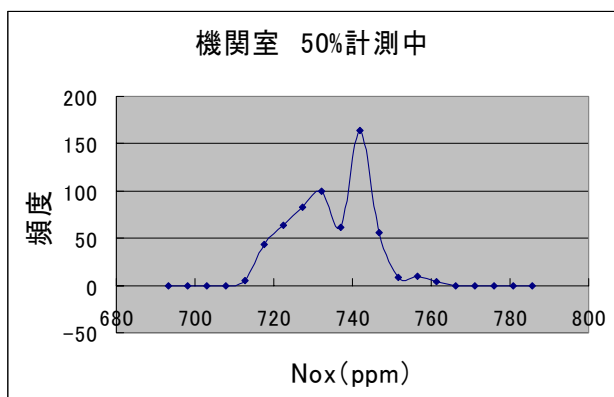


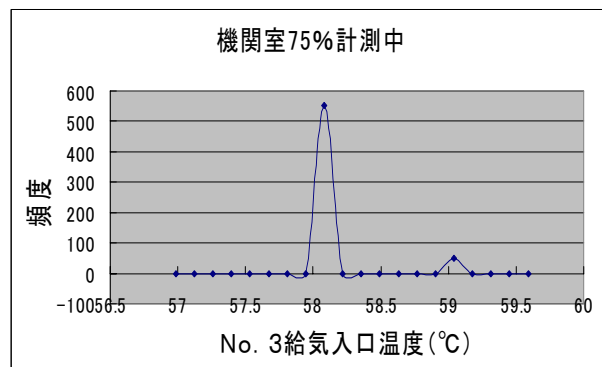
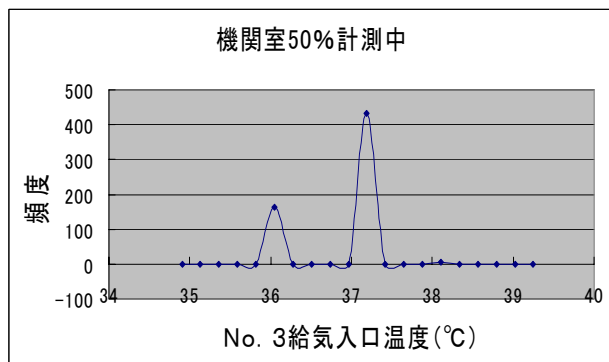
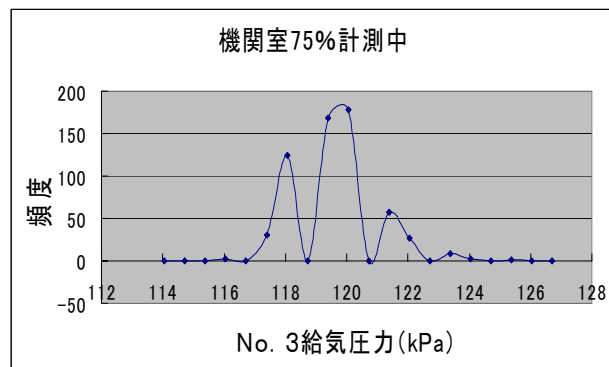
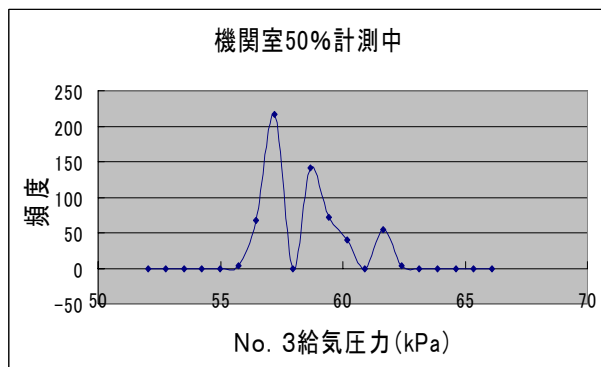
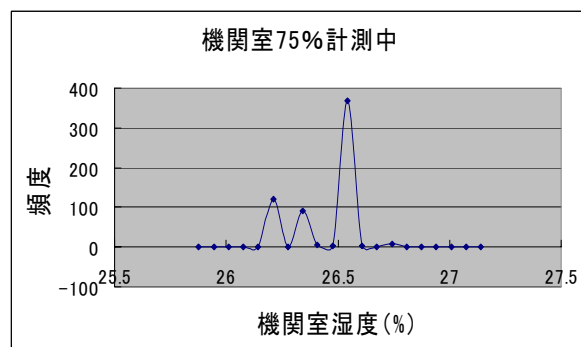
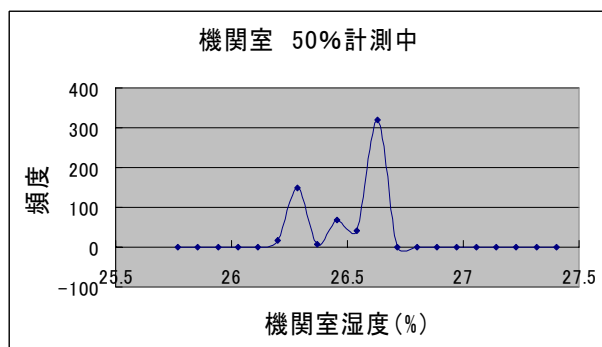
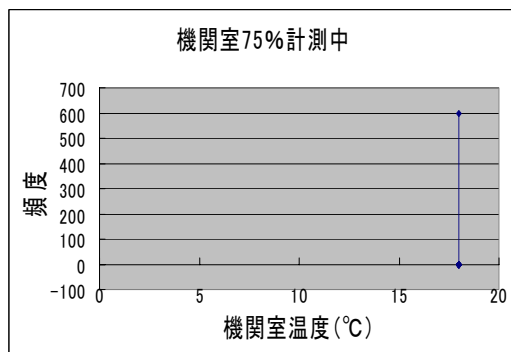
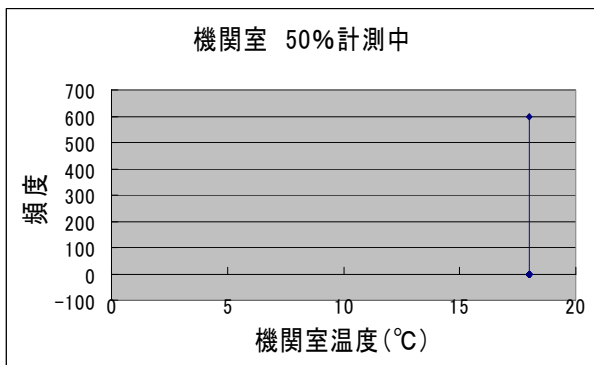
3) 3回目試験



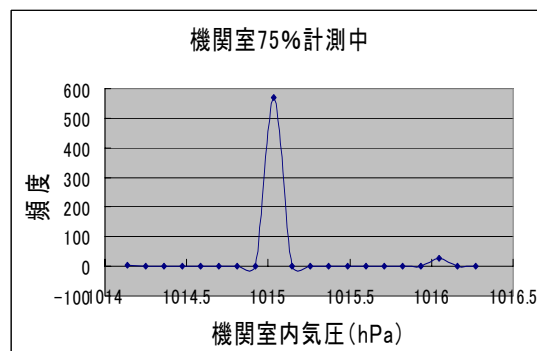
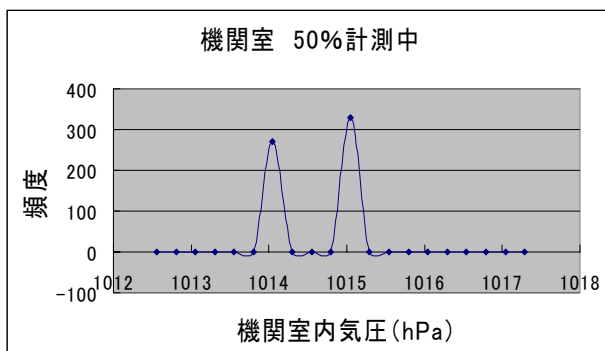
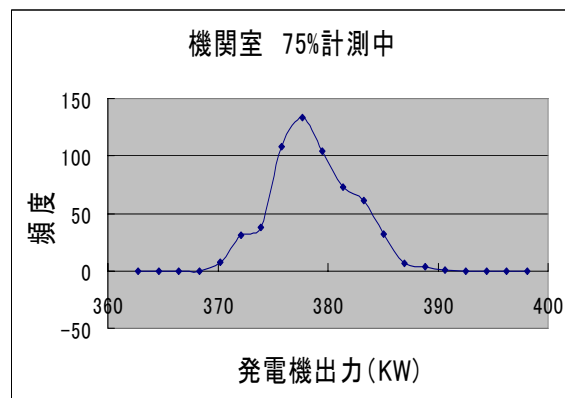
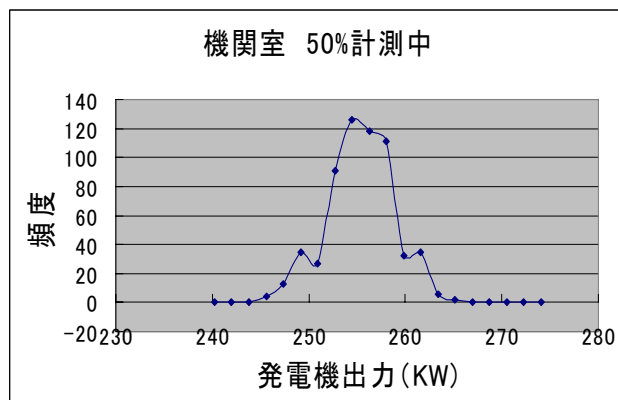
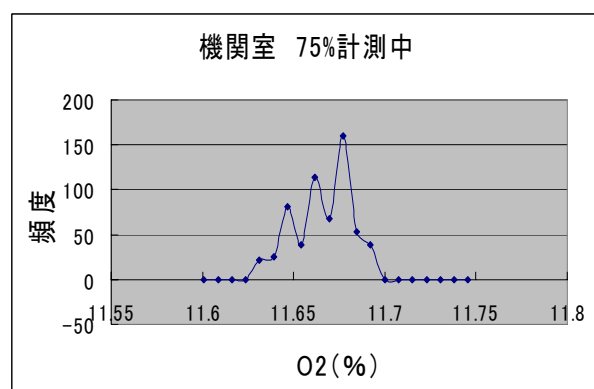
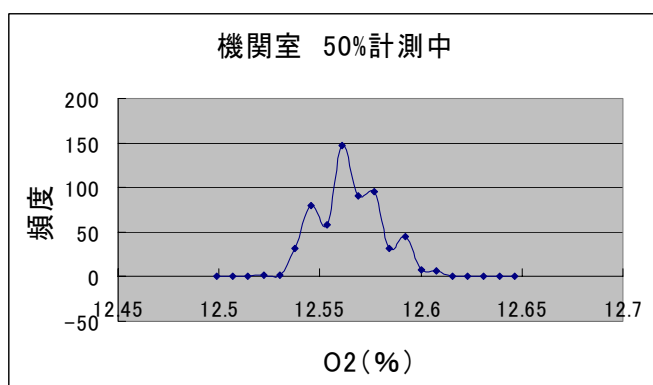
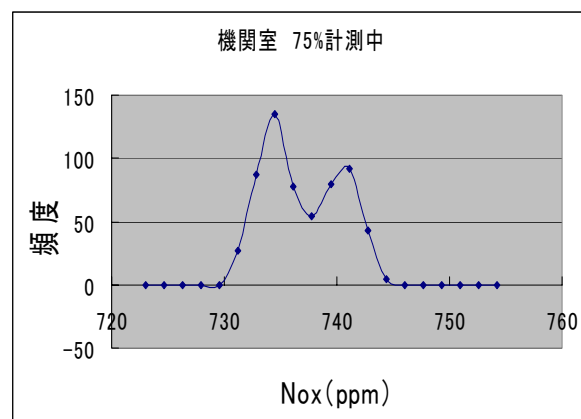
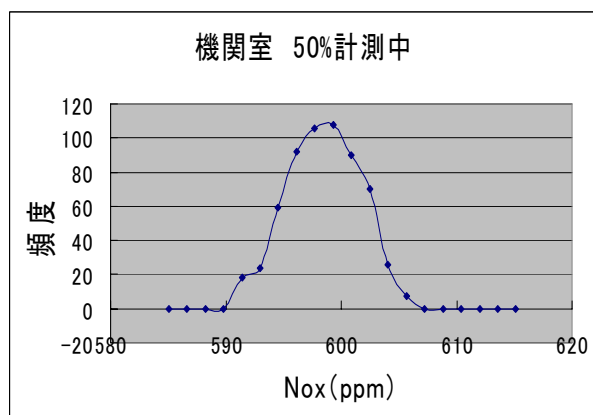


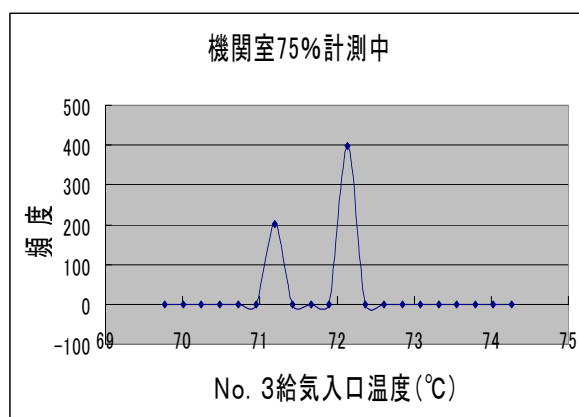
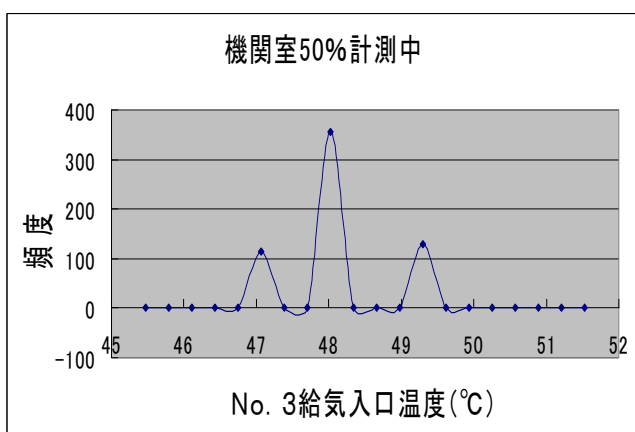
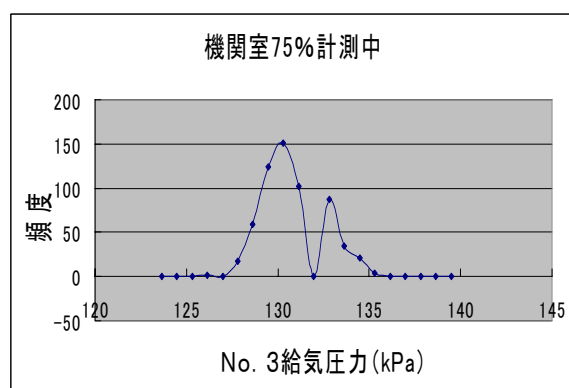
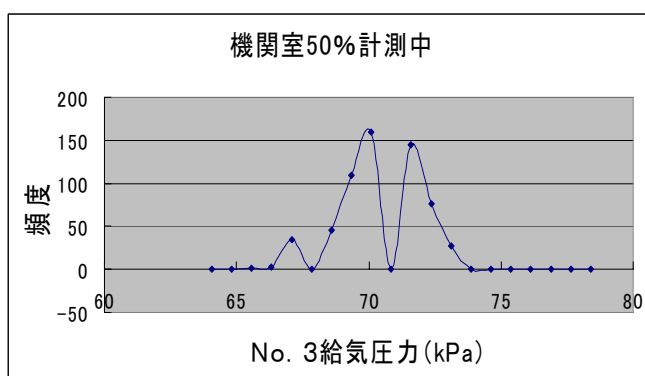
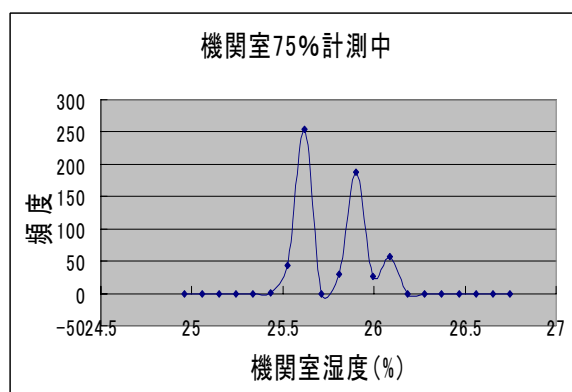
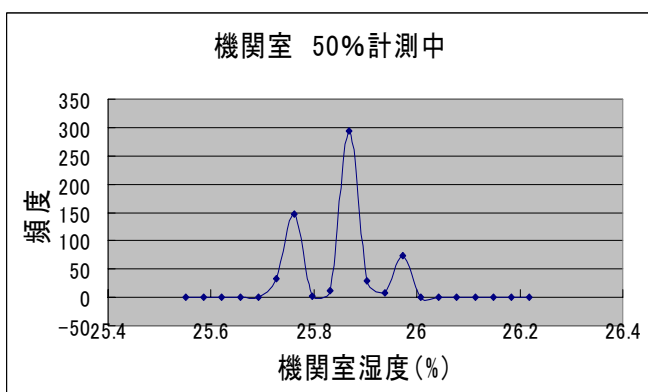
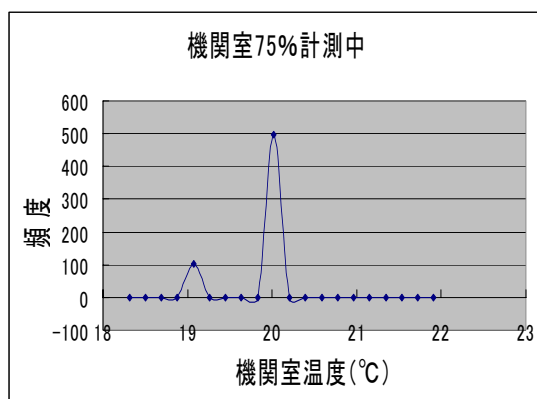
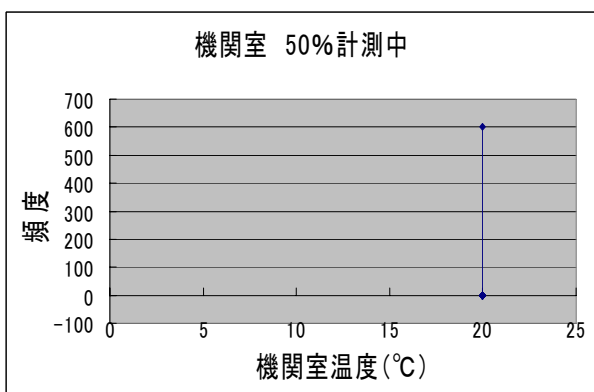
4) 4回目試験





5) 5回目試験





サンプリング数変更

50% Load																	
Measurement part	Data No	0308	0309	0311	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0409	0611	0660	Humidity (Eng. Room)	NOx	O2	NOx
		Air inlet Press. (No3 Gen.)	C.W. outlet Temp. (No3 Gen.)	Air inlet Temp. (No3 Gen.)	Oy. outlet Exh. Temp. (Average.) (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No1 ~3 (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No4 ~6 (No3 Gen.)	T/C outlet Exh. Temp. (No3 Gen.)	Eng. Speed (No3 Gen.)	Intake Air Temp. (No3 Gen.)	Gen. Output (No3 Gen.)	Eng. Room Temp.	Atmospheric Press. (Eng. Room)	%	ppm	%	ppm
		kPa	℃	℃	℃	℃	℃	℃	min-1	℃	KW	℃	hPa				
The 1st time 2004/12/08 12:00~12:10	1Hz Samp.	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	689.5	12.8	9.37
	0.1Hz Samp.	58.5	71.0	41.2	307.0	380.2	370.0	340.8	1196.2	24.0	242.5	24.0	1024.2	32.4	689.5	12.8	9.37
	0.01Hz Samp.	58.2	71.0	41.0	306.8	379.8	369.5	340.7	1196.3	24.0	242.0	24.0	1024.2	32.3	688.4	12.8	9.35
	Beginning and last	58.0	71.0	41.5	307.5	381.0	370.0	341.0	1196.5	24.0	244.0	24.0	1024.5	32.3	689.4	12.8	9.37
The 2nd time 2004/12/09 15:15~15:25	1Hz Samp.	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	670.4	12.9	9.25
	0.1Hz Samp.	57.7	71.0	44.6	311.1	386.5	379.0	349.7	1194.6	27.0	241.4	26.0	1027.0	25.9	670.2	12.9	9.25
	0.01Hz Samp.	57.2	71.0	44.5	310.8	386.3	378.8	349.7	1194.2	27.0	240.0	26.0	1027.0	25.9	667.9	12.9	9.22
	Beginning and last	57.5	71.0	44.5	310.5	386.5	378.5	349.5	1194.0	27.0	243.5	26.0	1027.0	26.1	663.0	12.9	9.16
The 3rd time 2004/12/10 12:04~12:14	1Hz Samp.	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	653.9	12.8	9.47
	0.1Hz Samp.	61.1	71.0	40.8	317.8	392.8	383.7	354.4	1195.8	28.0	254.8	28.0	1023.0	40.1	653.9	12.8	9.47
	0.01Hz Samp.	61.3	71.0	40.7	317.7	392.7	383.5	354.3	1195.2	28.0	256.3	27.8	1023.0	40.1	652.1	12.8	9.45
	Beginning and last	62.5	71.0	41.0	318.0	393.0	384.0	355.0	1196.0	28.0	258.0	28.0	1023.0	39.7	653.4	12.8	9.45
The 4th time 2005/01/06 14:22~14:32	1Hz Samp.	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	732.1	12.9	9.55
	0.1Hz Samp.	57.8	71.0	36.7	303.2	361.2	379.2	335.5	1196.5	18.0	237.2	18.0	1021.3	26.5	731.9	12.9	9.54
	0.01Hz Samp.	57.5	71.0	36.7	303.0	361.0	379.0	335.3	1197.0	18.0	236.0	18.0	1021.0	26.5	736.6	12.9	9.61
	Beginning and last	58.0	71.0	36.5	303.5	361.5	379.5	336.0	1196.0	18.0	236.0	18.0	1021.5	26.3	742.4	12.9	9.68
The 5th time 2005/01/28 07:20~07:30	1Hz Samp.	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	597.7	12.6	7.88
	0.1Hz Samp.	70.1	71.2	48.0	322.6	380.3	401.4	347.3	1195.8	22.0	254.3	20.0	1014.5	25.8	597.8	12.6	7.88
	0.01Hz Samp.	70.8	71.2	48.2	322.7	380.3	401.7	347.3	1195.8	22.0	255.2	20.0	1014.7	25.8	598.2	12.6	7.89
	Beginning and last	69.0	71.5	48.0	322.0	380.0	401.0	347.5	1196.0	22.0	252.5	20.0	1014.5	25.9	596.4	12.6	7.87
Shipment data		60.0	74.0	38.0	303.0	350.0	360.0	345.0	1200	28.0	245.0	22.0					

サンプリング数変更

75% Load

Data No		0308	0309	0311	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0409	0611	0660	Humidity (Eng. Room)	NOx	O2	NOx
Measurement part		Air inlet Press. (No3 Gen.)	C/W outlet Temp. (No3 Gen.)	Air inlet Temp. (No3 Gen.)	Cyl. outlet Exh. Temp. (Average) (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No1~3 (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No4~6 (No3 Gen.)	T/C outlet Exh. Temp. (No3 Gen.)	Eng. Speed (No3 Gen.)	Intake Air Temp. (No3 Gen.)	Gen. Output (No3 Gen.)	Eng. Room Temp.	Atmospheric Press. (Eng. Room)	Humidity (Eng. Room)	NOx	O2	NOx
		kPa	°C	°C	°C	°C	°C	°C	min-1	°C	KW	°C	hPa	%	ppm	%	g/kWh
The 1st time 2004/12/08 12:18~12:28	1Hz Samp.	112.3	72.0	61.7	358.5	443.3	428.6	374.3	1194.7	26.0	362.3	24.0	1024.0	31.0	817.4	11.9	9.54
	0.1Hz Samp.	112.4	72.0	61.7	358.5	443.3	428.5	374.3	1194.7	26.0	362.7	24.0	1024.0	31.0	817.5	11.9	9.55
	0.01Hz Samp.	112.5	72.0	61.8	358.7	443.7	428.8	374.5	1194.8	26.0	362.8	24.0	1024.0	30.9	819.1	11.9	9.56
	Beginning and last	112.5	72.0	61.5	358.5	444.0	429.0	374.5	1194.5	25.5	362.5	24.0	1024.0	31.0	810.6	11.9	9.43
The 2nd time 2004/12/09 15:35~15:45	1Hz Samp.	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	805.2	11.9	9.41
	0.1Hz Samp.	117.7	72.0	65.0	369.0	453.2	439.2	382.7	1194.1	28.0	373.1	26.4	1026.6	26.4	805.1	11.9	9.41
	0.01Hz Samp.	117.7	72.0	65.0	369.0	453.2	439.2	382.8	1194.2	28.0	372.3	26.5	1026.2	26.5	803.8	11.9	9.40
	Beginning and last	118.5	72.0	65.0	369.0	453.0	439.0	382.5	1194.5	28.0	373.5	26.5	1026.5	26.5	806.2	11.9	9.43
The 3rd time 2004/12/10 12:20~12:30	1Hz Samp.	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	754.5	11.9	9.35
	0.1Hz Samp.	117.9	72.0	57.7	370.2	451.5	439.0	380.8	1195.0	29.3	379.7	28.0	1022.8	39.1	754.5	11.9	9.37
	0.01Hz Samp.	119.2	72.0	57.7	370.2	451.7	438.8	380.8	1194.7	29.3	381.3	28.0	1022.8	39.1	754.9	11.9	9.37
	Beginning and last	117.0	72.0	57.5	369.5	451.0	439.0	380.0	1195.0	29.5	376.5	28.0	1022.5	39.3	751.4	12.0	9.46
The 4th time 2005/01/06 14:50~15:00	1Hz Samp.	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	916.9	11.9	10.15
	0.1Hz Samp.	119.5	72.0	58.1	363.9	425.9	450.2	371.7	1197.6	20.0	377.6	18.0	1021.0	26.4	916.8	11.9	10.15
	0.01Hz Samp.	119.5	72.0	58.2	363.8	426.0	450.2	371.7	1198.0	20.0	377.7	18.0	1021.0	26.5	918.7	11.9	10.17
	Beginning and last	118.0	72.0	58.5	364.0	426.0	450.5	371.5	1198.0	20.0	375.5	18.0	1021.0	26.4	917.0	11.9	10.15
The 5th time 2005/01/28 07:48~07:58	1Hz Samp.	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	736.2	11.7	8.11
	0.1Hz Samp.	130.3	72.0	71.7	380.3	439.4	463.8	377.4	1194.9	23.0	377.5	19.9	1015.0	25.7	736.1	11.7	8.11
	0.01Hz Samp.	131.3	72.0	71.8	380.2	439.5	463.8	377.5	1194.8	23.0	378.2	19.8	1015.0	25.6	735.9	11.7	8.10
	Beginning and last	132.0	72.0	72.0	380.0	439.0	464.0	377.5	1195.0	23.0	379.0	19.5	1014.5	25.7	734.2	11.7	8.09
Shipment data		108.0	74.0	45.0	345.3	415.0	420.0	370.0	1200	26.0	367.5	24.0					

ばらつき検討

50% Load																	
Data No		0308	0309	0311	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0409	0611	0660	—		—	—
Measurement part		Air inlet Press. (No3 Gen.)	G.W outlet Temp. (No3 Gen.)	Air inlet Temp. (No3 Gen.)	Oyl. outlet Exh. Temp. (Average.) (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No1~3 (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No4~6 (No3 Gen.)	T/C outlet Exh. Temp. (No3 Gen.)	Eng. Speed (No3 Gen.)	Intake Air Temp. (No3 Gen.)	Gen. Output (No3 Gen.)	Eng. Room Temp.	Atmospheric Press. (Eng. Room)	Humidity (Eng. Room)	NOx	O2	NOx
		kPa	℃	℃	℃	℃	℃	℃	min-1	℃	KW	℃	hPa	%	ppm	%	g/kWh
The 1st time 2004/12/08 12:00~12:10	Average	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	689.5	12.8	9.37
	Maximum	62.0	71.0	42.0	309.0	382.0	372.0	342.0	1198.0	25.0	252.0	24.0	1025.0	32.6	704.4	12.9	9.16 ~ 9.79
	Minimum	55.0	71.0	41.0	306.0	379.0	368.0	340.0	1194.0	24.0	235.0	24.0	1023.0	32.1	674.8	12.8	
	Difference	7.0	0.0	1.0	3.0	3.0	4.0	2.0	4.0	1.0	17.0	0.0	2.0	0.5	29.6	0.1	
The 2nd time 2004/12/09 15:15~15:25	Average	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	670.4	12.9	9.25
	Maximum	63.0	71.0	45.0	313.0	389.0	382.0	354.0	1196.0	28.0	253.0	26.0	1027.0	26.2	686.8	13.0	8.83 ~ 9.68
	Minimum	54.0	71.0	44.0	308.0	383.0	376.0	348.0	1193.0	27.0	231.0	26.0	1026.0	25.7	647.6	12.8	
	Difference	9.0	0.0	1.0	5.0	6.0	6.0	6.0	3.0	1.0	22.0	0.0	1.0	0.5	39.2	0.2	
The 3rd time 2004/12/10 12:04~12:14	Average	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	653.9	12.8	9.47
	Maximum	65.0	72.0	41.0	319.0	394.0	385.0	356.0	1199.0	28.0	277.0	28.0	1023.0	40.5	666.4	12.9	9.30 ~ 9.78
	Minimum	57.0	71.0	40.0	317.0	391.0	382.0	353.0	1192.0	28.0	245.0	27.0	1022.0	39.4	644.4	12.8	
	Difference	8.0	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	7.0	0.0	32.0	1.0	1.0	1.1	22.0	0.2	
The 4th time 2005/01/06 14:22~14:32	Average	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	732.1	12.9	9.55
	Maximum	62.0	71.0	38.0	306.0	363.0	383.0	337.0	1200.0	18.0	251.0	18.0	1022.0	26.6	758.4	13.0	9.16 ~ 10.01
	Minimum	55.0	71.0	36.0	301.0	360.0	377.0	334.0	1194.0	18.0	230.0	18.0	1020.0	26.2	711.6	12.8	
	Difference	7.0	0.0	2.0	5.0	3.0	6.0	3.0	6.0	0.0	21.0	0.0	2.0	0.5	46.8	0.2	
The 5th time 2005/01/28 07:20~07:30	Average	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	597.7	12.6	7.68
	Maximum	73.0	72.0	49.0	325.0	383.0	405.0	349.0	1197.0	22.0	265.0	20.0	1015.0	26.0	605.2	12.6	7.50 ~ 7.76
	Minimum	65.0	71.0	47.0	320.0	378.0	398.0	346.0	1193.0	22.0	244.0	20.0	1014.0	25.7	590.0	12.5	
	Difference	8.0	1.0	2.0	5.0	5.0	7.0	3.0	4.0	0.0	21.0	0.0	1.0	0.2	15.2	0.1	
Shipment data		60.0	74.0	38.0	303.0	350.0	360.0	345.0	1200	28.0	245.0	22.0					

ばらつき検討

75% Load

Data No	0308	0309	0311	0323	0328	0329	0330	0331	0333	0409	0611	0660	Humidity (Eng. Room)	NOx	O2	NOx
Measurement part	Air inlet Press. (No3 Gen.)	C.W. outlet Temp. (No3 Gen.)	Air inlet Temp. (No3 Gen.)	Cyl. outlet Exh. Temp. (Average) (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No1~3 (No3 Gen.)	T/C inlet Exh. Temp. No4~6 (No3 Gen.)	T/C outlet Exh. Temp. (No3 Gen.)	Eng. Speed (No3 Gen.)	T/C Intake Air Temp. (No3 Gen.)	Gen. Output (No3 Gen.)	Eng. Room Temp.	Atmospheric Press. (Eng. Room)	Humidity (Eng. Room)	NOx	O2	NOx
	kPa	°C	°C	°C	°C	°C	°C	min-1	°C	KW	°C	hPa	%	ppm	%	e/kWh
The 1st time																
Average	112.3	72.0	61.7	358.5	443.3	428.6	374.3	1194.7	26.0	362.3	24.0	1024.0	31.0	817.4	11.9	9.54
Maximum	117.0	72.0	62.0	360.0	445.0	430.0	376.0	1196.0	27.0	374.0	24.0	1025.0	31.2	830.4	12.0	9.18
Minimum	109.0	72.0	61.0	357.0	442.0	427.0	373.0	1192.0	25.0	352.0	24.0	1023.0	30.8	801.6	11.8	9.89
Difference	8.0	0.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	2.0	22.0	0.0	2.0	0.4	28.8	0.2	
The 2nd time																
Average	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	805.2	11.9	9.41
Maximum	121.0	72.0	65.0	370.0	454.0	441.0	383.0	1196.0	29.0	381.0	27.0	1027.0	26.7	815.6	12.0	9.20
Minimum	114.0	72.0	64.0	368.0	452.0	438.0	381.0	1192.0	28.0	365.0	26.0	1025.0	26.2	796.4	11.8	9.73
Difference	7.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	4.0	1.0	16.0	1.0	2.0	0.5	19.2	0.1	
The 3rd time																
Average	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	754.5	11.9	9.35
Maximum	124.0	72.0	58.0	372.0	453.0	441.0	382.0	1196.0	30.0	402.0	28.0	1023.0	39.4	762.4	12.0	9.10
Minimum	112.0	72.0	57.0	369.0	450.0	438.0	379.0	1192.0	29.0	364.0	27.0	1021.0	38.9	744.4	11.8	9.66
Difference	12.0	0.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	1.0	38.0	1.0	2.0	0.5	18.0	0.2	
The 4th time																
Average	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	916.9	11.9	10.15
Maximum	125.0	72.0	59.0	366.0	428.0	452.0	373.0	1200.0	20.0	388.0	18.0	1022.0	26.7	930.0	12.0	9.86
Minimum	116.0	72.0	58.0	362.0	425.0	450.0	371.0	1195.0	20.0	370.0	18.0	1020.0	26.2	900.4	11.8	10.42
Difference	9.0	0.0	1.0	4.0	3.0	2.0	2.0	5.0	0.0	18.0	0.0	2.0	0.5	29.6	0.2	
The 5th time																
Average	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	736.2	11.7	8.11
Maximum	135.0	72.0	72.0	381.0	441.0	465.0	379.0	1197.0	23.0	389.0	20.0	1016.0	26.1	743.6	11.7	7.95
Minimum	126.0	72.0	71.0	379.0	438.0	462.0	377.0	1192.0	23.0	369.0	19.0	1014.0	25.4	729.6	11.6	8.20
Difference	9.0	0.0	1.0	2.0	3.0	3.0	2.0	5.0	0.0	20.0	1.0	2.0	0.7	14.0	0.1	
Shipment data	108.0	74.0	45.0	345.3	415.0	420.0	370.0	1200	26.0	367.5	24.0					

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）

本書は、(財)日本船舶技術研究協会 大気汚染防止プロジェクト（MP3）の平成17年度事業計画にもとづき、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）として調査研究を行い、成果報告書として取り纏めたものである。

プロジェクトの委員構成

氏 名	所 属	役 職
堂園 吉彦	財団法人 日本海事協会	機関部主管
	シミュレーション作業・指導・評価	
戸田 伸一	JFE エンジニアリング（株）エンジン技術室技術グループ	グループマネージャー
	データ採取・解析・評価	
日下 竹史	（株）堀場製作所 P/M sampling チーム	チームリーダー
	分析装置取り付け・指導	
中谷 博司*	日本郵船（株）技術グループ船舶技術チーム	グループ長代理兼チーム長
	全体取り纏め	

*プロジェクトチームリーダー

5.2.1 調査研究の目的、内容及び背景

5.2.1.1 目的

本試験研究は、高速フェリー「ニューかめりあ」をモデル船にして、NOx 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している。今年度は開始2年目にあたり、引き続きデータの計測を行い、昨年度に実施した第一次計測結果を踏まえて、成果報告書として完成させる。

5.2.1.2 内容

調査研究の内容を以下に示す。

- ジルコニア式 NOx 分析装置の信頼性の確認
- NOx 放出量の計測（特に高温多湿時期の放出量を確認する）
- NOx 鑑定要領で認められている実船での NOx 排出率制限値の15%以内に収まっているか検証する。
- 50%及び75%負荷での定常運転における計測データの信頼性向上の為に、海気象及び本船のコースレコーダー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。
- 窒素分含有率による NOx 排出率の影響を検証する。
- 陸上運転のデータ（E2 及び E3 タイプ）を入手して、実船運転のデータと比較する。
- モニタリング法による IAPP 証書再認証のシミュレーションの策定

5.2.1.3 背景

海洋汚染防止条約（MARPOL 73/78）付属書 VI が平成 17 年 5 月 19 日に発効し、船舶からの大気汚染に関する規制が実施されている。この規則の実施にあたっては、NOx 放出量の確認、テクニカルファイルの確認及び IAPP 証書の発行等多くの仕組が必要である。

加えてこの規則の遵守状況は、PSC の対象となり、場合によっては国際的に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各種のシミュレーションを行う事は非常に重要である。

5.2.2 調査研究の体制及び日程

5.2.2.1 体制

下記メンバー構成で実施した。

- （財）日本海事協会 / 堂園 吉彦 機関部主管（シミュレーション作業・指導・評価）
- JFE エンジニアリング(株)/ 戸田 伸一 グループマネージャー（データ採取・解析・評価）
- （株）堀場製作所 / 日下 竹史 チームリーダー（分析装置取り付け・指導・評価）
- 日本郵船（株）/ 中谷 博司 グループ長代理（全体取り纏め）

5.2.2.2 日程

調査研究の日程を以下に示す。

表 5.2.2.1 平成 17 年度調査日程

項 目	平成17年(2005)年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
実船でのNOxデータ収集	1月7日より 11月10日まで ★											
採取したデータの解析					1航海乗船							
シミュレーション分析手法の検証	1月7日より 11月10日まで											
取纏め												
修正												
打ち合わせ				☆			☆			☆		

平成 17 年 7 月 19 日 キックオフミーティング（第 1 回）開催

平成 17 年 8 月 12 日・13 日 メンバー 3 名が本船に乗船の上、データ採取立会い

平成 17 年 10 月 11 日 第 2 回会合開催

平成 18 年 1 月 25 日 第 3 回会合開催

平成 18 年 2 月 24 日 成果報告書作成・提出

5.2.3 調査研究の実施状況

5.2.3.1 概要

5.2.3.1.1 対象船『ニュー かめりあ』の紹介

- a. 所属 : カメリアライン株式会社
- b. 船種 : RORO フェリー
- c. 総トン数 : 19,961GT
- d. 主要寸法 : 全長 170.00m、幅 24.00m、深さ 17.90、喫水 6.00m
- e. 就航 : 2004 年 7 月

本船の写真及び一般配置図は、資料 1 の“ 写真 1.1” 及び“ 図 1.1” を参照願う。

5.2.3.1.2 対象機関の概要

- a. 主機関 : JFE-SEMT-PIELSTICK 18PC2-6V 形機関
- b. 製造者 : JFE エンジニアリング (株)
- c. 定格出力／回転数 : 9,900kW／520rpm
- d. 軸系 : 2 機 2 軸 可変ピッチプロペラ
- e. 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

機関室内の主機関写真は、資料 1 の“ 写真 1.2” を参照願う。

5.2.3.2 NOx 計測装置

本船の NOx 計測装置は、平成 16 年に同調査研究を実施した装置である。装置詳細は、資料 2 を参照願う。

5.2.3.2.1 NOx 測定装置及び記録装置

NOx 測定装置 1 台

図 5.2.3.2.1.1 に NOx 測定装置の装備後の写真を示す。正面パネルの上側が測定装置の制御盤で、下側が NO と O₂ の校正用ガスボンベの收容部分である。

記録器本体 1 台

図 5.2.3.2.1.2 に NOx 記録器本体の写真を示す。1 Hz サイクル記録装置である。



図 5.2.3.2.1.1 NOx 測定装置



図 5.2.3.2.1.2 記録器本体

5.2.3.2.2 NOx/O₂センサー設置位置

主機関の排気管部に点検用蓋があり、その部分を利用して IMO MEPC49/22/Add.1 に規定されているダイレクトモニタリング法にガイドラインとして示されているアダプタを製作して設置した。アダプタの概要寸法図を図 5.2.3.2.2.3 に示す。

設置位置は左舷機A列側の過給機出口であり、センサ挿入位置は、NOx 鑑定要領に従った位置である。センサプローブ長は排気口径850mm に対して130mm である。



図 5.2.3.2.2.1 NOx/O₂センサ取付前



図 5.2.3.2.2.2 NOx/O₂センサ取付状態

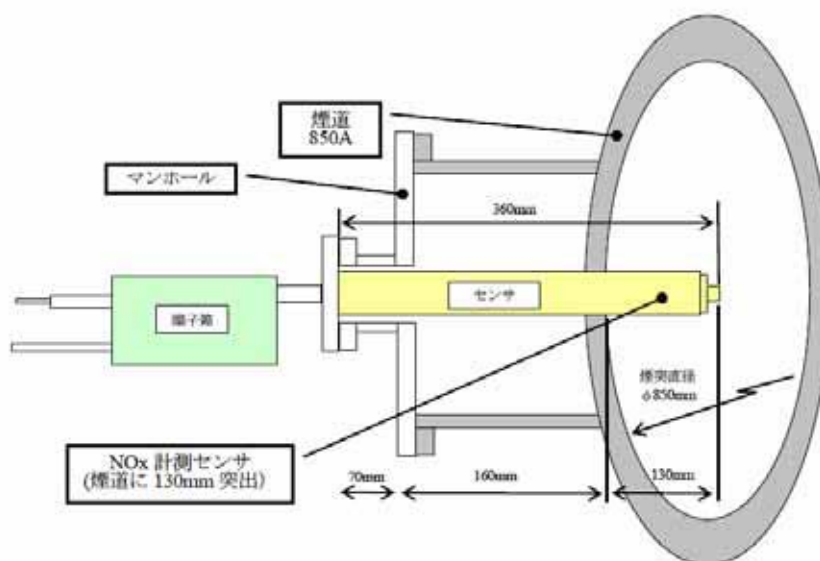


図 5.2.3.2.2.3 NOx/O₂センサ取付用アダプタ

5.2.3.2.3 機関関係データ記録装置

本船装備の機関関係データ記録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

5.2.3.2.4 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。

a. 気圧計： (株) 佐藤計量器製作所

計測精度は、 ± 1 hPa (950~1020hPa) 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。

b. 機関室乾湿温度計： 市販の乾湿温度計

機関吸い込み空気計測として左舷機 A 列過給機近傍に設置した。

5.2.3.3 計測要領

5.2.3.3.1 NO_x、O₂ 計測

計測項目については平成 16 年度で実施した項目と同様とした。

本研究用に設置した NO_x、O₂ 計により常時連続監視とし、年月日、時間と共に記録装置への取り込みを行った。データ採取間隔は、昨年度の計測結果からデータ変動に対する評価として間隔を大きく取る事でも解析には支障ないと判断し、1Hz での計測から 0.2Hz (5sec 毎) へと変更した。

この変更は、長期間のデータをメモリ交換などの付帯作業を行わず、一括でメモリに記録する事ができることとなる。また自動校正記録なども連続してデータ採取ができ、センサの耐久性を検証する事を優先した事も理由にある。

5.2.3.3.2 機関関係データ計測

船内でのデータ採取ということで、本船装備計測装置を使用した。連続計測データの出力ができない為、計測開始時、及び終了時のデータをログアウトし、これにより機関データとした。

主なデータは以下の通りである。

NO.	項目	単位	方法
1	機関回転数	rpm	計測開始時、終了時のデータ採取
2	燃料ポンプマーク	mm	同上
3	給気温度	℃	同上
4	排気温度	℃	同上
5	給気圧力	MPa	同上
6	過給機回転数	rpm	同上
7	冷却水、潤滑油、燃料油、 温度及び圧力、	℃/MPa	同上
8	機関出力	kW	機関回転数、燃料ポンプマークを用い、主機メーカー発行の出力推定線図により算出
9	燃料消費量	Ltr/Hr	ログ記載の流量計カウンタ (カウント/1Ltr) 記録により計算
10	乾球／湿球温度	℃	乾湿温度計を読み取り
11	気圧	hPa	気圧を読み取り
12	使用燃料油	—	データ採取時の重油燃料油に ID を付け、サンプリング油を性状分析

5.2.3.3.3 計測負荷

負荷設定は50%及び75%の2点とした。本船は可変ピッチプロペラを装備し、機関回転数と翼角が連動変化するコンビネータ制御を採用している。計測ではコンビネータ制御に則った設定カーブ上での負荷設定としている。

5.2.3.4 試験経過及び計測結果

5.2.3.4.1 機関の工場運転成績

本船搭載の主機関は、子エンジンとしてNO_x 鑑定書を取得している。取得モードはE2（可変ピッチプロペラ装備による）である。工場試運転時にはNO_x 計測は実施していないが、同一パラメータである同型、同シリンダエンジンが親機として工場試運転（E2 及びE3 モード）を行っており、この親機データを船上計測データとの比較検討に用いた。工場運転成績の詳細は、資料3を参照願う。

尚、本船はコンビネータ制御による負荷設定点で、テクニカルコードで定めるE2, E3 の運転モードの中間域にあり、むしろE3 モードに近い設定にある。よって計測されたNO_x 排出率の技術検討にはE3 の試験モードを比較対照とした。

5.2.3.4.2 船上計測結果

平成17年度としては、4月13日採取データが初回となるが、平成16年度からの採取データとしては以下の期間となる。

a. 2005年1月7日～2005年11月10日

b. サンプル数 17点

上記期間にてNO_x 計測を実施し、季節変動によるNO_x 濃度変化についても把握できるデータ数とした。

計測結果一覧を表5.2.3.4.2.1に示す。

計測データより NOx 濃度の季節変化を表すグラフを図 5.2.3.4.2.1 に示す。

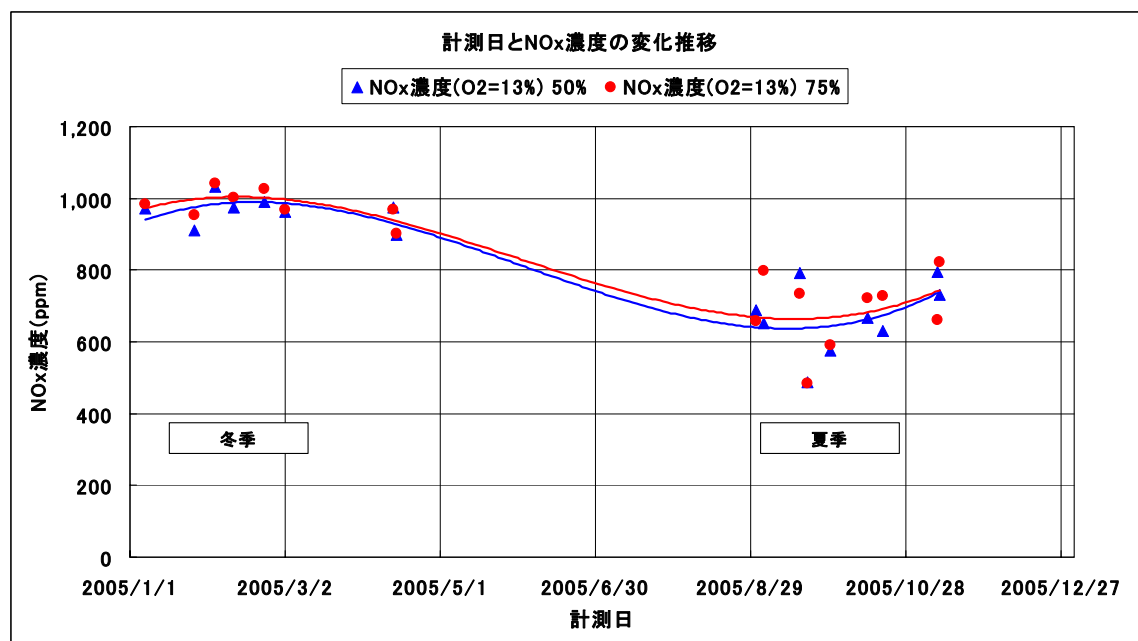


図 5.2.3.4.2.1 NOx 濃度計測結果

上記のグラフは、O₂ 換算のみで補正されており、湿度補正前のデータである。外気湿度条件に大きな影響を受ける NOx 排出量は計測結果においても、冬季と夏季で 400ppm 弱の差が計測された。図中の線は、計測値から多項式近似曲線を表したものであるが、このデータは 50%、75% 負荷ともに計測値のばらつきが大きく現れている。

次に、採取した諸データより計算した NOx 排出率を図 5.2.3.4.2.2 に示す。

陸上運転結果に対して概ね±15%以内に収まる結果であったが、一部大きく外れるデータが見受けられた。今回の計測で、計測終了時点でメモリデータを回収したところ、自動校正データを確認した結果、表示値のずれが確認された。原因考察については後で述べるが、データ回収後に指示値の異常について検討を行い、指示値に推定した補正を加えてデータを纏めている。

一方、NOx 排出率を算出する際の想定される誤差については、今回船内計測装置を利用したことから、主に以下の要因が挙げられる。

- 機関出力：主機メーカー作成の出力推定曲線による出力算定を用いている。これは機関回転数と燃料ラック値により求める。計測誤差としては、回転数±2rpm、燃料ラック値は±0.5mm 程度と考えられる。この場合の推定出力誤差は、およそ±3%を含む。
- 燃料消費量：計測は 10 分間の流量計カウンターの増分指示値で求めた。カウンターの最小目盛りは 1Ltr であり、これにより±6Ltr の最大誤差を含む事となる。これは機関燃料消費量では、およそ±0.5%程度に相当する。

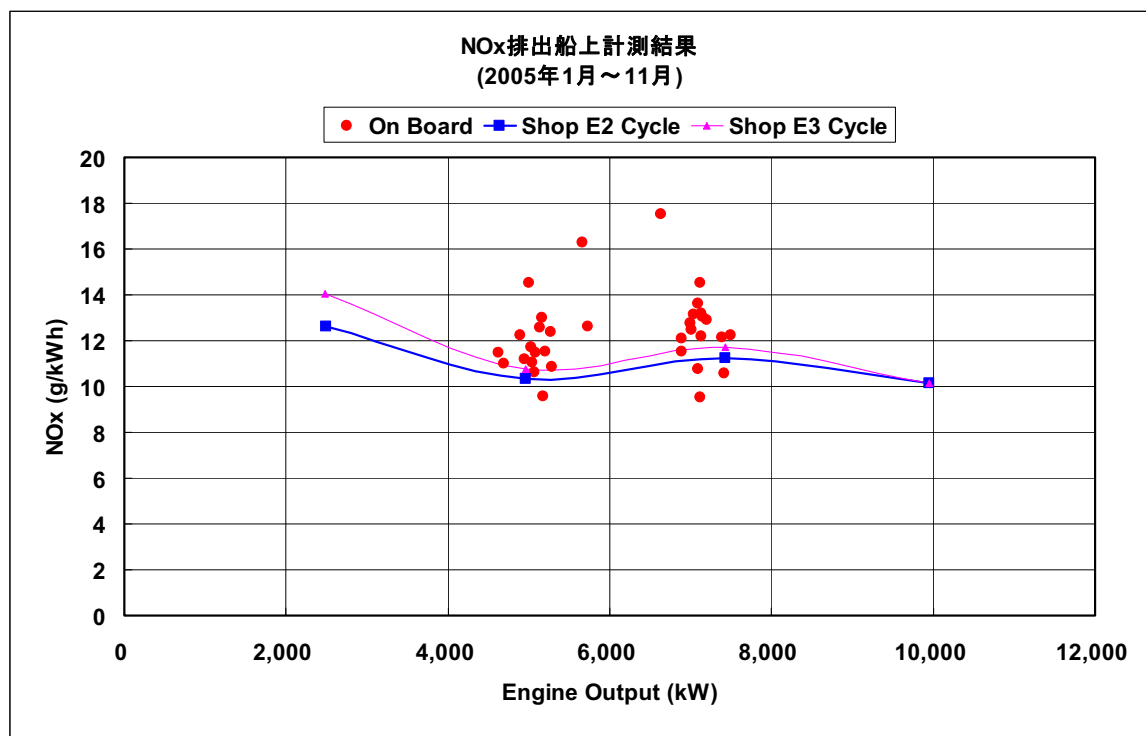


図 5. 2. 3. 4. 2. 2 NOx 排出率

また、今回の計測結果において、計測NOx 濃度 (ppm) と排出率 (g/kWh) の相関を見る為、図 5. 2. 3. 4. 2. 3 を作成した。サンプル数は 17 点で必ずしも多くはないが、概ね相関を持つ結果が得られた。但し±15% を外れた結果もあるが、前述の NOx 指示値の異常が理由かどうかは定かではない。

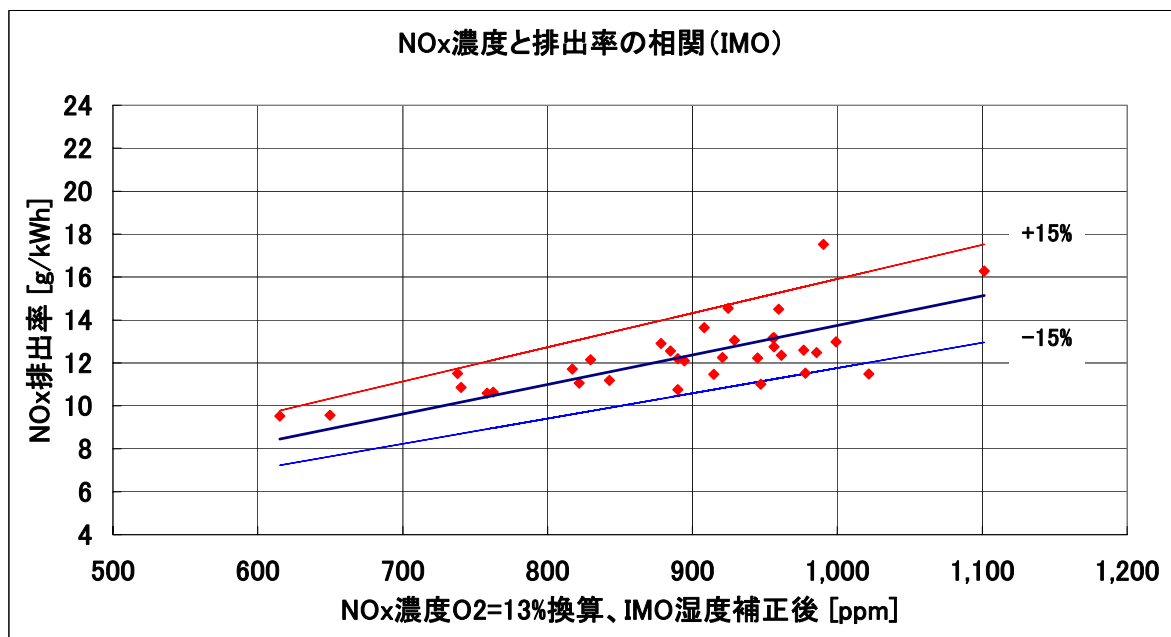


図 5. 2. 3. 4. 2. 3 NOx 濃度と NOx 排出率の相関

5.2.3.4.3 機関の整備状況

本船は2004年7月就航後の入渠は1回のみで2005年7月である。その際の整備内容は以下の通り。
(計測対象の左舷機について記載)

- a. シリンダヘッド開放整備 : A/B列 NO.5、NO.9 (4シリンダ)
- b. 過給機ローター抜き出し清掃整備 : B列

上記の入渠整備以外は船内での乗組員による燃料噴射弁、排気弁整備を定期的に行っている。

特に過給機、燃料噴射系は部品の汚れ、劣化などが排出NO_xやエンジン性能に影響を及ぼすが、本船は就航間もないことから、今回の計測結果を検証する上ではエンジンの整備内容の影響は無いと考えられる。

5.2.4 使用燃料の分析

5.2.4.1 使用燃料油分析結果

試験期間中に使用した燃料油の分析結果を表5.2.4.1に示す。燃料油は日本(博多)、韓国(釜山)にて給油されているが代表性は安定しており、大きな差も見られなかった。

表 5.2.4.1 燃料油分析結果

S/N			CAM-3	CAM-7	CAM-8	CAM-11	CAM-12	CAM-13	CAM-14
採取年月日			2005/1/2	2005/2/10	2005/2/22	2005/8/31	2005/9/17	2005/10/12	2005/11/8
補油地			釜山	釜山	釜山	博多	釜山	博多	博多
密度	15℃	g/cm ³	0.9712	0.9584	0.9673	0.9772	0.9839	0.9721	0.9805
動粘度	50℃	mm ² /s(cSt)	163.3	169.1	168.4	190.1	182	188	197
流動点		℃	-10	10	-7.5	2.5	0	0	-2.5
引火点		℃	116	109	102	111	121	121	99
水分		%(m/m)	0.01	0.03	0.03	0.07	0.03	0.01	0.04
残留炭素		%(m/m)	10.5	8.51	10.74	9.7	9.6	9.7	11
灰分		%(m/m)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
硫黄分		%(m/m)	2.9	3.25	3.19	2.73	3.6	2.62	2.6
アスファルテン		%(m/m)	4.33	4.13	4.49	4.26	4.64	4.32	4.63
ドライラッシュ(TSE)		%(m/m)	0.005	0.003	0.003	0.004	0.011	0.004	0.004
総発熱量(実測)		J/g	42,957	43,238	43,288	42,702	42,455	43,020	42,262
総発熱量(計算)		J/g	42,879	42,960	42,831	42,807	42,414	42,958	42,810
真発熱量(計算)		J/g	40,539	40,590	40,486	40,483	40,130	40,614	40,492
CCAI			841	828	837	846	853	841	849
金属分析	Na	mg/kg(ppm)	3	7	6	16	16	19	23
	Mg	mg/kg(ppm)	0	1	0	0	1	0	0
	Al	mg/kg(ppm)	1	1	1	3	6	2	1
	Si	mg/kg(ppm)	0	1	1	5	6	2	2
	Ca	mg/kg(ppm)	0	1	0	3	1	2	1
	V	mg/kg(ppm)	45	61	56	66	53	53	68
	Fe	mg/kg(ppm)	2	14	4	10	10	12	10
	Ni	mg/kg(ppm)	13	22	19	21	20	19	24
	Zn	mg/kg(ppm)	0	1	0	1	1	0	0
	Pb	mg/kg(ppm)	0	1	0	0	0	0	0
元素分析	C	%(m/m)	86.2	84.9	85.3	85.8	85.0	86.0	86.0
	H	%(m/m)	12.4	13.2	13.1	10.6	14.7	12.9	11.6
	N	%(m/m)	0.21	0.24	0.23	0.24	0.19	0.23	0.26
	O	%(m/m)	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	1.0	2.1

排出NO_xの大半はThermal NO_xであるが、燃料油中の窒素分の含有量が多いとFuel NO_xの排出も影響すると言われている。今回の使用燃料油分析結果ではN分の含有率は比較的安定しており、約0.2wt%

であった。このため燃料油中の N 分に差がなかった為、その影響度合いを検証することはできなかった。試算上では、0.2wt%の N 分が NOx 濃度増となる分は 50～70ppm 程度と考える。(転換率 50～70%と想定)

5.2.4.2 評価

燃料油性状が排出 NOx に及ぼす影響を調べる為には、同一の船／機関で異なる性状の燃料油を使用し、その差を調査することが最も容易な方法と考えられる。しかしながら実船において意図的に異なる性状を持つ燃料油を使用する為には、燃料油購入先、及び性状調査、切り替えの際の燃料油タンク内実体性状確認など、より大掛かりな準備が必要とされるものとする。

5.2.5 NOx の判定等のシミュレーション

5.2.5.1 判定基準

本船主機の定格回転速度は 520 rpm で、それに対する NOx 規制値は 12.9g/kWh である。この規制値に対する評価を行うため、2005 年 1 月から同 11 月までの間に計 17 回の計測が行われ、内 8 回は規制値を上回り、その最大のものは規制値を約 28%上回った。

NOx 判定のための実船計測時においては、NOx テクニカルコード上、規制値を 15%上回る値まで許容されるが、この基準からすると、2 回の計測結果が許容値を満足できなかった。

また、E3 サイクルでの陸上計測値 11.5g/kWh と比較した場合、3 回の計測値のみが下回った。

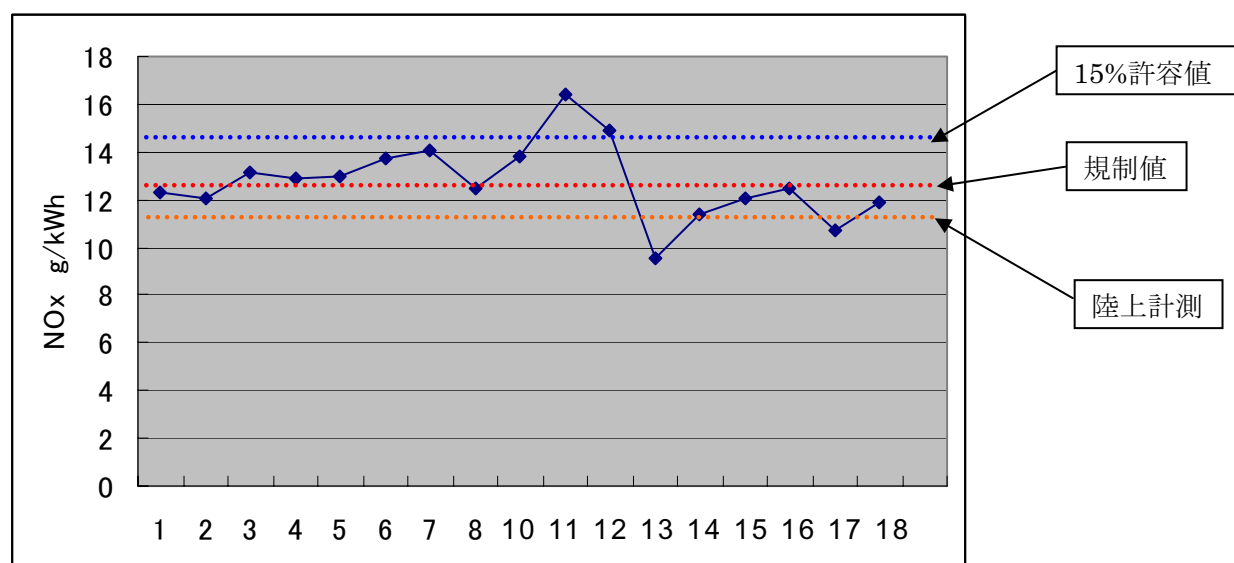


図 5.2.5.1 NOx 排出率（重み付け係数計算後）

5.2.5.2 評価

今回の計 17 回の計測による NOx 排出率は、全体の平均値では、12.8g/kWh と規制値を満足したが、その内 2 回が 15%の許容を含む NOx 規制値を上回ってしまった。実際に NOx ダイレクトモニタリング法を採用した場合、その船舶は条約に適合していないと判断され、速やかに、例えば噴射時期の調整等 NOx 排出率低減策を取る必要がある。ただ、規制値を満足していないものは、11 及びそれに続く 12 回目のもので値に大きな変動が見られる。従って何らかの要因により、一時的に実際よりも NOx 値を

高く検知した可能性がある。これら 2 点を除けば、ジルコニア式による本計測方法による排出率評価は、NO_x シミュレーションの有効な手段と言える。

5.2.6 今後の課題

5.2.6.1 ジルコニアセンサの精度について

5.2.5.2 の評価で述べたように 17 回の計測の内、2 回は不適合であった。10 回目の計測時にジルコニアセンサを新替しており、そのことにより何らかの変化が生じた可能性がある。今後、ジルコニアセンサの出力の安定性等を CLD 方式との同時計測比較を行い、確認、評価する必要がある。

5.2.6.2 ジルコニアセンサの耐久性について

第 2 船の研究ではダイレクトサンプリング法によるジルコニアセンサの耐久試験を実施した。特に平成 16 年度の研究で排ガス温度が 300 から 400℃の高温にさらされると、センサ部の配線接続部の絶縁不良により、NO_x指示値に異常が見られる現象が生じた。

原因としては配線接続部に耐熱温度が約 200 度のゴムを使用しており、特にこの部分に付いては冷却 AIR を当てて、冷却することで対応していたが、サンプリング位置が T/C 出口直後であったため、排ガス温度が 350 から 400℃にまで上がり、冷却 AIR の効果が無くなり、ゴムの劣化が起こったと考えられる。よって、今回の平成 17 年度の研究ではそのゴム部をセラミック素材に変更して望んだ。

図 5.2.6.2.1 は改良前と改良後のセンサの写真を示す。



図 5.2.6.2.1 改良前後のセンサ

この対策で絶縁不良による、指示値の異常は見られなくなったが、今回の連続計測において感度の劣化が起こった。図 5.2.6.2.2 は自動校正時のデータより求めた NO_x センサの感度の推移を示している。これより、連続モニタリングを始めてから約 2 ヶ月の間で感度が劣化していったと考えられる。センサ内部の電極の劣化、拡散層内のつまりなどが考えられるが、直接的な原因は究明できていない。

今後はダイレクトモニタリングでのジルコニアセンサの長期的な耐久性の評価が必要であると考えられる。第 2 船では平成 18 年度の研究で NO_x モニタリングが実施される予定であり、その際には耐久性を考慮したセンサ（電極再生機能、取り付けフランジ内の温度対策などを施したもの）に変更し、耐久性の評価を実施する予定である。

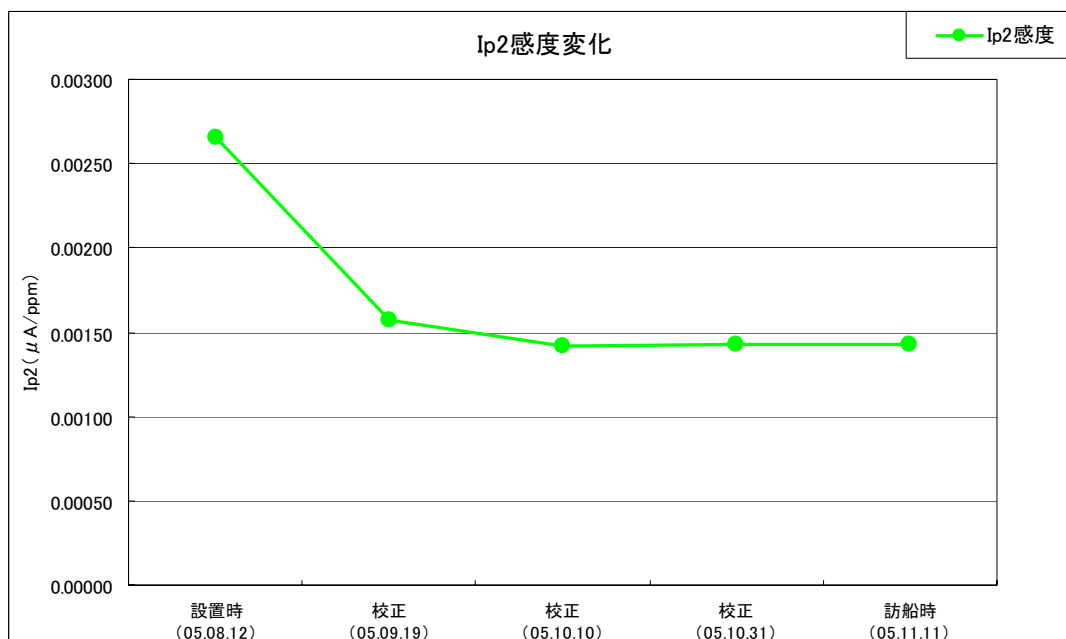


図 5. 2. 6. 2. 2 ジルコニアセンサの感度経時変化

5. 2. 6. 3 機関出力の測定法について

出力算定には、本船には軸馬力計が装備されていないことから、機関回転数と燃料ラック値をもとに主機メーカー作成の出力推定曲線より算出する。計測誤差としては、回転数 $\pm 2\text{rpm}$ 、燃料ラック値は $\pm 0.5\text{mm}$ 程度と考えられる。この場合の推定出力誤差は、およそ $\pm 3\%$ になる。これは、 NO_x 排出率を算出する際の誤差の大きい要素となる。

従って、本船においては、毎回の計測時間の延長と継続的・長期的な計測を図り、データを確認・評価する必要がある。

5. 2. 6. 4 燃料消費量の測定法について

燃料消費量の計測は、10分間の流量計カウンターの増分指示値で求めた。カウンターの最小目盛りは1Ltrであり、これにより $\pm 6\text{Ltr}$ の最大誤差を含む事となる。これは機関燃料消費量では、およそ $\pm 0.5\%$ 程度に相当する。

本船運航に支障がなければ、計測時間の延長が望ましい。

5. 2. 6. 5 燃料油について

陸上運転時と異なる低質油を使用した場合の NO_x 排出率の悪化傾向をある程度定量的に検証し、過去行われた同様の実船計測との比較検討を行うと共に、外気温度、湿度の違いによる NO_x 濃度の変化に関しても今後の実際の運用の参考に供することが出来るようにその傾向について具体的に示す必要がある。

5.2.7 おわりに

NOx ダイレクトモニタリング法によるシミュレーションは、実際の航行中データ採取し、定期的な検査時にその記録が評価される。従って、その計測は、特別な計測員を必要とせず、通常航海時に容易に行われなければならない。今回の調査研究により実際の計測及び記録保存が共に乗組員により実施できることが確認された。また、ジルコニアセンサについては、その安定性、耐久性等について、前述した課題があることが確認された。

今後もジルコニアセンサを活用した調査・検討・結果に基づいてガイドラインを取り纏め、IMO に提起するとともに、引いては船舶に関わる環境汚染の低減に貢献出来ればと考えている。

最後に、本船スケジュールが週 6 便の頻繁・多忙な航海の中で長期間にわたり、本船のデータ採取にご協力とご尽力を頂いた“ ニューかめりあ” の乗組員と関係者の方々に心より感謝申し上げる。

資 料 編

- 【資料 1】 『ニューかめりあ』 全景写真、一般配置図、機関室写真
- 【資料 2】 検出端図及び説明、計測装置（仕様書、外形図、システム等）
- 【資料 3】 工場試運転時NO_x計測結果

【資料 1】



写真 1.1 ニューかめりあ全景



写真 1.2 主機関全景

NEW CAMELLIA GENERAL ARRANGEMENT

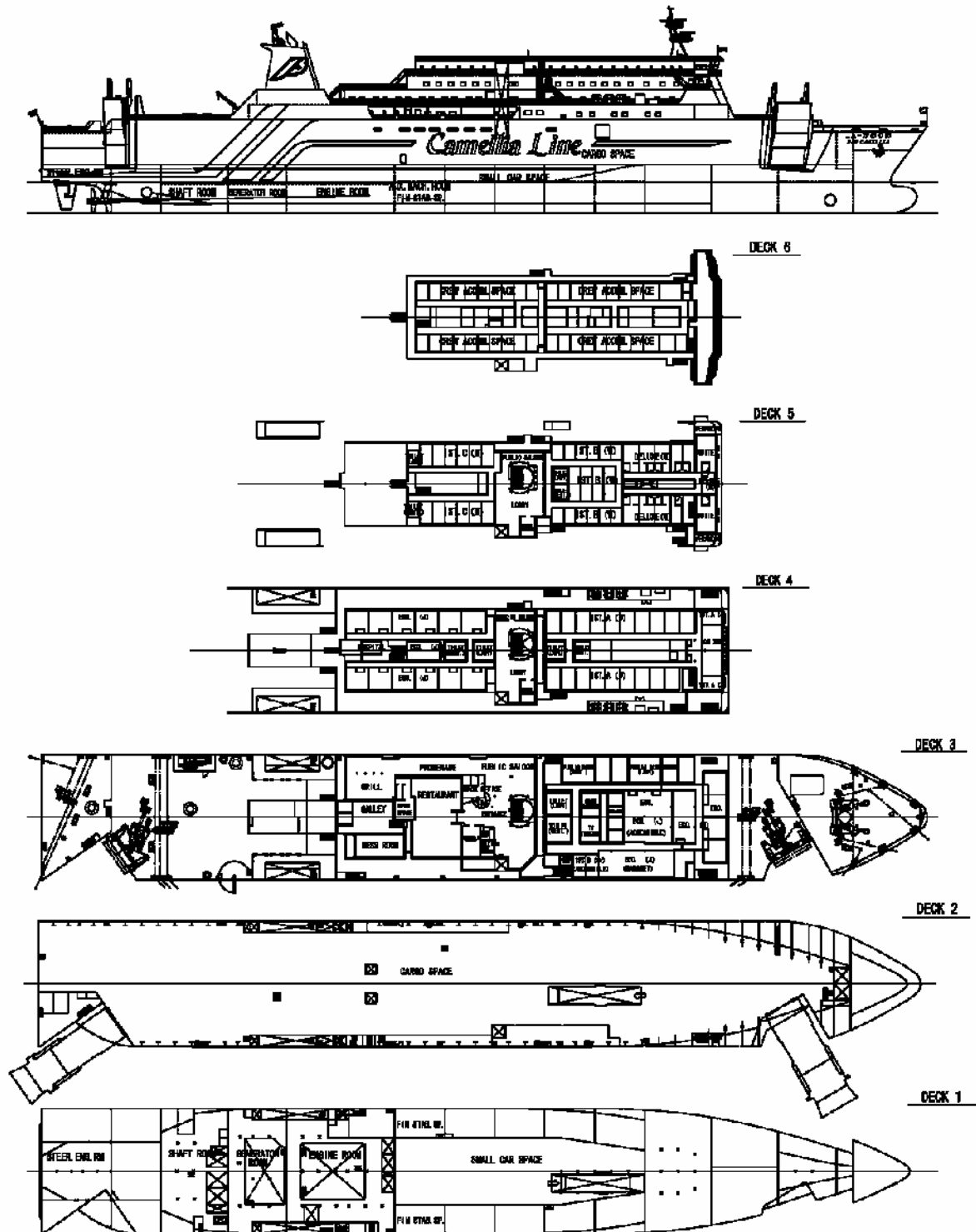


図 1.1 ニューかめりあ 一般配置図

【資料 2】

資料 2.1 検出端図及び説明

センサ部取付けのため、図2.1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_x/O₂ 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「カメラリア」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2.1 のとおりである。

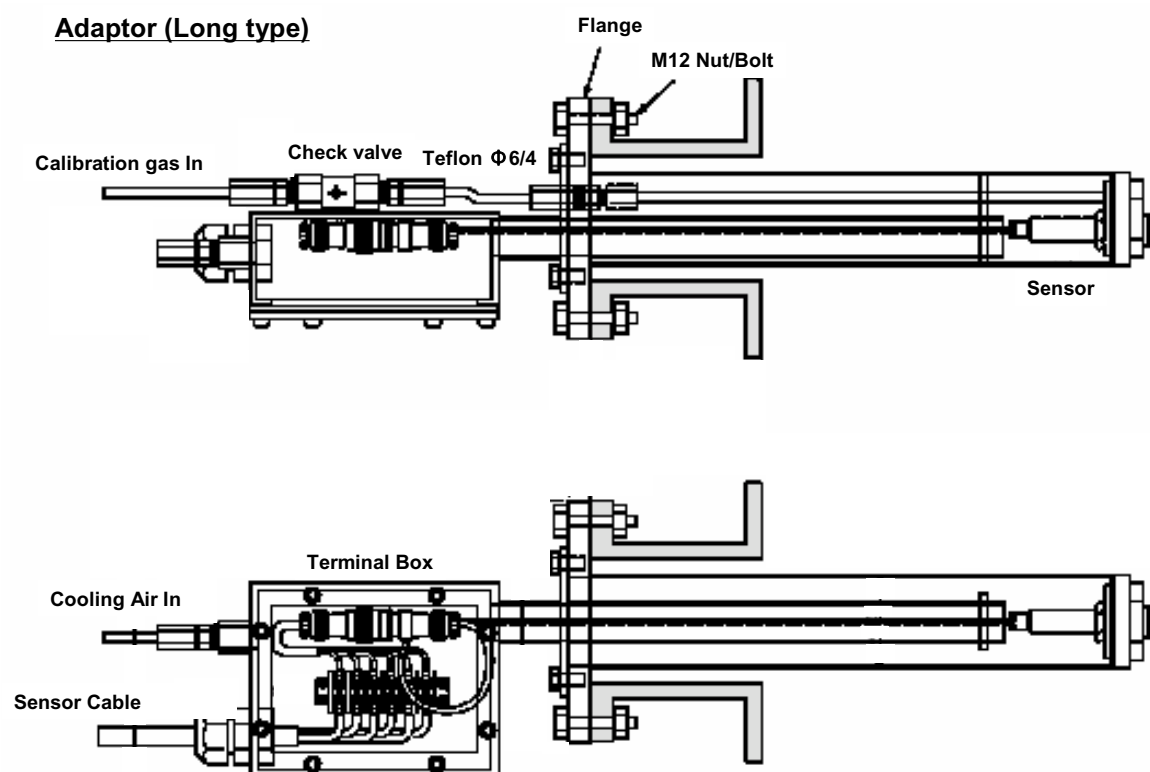


図 2.1 センサアダプタの図

表 2.1 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

資料 2.2 計測装置

船用ジルコニア式NO_x, O₂分析装置について

ジルコニアセラミックセンサを用いたガス分析計で、船用エンジンから排出される排ガス中のNO_xO₂濃度の測定ができます。直挿タイプのセンサでサンプリング装置なしでの測定を実現しています。

・ 装置概要

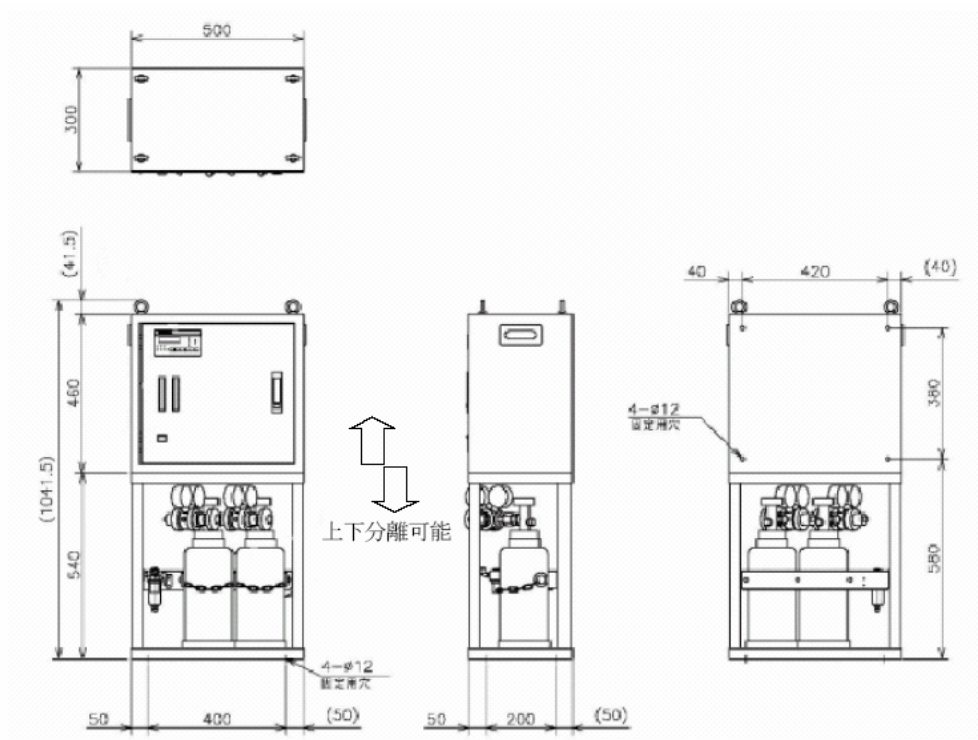
測定対象ガス	船舶用ディーゼルエンジンからの排ガス *1 (ストイキ～リーンの範囲内)
測定範囲	- 窒素酸化物(NO_x) 0～2000 ppm(λが1以上の雰囲気にて) - 酸素(O₂) 0～25 vol%
表示範囲・表示形式	- 窒素酸化物(NO_x) 0～5000 ppm、1 ppm 刻み (#### ppm) - 酸素(O₂) 0.00～50.00 vol%、0.01vol%刻み(##.## vol %)
装置構成	- 装置本体(受信機) - センサ取付けアダプタ(ロング、ショートタイプいずれか選択) - センサ - 原理: ジルコニア(ZrO₂)センサ - センサ温度: 約 800℃ - ケーブル(顧客準備) - センサケーブル(CVVS 2sq-6c 相当) - レコーダケーブル(MVVS0.5sq-2c 相当) - 電源ケーブル(CVVS 2sq 相当) - 配管(顧客準備) - 装置本体-センサ取付けアダプタ間Φ6/Φ4 テフロン管 (校正用、冷却用各 1 本) - 装置本体(計装エア)Φ6/Φ4 ナイロン管
ユーティリティ	計装エア(0.2～0.9MPa)ノージ、及び冷却用 顧客準備 SPAN ガス(校正用): NO 約 1500ppm/N ₂ (0.1MPa) SPAN ガス(校正用): O ₂ 約 13%vol/N ₂ (0.1MPa)
外部出力	- 内部データログ-用出力 - DC 0～5 V、2 チャンネル アナログ出力 (NO_x, O₂ 非絶縁) - DC0/24V パージ確認用状態出力 - アナログ出力(オプション) - 顧客要求仕様による(電圧、電流、絶縁、非絶縁)
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

- ・ 性能及び使用条件

測定精度 *2	- NO_x 測定精度 0～2000 ppm ±40 ppmNO_x 以内 - O₂ 測定精度 0～25 vol% ±0.5 vol% O₂ 以内
応答速度(T63)	0.7 秒以下 (測定対象ガスを N ₂ からスパンガス、スパンガスから N ₂ に切り替えた場合、スパンガスは 2000 ppm NO または 4 vol% O ₂)
暖機時間	電源投入後 約 3 分 (指示安定まで約 5 分)
使用および保管環境	- 装置本体 周囲温度: 使用時 5～45℃、保管時 -10～70℃ 湿度: 相対湿度 80 % 以下推奨 - センサ 測定ガス温度: -7～800℃ (推奨 300～600℃) 各部耐熱温度: 六角部 500℃、リード線 200℃、コネクタ 120℃、ケーブル 80℃ 取付位置: 排気管上側 *3 締付トルク: 40±5 N・m 耐振動範囲: 0～294 m/s² 保管場所: 通常の大気環境下 (常温常圧、相対湿度 80 %以下)*4 センサ設置方向 水平取付
取付けアダプタ設置条件	取付けアダプタ先端の煙道への挿入長は煙道直径の 10%～90%になるように煙道壁からフランジ面までのガイドパイプ長を決めてください。ガイドパイプの内径はφ70 以上としてください。 取付けアダプタフランジ: JIS5K65A ボルト: M12 4ヶ
センサ保証期間	6 ヶ月、または(推奨の条件にて)使用 500 時間 (短い方の期間) *5

- 装置外形図

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。



【資料 3】 工場試運転時 NOx 計測結果

主機関の工場試運転データ、及び NOx 計測結果（親エンジンにて実施）を次頁以降に示す。

表 3.1 ニューかめりあ 左舷機（本研究計測対象機）陸上試運転結果

表 3.2 同型、同シリンダ親エンジンでの NOx 計測結果 （E2 モード）

表 3.3 — 同上 — （E3 モード）

表 3.1 ニューかめりあ 左舷機（本研究計測対象機）陸上試運転結果

SUMMARY OF ENGINE PERFORMANCE TEST

ENGINE TYPE			JFE-SEMITHRIELSTOCK 18PC2-BV			ENGINE No		PC2 6+102		
DATE			January 15 2004			SHIP YARD				
						MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD SHIMOHASEI SHIPYARD & MACHINERY WORKS				
PLACE			JFE Eng. TSURUMI WORKS			SHIP No			1104	
TEST CYCLE					C2					
TEST LOAD			%	25%	50%	75%	100%			
DURATION OF TRIAL			min	30	30	30	30			
ENGINE SPEED			rpm	519.5	519.4	519.0	519.5			
ENGINE OUTPUT			kW	2,482	4,945	7,419	9,934			
BRAKE MEAN EFFECTIVE PRESS			MPa	0.55	1.10	1.65	2.21			
GOVERNOR INDEX		-	-	-	-	-	-			
		OUTPUT		29.0	38.6	50.0	68.0			
FUEL PUMP MARK (AVE.)			mm	15.5	22.0	29.2	41.3			
PRESSURE	TEST ROOM		kPa	101	101	101	101			
	CHARGE AIR (AFTER COOLER)	A BANK	0.03	0.10	0.18	0.25				
		B BANK	0.03	0.09	0.17	0.25				
	MAX. CYLINDER PRESSURE (AVE.)			5.0	8.5	11.8	13.0			
	EXHAUST GAS (BEFORE TURBINE)	A BANK	0.00	0.07	0.10	0.20				
		B BANK	0.02	0.06	0.12	0.20				
	COOLING FRESH WATER			0.32	0.32	0.32	0.32			
	LUBRICATING OIL			0.61	0.60	0.59	0.58			
	FUEL OIL			0.33	0.31	0.29	0.26			
	EXH GAS(AFTER TURBINE)		kPa	0.00	0.80	1.30	2.60			
TEMPERATURE	TEST ROOM			19	19	20	20			
	CHARGE AIR (AFTER COOLER)	A BANK		20	41	40	42			
		B BANK		20	41	40	43			
	EXH GAS	CYL. OUTLET (AVE.)		280	331	348	427			
			BEFORE TURBINE	A BANK	357	445	461	550		
		AFTER TURBINE	B BANK	353	443	457	540			
			A BANK	327	360	350	397			
	B BANK	329	365	351	395					
		COOLING FRESH WATER	INLET	80	75	75	73			
		OUTLET	82	80	80	81				
	LUBRICATING OIL	INLET	50	50	50	50				
		OUTLET	62	63	64	65				
	FUEL OIL		INLET	34	33	30	27			
	TURBOCHARGER SPEED		A BANK	7,800	11,500	14,500	17,100			
			B BANK	7,200	11,200	14,400	17,000			
TURBOCHARGER		MCT50SD			AIR COOLER		1135/16/22/2			
FUEL OIL		DIESEL OIL			LUBRICATING OIL		MOBILGARD 412			
WATER BRAKE		Zolner 14-n2n125			Peak INDICATOR		PEAKmag III			
SIGNATURE								JFE Eng.		

表 3.2 親エンジンでの NOx 計測結果 (E2 モード)

Measurement result of NOx emission and calculation of E2 test cycle

	Fuel components			LCV= 42560	(kJ/kg)	
	ALF	BET	GAM	EPS	DEL	
	12.5	87.37	0.08	0.01	0.04	
	(wt %)					
LOAD (%)	25	50	75	100	-	-
Test time	17:30	16:50	16:15	15:25	-	-
Date	Jan.30,02	Jan.30,02	Jan.30,02	Jan.30,02	-	-
Power (kW)	2501	4958	7425	8956	-	-
Engine speed (rpm)	519.8	520.2	520.1	520.7	-	-
Load of water brake (ton)	6.5	13.0	19.4	26.0	-	-
Pme (MPa)	0.55	1.10	1.65	2.21	-	-
Load index (for rack position)	16.7	22.9	29.4	40.4	-	-
FO inlet temp (°C)	28	25	23	20	-	-
GFUEL (kg/h)	507.4	956.2	1390.9	2001.6	-	-
HSFC (g/kWh, ICV corrected)	202.3	192.2	188.7	200.4	-	-
BSFC (g/kWh, uncorrected)	202.9	192.9	187.3	201.0	-	-
IC inlet temp (°C)	41	44	46	47	-	-
LO inlet pressure (MPa)	0.61	0.63	0.63	0.62	-	-
Baro. press (kPa) PB	100.6	100.7	100.7	100.7	-	-
Room temp (°C)	17	18	18	17	-	-
Relative humidity (%) Ra	29.0	26.5	24.5	26.5	-	-
Suction air temp (°C) Ta	15.50	16.00	17.50	18.0	-	-
Scav air press (MPa) Pc	0.02	0.08	0.16	0.18	-	-
Scav air temp (°C) Tsc	13.10	19.95	34.35	51	-	-
Isa ref (°C)	15.00	20.00	35.00	48	-	-
IC Speed (rpm)	6600	10700	13900	16300	-	-
IC Blower filter loss (kPa)	0.10	0.17	0.23	0.47	-	-
Exn temp of turbine (°C)	361	444	478	551	-	-
Exn temp aft turbine (°C)	337	388	379	420	-	-
Exn temp aft cylinder (°C)	278	320	362	437	-	-
Exn gas back pressure (mmAq)	0.0	0.6	1.1	2.6	-	-
Jacket cooling water inlet temp (°C)	70	69	67	66	-	-
Jacket cooling water inlet pressure (MPa)	0.29	0.29	0.29	0.29	-	-
Jacket cooling water outlet temp (°C)	75	77	77	80	-	-
Cooler cooling water outlet temp (°C)	14	21	30	43	-	-
Pmax (MPa)	5.2	7.9	11.1	13.1	-	-
NOx concentration (ppm dry)	1015	1010	1126	1009	-	-
O ₂ concentration (%) dry	14.3	13.3	13.3	12.8	-	-
CO concentration (ppm dry)	268	179	125	252	-	-
CO ₂ concentration (%) dry	5.0	5.8	5.8	6.1	-	-
H ₂ O concentration (ppm wet)	22	9	8	9	-	-
Vapor press of suction air (kPa) Pa	1.760	1.817	1.999	2.063	-	-
Abs humidity of suction air (g/kg) Ha	3.172	2.989	3.040	3.395	-	-
Vapor press of scav air (kPa) Psc	1.507	2.330	5.424	12.400	-	-
Abs humidity of scav air (g/kg) Hsc	7.790	8.259	13.237	23.594	-	-
Fuel specification factor FFH	1.756	1.750	1.750	1.747	-	-
Exhaust Gas Density (XIII) NG: (kg/m ³)	1.293	1.293	1.293	1.293	-	-
Wet / Dry correction factor Kw,r	0.954	0.948	0.948	0.944	-	-
Wet exhaust gas flow (kg/h) GEXHW	22852.2	37626.9	54792.6	74174.4	-	-
Humidity correction factor KHDIES	0.900	0.895	0.901	0.899	-	-
CO mass flow Gas mass (kg/h)	5.843	5.1158	6.272	17.062	-	-
CO ₂ mass flow Gas mass (kg/h)	1655.5	3142.5	4576.0	6494.6	-	-
O ₂ mass flow Gas mass (kg/h)	3444.3	5242.1	7633.3	9913.7	-	-
HC mass flow Gas mass (kg/h)	0.230	0.154	0.199	0.302	-	-
Wet Air flow (kg/h)	22344.8	36670.7	53411.7	72172.8	-	-
Corrected NOx concentration (ppm)	871.6	857.3	961.2	857.0	-	-
NOx mass flow Gas mass (g/h)	31610.0	51191.5	83585.5	100876.4	-	-
NOx emission rate (g/kWh)	12.639	10.325	11.257	10.132	-	-

Calculation of E2 cycle

Load (%)	25	50	75	100	Σ
NOx mass (g/h) x Weighting factor	4742	7679	41793	20175	74388
Power (kW) x Weighting factor	375	744	3713	1991	6823
NOx cycle (g/kWh)					10.903

表 3.3 親エンジンでの NOx 計測結果 (E3 モード)

Measurement result of NOx emission and calculation of E3 test cycle

	Fuel components				LCV= 42560	(kJ/kg)
	ALF	BET	GAM	EPS	DEL	
	12.5	87.37	0.08	0.01	0.04	
	(wt %)					
LOAD (%)	25	50	75	100	-	-
Test time	13:10	13:50	14:40	15:25	-	-
Date	Jan. 30, 02	Jan. 30, 02	Jan. 30, 02	Jan. 30, 02	-	-
Power (kW)	2482	4984	7426	8956	-	-
Engine speed (rpm)	326.7	417.1	474.5	520.7	-	-
Load of water brake (ton)	10.3	16.2	21.3	26.0	-	-
Pme (MPa)	0.88	1.37	1.81	2.21	-	-
Load index (for rack position)	20.1	25.5	31.0	40.4	-	-
FO inlet temp (°C)	17	21	21	20	-	-
GFUEL (kg/h)	508.2	958.6	1402.8	2001.6	-	-
HSFC (g/kWh, ICV corrected)	204.1	192.5	189.3	200.4	-	-
BSFC (g/kWh, uncorrected)	204.7	193.1	189.9	201.0	-	-
IC inlet temp (°C)	35	39	42	47	-	-
LO inlet pressure (MPa)	0.63	0.60	0.58	0.62	-	-
Baro. press (kPa) PB	100.8	100.7	100.7	100.7	-	-
Room temp (°C)	14	15	17	17	-	-
Relative humidity (%) Ra	31.0	28.5	26.0	26.5	-	-
Suction air temp (°C) Ta	13.5	15.5	17.0	18.0	-	-
Scav air press (MPa) Pc	0.01	0.04	0.11	0.18	-	-
Scav air temp (°C) Tsc	11	18	30	51	-	-
Isa ref (°C)	12	15	30	49	-	-
IC Speed (rpm)	4650	9750	13450	16300	-	-
IC Blower filter loss (mmAq)	0.04	0.10	0.24	0.47	-	-
Exh temp bef turbine (°C)	477	511	493	551	-	-
Exn temp aft turbine (°C)	458	465	403	420	-	-
Exn temp aft cylinder (°C)	355	367	372	437	-	-
Exn gas back pressure (kPa)	0.0	0.5	1.2	2.6	-	-
Jacket cooling water inlet temp (°C)	69	68	68	66	-	-
Jacket cooling water inlet pressure (MPa)	0.29	0.29	0.29	0.29	-	-
Jacket cooling water outlet temp (°C)	76	77	78	80	-	-
Cooler cooling water outlet temp (°C)	12	18	28	43	-	-
Pmax (MPa)	6.5	8.7	11.3	13.1	-	-
NOx concentration (ppm dry)	1878	1319	1253	1009	-	-
O ₂ concentration (%) dry	9.9	11.4	12.7	12.8	-	-
CO concentration (ppm dry)	827	402	166	252	-	-
CO ₂ concentration (%) dry	8.3	7.2	6.2	6.1	-	-
H ₂ O concentration (ppm wet)	36	32	10	9	-	-
Vapor press of suction air (kPa) Pa	1.546	1.760	1.937	2.063	-	-
Abs humidity of suction air (g/kg) Ha	2.972	3.114	3.126	3.395	-	-
Vapor press of scav air (kPa) Psc	1.334	1.788	4.255	12.400	-	-
Abs humidity of scav air (g/kg) Hsc	7.442	6.700	10.756	23.594	-	-
Fuel specification factor FFH	1.730	1.740	1.746	1.747	-	-
Exhaust Gas Density (XIII) N ₂ (kg/m ³)	1.293	1.293	1.293	1.293	-	-
Wet / Dry correction factor Kw,r	0.927	0.937	0.943	0.944	-	-
Wet exhaust gas flow (kg/h) GEXHW	14113.8	30534.0	51464.6	74174.4	-	-
Humidity correction factor KHDIES	0.891	0.894	0.899	0.899	-	-
CO mass flow Gas mass (kg/h)	10.470	11.109	7.796	17.062	-	-
CO ₂ mass flow Gas mass (kg/h)	1652.3	3128.7	4578.7	6494.6	-	-
O ₂ mass flow Gas mass (kg/h)	1433.7	3603.0	6822.7	9913.7	-	-
HC mass flow Gas mass (kg/h)	0.226	0.438	0.233	0.302	-	-
Wet Air flow (kg/h)	13605.5	29575.4	50061.7	72172.8	-	-
Corrected NOx concentration (ppm)	1555.1	1104.3	1063.7	857.0	-	-
NOx mass flow Gas mass (g/h)	34832.7	53513.0	86880.7	100876.4	-	-
NOx emission rate (g/kWh)	14.034	10.780	11.709	10.132	-	-

Calculation of E3 cycle

Load (%)	25	50	75	100	Σ
NOx mass (g/h) x Weighting factor	5225	8027	43440	20175	76867
Power (kW) x Weighting factor	372	745	3713	1991	6821
E3 cycle (g/kWh)					11.269

5.3 NOx モニタリング法のシミュレーション試験（第3 船チーム）

本書は、(財) 日本船舶技術研究協会 大気汚染防止プロジェクト（MP3）の平成 17 年度事業計画にもとづき、NOx モニタリング法のシミュレーション試験（第3 船チーム）として調査研究を行い、成果報告書として取り纏めたものである。

プロジェクトの構成員

氏 名	所 属	役 職
大江 清登* 米倉 信義 大森 泰樹	エムイーシーエンジニアリングサービス株式会社 プラントエンジニアリング事業部	営業企画部長 技術主席 主任
堂園 吉彦	財団法人 日本海事協会	機関部主管
井 亀 優	独立法人 海上技術安全研究所 環境・エネルギー研究領域,大気環境研究 Gr	
猪崎 正	摂予汽船（株）	取締役
庄司 勉 神田 正樹	日本郵船（株）技術グループ船舶技術チーム	課長代理 ME ユニット長
日下 竹史	株式会社 堀場製作所 PM/Sampling チーム	チームリーダー
岡田 博之 山本 順一	阪神内燃機工業（株）技術部	次長 課長補佐

* チームリーダー

5.3.1 調査研究の目的、内容および背景

1) 背景及び目的

海洋汚染防止条約(MARPOL 73/78)付属書VIが発効になり大気汚染に関する規制が実施されることになったが、この規制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みが必要である。

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。

この新しい仕組みを、各組織体におい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ことは非常に重要であり、今後の為に事前に検証する必要がある。

平成 16 年度に第 1&2 船で実施した調査研究と同様にジルコニア式 NOx 分析装置を用い、RO/RO 船の運行パターンによる発生 NOx を把握すると同時に、PSC、IAPP 証書再認証作業のシミュレーションを行う。

計測したデータを解析し、NOx 鑑定の一連の作業中での課題、ルール上の疑問点や改善点等を取りまとめて、提供することにある。

本調査研究は多岐にわたる技術が必要なことから、外部の調査研究者を定め実施するものである。

2) 内容

調査研究の内容を以下に示す。

- ① PSC・EIAPP 証書概要 (目的、流れ、証書と検査の手順等)
第1船での実船調査を参考にして、今回の調査研究の内容を把握する。
- ② 記録装置の計測要領 (機関の記録方法、記録インターバル等)
本船での計測に当たって要領や注意点をまとめて提供する。
- ③ 試験機関での陸上基礎データ (NO_x 記録)
陸上運転のデータを入手して、実船運転のデータと比較する。
- ④ テストサイクルは、MP/CONF.3/34Appendix IIに従って、E 3タイプを採用する。
調査試験は 50&75% Power を選択する。
- ⑤ Power の変動量に関しては、MEPC49/22/Add.1に従って、変動量±5%を目標とする。本船に装備の機関部データログでは、1-Hertz ができないので、試験中に2回(手動)記録する。
ただし表 5.3.1 に示す計測項目に関しては、本船の機関部データログでは、対応出来ない
ので、専用のデータログを使用する。

表 5.3.1 計測項目

試験設定項目		単位	特記事項	備考
時間		h、m、s		機関部 データロガー
機関出力		kW	燃料ラックにて換算	
機関回転速度		min-1		
給気圧		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	大気	hPa		NOx 計測装置
	絶対湿度	%		
大気	気圧	hPa		
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	

⑥ 解析の項目

ー 計測データの再整理

4 回実施した試験時の全データが何時でも使用できる様に再整理する。

特に MEPC49/22/Add.1 にて要求される計測アイテムの生データ等すべての計測データベースを作成する。

ー 計測データ

＊ 機関室内の気圧の変化等

＊ 計測開始時間と計測値の安定性等

ー ファミリーエンジンの考え方の再整理

ー NO x 計測装置の許容誤差

経年変化を各計測値より推定する

ー 検出端の使用限界排気管径

現在の検出端の使用限界を計算で行う

3) プロジェクトの審議状況

プロジェクトの審議は、全体会議と書面審議で構成した。

全体会議は、基本的な方向付けを行い、詳細は書面にて審議した。 以下に概略を示す。

全体会議

1. 第1回 事前全体打合会議（契約の準備作業等） 平成17年4月21日
(本会議は契約範囲外であるが、経過として記録する必要があるため記載する)
2. 第2回 全体会議 平成17年9月16日
3. 第3回 全体会議 平成17年12月19日
4. 第4回 全体会議 平成18年1月27日

書面審議項目

1. 実施計画書（平成17年度） 平成17年 8月25日作成審議
2. 計測要領書（配線関係） 平成17年 8月08日作成審議
3. 報告書作成要領 平成17年12月05日作成審議

2) 調査研究実施スケジュール

自主検討 又は先行手配を示す。
 本調査研究の対象項目を示す。

▽ : 開始 ▼ : 完了 ★ : 燃料採取

NO	項 目	概 要	主担当部署	期 間												備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				平成17年						平成18年																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1	大日程	契約関係事務処理 本船側改造（事前検討） 計測装置整備 計測(データ収集) シミュレーション まとめ・報告書	MEC				▽																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														</

5.3.2 調査研究の実施状況

5.3.2.1 概要

対象船、搭載主機関、計測装置の紹介および計測結果等実施状況について以下に示す。

5.3.2.2 対象船『菱栄丸』の紹介

今回の実船でのNO_xモニタリング法のシミュレーション試験は摂予汽船株式会社殿の協力を得て、同社所有の菱栄丸にて実施した。

菱栄丸は同社の自社船として2003年1月に桧垣造船株式会社殿で建造された2053G/T、RORO船で、八戸～東京～名古屋～大阪を主要航路として紙製品を運搬している。菱栄丸の概要を表5.3.2.1に、全景写真を図5.3.2.1示す。

表 5.3.2.1 菱栄丸の概要

船 名	菱 栄 丸
船 種	RORO 船
総トン数	2053 G/T
船体寸法	垂線間長 95.0m、幅 16.0m、深さ 11.5/6.35m、満載喫水 5.1m
就航年月	2003 年 1 月
船 級	NK 限定近海 M O
航 路	八戸～東京～名古屋～大阪
船 主	摂予汽船株式会社 殿 愛媛県今治市
オペレータ	山根運輸株式会社 殿 東京都中央区
主 機 関	機関名称 ハンシン LH41LA 定格出力/回転速度 2647kW(3600PS)/240min ⁻¹
船尾プロペラ	ハンシン可変ピッチプロペラ DX88N54



図 5.3.2.1 菱栄丸の全景写真

5.3.2.3 対象機関の概要

菱栄丸には主機関として、阪神内燃機工業株式会社製のLH41LA形低速4サイクル機関が搭載されている。

LH41LA形機関の主要目を表5.3.2.2に、機関の写真を図5.3.2.2に示す。

表 5.3.2.2 LH41LA形機関の主要目

機関名称－機関番号		LH41LA－56
形 式		縦型低速4サイクル単動ディーゼル機関 (過給機および空気冷却器付)
シリンダ径	mm	410
ストローク	mm	800
シリンダ数		6
定格出力	kW	2647
定格回転速度	min ⁻¹	240
平均ピストン速度	m/s	6.40
正味平均有効圧	MPa	2.088
シリンダ内最高圧力	MPa	13.7



図 5.3.2.2 LH41LA形機関

5.3.3 計測装置

5.3.3.1 NO_x 計測装置

本船のNO_x計測装置は、平成16年度に同調査研究を実施した装置であり、詳細は平成16年度大気汚染防止基準の作成に関する調査研究(RR-MP3) NO_x モニタリング法のミュレーション試験(第1船チーム)成果報告書 5.1.2項を参照されたい。

5.3.3.2 本船側の計測準備

1) NO_x 測定装置 1台

本装置は平成16年度に第1船で使用したものを使用した。

図5.3.3.1にNO_x測定装置装備前の写真を示す。 図5.3.3.2にNO_x測定装置の装備後の写真を示す。 正面パネルの上側が測定装置の制御盤で、下側がNOとO₂の校正用ガスボンベの收容部分である。

正面右側面に記録装置への変換器とアイソレータを收容している箱を取付けている。



図 5.3.3.1 NO_x 測定装置装備前



図 5.3.3.2 NO_x 測定装置

2) 記録器本体 1台

本装置は平成16年度に第1船で使用したものを使用した。

前記5.3.1 2) ⑥項、表5.3.1に記述の項目を記録する1Hz サイクル記録器本体である。



図 5.3.3.3 記録器本体

3) NO_x・O₂ センサ 1 台

主機関の排気管部で、点検用蓋があったので、その部分を利用して、IMO MEPC49/22/Add.1 に規定されているダイレクトモニタリング法にガイドラインとして示されているアダプタを製作して使用した。アダプタの概要寸法図を図 5.3.3.6 に示す。

アダプタの位置は、排ガスエコノマイザ洗浄用ドレンアタックを避けるために、中心線を避けて取付けた。



図 5.3.3.4 NO_x・O₂ センサ取付前



図 5.3.3.5 NO_x・O₂ センサ取付状態

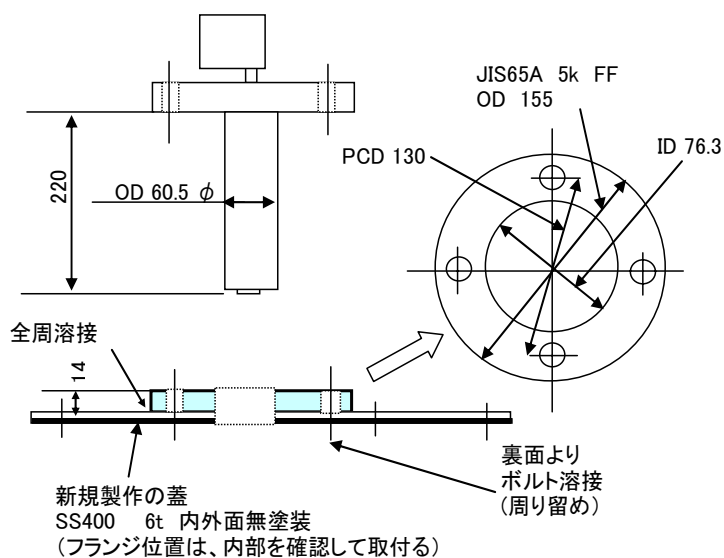


図 5.3.3.6 NO_x・O₂ センサ取付用アダプタ

4) 大気気圧センサ 1 台

大気気圧センサの取り付け状態を図 5.3.3.7 に示す。 暴露上甲板のデッキ天井下に設置した。 MEPC49/22/Add.1 に従って 1Hz 計測をする必要があり、高速応答の工業用センサを市場調査して、以下のセンサに決定した。



図 5.3.3.7 大気気圧センサ

メーカー : サカキコーポレーション
HD9408T-BARO
測定レンジ : 800～1100hpa
出力 : 4～20mA
精度 : 1%F.S.
応答 : 1 s

5) 機関室気圧センサ 1 台

機関室気圧センサの取り付け状態を図 5.3.3.8 に示す。



図 5.3.3.8 機関室気圧センサ

メーカー : サカキコーポレーション
HD9408T-BARO
測定レンジ : 800～1100hpa
出力 : 4～20mA
精度 : 1%F.S.
応答 : 1 s

6) 機関室温度・湿度センサ 1 台

1Hz 計測を考慮して市場調査したが、湿度の換算に高速対応が無く、温度も保護管によって難点があつて、以下のセンサに決定した。



図 5.3.3.9 機関室温度・湿度センサ

メーカー : サカキコーポレーション
HD9008TR
測定レンジ : -40～+80℃
5～98% (RH)
出力 : 4～20mA リニア
精度 : ±1℃
応答 : 5 s

7) アイソレータ箱 1 台

このアイソレータは、各センサ間の電氣的結合を切り離すために設けた物で、同時に記録器に必要な電圧信号(1～5V)に変換している。 図 5.3.3.2 NOx 測定装置の右側に取付けている箱体である。

5.3.4 試験経過及び計測結果

5.3.4.1 機関の工場運転成績

1) 機関性能

本船の主機関は 2002 年 9 月に工場試運転を行っており、工場運転時の主要な機関性能を表 5.3.4.1 に示す。

表 5.3.4.1 工場運転時の機関性能

負 荷	%	50	75	85	100
出 力	kW	1324	1985	2250	2647
回 転 速 度	min ⁻¹	190	218	227	240
シリンダ内圧力 ^(注 1)	MPa	9.56	11.98	12.78	13.70
ラ ッ ク 目 盛 ^(注 1)	mm	41.5	52.5	57.0	64.0
給 気 圧 力	MPa	0.072	0.152	0.185	0.220
給 気 温 度	℃	30	43	44	46
シリンダ出口排気温度 ^(注 1)	℃	294	343	360	393
燃 料 消 費 率 ^(注 2)	g/kWh	179.7	177.1	177.5	179.0
燃料噴射タイミング ^(注 1)	deg.	BTDC 5.7			

注 1 : 6 気筒の平均値を示す。

注 2 : A 重油、真発熱量 42700kJ/kg に換算した値を示す。

2) NOx 排出率

本船の主機関はメンバエンジンとして日本海事協会殿の NOx 鑑定書を取得しており、本機関での NOx 計測は行っていない。したがって、同形機関の NOx 鑑定受検時のデータを基に本機の NOx 排出率を推定した。

LH41LA 形機関は図 5.3.4.1 に示す①～④点で囲まれる出力/回転速度の範囲をグループとし、④点を親エンジンとして、日本海事協会殿の NOx 鑑定を受検し、鑑定書を取得している。

① 2720kW/240min⁻¹ ② 2500kW/240min⁻¹

③ 2495kW/225min⁻¹ ④ 2420kW/225min⁻¹

上記の 4 点の内、本機と回転速度が同一の①、②点の計測データを基に NOx 排出率を推定した。推定結果を表 5.3.4.2 に示す。

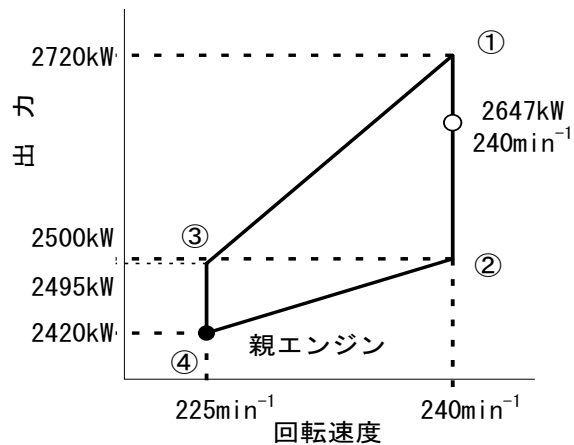


図 5.3.4.1 LH41LAの受検範囲

表 5.3.4.2 NO_x 排出率の推定結果

負 荷	%	25	50	75	100	E3
出 力	kW	662	1324	1985	2647	—
回 転 速 度	min ⁻¹	151	190	218	240	—
NO _x 排出率	g/kWh	21.08	16.39	13.44	11.58	13.64
燃料噴射タイミング	deg.	BTDC 5.7				

3) 排気管の背圧確認試験

NO_x 計測用センサ取り付けによる背圧の上昇、機関性能への影響を確認するため、本船の主機関と同形式機関の工場運転時に背圧の計測を行った。

計測は、本船と工場運転機関との排気管径の相違を考慮し、外径φ48.6のダミーセンサを使用し挿入長さを0、100、200、300mmと変化させ、過給機出口に取り付けたマノメータで背圧の計測を行った。なお、機関負荷は50、75、100%にて計測した。

本船と工場運転との比較を表 5.3.4.3 に、計測時の配置図を図 5.3.4.2 に、ダミーセンサを図 5.3.4.3 に、計測結果を表 5.3.4.4 に示す。

各負荷とも、本船のセンサと同等以上にダミーセンサを挿入したが背圧の変化は見られず、センサ取り付けによる背圧、機関性能への影響は無いことを確認した。

表 5.3.4.3 菱栄丸と工場運転との排気管、センサの比較

			菱栄丸	陸上運転			
排気管	口径	Do	550A	500A			
	内径	Di mm	543.0	492.2			
	断面積	A1 cm ²	2316	1903			
センサ	外径	d mm	60.5	48.6			
	挿入長さ	L mm	220	0	100	200	300
	投影面積	A2 cm ²	132	0.0	48.6	97.2	145.8
面 積 比		A2/A1	0.057	0.000	0.026	0.051	0.077

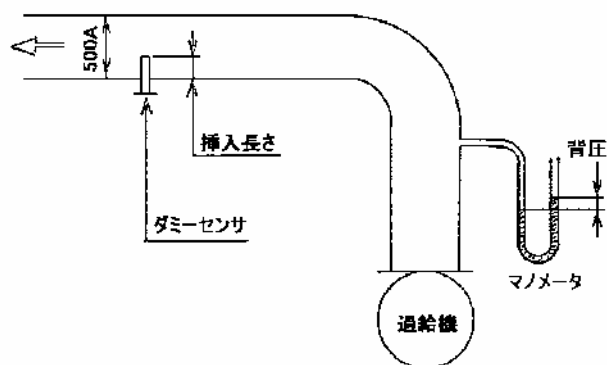


図 5.3.4.2 計測時の配置図



図 5.3.4.3 ダミーセンサ

表 5.3.4.4 背圧の計測結果

過給機出口背圧 (mmAq)				
機関負荷 (%)	ダミーセンサ挿入長さ(mm)			
	0	100	200	300
50	13	13	13	13
75	20	20	20	20
100	30	30	30	30

5.3.4.2 海上試運転成績

本船の海上試運転は2003年1月に行われており、海上試運転時の主要な機関性能を表5.3.4.5に示す。機関性能はA重油使用時の往路、復路の平均を示す。なお、海上試運転時にはNO_x計測は行っていない。

表 5.3.4.5 海上試運転時の機関性能

負 荷	%	50	75	85	100
推 定 出 力 ^(注1)	kW	1295	1925	2235	2620
回 転 速 度	min ⁻¹	190	218	227	240
シリンダ内圧力 ^(注2)	MPa	10.07	12.08	13.00	13.64
ラ ッ ク 目 盛 ^(注2)	mm	41.8	51.8	57.5	63.5
給 気 圧 力	MPa	0.075	0.140	0.171	0.208
給 気 温 度	℃	35	40	42	46
シリンダ出口排気温度 ^(注2)	℃	284	324	340	372
船 速	Kt	13.24	15.78	16.49	17.19
C P Pの翼角	deg.	18.7			

注1：機関回転速度とラック目盛より推定した値を示す。

注2：6気筒の平均値を示す。

5.3.4.3 調査研究試験成績

1) 概要

計測はC P Pの翼角を一定として機関回転速度を変更したE3テストサイクルで、機関出力は50%と75%の2点で、軽荷状態で2回、満載状態で2回、合計4回実施した。機関データは本船に搭載された機関部データログを使用して採取した。

機関出力はデータログで記録された機関回転速度とラック目盛より推定した値を示す。なお、ラック目盛は使用燃料油の真発熱量による修正を行なっている。

2) 第1回目

計 測 日	: 2005年11月16日	
海 域	: 御前崎沖	
積 荷	: 100 トン	
針 路	: 82 deg.	
風 向	: 北	
風 速	: 10 m/sec	
波 浪	: 2.0 m	
機関負荷	: 50%負荷	75%負荷
計測時刻	: 12:41 ~ 13:04	13:19 ~ 13:36
気 圧	: 1013 hPa	1013 hPa
船 速	: 11.0 knot	14.0 knot

C P Pの翼角	:	17.2 deg.	17.3 deg.
機関回転速度	:	192 min ⁻¹	220 min ⁻¹
推定機関出力	:	1365 kW	1950 kW

3) 第2回目

計 測 日	:	2005 年 11 月 17 日	
海 域	:	大原湾沖	
積 荷	:	100 トン	
針 路	:	15 deg.	
風 向	:	北西	
風 速	:	15 m/sec	
波 浪	:	2.5 m	
機関負荷	:	50%負荷	75%負荷
計測時刻	:	12:34 ~ 12:54	13:09 ~ 13:29
気 圧	:	1018 hPa	1017 hPa
船 速	:	12.0 knot	14.5 knot
C P Pの翼角	:	17.5 deg.	17.5 deg.
機関回転速度	:	190 min ⁻¹	218 min ⁻¹
推定出力	:	1325 kW	1930 kW

4) 第3回目

計 測 日	:	2005 年 11 月 20 日	
海 域	:	相馬沖	
積 荷	:	2000 トン	
針 路	:	195 deg.	
風 向	:	北西	
風 速	:	10 m/sec	
波 浪	:	2.0 m	
機関負荷	:	50%負荷	75%負荷
計測時刻	:	12:42 ~ 13:01	13:16 ~ 13:41
気 圧	:	1022 hPa	1022 hPa
船 速	:	12.0 knot	14.0 knot
C P Pの翼角	:	17.3 deg.	17.4 deg.
機関回転速度	:	190 min ⁻¹	220 min ⁻¹
推定出力	:	1265 kW	2020 kW

5) 第4回目

計 測 日	:	2005 年 11 月 21 日
海 域	:	三木崎沖
積 荷	:	2000 トン

針 路	:	235 deg.	
風 向	:	北東	
風 速	:	7 m/sec	
波 浪	:	2.0 m	
機関負荷	:	50%負荷	75%負荷
計測時刻	:	13:13 ~ 13:27	13:42 ~ 14:03
気 圧	:	1020 hPa	1020 hPa
船 速	:	12.0 knot	14.0 knot
C P Pの翼角	:	17.4 deg.	17.2 deg.
機関回転速度	:	190 min ⁻¹	218 min ⁻¹
推定出力	:	1290 kW	1885 kW

5.3.4.4 試験計測データ

1) 計測データの説明

NO_x 濃度の計測値、NO_x 排出率の計算値を表 5.3.4.5 に、陸上運転時との比較グラフを図 5.3.4.4 に示す。また、計測の一例として第 3 回試験の計測グラフを図 5.3.4.6 に、NO_x 排出率の計算結果を表 5.3.4.6 に示す。図 5.3.4.5(a)～図 5.3.4.5(d)には、NO_x の鑑定に重要な 4 パラメータを工場試験のデータと対比させた。

50%負荷の計測値は 11.15～15.96g/kWh で、最小値は最大値の 70%であり、工場運転時の値、16.39g/kWh の 68～97%の値である。11 月 16 日と 11 月 21 日のデータが低い値になっている。

75%負荷の計測値は 11.19～15.00g/kWh で、最小値は最大値の 75%であり、工場運転時の値、13.44g/kWh の 83～112%の値である。50%負荷と同様に 11 月 16 日と 11 月 21 日が低い値を示している。

NO_x、E 3 値は 11.19～15.16g/kWh で、最小値は最大値の 74%であり、工場運転時の値、13.64g/kWh の 82～111%、規制値 15.04g/kWh の 74～101%である。

2) 排出率計算

ユニバーサル(酸素)バランス法、完全燃焼の条件で IMO の規定に従って計算を行った。計算結果を表 5.3.4.7 に示す。

表 5.3.4.5 NO_x 計測結果

計測日		11 月 16 日		11 月 17 日		11 月 20 日		11 月 21 日	
推定出力	kW	1365	1950	1325	1930	1265	2020	1290	1885
回転速度	min ⁻¹	192	220	190	218	190	220	190	218
NO _x 濃度	ppm	1178	1225	1458	1360	1356	1350	998	1007
O ₂ 濃度	%vol	12.60	12.72	12.69	12.85	12.75	12.89	12.71	12.80
NO _x 値	g/kWh	13.25	13.78	15.96	15.00	15.00	14.83	11.15	11.19
NO _x 、E 3 値	g/kWh	13.69		15.16		14.86		11.19	

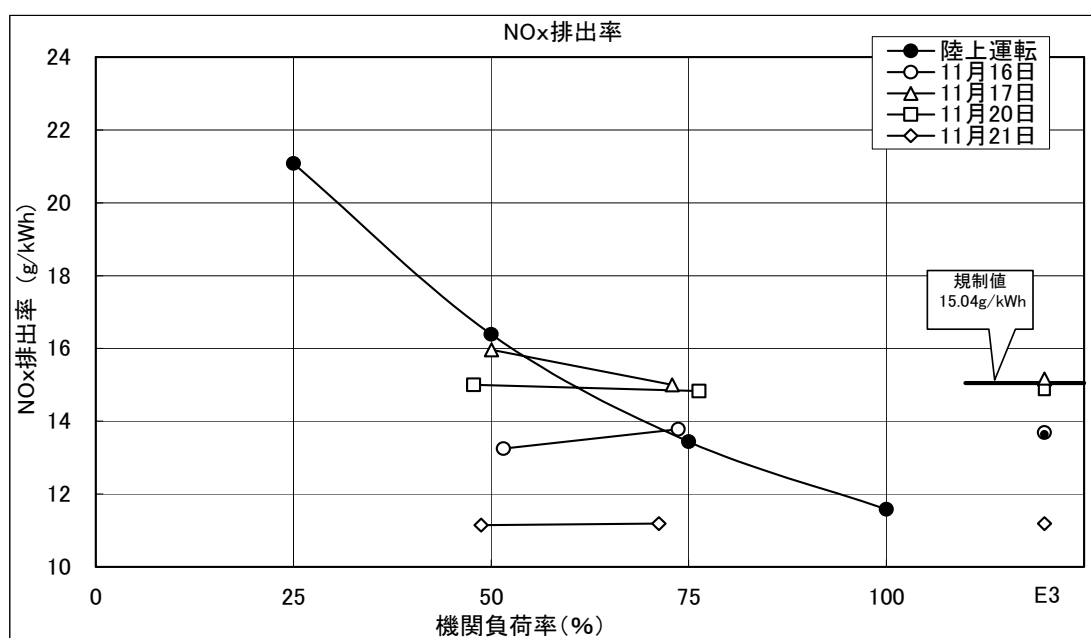


図 5.3.4.4 NO_x 計測結果

表 5.3.4.6 計測データ一覧表

計測日		11 月 16 日		11 月 17 日		11 月 20 日		11 月 21 日	
海 域		御前崎沖		大原湾沖		相馬沖		三木崎沖	
積 荷	ton	100		100		2000		2000	
針 路	deg	82		15		195		235	
風 向		北		北西		北西		北東	
風 速	m/sec	10.0		15.0		10.0		7.0	
波 浪	m	2.0		2.5		2.0		2.0	
機関室内温度	℃	33.7	33.9	30.9	30.9	30.6	30.7	33.1	33.1
大気圧	hPa	1013	1013	1018	1017	1022	1022	1020	1020
機関室気圧	hPa	1015	1015	1020	1019	1024	1024	1023	1022
機関室相对湿度	%	22	21.2	17.9	18.6	18.8	17.0	18.7	18.5
負 荷	%	51.6	73.7	50.1	72.9	47.8	76.3	48.7	71.2
推定出力 ^(注)	kW	1365	1950	1325	1930	1265	2020	1290	1885
回転速度	min ⁻¹	192	220	190	218	190	220	190	218
翼 角	deg.	17.2	17.3	17.5	17.5	17.3	17.4	17.4	17.2
船 速	knot	11.0	14.0	12.0	14.5	12.0	14.0	12.0	14.0
ラック目盛	mm	40.0	48.5	39.0	48.4	38.7	50.1	38.4	47.8
給気圧力	MPa	0.06	0.12	0.06	0.12	0.06	0.13	0.06	0.12
給気温度	℃	40	44	39	44	39	44	40	44
シリンダ [※] 出口排温	℃	322	350	317	347	320	349	322	349
過給機入口排温	℃	382	402	374	395	377	397	382	400
過給機出口排温	℃	333	320	327	314	326	314	330	318
過給機回転速度	min ⁻¹	16400	21400	16000	21300	16000	21300	15900	21000
NOx 濃度	ppm	1178	1225	1458	1360	1356	1350	998	1007
O2 濃度	%vol	12.60	12.72	12.69	12.85	12.75	12.89	12.71	12.80
NOx 値	g/kWh	13.25	13.78	15.96	15.00	15.00	14.83	11.15	11.19
NOx、E 3 値	g/kWh	13.69		15.16		14.86		11.19	
燃料噴射時期	BTDC	5.70							

注) 陸上運転記録を基に燃料油の発熱量、ラック目盛と機関回転速度から推定した値。

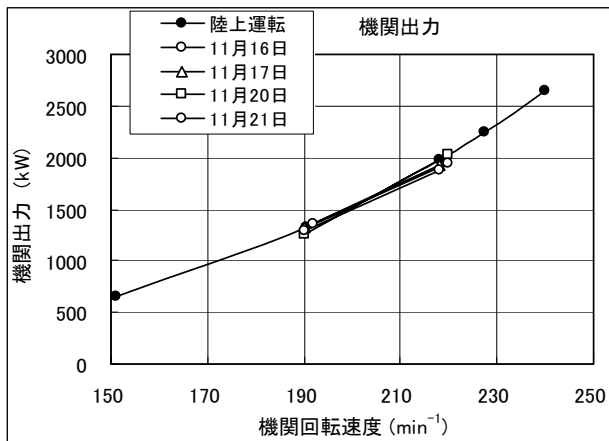


図 5.3.4.5(a) 機関性能比較

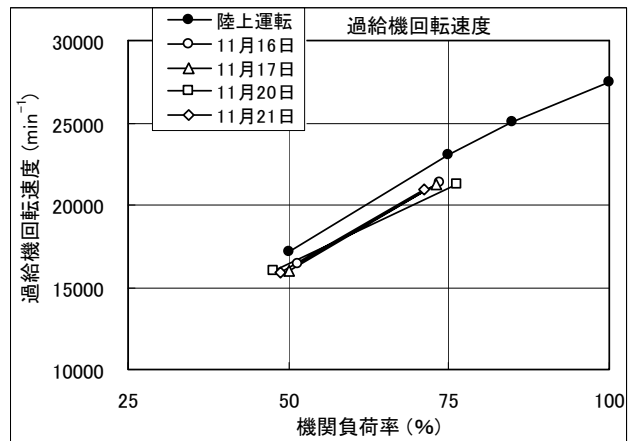


図 5.3.4.5(b) 機関性能比較

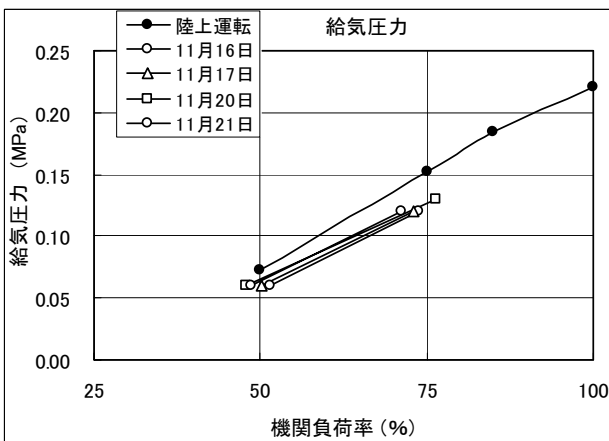


図 5.3.4.5(c) 機関性能比較

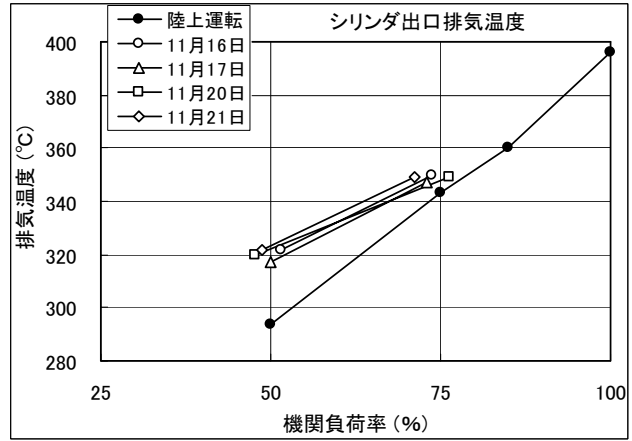


図 5.3.4.5(d) 機関性能比較

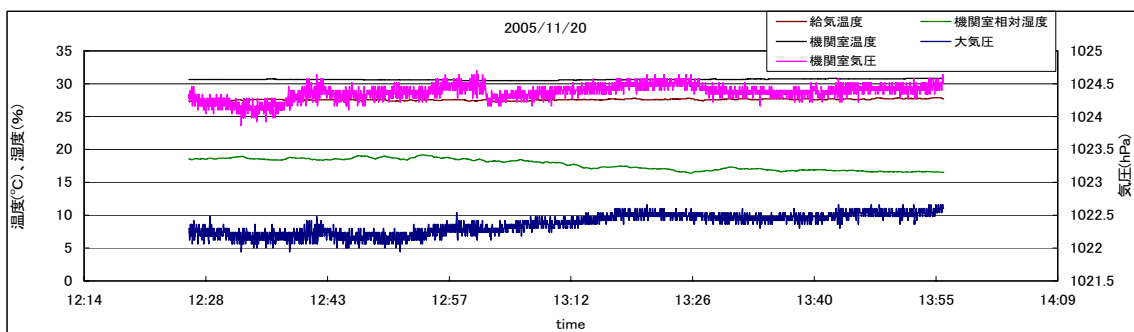
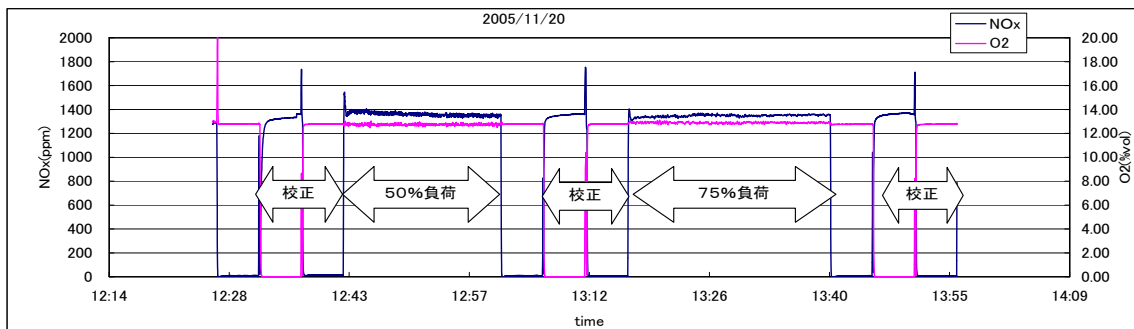


図 5.3.4.6 第3回試験 計測グラフ

表 5.3.4.7 NOx 排出率の計算結果

ユニバーサル酸素バランス法(完全燃焼)

Manufacturer 阪神
Engine Type LH41L
Mode E3

機関番号 LH41L-56
船名 菱栄丸

2005-11-16~21計測

ITEM		11月16日		11月17日		11月20日		11月21日	
		50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%
回転数 (min ⁻¹)		192	220	190	218	190	220	190	218
出力 (kW)		1365	1950	1325	1930	1265	2020	1290	1885
Ta(°C)		33.7	33.9	30.9	30.9	30.6	30.7	33.1	33.1
Pb(kPa)		101.3	101.3	101.8	101.7	102.2	102.2	102.0	102.0
Ra(%)		22.0	21.2	17.9	18.6	18.8	17.0	18.7	18.5
燃料質量流量(kg/h)		257.4	363.3	250.4	359.6	239.6	376.3	244.1	351.4
CO2(%)									
CO(ppm)									
HC(ppm)									
NOx(ppm)	wet	1178	1225	1458	1360	1356	1350	998	1007
O2(%)	wet	12.6	12.72	12.69	12.85	12.75	12.89	12.71	12.8
Tsc(°C)		40	44	39	44	39	40	40	44
Tsc-ref(°C)		40	44	39	44	39	40	40	44
Pc(kPa)		161	221	161	221	161	231	161	221
燃料組成									
C含有量(%m/m)		86.9							
H含有量(%m/m)		12.4							
S含有量(%m/m)		2.9							
N含有量(%m/m)		0.22							
O含有量(%m/m)		0.60							
Pa(kPa)		5.231	5.289	4.467	4.467	4.391	4.416	5.058	5.058
Psc(kPa)		7.375	9.100	6.991	9.100	6.991	7.375	7.375	9.100
Ha(g/kg)		7.147	6.962	4.924	5.123	5.065	4.603	5.822	5.759
Hsc(g/kg)		29.86	26.71	28.24	26.71	28.24	20.51	29.86	26.71
EXHDENS		1.300	1.300	1.304	1.304	1.304	1.305	1.303	1.303
Kw,r		0.943	0.944	0.946	0.947	0.947	0.948	0.945	0.946
VEXHW(m3/h)									
GEXHW(kg/h)		9905	14180	9706	14208	9352	14922	9478	13791
KHDIES		0.982	0.980	0.949	0.952	0.950	0.946	0.965	0.964
Gas mass(g/h)		18085	26873	21147	28951	18970	29963	14384	21102
Wi		0.23	0.77	0.23	0.77	0.23	0.77	0.23	0.77
Mass Wi(g)		4160	20692	4864	22292	4363	23072	3308	16249
NOx値(g/kWh)		13.25	13.78	15.96	15.00	15.00	14.83	11.15	11.19
NOx 制限値(g/kWh)									
15.7									
NOxサイクル値		13.69		15.16		14.86		11.19	

注

*1 NOx,O2ともジルコニア式につきwetとした。

*2 給気温度のリファレンス値は実測値そのものとした。

*3 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。

5.3.4.5 機関の整備状況機関の整備状況

本船は2003年1月に就航しており、2005年8月に初回の中間検査を受けている。
製造から試験日までの主要日時・整備状況を下記に示す。

1) 機関の主要項目と運転時間

工場試験運転	: 2002年 9月 5日
海上試験運転	: 2003年 1月 9日
完工・引渡	: 2003年 1月 23日
中間検査	: 2005年 8月
1年目までの総運転時間	: 約 5,400 時間
2年目までの総運転時間	: 約 11,000 時間
1回目試験日までの運転時間	: 約 15,300 時間

2) 機関の整備状況

就航から試験日までの機関の燃焼に関する整備状況を下記に示す。

ピストンリング点検	: 2004年 8月
交換	: 2005年 8月 7日
ピストン点検	: 2005年 8月 7日
シリンダカバー点検	: 2005年 8月 7日
燃料弁交換	: 2005年 8月 7日

5.3.4.6 評価と課題

- 1) 計測されたNO_x、E3値は最大値で、工場運転時の110%程度であり、陸上と海上、使用燃料油や計測条件の相違等を考慮すると考えられる範囲であると思える。また、IMOの規制値に対しては101%であり、認証上問題のない値である。
- 2) 4回の計測データは25~30%のバラツキが生じている。データのバラツキの原因としては、計測機器の精度、機関の運転状況や外来の要因が考えられるが、各データとも計測前後の校正では問題がないこと、また、機関データも安定していることから、今回の計測からはデータのバラツキの原因を推定することはできなかった。
- 3) ジルコニアセンサの設置場所について

実船計測での計測で今回は特にサンプリングする場所が無く、エコノマイザのスーツブロー用の蒸気吹き出し口の真下にジルコニアセンサを設置した。蒸気によるスーツブローがほとんど毎日実施されるということで、蒸気吹き出し口の真下から位置をずらし、結露した水滴がなるべくセンサに当たらないように考慮した。ところが、予想していた通り、水滴がセンサ部にかかり、センサ内のヒータが破損する不具合が生じた。図5.3.7.1はセンサ部を取り外したときの写真を示す。水滴がセンサ部に落ちた痕跡がみられる。今後、船によってはサンプリングの位置が限られ、このような場所に設置する可能性が出てくると考えられる。このようなことも想定し、例えば水滴混入を防ぐようなカバーを取り付けるなどの対策も考えておく必要があると認識した。



図 5.3.4.7 センサ部を取り外したときの様子

5.3.5 使用燃料の分析

NO_x 計測時の燃料油の成分分析を行なうために燃料のサンプルを採取したが、分析項目等の連絡の不手際があり、窒素分以外は十分な分析が行えなかった。

したがって、燃料油は 180 mm²/s として表 5.3.5.1 に示す推定値を使用してNO_x 値の解析を行なった。(窒素分は実測値)

表 5.3.5.1 燃料油成分の推定値

密 度	g/cm ³ (15°C)	0.9712
動 粘 度	mm ² /s	163.3
総発熱量	kJ/kg	42,879
真発熱量	kJ/kg	40,610
水 分	%(m/m)	0.1
硫 黄	%(m/m)	2.9
炭 素	%(m/m)	86.9
水 素	%(m/m)	12.40
窒 素	%(m/m)	0.22
酸 素	%(m/m)	0.6

5.3.6 技術評価及び今後の課題

5.3.6.1 技術評価

本船は非常に多忙なスケジュールの中で、しかも少数機関部の乗組員にて試験を行うという状況下にあって、無事に目的を達することが出来た。 燃料の分析は、十分な分析ができなかったが、本調査研究の要点を以下に記述して総括とする。

- 1) 試験は全 8 回行われて、最初の試験 4 回分は、機関出力不足およびセンサの排ガスエコノマイザスツブロによる水滴が原因と思われる計測データ不良で再試験となった。再試験 4 回の結果、全て IMO の規制値内に収まった。
- 2) 計測データの結果
 - (1) IMO 規制値 15.04g/kWh、15%許容値 17.30g/kWh をクリアしていた。
但し 1～3 回目までの試験は、工場試験結果に近似しているが、第 4 回目の試験は工場試験データより 30%程度低い値となっていた。
 - (2) データの揺れ (その 1)
計測 4 回の内 2 回、NO_x 計測カーブに大きな切れ込みがあった。
 - * 自動的に記録は回復している。
 - * O₂ も同時に低下した場合もあった (1 回)
 - * 気圧、室温等の記録には切れ込みは無く、計測装置の電源の瞬停は無かった。これは、NO_x、O₂ の計測装置単独の課題であると考えられる。
 - (3) データの揺れ (その 2)
前述の様な大きな揺れは見られないが、小さなデータの揺れが見られる。
11 月 17 日の 50%計測データ (記録の左側) にも見られる様に、校正直後に NO_x 値は時定数で一旦上昇して安定している。(資料編 3. 計測データ 参照)
但し、75%データ (記録の右側) では、その傾向は見られない。
 - * 11 月 17 日の大気圧、機関室気圧のデータの振れ巾が他の計測値より大きかった。
 - (4) 排気管の背圧確認
菱栄丸と同等出力工場試験を利用して、排気ガス管中(500A)にジルコニアセンサと同等径のダミーセンサを挿入して、背圧を計測した。
機関 75%負荷で、30～300mm 挿入したが過給機出口背圧は、挿入長に関係なく 20mm で 100%負荷では 30mm であった。同時に機関性能上問題が無いことも確認された。

5.3.6.2 今後の課題

今回のシミュレーション試験を実施して、次の様な課題が残った。

- (1) NO_x センサの出力低下現象： O₂ の測定値は一定しているが、NO_x のセンサ出力 (ppm)は、徐々に降下している。8 回計測中 4 回右下がりあった。その原因は検討したが不明であった。
- (2) 第 4 回の計測値が、他の計測値より 30%程度低い値であった。この要因が検討したが不明であった。
- (3) 4 回の試験の内、2 回 (1 度は NO_x データ、他の 1 度は O₂ データ) ほど、大きな降下記録あり。
システム上のバグの可能性もあるが原因不明であった。
- (4) 前述の様なデータの変化が発生した原因が不明であることから、ジルコニアセンサの信頼性検証が必要と考える。
- (5) 低速機関を使用した状態でのジルコニアの追従性確認を行えば、データの揺れの検証は可能と判断している。

5.3.7 おわりに

本船は印刷用の紙を運搬している定期 RO/RO 船である為、出入港時の停泊時間が 1 日と短く、加熱した排気管が冷却されるのを待ってセンサの点検を実施する必要もあった。

また本船の乗組員の交代等もあって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。

特に少ない乗組員で 8 回にわたる試験を実施して頂いた[菱栄丸]の方々にお礼申し上げます。

昨年の 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ます。

1. IMO サイズ検出端図及び説明

センサ部取付けのため、図 1.1 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_x/O₂ 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 3 船「菱栄丸」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 1.1 資料-01 のとおりである。

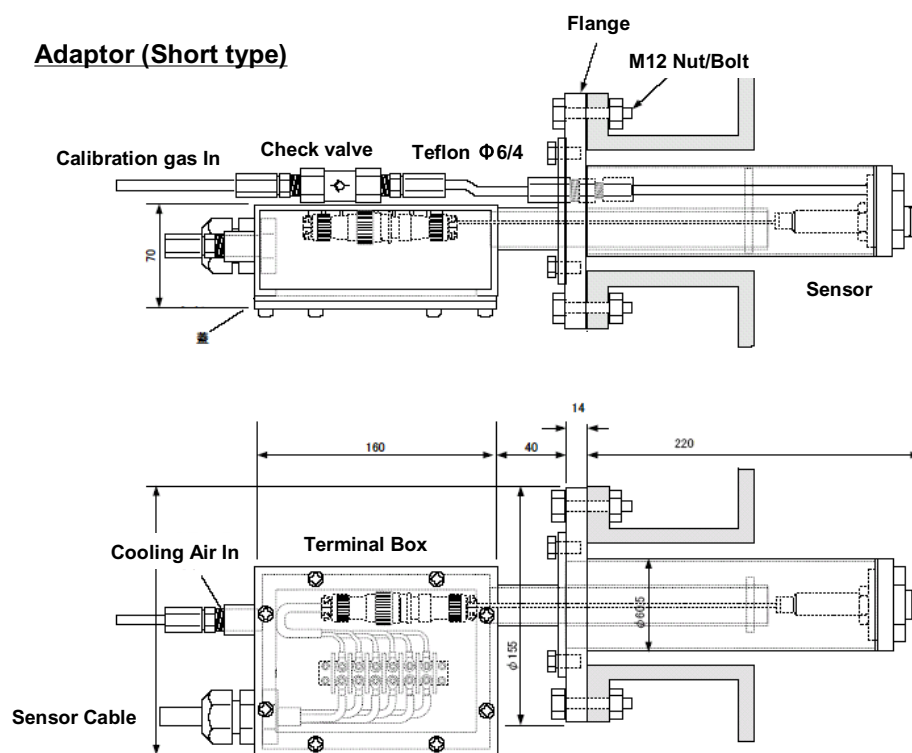


図1.1 資料-01センサアダプタの図

表1.1 資料-01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

2. 計測装置（仕様書、外形図、システムズ等）

・ 船用ジルコニア式NOX、O₂ 分析装置について

ジルコニアセラミックセンサを用いたガス分析計で、船用エンジンから排出される排ガス中のNO_x、O₂濃度の測定ができます。直挿タイプのセンサでサンプリング装置なしでの測定を実現しています。

・ 装置概要

測定対象ガス	船舶用ディーゼルエンジンからの排ガス *1 (ストイキ～リーンの範囲内)
測定範囲	- 窒素酸化物(NO_x) 0～2000 ppm(λ が 1 以上の雰囲気にて) - 酸素(O₂) 0～25 vol%
表示範囲・表示形式	- 窒素酸化物(NO_x) 0～5000 ppm、1 ppm 刻み (#### ppm) - 酸素(O₂) 0.00～50.00 vol%、 0.01vol%刻み(##.## vol %)
装置構成	- 装置本体(受信機) - 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) - センサ - 原理: ジルコニア(ZrO₂) センサ - センサ温度: 約 800℃ - ケーブル(顧客準備) - センサケーブル(CVVS 2sq-6c 相当) - レコーダケーブル(MVVS0.5sq-2c 相当) - 電源ケーブル(CVVS 2sq 相当) - 配管(顧客準備) - 装置本体-センサ取付けアダプタ間Φ6/Φ4 テフロン管 (校正用、冷却用各 1 本) - 装置本体(計装エア) Φ6/Φ4 ナイロン管
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 ₂ (0.1MPa) SPAN ガス(校正用): O ₂ 約 13%vol/N ₂ (0.1MPa)
外部出力	- 内部データログ-用出力 - DC 0～5 V、2 チャンネル アナログ出力 (NO_x, O₂ 非絶縁) - DC0/24V パージ確認用状態出力 - アナログ出力(オプション) - 顧客要求仕様による(電圧、電流、絶縁、非絶縁)
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

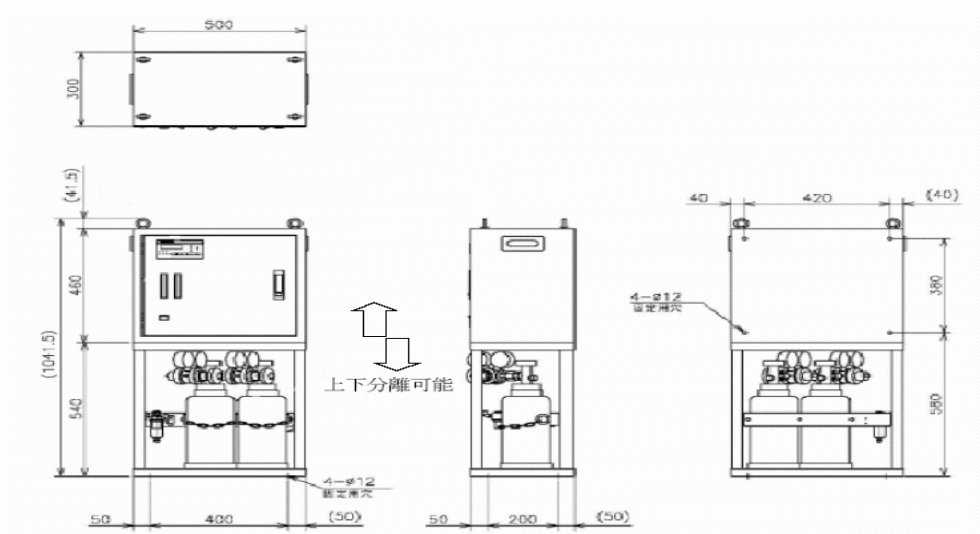
・

性能及び使用条件

測定精度 *2	- NO_x 測定精度 0～2000 ppm ± 40 ppmNO_x 以内 - O₂ 測定精度 0～25 vol% ± 0.5 vol% O₂ 以内
応答速度 (T63)	0.7 秒以下 (測定対象ガスを N ₂ からスパンガス、スパンガスから N ₂ に切り替えた場合、スパンガスは 2000 ppm NO または 4 vol% O ₂)
暖機時間	電源投入後 約 3 分 (指示安定まで約 5 分)
使用および保管環境	- 装置本体 周囲温度: 使用時 5～45℃、保管時 -10～70℃ 湿度: 相対湿度 80 % 以下推奨 - センサ 測定ガス温度: -7～800℃ (推奨 300～600℃) 各部耐熱温度: 六角部 500℃、リード線 200℃、コネクタ 120℃、ケーブル 80℃ 取付位置: 排気管上側 *3 締付トルク: 40±5 N・m 耐振動範囲: 0～294 m/s² 保管場所: 通常の大気環境下 (常温常圧、相対湿度 80 %以下)*4 センサ設置方向 水平取付
取付けアダプタ設置条件	取付けアダプタ先端の煙道への挿入長は煙道直径の 10%～90%になるように煙道壁からフランジ面までのガイドパイプ長を決めてください。ガイドパイプの内径はφ70 以上としてください。 取付けアダプタフランジ: JIS5K65A ボルト: M12 4ヶ
センサ保証期間	6 ヶ月、または (推奨の条件にて) 使用 500 時間 (短い方の期間) *5

・ 装置外形図

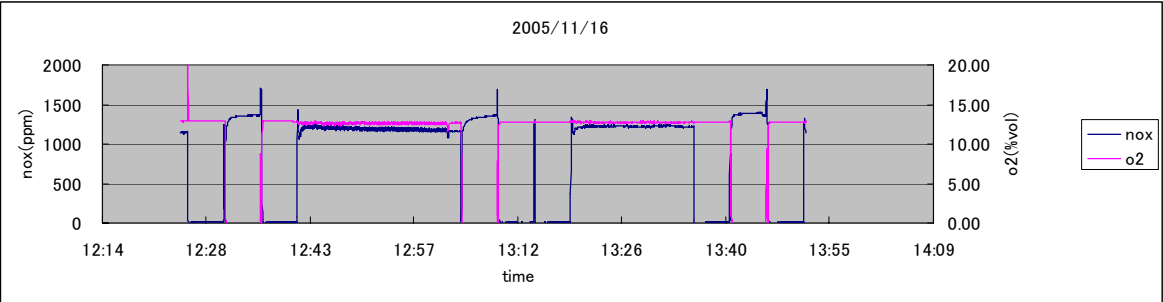
装置は、狭い場所へ設置できるよう、できるだけコンパクトに設計した。また、搬入時の利便性を考え、架台の上下を分離できる構造とした。



3. 計測データ（生データ）

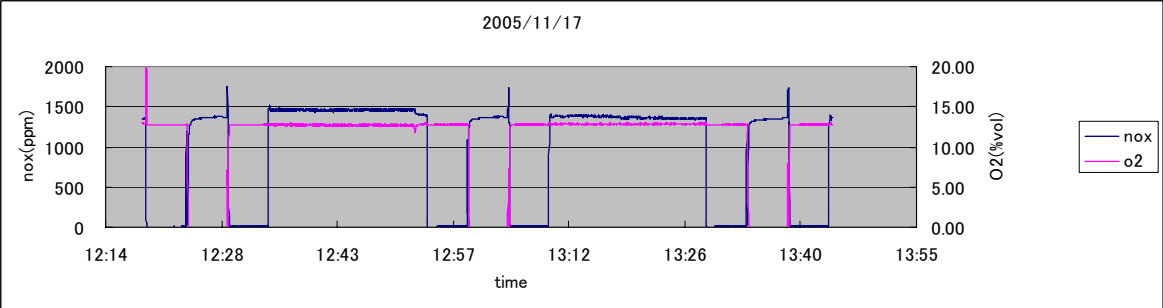
1) 第1回目

(左：50%負荷) (右：75%負荷)



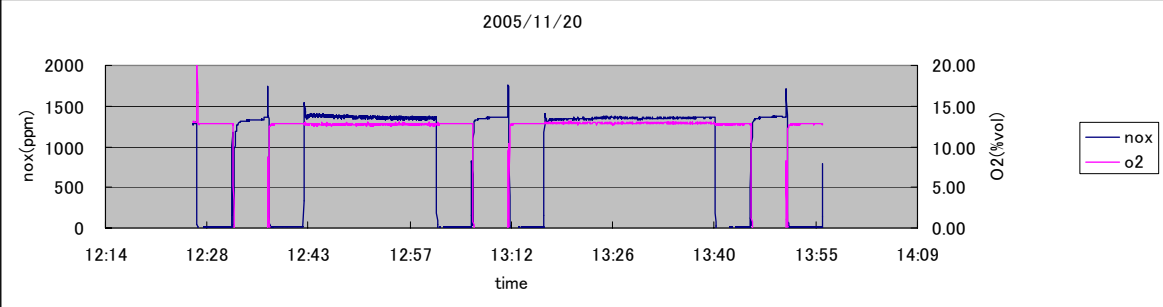
2) 第2回目

(左：50%負荷) (右：75%負荷)



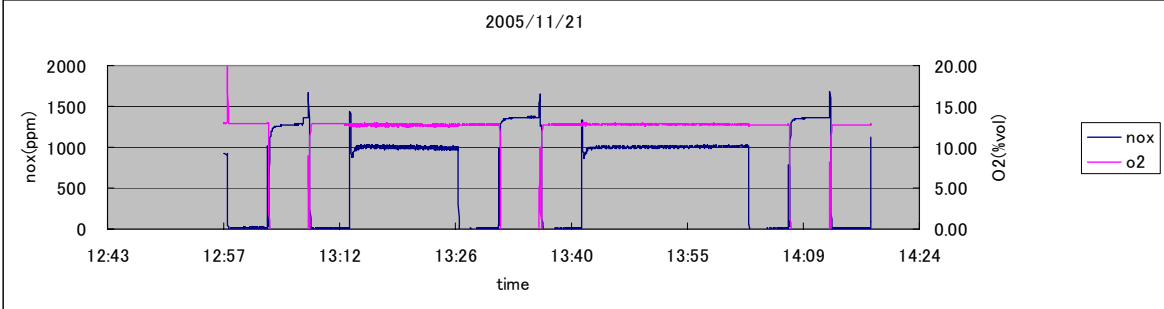
3) 第3回目

(左：50%負荷) (右：75%負荷)



4) 第4回目

(左：50%負荷) (右：75%負荷)

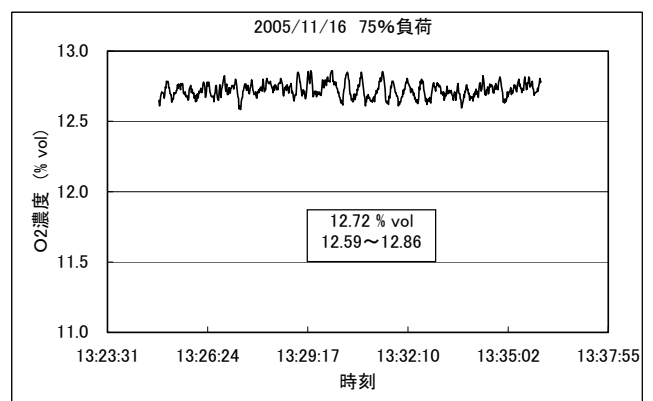
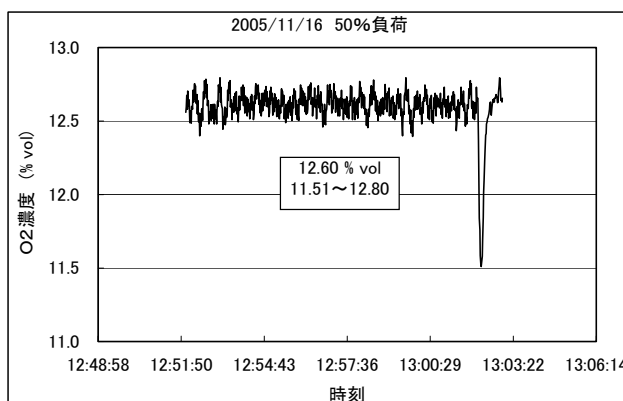
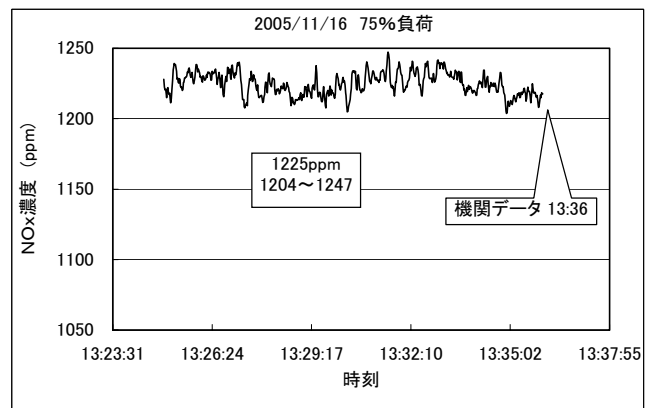
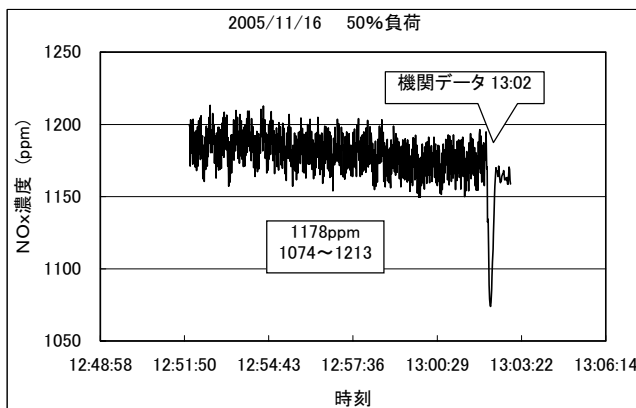
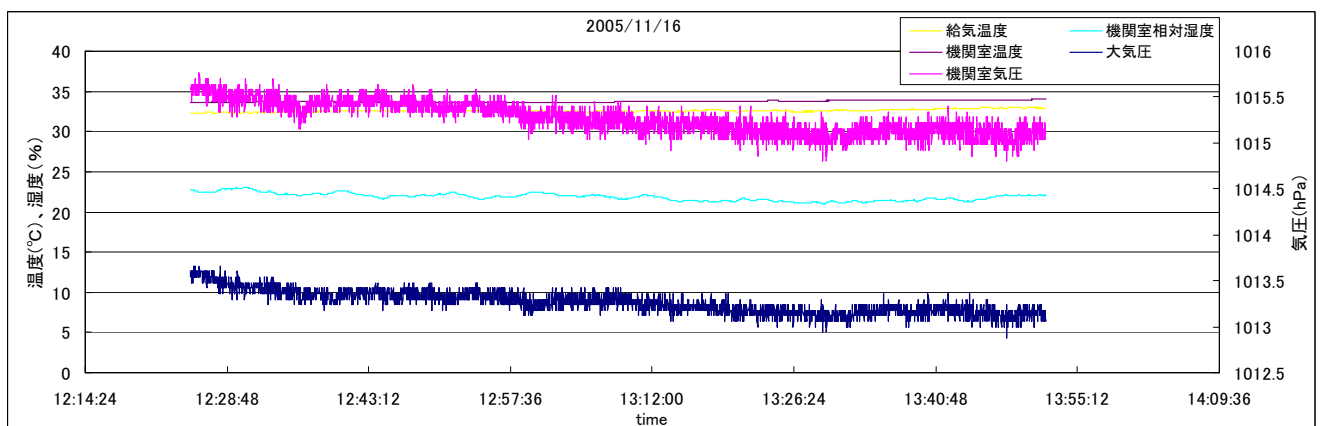
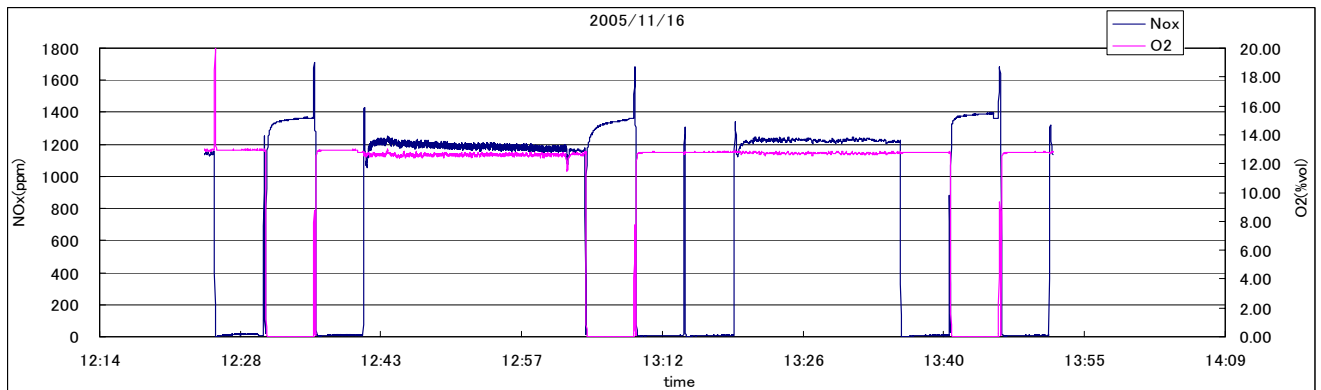


5) 校正データ

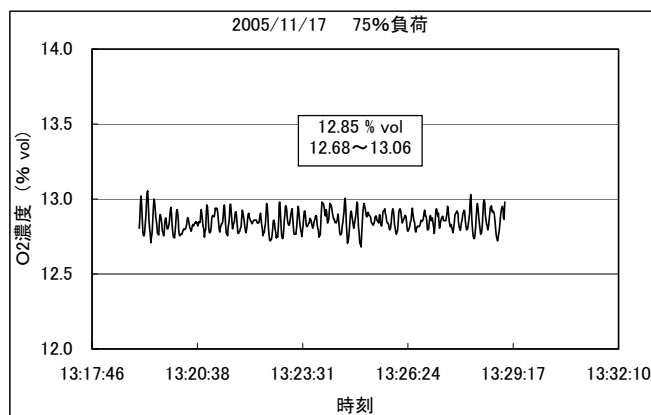
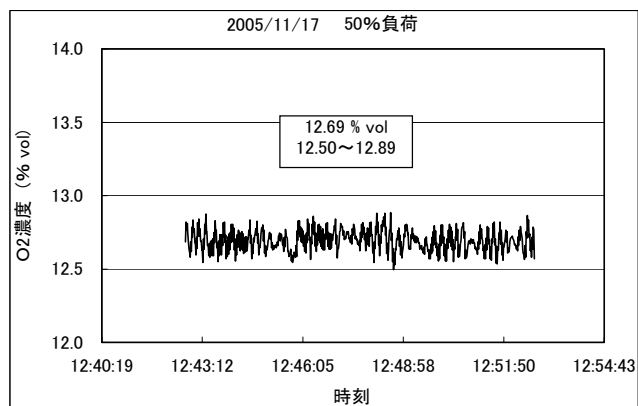
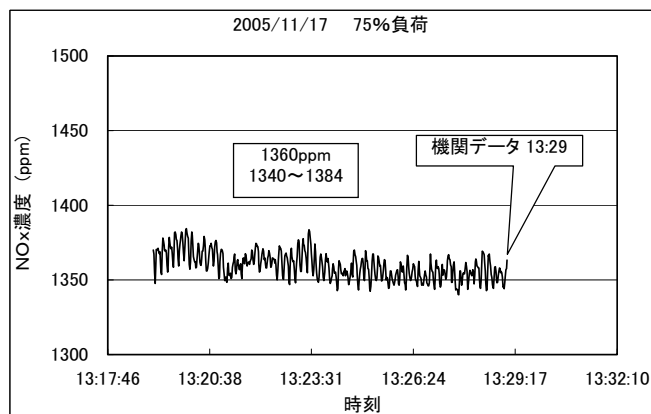
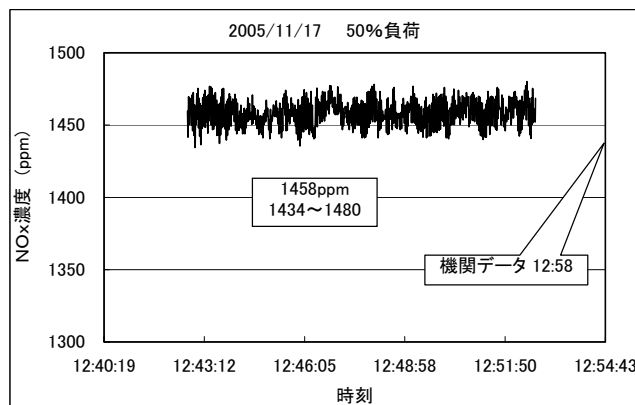
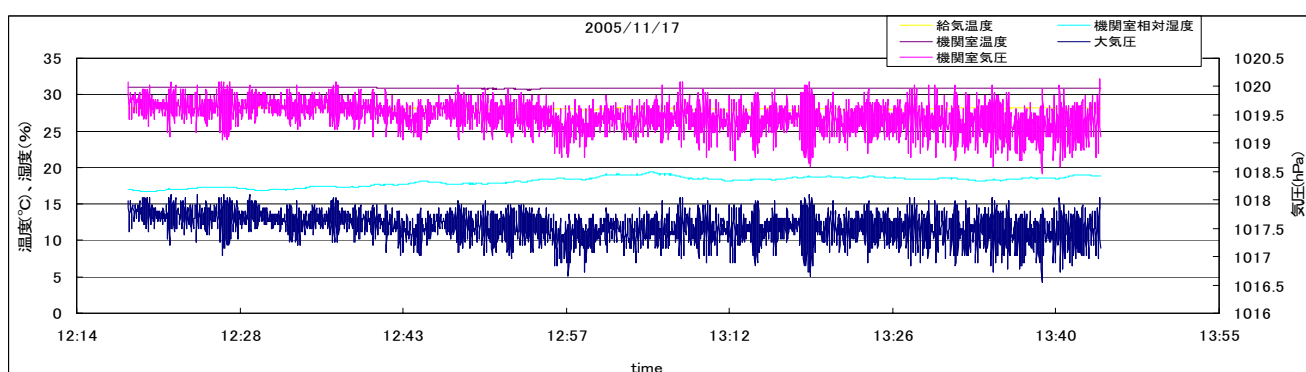
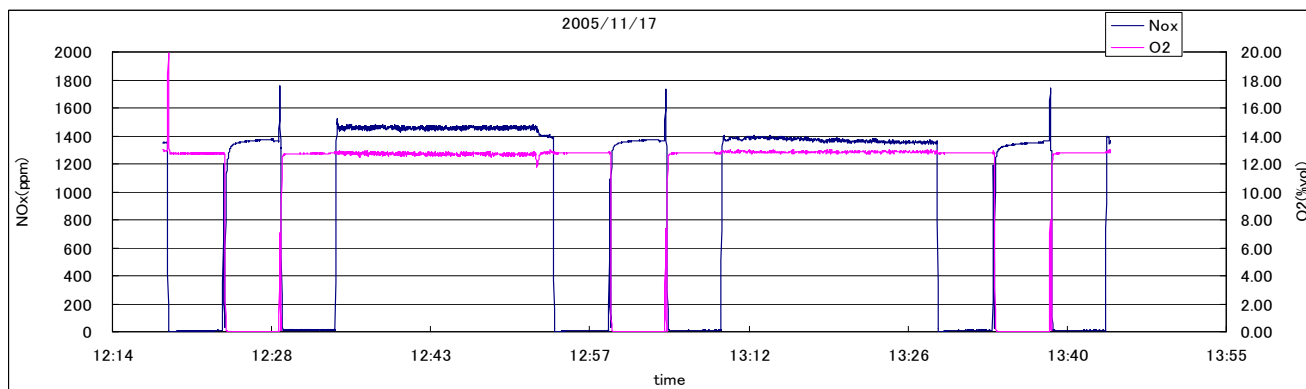
no:1366 o2:12.84%vol				
	no	o2	error_no	errp_o2
11月16日	1362	12.79	-4	-0.05
	1353	12.79	-13	-0.05
	1393	12.78	27	-0.06
11月17日	1363	12.79	-3	-0.05
	1374	12.80	8	-0.04
	1351	12.78	-15	-0.06
11月20日	1362	12.79	-4	-0.05
	1361	12.80	-5	-0.04
	1370	12.77	4	-0.07
11月21日	1363	12.79	-3	-0.05
	1372	12.80	6	-0.04
	1368	12.78	2	-0.06

6) 計測詳細データ

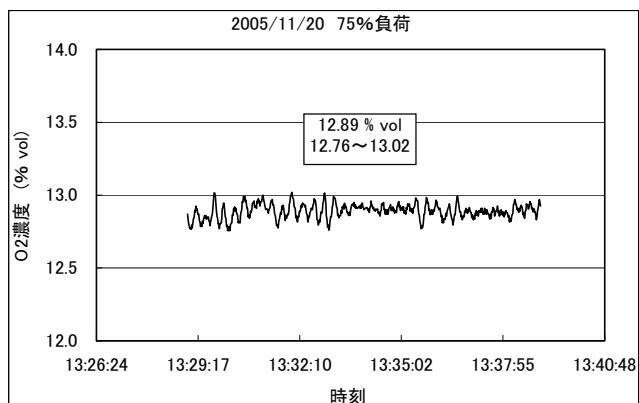
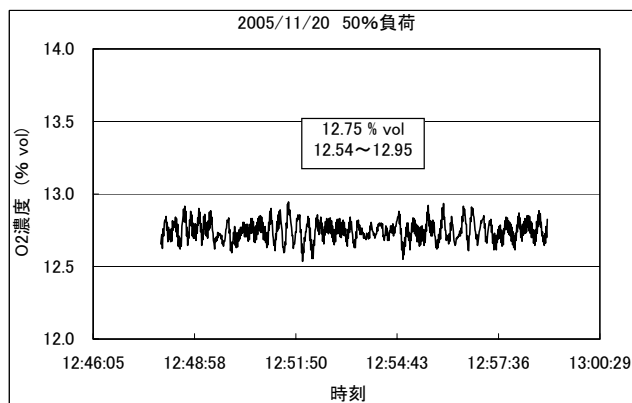
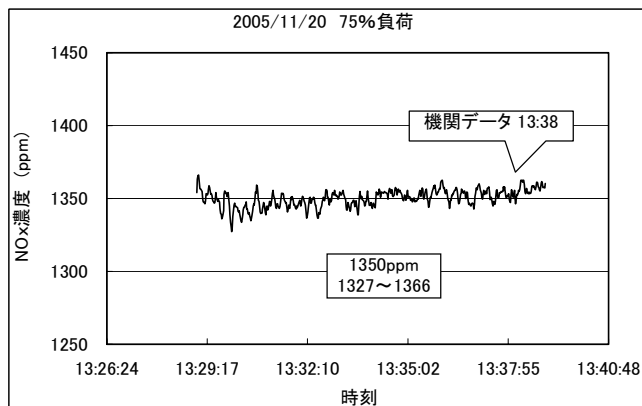
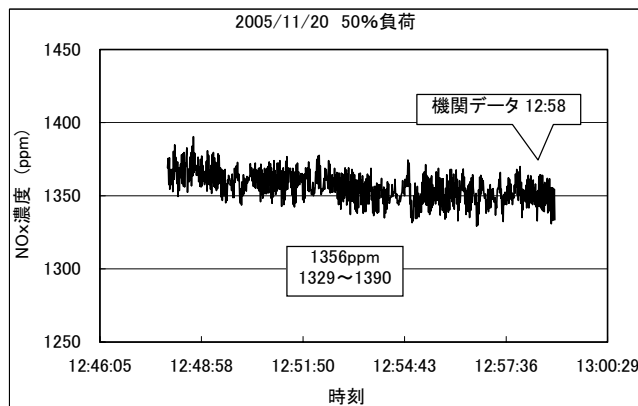
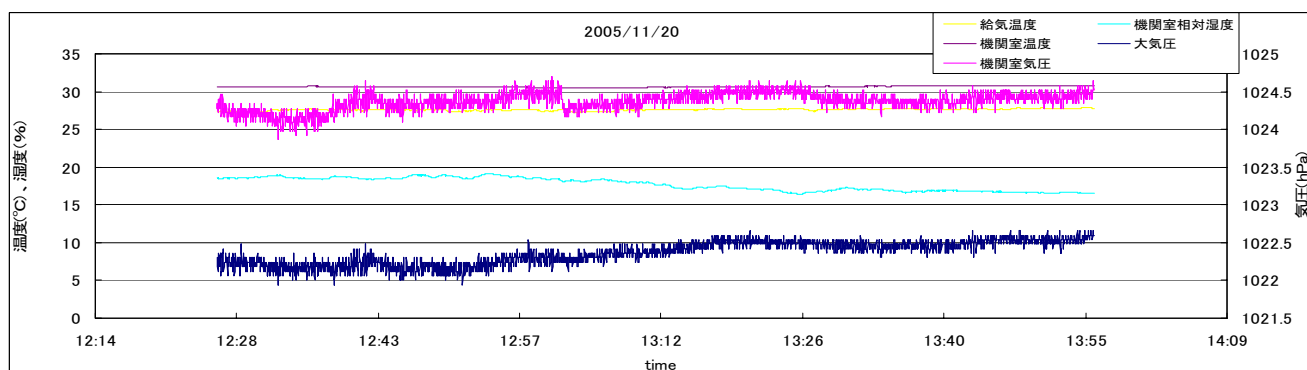
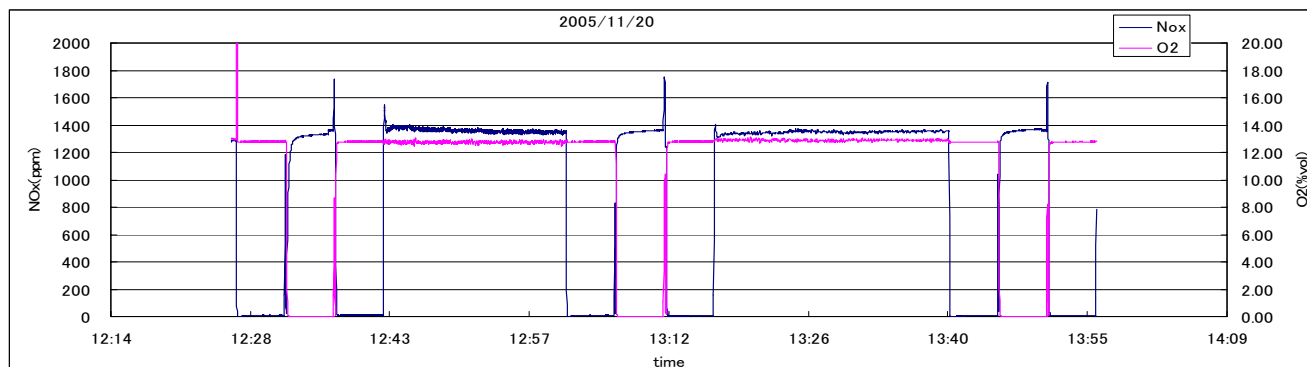
2005 年 11 月 16 日の計測データ



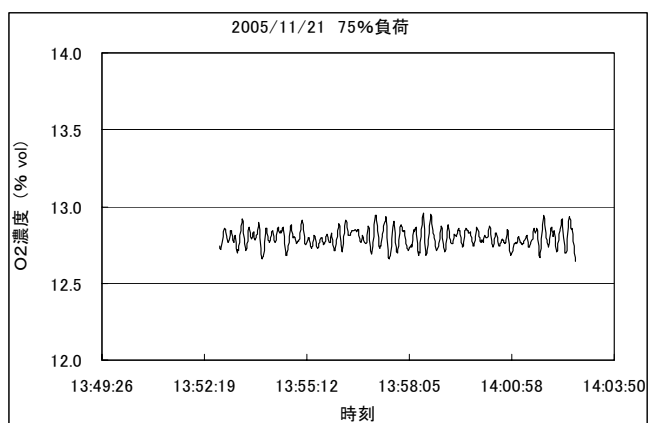
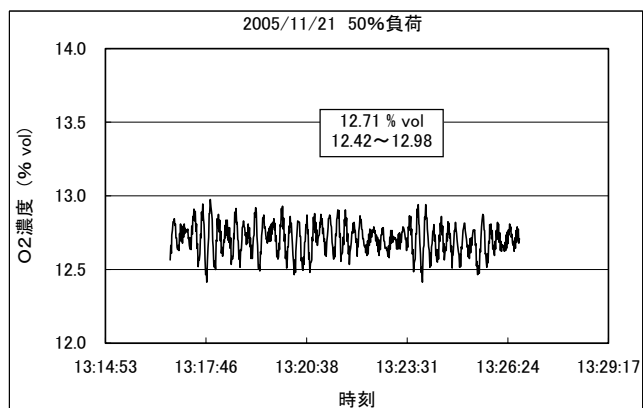
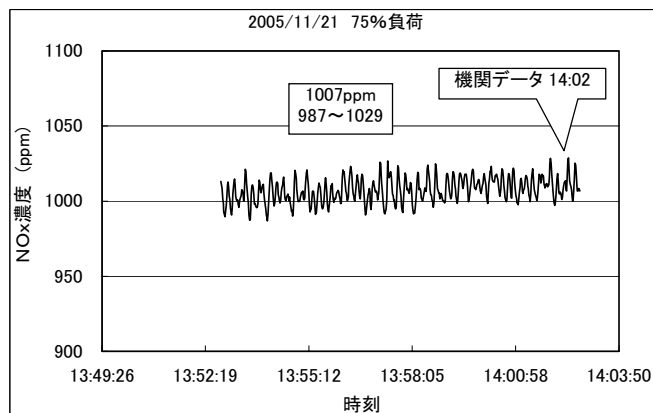
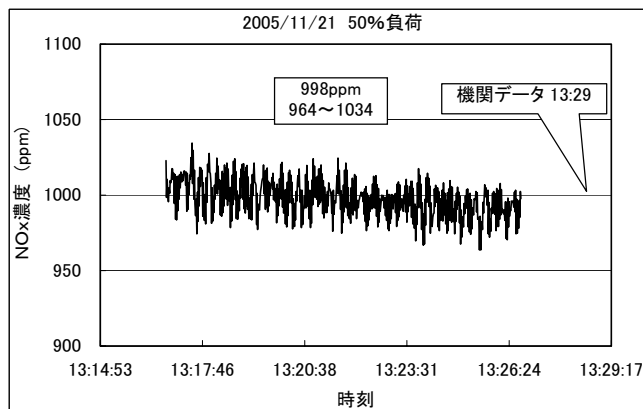
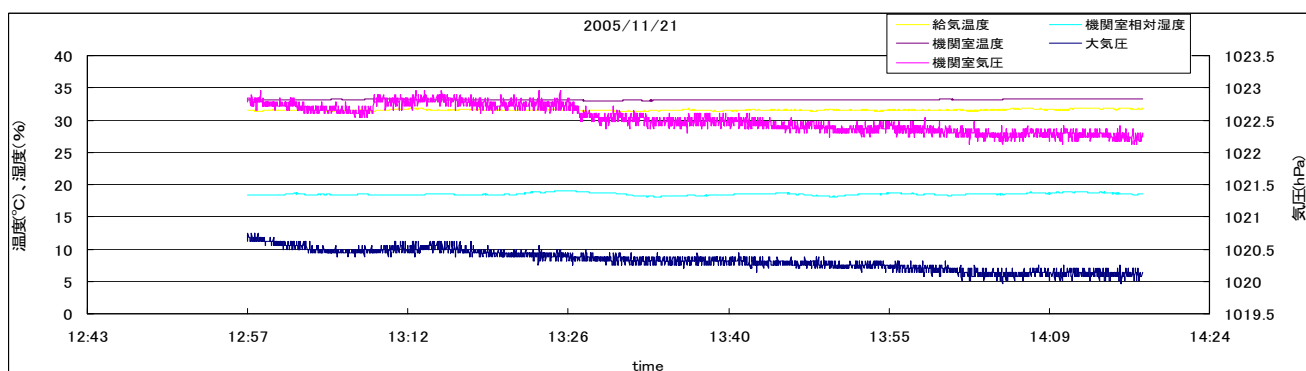
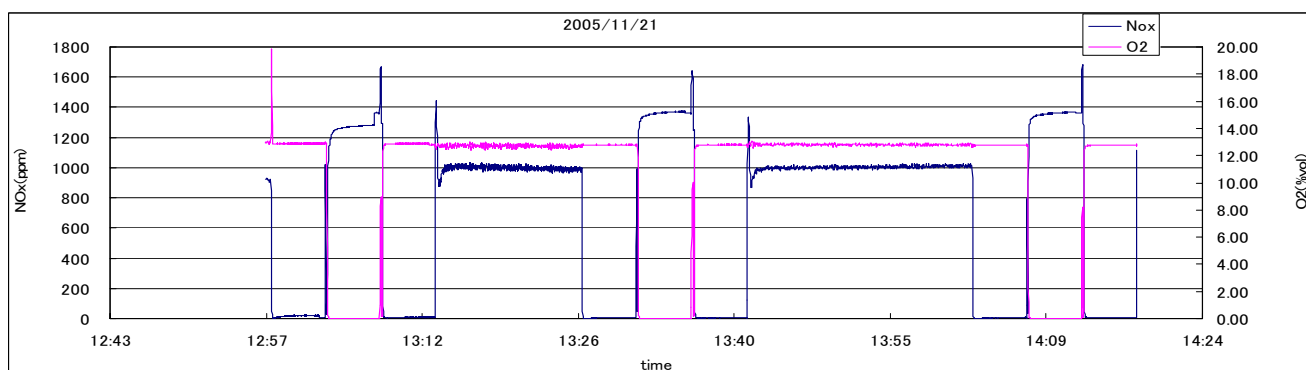
2005 年 11 月 17 日の計測データ



2005 年 11 月 20 日の計測データ



2005 年 11 月 21 日の計測データ



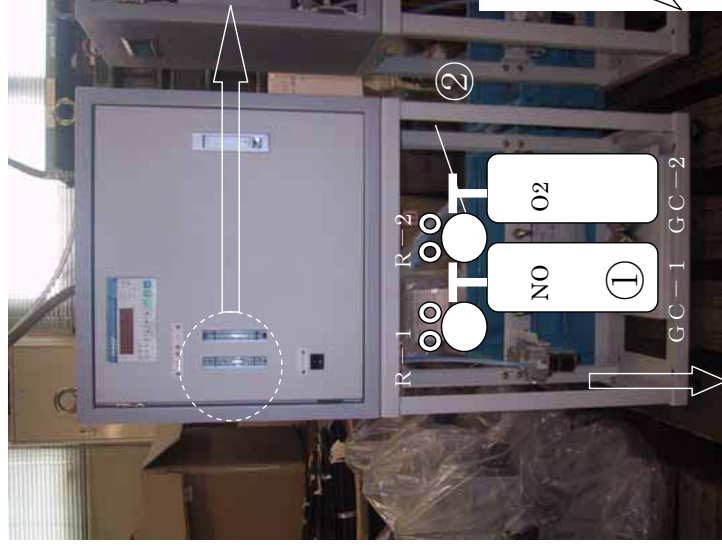
4. NOx 計測装置取扱説明書

船舶の機関部員に計測をお願いすることから、取扱説明書を作成した。
本書の内容は次から構成される。(次ページ以降参照)

- NOx - O2Monitoring 分析装置構成
 - ・ NOxO2 モニタリング分析装置本体
 - ・ センサ取り付けアダプタ
 - ・ 結線図
- NOx - O2Monitoring 分析装置操作説明
- 冷却エア流量の調整
- データログの操作手順
- 構成ガス流量の調整および校正手順

NOx-O2 Monitoring 分析装置構成

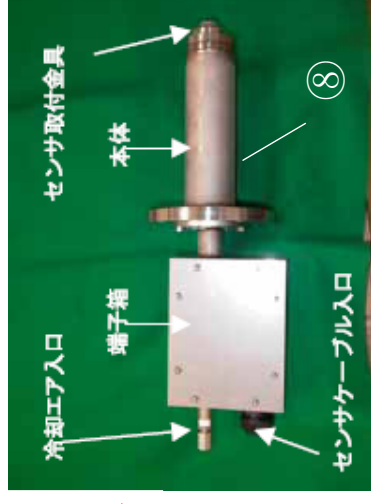
NOxO2 モニタリング分析装置本体



FM-1 (校正ガス流量計) : 1.0l/min

FM-2 (冷却用 AIR 流量計) : 10l/min

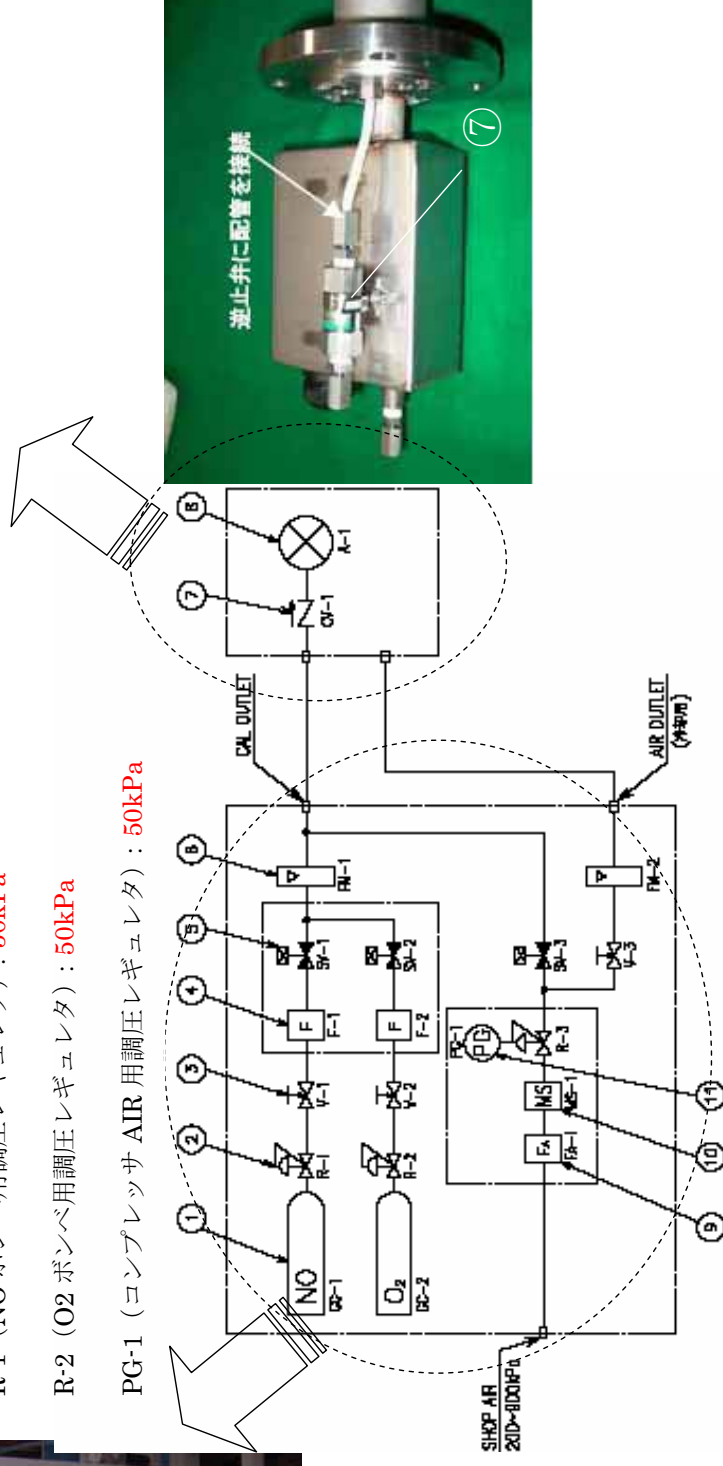
センサ取り付けアダプタ



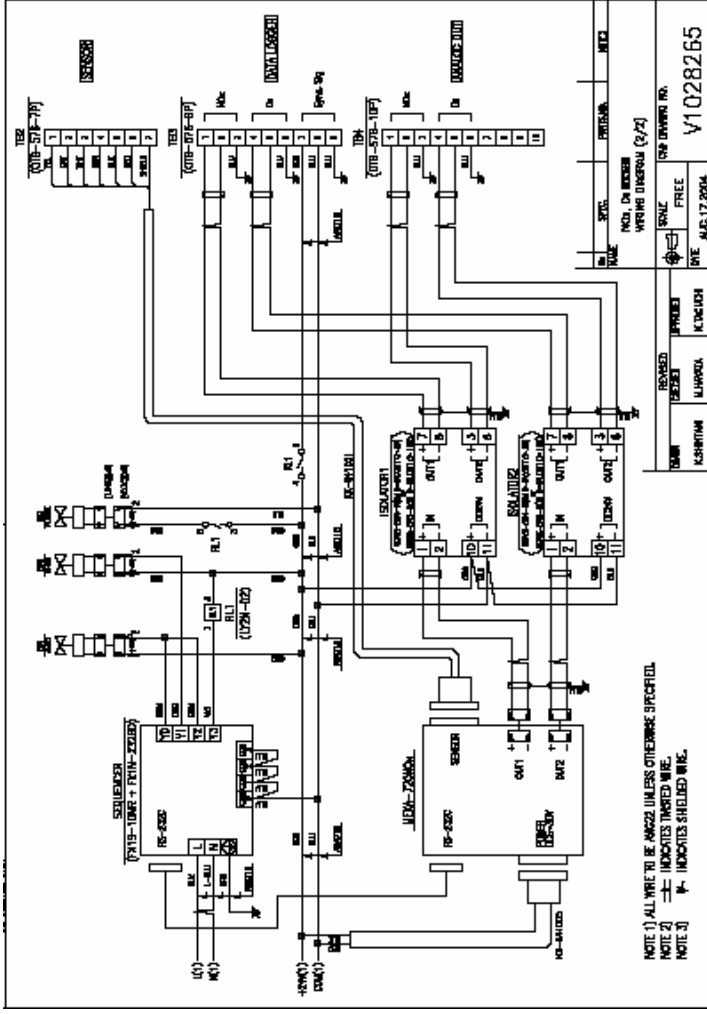
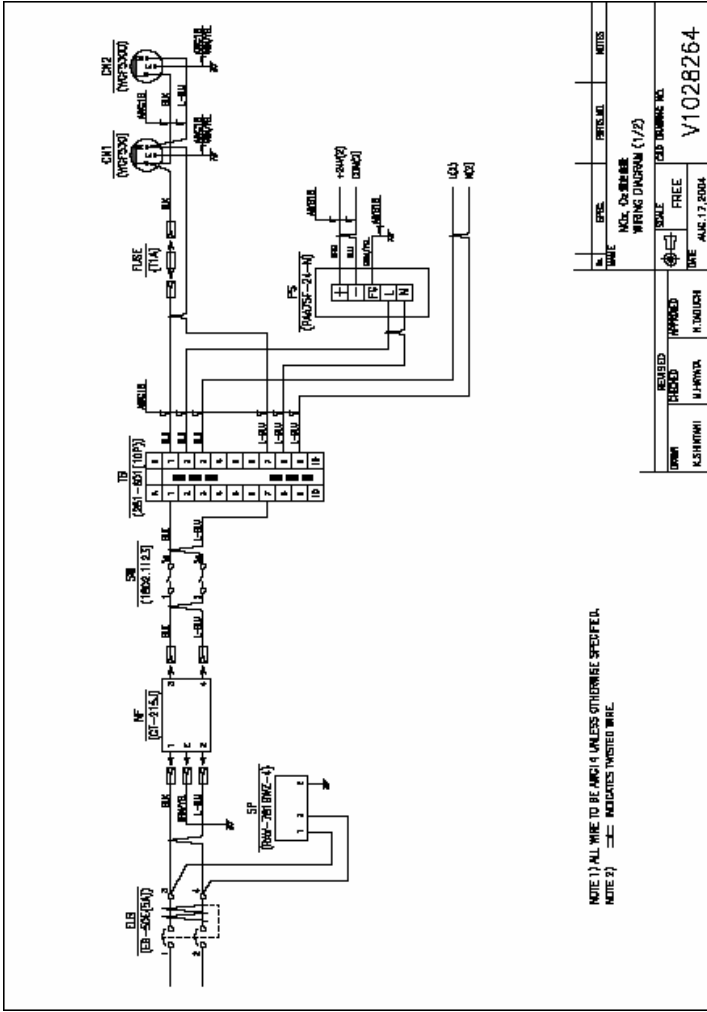
R-1 (NO ボンベ用調圧レギュレタ) : 50kPa

R-2 (O2 ボンベ用調圧レギュレタ) : 50kPa

PG-1 (コンプレッサ AIR 用調圧レギュレタ) : 50kPa



結論図

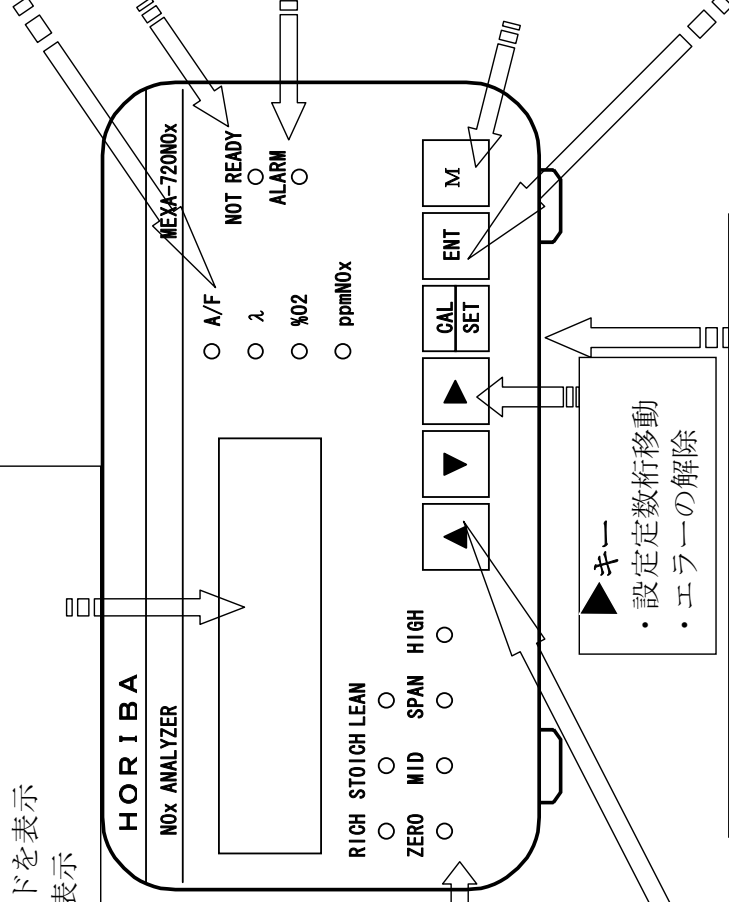


NOx-O2 Monitoring 分析装置操作説明

表示器

- ・%O2 測定モード時 : 酸素濃度を表示
- ・NOx 測定モード時 : NOx 濃度を表示
- ・CH 設定状態 : CH 番号を表示 (ex. 「ch000」)
- ・定数設定状態 : 設定定数を表示
- ・ガス校正状態時 : 校正ガス濃度を点滅表示
- ・暖機時 : 暖機完了までの残り時間を表示
- ・警報時 : エラーコードを表示
- ・ページ時 : 「PUG」を表示

%O2 : O2 計測時・O2 校正時に点灯
ppmNOx : NOx 計測時・NOx 校正時に点灯



校正 LED

- ・ZERO : O2・NOx のゼロガス校正時点灯
- ・SPAN : O2・NOx のスパンガス校正時点灯

▲▼キー

- ・表示チャネル切替
- ・設定定数増減
- ・on/off 切替

CAL/SET キー

- ・測定モード時:
 - ・ガス校正状態へ移行
 - ・CH 設定状態へ移行 (3 秒間押下)
 - ・ガス校正状態時: 校正種別変更

ENT キー

- ・ガス校正状態: 校正実行
- ・ガス校正状態 (校正濃度編集時): 濃度確定
- ・CH 設定状態: CH 番号を確定し、定数設定状態へ遷移
- ・定数設定状態: 定数を確定し、CH 設定状態へ遷移

M キー

- ・測定状態時: 表示内容切替
- ・NOx→O2→NOx→O2→NOx...
- ・ガス校正状態: 測定状態へ遷移
- ・CH 設定状態: 測定状態へ遷移
- ・定数設定状態: 測定状態へ遷移

冷却エア流量の調整

冷却エア流量の調整

<調整手順>

1. 本体架台下部のエアレギュレータの入口に圧縮空気（200～900 kPa）を供給してください。
2. 圧力ゲージが $50 \text{ kPa} \pm 5 \text{ kPa}$ を示すように、レギュレータのバルブを調整してください。
3. 本体架台上部のフロントパネルを開けてください。
4. AIR 側（右）の流量計が $20 \text{ L/min} \pm 2 \text{ L/min}$ を示すよう、エア用のニードルバルブ（下）を調節してください。
5. フロントパネルを閉じてください。



圧縮空気入口（200kPa～900kPa）

$50 \text{ kPa} \pm 5 \text{ kPa}$

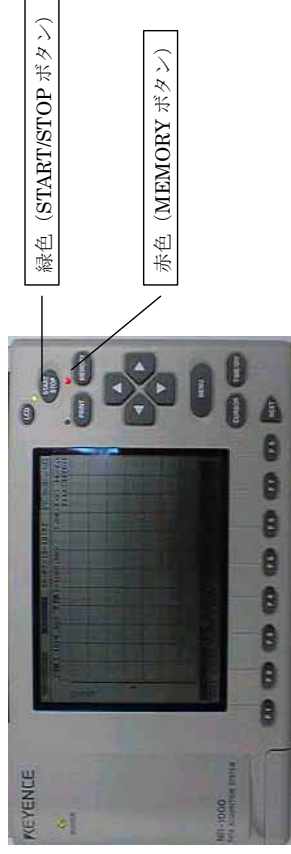


冷却AIR調整用ニードルバルブ

データロガの操作手順

必ず校正前にデータロガの準備をお願いします。

1. START ボタンを押してください。
2. 緑色のランプが点灯し、データロギングがスタートします。
3. 次に MEMORY ボタンを押してください。
4. 赤色のランプが点灯し、データが 32M のコンパクトフラッシュのメモ리카ードに格納されていきます。(メモ리카ードが挿入されていない場合、蓋が開いている場合はランプが点灯しません。)
5. 計測完了後、MEMORY ボタンを押して下さい。
6. 赤色のランプが消灯し、データがメモ리카ードに保存されます。(必ず赤色ランプが消灯するのを待ってください。)
7. 次に再度、MEMORY ボタンを押すと、赤色ランプが点灯しデータがメモ리카ードに格納されます。(ファイル名は 01,02,03 と自動で更新されます。)
8. 計測終了後、MEMORY ボタンを押し、その後 START/STOP ボタンを押してください。(赤色、緑色のランプが消灯するのを確認してください。)
9. 下記写真の通り、メモ리카ードを抜いてください。



校正ガス流量の調整および校正手順

校正ガス流量の調整

<調整手順>

1. 配線・配管を完了し、装置電源を ON（取説 3.1 節参照）にしてください。
2. 本体架台下部の NO ボンベ・O₂ ボンベの元栓を開け、レギュレータの圧力ゲージが $50 \text{ kPa} \pm 5 \text{ kPa}$ になるようにバルブで調整してください。
3. 本体架台上部のフロントパネルを開けてください。
4. NO_x スパン校正シーケンスを開始してください。
5. NO スパンガスが流れている間に、CAL 側（左）の流量計が $1.0 \text{ L/min} \pm 0.2 \text{ L/min}$ を示すよう NO のニードルバルブ（上）を調整してください。
6. O₂ スパン校正シーケンスを開始してください。
7. O₂ スパンガスが流れている間に、CAL 側（左）の流量計が $1.0 \text{ L/min} \pm 0.2 \text{ L/min}$ を示すよう O₂ のニードルバルブ（中）を調整してください。
8. フロントパネルを閉じてください。

NOゼロ、スパン校正

<校正手順>

1. 装置電源を ON にしてから 3 分以上暖機します。
2. NO ガスボンベ・O₂ ガスボンベの元栓を開いてください。
3. **[M]** キーを押し、**[ppmNO_x]** LED を点灯させてください。
4. **[CAL/SET]** キーを 1 回押してください。**[ZERO]** LED が点灯し、設定されているゼロガス濃度が表示されます。
5. 濃度設定が正しいことを確認し、**[ENT]** キーを押してください。ゼロ点校正シーケンスが開始されます。
6. 濃度表示の点滅終了（校正終了）後、**[CAL/SET]** キーを 2 回押してください。**[SPAN]** LED が点灯し、設定されているスパンガス濃度が表示されます。

7. 濃度設定が正しいことを確認し、**ENT** キーを押してください。スパン点校正シーケンスが開始されます。
8. 濃度表示の点滅終了（校正終了）後、**M** キーを押してください。測定モードに戻ります。

参考： 上記手順中、表示された校正ガス濃度が正しくない場合、そのまま **△** **→** キーを用いて修正することが可能です。この場合、いったん **ENT** キーで修正を確定した後、校正実行のためにもう一度 **ENT** キーを押してください。

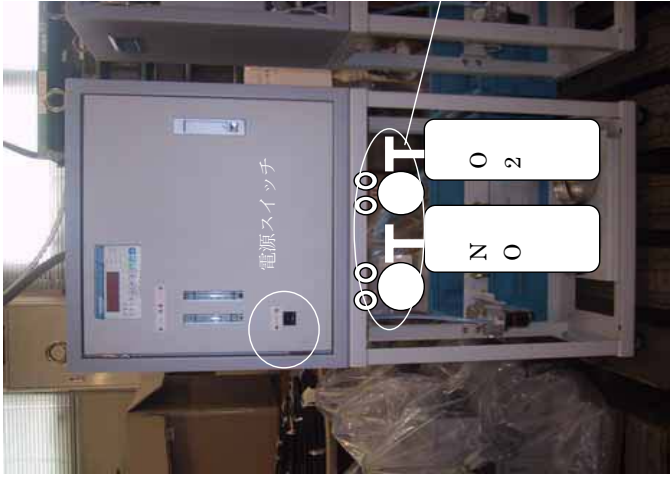
02 スパン校正

<校正手順>

1. 装置電源を ON にしてから 3 分以上暖機します。
2. O₂ ガスボンベの元栓を開いてください。
3. **M** キーを押し、[%O₂] LED を点灯させてください。
4. **CAL/SET** キーを 1 回押してください。[SPAN] LED が点灯し、設定されているスパンガス濃度が表示されます。
5. 濃度設定が正しいことを確認し、**ENT** キーを押してください。スパン点校正シーケンスが開始されます。
6. 濃度表示の点滅終了（校正終了）後、**M** キーを押してください。測定モードに戻ります。

参考： 上記手順中、表示された校正ガス濃度が正しくない場合、そのまま **△** **→** キーを用いて修正することが可能です。この場合、いったん **ENT** キーで修正を確定した後、校正実行のためにもう一度 **ENT** キーを押してください。

参考： 校正シーケンス中は、必要なガスが自動的に流れます。また、シーケンスの時間は CH57 の設定に従います。詳細は取説 5.1 節をご覧ください。



50kPa±5 kPa



NO スパンガス調整用ニードルバルブ

O2 スパンガス調整用ニードルバルブ

5.4 NOx 低減装置の IMO ガイドライン案作成

5.4.1 はじめに

IMO MARPOL 73/78 ANNEX VI が 2005 年 5 月に発効され、これに伴うガイドライン作成が継続され、2005 年 7 月に船上排気ガス洗浄装置ガイドラインが採択された。2005 年 2 月に日本での実績を踏まえ船用ディーゼル機関の NOx 削減後処理システムである SCR 脱硝装置のガイドライン日本案ドラフトを作成し 2005 年 2 月に開催された IMO DE48 に Information Paper として提出した。これに引き続き NOx 低減装置として水噴射装置、水エマルジョン装置のガイドライン日本案を作成して、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、平成 17 年度はこれらのガイドライン日本案を作成して 2006 年 4 月に開催される BLG 10 に提出したので報告する。

5.4.2 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 に関する下表に示す 5 つのガイドライン作成が合意された。

この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 NOx 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、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、NOx 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 で行われた。これは SOx 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 NOx 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 月に開催された第 48 回 DE にインフォメーションペーパーとして提出した。さらに、本年度は NOx 低減装置として水噴射装置、水エマルジョン装置のガイドライン日本案を作成して、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た。

No	ガイドライン	備 考
1	Guidelines on representative samples of the fuel delivered for use on-board ships 燃焼用燃料油のサンプリングに関するガイドライン	2002 年 3 月 MEPC47 で承認
2	Guidelines for on-board NOx monitoring and recording devices 船上 NOx モニタリングと記録装置のガイドライン	2003 年 7 月 MEPC49 で承認
3	Guidelines on equivalent methods to reduce on-board NOx emission 船上 NOx 同等削減方法のガイドライン	2006 年 4 月 BLG10 で審議予定
4	Guidelines on on-board exhaust gas cleaning systems 船上排気ガス洗浄装置ガイドライン	2005 年 7 月 MEPC53 で承認
5	Guidelines on other technological methods verifiable or enforceable to limit SOx emission SOx 規制に対して検証または執行できる他の技術方法に関するガイドライン	

5.4.3 研究計画及びチームメンバー

本 NOx 低減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 NOx 低減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した。

2) ドラフト作成

上記全体構成計画を踏まえ、採択された船上排気ガス洗浄装置ガイドライン、IMO テクニカルコード、ISO 規格等を基に、性能試験による認証方法と間接監視の検証方法を組み合わせた方式（スキーム A）と連続直接監視法による実証方式（スキーム B）の 2 系列のドラフトを作成した。

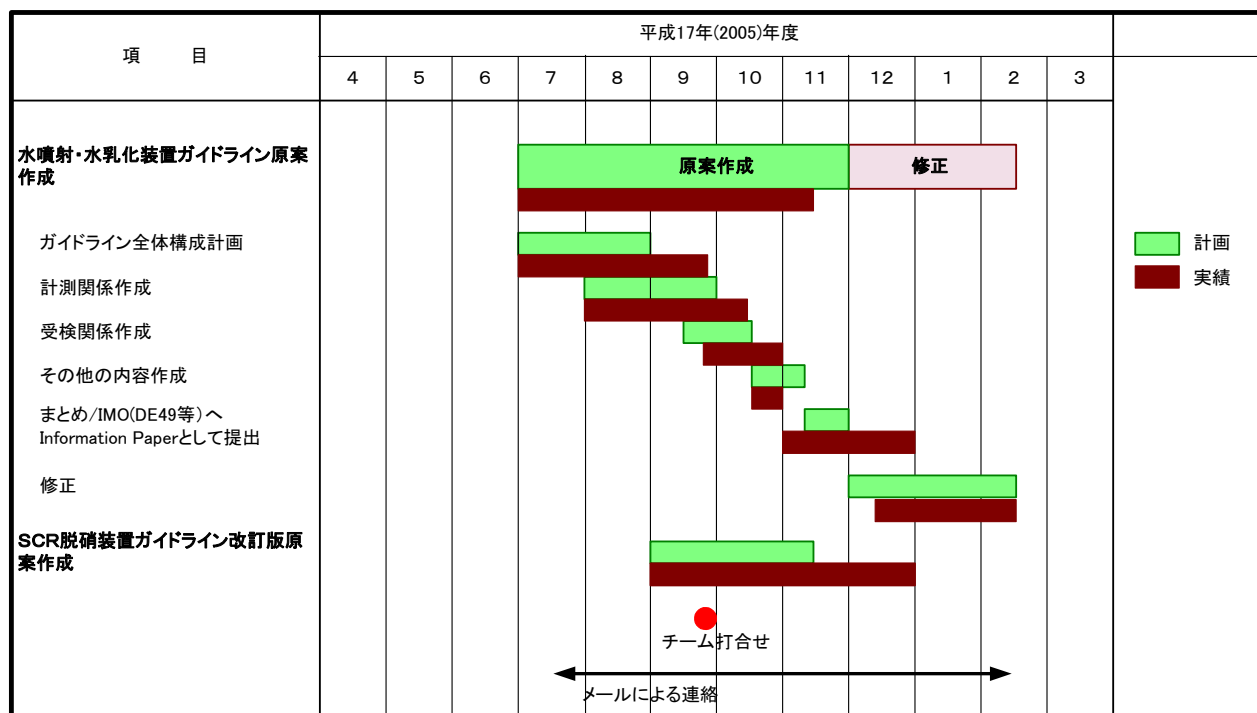
なお、船上排気ガス洗浄装置ガイドラインが昨年 SCR 脱硝装置ガイドライン日本案作成時と構成が大幅に変わったので、SCR 脱硝装置ガイドライン日本案についての改訂版も作成した。

3) IMO へ日本案ドラフト提出

BLG10 へ作成したドラフトを送付し、各国のコメントを求める手続きを行った。

であり、作成日程計画及び実績を表 5.4.3.1 に示す。

表 5.4.3.1 NOx 低減装置 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 横浜パワー株式会社
	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

5.4.4 ガイドライン日本案作成

2005 年 7 月に開催された IMO MEPC53(海洋環境保護委員会)で採択された EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドライン“GUIDELINE FOR EXHAUST GAS-SO_x CLEANING SYSTEMS – MARPOL ANNEX VI, REGULATION 14(4)(B)”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-SO_x 排気清浄装置のガイドラインを基本とし、SO_x を NO_x に変更するとともに、Wash Water、Wash Water Monitor 及び Wash Water Residues の項及び NO_x に関係しない記述等を削除した。
- ・ EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドラインと同様に、性能試験による認証方法と間接監視の検証方法を組み合わせた方式（スキーム A）と連続直接監視法による実証方式（スキーム B）の 2 系列のガイドランとする。
- ・ 水噴射装置及び水エマルジョン装置は低減装置として個別に型式認証を受ける方法（ここでは“ A” と示す）と機関仕様の一部とみなして認証を受ける方法（ここでは“ B” と示す）の 2 ケースのガイドライン案を作成し、今後の BLG での審議の中でどちらにするか決定する。
- ・ NO_x 関連の計測方法等は NO_x テクニカルコード及び船上計測法についてのガイドライン“Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1ANNEX5”を基本として、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」も参考にした。
- ・ 海上技術安全研究所が検証した O₂ 13%換算 NO_x(ppm)の計測方法を船上計測で使用可能とし、この O₂ 13%換算 NO_x(ppm)と NO_x(g/kWh)の換算式についても記述した。
- ・ 水噴射及び水エマルジョン装置を使用したときの排気ガス量及び乾き/湿り補正係数について式を記述した。

これらの検討で作成したガイドライン日本案は、以下の章で構成されている。これを図にしたものを資料 1 に示す。なお、ここでは水噴射システムの場合を代表として示す。

A：装置として型式認証を受ける場合

INTRODUCTION

水噴射装置が NO_x規制値を満足するための船上 NO_x同等削減の一方法であり、水噴射にはいくつかの方法があることを記述した。その例を資料 2 に示す。水噴射装置はパラメーターと排気ガスの検証または連続モニターで認証され、また、O₂ 13%換算 NO_x(ppm)の計測方法を船上計測で使用可能である旨記載した。

SAFETY NOTE

計測機器、計測に際しての安全について記載した。

SCHEME A – WIS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

装置の型式認証と手順について記載した。

1 GENERAL

本ガイドラインの目的、適用及び ppm の定義について記載した。

- 1 Purpose
- 2 Application
- 3 Definitions

2 SURVEY AND CERTIFICATION

証書に対する手順や水噴射装置の技術マニュアルについて記載した。

- 1 General
- 2 Procedures with the certification of a WIS
- 3 WIS Technical Manual

3 EMISSION LIMIT

船上でのNO_x計測方法、O₂ 13%換算NO_x(ppm)での計測、規制を満たす条件について記載した。

4 APPROVAL OF WIS

装置での認証、手法・容量が同等の装置の場合は個々の試験を実施しないでの認証、シリーズの装置の場合に最大、中、最小の装置のテストによる認証を受けて他のシリーズ装置は個々の試験を実施しないでの認証可能の記載をした。

- 1 Unit approval
- 2 Serially manufactured units
- 3 Product range approval

5 EMISSION TESTING

計測時の計測方法、手順等について記載した。

6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

船上で規制値を満足していることを示す手順につて記載した。

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

モニタリング装置が主管庁に認証を受けていること、本装置でどのように規制を満足したか、その証明を示す NO_x Compliance Plan が必要である旨記載した。モニタリング以外はスキーム Aと同じような内容になっている。

7 GENERAL

8 EXHAUST GAS MEASUREMENT

9 CALCULATION OF EMISSION RATE

10 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

データ記録、処理装置について記載した。

11 ON-BOARD MONITORING MANUAL

船上モニタリングマニュアルは船上 NO_x モニタリングと記録装置のガイドラインを参照するよう記載した。

NCP COMPLIANCE PLAN

上記 NCP について記載した。

12 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

13 SHIP COMPLIANCE

船舶が規制を満足していることを確認する方法について記載している。

14 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

上記の確認に対して示す方法を記載した。

Appendix 1 NO_x Monitoring method

O₂ 13%換算NO_x(ppm)での計測方法の妥当性について記載した。

Appendix 2 The NO_x(g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x(ppm)

O₂ 13%換算NO_x(ppm)とNO_x(g/kWh)の換算方法について記載した。

Appendix 3 Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor kw using FFW

排気ガス量、乾き/湿り補正係数について記載した。

B : 機関仕様の一部として型式認証を受ける場合

Bについても型式認証以外はAとほぼ同じ内容になっている。

INTRODUCTION

水噴射装置は機関に装着された状態で認証を受ける旨記載している。

SAFETY NOTE

SCHEME A – WIS CERTIFICATION

1 GENERAL

- 1 Purpose
- 2 Application
- 3 Definitions

2 SURVEY AND CERTIFICATION

- 1 General
- 2 Procedures with the certification of a WIS
- 3 Technical File on Engine with WIS

3 EMISSION LIMIT

4 EMISSION TESTING

5 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

6 GENERAL

7 EXHAUST GAS MEASUREMENT

8 CALCULATION OF EMISSION RATE

9 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

10 ON-BOARD MONITORING MANUAL

11 ENGINE COMPLIANCE

12 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NOx Monitoring method

Appendix 2 The NOx(g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NOx(ppm)

Appendix 3 Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor kw using FFW

また、先に SCR 脱硝装置ガイドライン日本案を DE48 にインフォメーションペーパーとして提出したことを報告したが、提出後に EGCS-SOx 排気清浄装置のガイドラインの内容が大幅に変更になった。これに対応するため、BLG10 に日本から SCR 脱硝装置ガイドライン日本案改訂版を提出すべく、上記水噴射と同様に以下の章で構成した改訂版を作成した。この構成を図にしたものを資料 3 に示す。

A : 装置として型式認証を受ける場合のみ

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A – SCRS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

1 GENERAL

- 1 Purpose
- 2 Application
- 3 Definitions

2 SURVEY AND CERTIFICATION

- 1 General
- 2 Procedures with the certification of a SCRS
- 3 SCRS Technical Manual

3 EMISSION LIMIT

4 APPROVAL OF SCRS

- 1 Unit approval
- 2 Serially manufactured units
- 3 Product range approval

5 EMISSION TESTING

6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

7 SLIP AMMONIA CHECK

テストの際にアンモニアスリップが 10ppm 以下であることを確認して結果を報告するよう記

載した。簡易な計測方法がないので検知管でも確認可能とした。

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

8 GENERAL

9 EXHAUST GAS MEASUREMENT

10 CALCULATION OF EMISSION RATE

11 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

12 ON-BOARD MONITORING MANUAL

NCP COMPLIANCE PLAN

13 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

14 SHIP COMPLIANCE

15 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring method

Appendix 2 The NO_x(g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x(ppm)

上記で作成し、BLG10 に提出した水噴射装置及び水エマルジョン装置のドラフトを資料 4 に、SCR 脱硝装置改訂版のドラフトを資料 5 に、概要を資料 6 に示す。

5.4.5 業界のコメントと対応

以下の業界に第 4 章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 7 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

5.4.6 おわりに

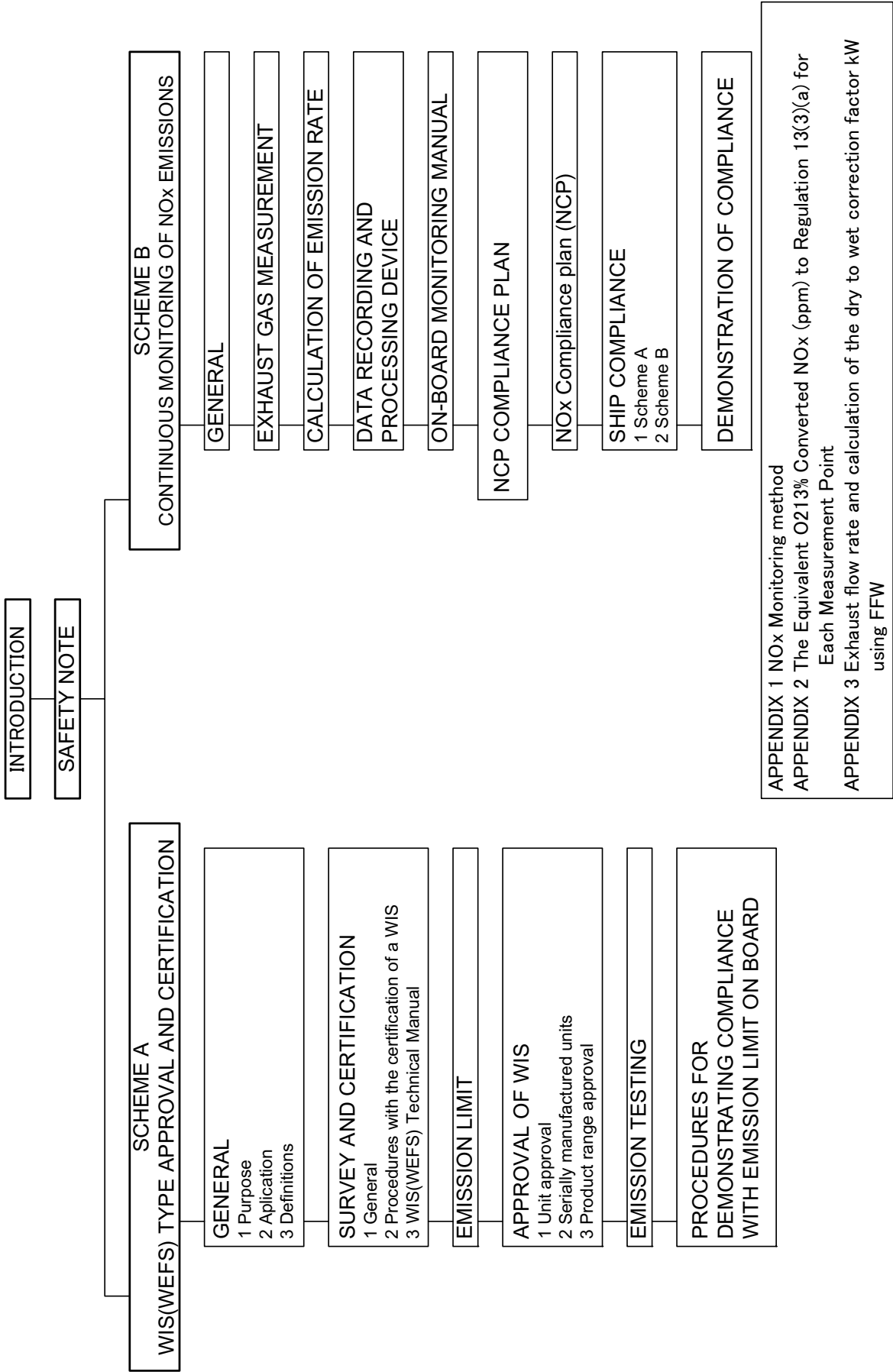
ここでは、2005 年 5 月に発効された IMO MARPOL 73/78 ANNEX VI に伴う船上 NO_x 削減装置に関する水噴射装置及び水エマルジョン装置のガイドライン日本案ドラフトを作成し、さらに昨年作成した SCR 脱硝装置のガイドライン日本案ドラフトの改訂版も作成した。今後の BLG の審議において、本ガイドラインを基にガイドライン作成作業が促進され、船舶からの排気ガス低減に少しでも貢献できればと考えている。

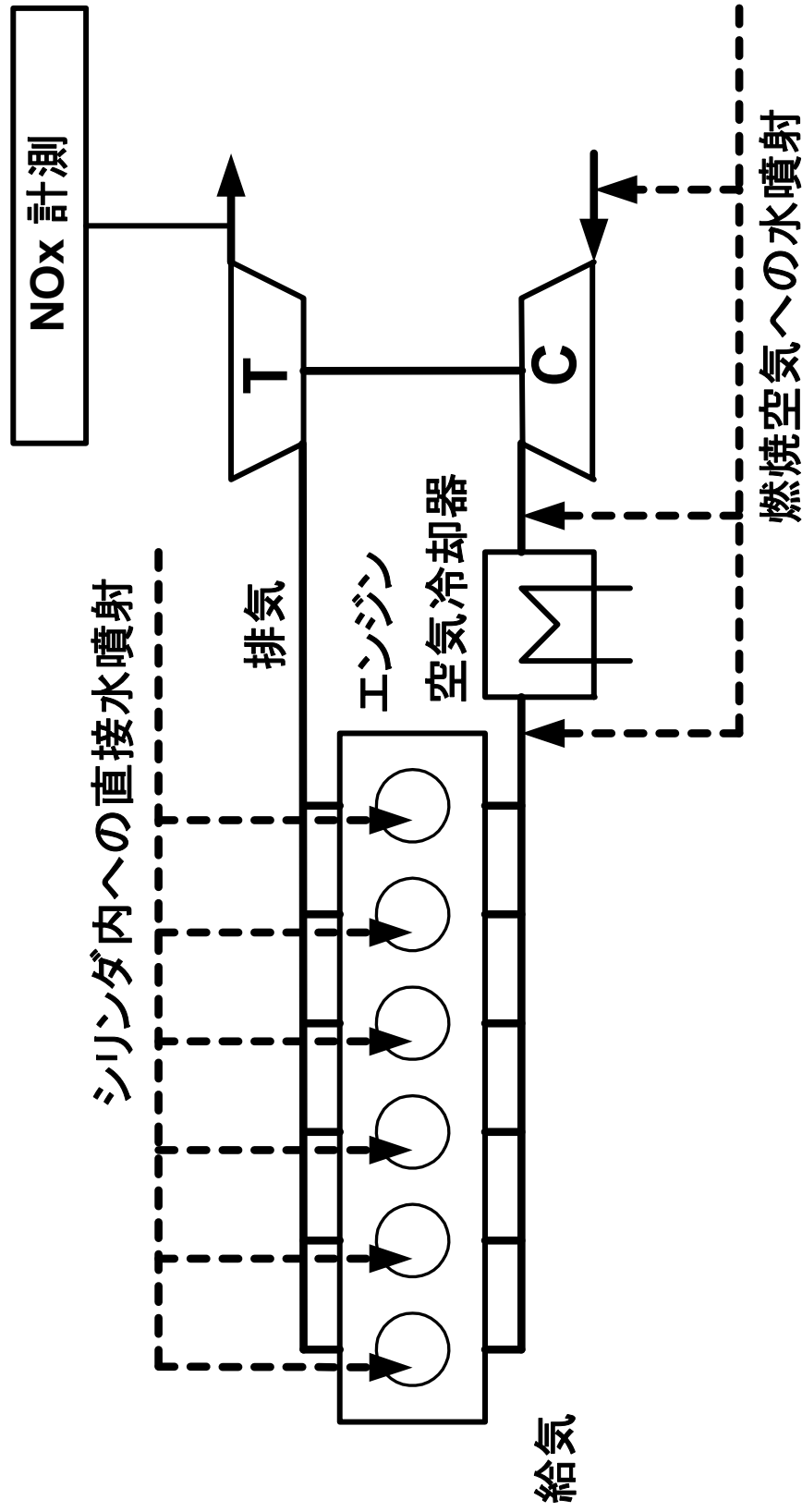
5.4.7 引用ドラフト及び参考資料

- 1) GUIDELINES FOR EXHAUST GAS-SO_x CLEANING SYSTEMS –MARPOL ANNEX VI, REGULATION 14(4)(B), MEPC 53/WP.11 ANNEX 5
- 2) 船用ディーゼルエンジンからの NO_x 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
- 3) ISO 8178-1 Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement-

Part 1 : Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions

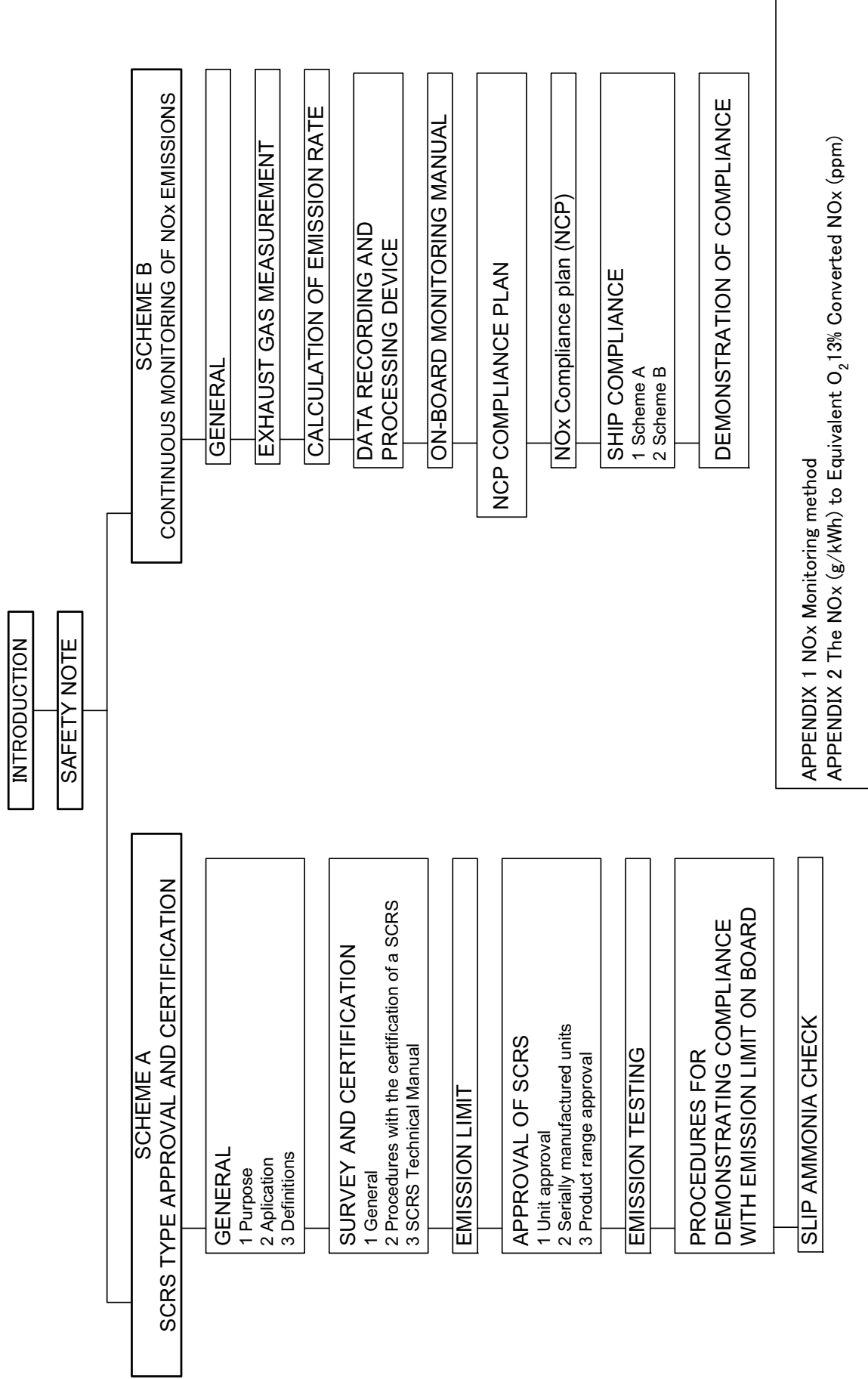
A:水噴射装置ガイドライン





水噴射装置例

SCR脱硝装置ガイドライン(改訂版)





IMO

E

SUB-COMMITTEE ON BULK LIQUIDS
AND GASES
10th session
Agenda item 12

BLG 10/12/2
23 December 2005
Original: ENGLISH

GUIDELINES ON EQUIVALENT METHODS TO REDUCE ON-BOARD NO_x EMISSION

**Investigation for draft guidelines for MARPOL Annex VI, regulation 13(3)(b)(ii)
Water Injection Systems and Water Emulsified Fuel Systems**

Submitted by Japan

SUMMARY

Executive summary: This document provides the proposal of the draft guidelines for water injection systems (WIS) and water emulsified fuel systems (WEFS) related to regulation 13(3)(b)(ii) of MARPOL Annex VI. This work has been included in the work programme of the BLG Sub-Committee but the work has not yet been initiated. Considering that vessels with WIS and WEFS are already running, the guidelines should be established for the WIS and WEFS as soon as possible. This document should be used as draft WIS and WEFS guidelines to be developed by the Sub-Committee to speed up the work.

Action to be taken: Paragraph 3

Related documents: MEPC 51/4/1, MEPC 53/4/15, MEPC 53/24 and BLG 10/12/1

Background

1 The Marine Environment Protection Committee, at its fifty-first session, agreed to change the priority for development of the Guidelines related to the implementation of the NO_x Technical Code from low to high. Accordingly, the MEPC 53 considered the submission by Japan (MEPC 53/4/15) containing a proposal for marine selective catalytic reduction (SCR) systems and decided that the Japanese proposal should be taken into account by BLG 10 in its development of the Guidelines on equivalent methods to reduce on-board NO_x emissions.

Purpose

2 In order to facilitate the work of the Sub-Committee on these issues, Japan has drafted the guidelines on the WIS and WEFS systems. These drafts are basically arranged using the Guidelines on on-board exhaust gas cleaning systems (EGCS-SO_x), which was adopted by MEPC 53. Two versions of each guidelines are prepared for WIS and WEFS. One is for the type approval of system (Part A) and the other is for the approval as a part of diesel engine (Part B).

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:\BLG\10\12-2.doc

Action requested of the Sub-Committee

3 The Sub-Committee is invited to consider these draft Guidelines for WIS and WEFS attached as annexes to this document and take action as appropriate.

ANNEX 1

DRAFT for the type approval of system (Part A)

GUIDELINES FOR WATER INJECTION SYSTEMS – MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A – WIS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

- 1 GENERAL
 - 1 Purpose
 - 2 Application
 - 3 Definitions
- 2 SURVEY AND CERTIFICATION
 - 1 General
 - 2 Procedures with the certification of a WIS
 - 3 WIS Technical Manual
- 3 EMISSION LIMIT
- 4 APPROVAL OF WIS
 - 1 Unit approval
 - 2 Serially manufactured units
 - 3 Product range approval
- 5 EMISSION TESTING
- 6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

- 7 GENERAL
- 8 EXHAUST GAS MEASUREMENT
- 9 CALCULATION OF EMISSION RATE
- 10 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE
- 11 ON-BOARD MONITORING MANUAL

NCP COMPLIANCE PLAN

12 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

13 SHIP COMPLIANCE

1 Scheme A

2 Scheme B

14 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring Method

Appendix 2 The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

Appendix 3 Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_w using FFW

DRAFT for the type approval of system (Part A)

**GUIDELINES FOR WATER INJECTION SYSTEMS –
MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)**

INTRODUCTION

Regulation 13(3) of Annex VI to MARPOL 73/78 requires ships to comply with the NO_x limit either by diesel engine itself, an exhaust gas cleaning system or any other equivalent method to reduce NO_x emission. Water injection system (WIS) is one of the equivalent method and has some method to inject water into the diesel engine; for example, water injection before compressor inlet of turbocharger, before or after inter cooler, or direct injection into cylinders through injection nozzles. WIS is defined as a water supply system into the diesel engine up to water injectors in these guidelines. The WIS is to be approved by the Administration taking into account guidelines to be developed by the Organization.

Similar to an exhaust gas cleaning system (EGCS-SO_x), WIS may be type approved subject to periodic parameter and emission checks or the system may be equipped with a continuous emission monitoring system. These guidelines have been developed with the intention of being objective and performance oriented. Introduction of the O₂ 13% converted NO_x (ppm) method would simplify the monitoring of NO_x emission. See Appendix 1 for the rational explaining the use of O₂ 13% converted NO_x (ppm) as the basis for system monitoring.

These guidelines are recommendatory in nature, however, Administrations are invited to base their implementation on these guidelines.

SAFETY NOTE

Due attention is to be given to the safety implications related to the handling and proximity of exhaust gases, the measurement equipment and the storage and use of cylindered pure and calibration gases. Sampling positions and access staging should be such that this monitoring may be performed safely.

SCHEME A – WIS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

Unit certification of Water Injection System (WIS) by the Administration should be made with subsequent in service verification at survey intervals by indirect means together with unit use monitoring.

1 GENERAL

1.1 Purpose

The purpose of these Guidelines is to specify the requirements for the design, testing, survey and certification of water injection system (WIS) to ensure that they comply with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

1.2 Application

1.2.1 These Guidelines apply to WIS as fitted to a diesel engine onboard a ship.

1.2.2 These Guidelines cover only the certification, survey, and testing of WIS for compliance with regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI.

1.3 Definitions

“ppm” means “parts per million”. It is assumed that ppm is measured by gas analysers on a molar basis, assuming ideal micro-moles of substance per mole of total amount ($\mu\text{mol/mol}$), but ppm is used in order to be consistent with units in the NOx Technical Code.

2 SURVEY AND CERTIFICATION

2.1 General

2.1.1 Prior to use, each WIS should be issued by the Administration with a NOx Assist Compliance Certificate (NACC).

2.1.2 WIS as fitted should be subject to survey on installation and at Initial, Annual/Intermediate and Renewals Surveys by the Administration.

2.1.3 The ship's NACC should be duly endorsed at each survey as required by 2.1.2.

2.1.4 In accordance with regulation 10, WIS may also be subject to survey by PSC.

2.2 Procedures for the certification of a WIS

2.2.1 In order to meet the requirements of 2.1.1 either prior to, or after installation on board, each WIS should be certified as meeting the emission limit of Regulation 13(3)(a) under the restrictions as given by the WIS Technical Manual (WITM) as approved by the Administration.

2.2.2 Determination of the emission value should be in accordance with the provisions of these Guidelines.

2.2.3 WIS meeting the requirements of 2.2.1 should be issued by the Administration with a NACC.

2.2.4 Application for a NACC should be made by the WIS manufacturer, shipowner or other party.

2.2.5 Subsequent WIS of the same design and rating as that certified under 2.2.1 may be issued with NACC by the Administration without the need for testing in accordance with 2.2.1 subject to section 4.2 of these Guidelines.

2.2.6 WIS of the same design, but with ratings different from that certified under 2.2.1 may be accepted by the Administration subject to section 4.3 of these Guidelines.

2.3 WIS Technical Manual

2.3.1 Each WIS is to be supplied with a WIS Technical Manual (WITM). This WITM should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the identification of the unit (manufacturer, model/type, serial number and other details as necessary) including a description of the unit and any required ancillary systems;
- (b) the operating limits, or range of operating values, for which the unit is certified. These should, as a minimum, include:
 - (i) Type of WIS and water injection position;
 - (ii) the power, type, and other relevant parameters of diesel engine for which the WIS is to be fitted;
 - (iii) maximum and minimum water flow rate;
 - (iv) salinity levels or fresh water elements necessary to provide adequate neutralizing agents; and
 - (v) other factors in concerning the design and operation of the WIS relevant to achieving a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (c) any requirements or restrictions applicable to the WIS or associated equipment necessary to enable the unit to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (d) maintenance, service or adjustment requirements in order that the WIS can continue to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (e) the means by which the WIS is to be surveyed to ensure that its performance is maintained and that the unit is used as required (see section 6);
- (f) the effect on water quality;
- (g) design requirements of the water injection system; and
- (h) the NACC as applicable.

2.3.2 The WITM should be approved by the Administration.

2.3.3 The WITM should be retained onboard the ship onto which the WIS is fitted. The WITM should be available for surveys as required.

2.3.4 Additions, deletions or amendments to the WITM should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the WITM are separate to the WITM as initially approved, they should be retained with the WITM and should be considered as part of the WITM.

2.3.5 In lieu of the maximum emission rate stipulated in 2.3.1(b) (v) of Regulation 13(3)(a), O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) measured at downstream of engine may be used. O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) is explained in Appendix 2.

3 EMISSION LIMIT

3.1 Each WIS should be capable of reducing emissions to no more than Regulation 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and as specified in paragraphs 3.2 through 3.6 of these Guidelines.

3.2 WIS fitted to main propulsion diesel engines should meet the requirements of 3.1 by the test cycle which is described in the sections 5 and 6 of NOx Technical Code.

3.3 WIS fitted to auxiliary diesel engines should meet the requirements of 3.1 by the test cycle which is described in the chapters 5 and 6 of NOx Technical Code.

3.4 WIS fitted to diesel engines which supply power for both main propulsion and auxiliary purposes should meet the requirements of 3.3.

3.5 In order to demonstrate performance, the method of emission measurements should be referred "Guidelines for On-board NOx Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5".

3.6 Alternatively to the provisions of 3.2-3.5, each WIS should be capable of reducing emissions to no more than O₂ 13% converted NOx (ppm) of equivalent to 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and 2.3.4.

4 APPROVAL OF WIS

4.1 Unit approval

4.1.1 WIS should be capable of meeting the limit value of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a) for each mode and for the range of operating parameters, as listed in 2.3.1(b), for which they are to be approved.

4.1.2 The maximum and, if applicable, minimum fuel oil and water injection flow rates of the unit should be stated. The effect of variation of the other parameters defined in 2.3.1(b) should be justified by the equipment manufacturer. The effect of variations in these factors is to be assessed by testing or otherwise as appropriate. No variation in these factors, or combination of variations in these factors, should be such that the emission value of the WIS would be in excess of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a) for each mode.

4.1.3 Data obtained in accordance with this section should be submitted to the Administration for approval together with the WITM.

4.2 Serially manufactured units

In the case of nominally similar WIS of the same fuel oil and water injection flow ratings as that certified under 4.1, and to avoid the testing in accordance with 2.2.1 each WIS, the equipment manufacturer may submit, for acceptance by the Administration, a conformity of production arrangement. The certification of each WIS unit under this arrangement should be subject to such surveys that the Administration may consider necessary as to assure that each WIS has an emission value of not more than Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a) for each mode when operated in accordance with the parameters defined in 2.3.1(b).

4.3 Product range approval

4.3.1 In the case of WIS of the same design, but of different maximum fuel flow and water injection flow capacities, the Administration may accept, in lieu of tests on WIS of all capacities in accordance with section 4.1, tests of WIS systems of three different capacities provided that the three tests are performed at intervals including the highest, lowest and one intermediate capacity rating within the range.

4.3.2 Where there are significant differences in the design of WIS of different capacities, this procedure should not be applied unless it can be shown, to the satisfaction of the Administration, that in practice those differences do not materially alter the performance between the various WIS types.

4.3.3 For WIS of different capacities, the sensitivity to diesel engine to which they are fitted should be detailed together with sensitivity to the variations in the parameters listed in 2.3.1(b). This should be on the basis of testing, or other data as appropriate.

4.3.4 The effect of changes of WIS capacity on injection water characterization should be detailed.

4.3.5 All supporting data obtained in accordance with this section, together with the WITM for each capacity unit, should be submitted to the Administration in accordance with 4.1.3.

4.3.6 If there is a data with units of O₂ 13% converted NO_x (ppm) and g/kWh by the measurement procedure of NO_x Technical Code, O₂ 13% converted NO_x (ppm) may be used for emission limit value specified in 4.1 to 4.3 above.

5 EMISSION TESTING

5.1 Emission testing should follow the requirements of the NO_x Technical Code, chapter 5, and associated Appendices, and “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”, except as provided for in these Guidelines.

5.2 NO_x should be measured on a dry or wet basis using analysers operating on CLD, HCLD or ZRDO (Zirconia sensor) principles and with additional equipment such as dryers as necessary. Other systems or analysers may be accepted, subject to the approval of the Administration, provided they yield equivalent results to those of the equipment referenced above.

5.3 An exhaust gas sample for NO_x should be obtained from a representative sampling point defined in sections 5.9.3 and 6.3.5 of NO_x Technical Code.

5.4 NO_x should be monitored on-line using either cross-duct or extractive sample systems.

5.5 Where NO_x is measured by a cross-duct system, the water content in the exhaust gas stream at that point is also to be determined in order to correct the reading to a dry basis value.

5.6 Where the exhaust gas mass flow is to be calculated in accordance with the NO_x Technical Code, Appendix 6, the complete combustion case calculations may be used. The exhaust gas mass flow (G_{EXHW}) should be determined in respect of the mass flow from the engine

exhaust outlet. Furthermore, the water injected flow rate should be considered for Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor K_w by Appendix 3.

5.7 In applying the NOx Technical Code, equation 15, the dry basis NOx concentration should be converted to a wet basis value using the dry/wet correction factor applicable to the exhaust gas from the engine exhaust outlet (NOx Technical Code, equation 11, CO = 0).

5.8 The power should be the uncorrected engine brake power.

5.9 The determined emission value should be equal to, or less than, Regulation 13(3)(a).

5.10 In lieu of the testing procedure laid down in 5.6 to 5.7 and 5.8, compliance may be demonstrated by continuous monitoring of NOx and O₂ concentration from the engine exhaust outlet and demonstrating that the O₂ 13% converted NOx (ppm), at each test point is equal to or less than the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a).

5.11 Should the O₂ 13% converted NOx (ppm) method be used:

- (a) The conditions stipulated in 5.4 and 5.5 should also apply to the measurement of O₂ (%) and it is recommended that NOx and O₂ samples should be obtained at the same location.
- (b) Measurement of O₂ should either be carried out above the respective dew points or on a fully dry basis recognizing that the conditions stipulated in 5.6 to 5.8 should also apply to the measurement of O₂ (%).
- (c) Calculation of the O₂ 13% converted NOx (ppm) as defined in the following should comply with the requirements of Scheme B, section 9.

$$\text{O}_2 \text{ 13\% converted NOx(ppm)} = \text{NOx(Measured by ppm)} \times \left(\frac{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(13\%)}{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(\text{Measured by \%})} \right)$$

6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

6.1 For each WIS, the WITM should contain a verification procedure for use at surveys as required. This procedure should not require specialized equipment or an in depth knowledge of the system. Where particular devices are required they should be provided and maintained as part of the system. WIS should be designed in such a way as to facilitate inspection as required. The basis of this verification procedure is that if all relevant components and operating values or settings are within those as approved, then the performance of the WIS system is within that required without the need for actual exhaust emission measurements. It is also necessary to ensure that the WIS is fitted to a diesel engine for which it is rated.

6.2 Included in the verification procedure should be all components and operating values or settings which may affect the operation of the WIS and its ability to meet the required emission limit.

6.3 The verification procedure should be submitted by the WIS manufacturer and approved by the Administration.

I:\BLG\10\12-2.doc

6.4 The verification procedure should cover both a documentation check and a physical check of the WIS.

6.5 The Surveyor should verify that each WIS is installed in accordance with the WITM and has a NACC as required.

6.6 At the discretion of the Administration, the Surveyor should have the option of checking one or all of the identified components, operating values or settings. Where there is more than one WIS, the Administration may, at its discretion, abbreviate or reduce the extent of the survey on board however the entire survey should be completed for at least one of each type of WIS on board provided that it is expected that the other WIS perform in the same manner.

6.7 The WIS should include means to automatically record when the system is in use. This should automatically record, as a minimum, injection water and fuel oil flow rate or rate between injection water flow rate and fuel oil flow rate at the WIS inlet connection, diesel engine load, and other parameters as considered necessary. The data recording system should comply with the requirements of Scheme B, sections 11 and 12.

6.8 If a continuous exhaust gas monitoring system is not fitted, it is recommended that a daily spot check of the exhaust gas quality in terms of O₂ 13% converted NO_x (ppm), is used to verify compliance in conjunction with parameter checks stipulated in 6.7. If a continuous exhaust gas monitoring system is fitted, only daily spot checks of the parameters listed in paragraph 6.7 would be needed to verify proper operation of the WIS.

6.9 If the WIS manufacturer is unable to provide assurance that the WIS will meet the limit value of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) for each mode between surveys, by means of the verification procedure stipulated in 6.1, or if this requires specialist equipment or in-depth knowledge, it is recommended that continuous exhaust gas monitoring of each WIS be used to assure ship operators of compliance when operating and in the event of port State authority inspection.

6.10 A WIS Record Book should be maintained by the shipowner recording maintenance and service of the unit. The form of this record should be submitted by the WIS manufacturer and approved by the Administration. This record book should be available at surveys as required and may be read in conjunction with engine room log-books and other data as necessary to confirm the correction operation of the WIS. Alternatively, this information is to be recorded in the vessel's planned maintenance record system as approved by the Administration.

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

Compliance demonstrated in service by continuous exhaust gas monitoring. Monitoring system should be approved by the Administration and the results of that monitoring available to the Administration as necessary to demonstrate compliance as required.

Additionally for all ships which are to use a WIS in order to comply with the requirements of regulation 13(3) there should be a NO_x Compliance Plan (NCP) for the ship, approved by the Administration, detailing how:

- (a) compliance is to be achieved;
- (b) that compliance is to be demonstrated.

7 GENERAL

This Scheme should be used to demonstrate that the emissions from a diesel engine fitted with a WIS will, with that system in operation, result in an emission value of O₂ 13% converted NO_x (ppm) below the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) and thus compliance with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

8 EXHAUST GAS MEASUREMENT

Exhaust gas composition, NO_x and O₂ measurement should be at an appropriate position at engine exhaust outlet and comply with the requirements of 5.2 and 5.9, Scheme A.

9 CALCULATION OF EMISSION RATE

9.1 NO_x (ppm) and O₂ (%) to be continuously monitored and recorded onto a data recording and processing device at a rate which should not be less than 0.005 Hz.

9.2 If more than one analyser is to be used to determine the O₂ 13% converted, these should be tuned to have similar sampling and measurement times and the data outputs aligned so that the O₂ 13% converted is fully representative of the exhaust gas composition.

10 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

10.1 The recording and processing device should be of robust, tamper proof design with read only capability.

10.2 The recording and processing device should record the data required by section 10.1 against UTC.

10.3 The recording and processing device should be capable of preparing reports over specified time periods.

10.4 Data should be retained for a period of not less than 18 months from the date of recording. If the unit is changed over that period, the shipowner should ensure that the required data is retained onboard and available as required.

10.5 The device should be capable of downloading a copy of the recorded data and reports in a readily useable format. Such copy of the data and reports should be available to the Administration or port State authority as requested.

11 ON-BOARD MONITORING MANUAL

An On-board Monitoring Manual (OMM) should be referred "Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5"

12 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

For all ships which are to use a WIS, in order to comply with the requirements of regulation 13(3) there should be a NO_x Compliance Plan (NCP) for the ship, approved by the Administration.

13 SHIP COMPLIANCE

13.1 The NCP should list each item of diesel engine which is to meet the requirements for operating by means of an approved WIS.

13.2 Under Scheme A, the NCP should present daily recordings demonstrating that the parameters in paragraph 6.7 are maintained within the manufacturer's recommended specifications.

13.3 Under Scheme B, the NCP should present continuous monitoring demonstrating that the O₂ 13% converted NO_x (ppm) does not exceed the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a).

13.4 Ship construction requirements generally require that each diesel engine should have its own exhaust gas system venting to the atmosphere. Therefore compliance by the ship may be demonstrated by each diesel engine meeting the requirements of either Scheme A or Scheme B.

13.5 If each diesel engine meets the requirements of either regulation 13(3)(a) or 13(3)(b)(ii) the ship is considered to be in compliance with the requirements.

14 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

14.1 The NCP should refer to, not reproduce, the WITM and Record Book as specified under that Scheme. Alternatively, this information is to be recorded in the ship's planned Maintenance Record System, as allowed by the Administration.

14.2 For all diesel engine listed under 13.1, details should be provided demonstrating that the rating and restrictions for the WIS as approved, 2.3.1(b), are complied with.

14.3 The injection water and fuel oil flow rate or rate between injection water flow rate and fuel oil flow rate at the WIS inlet connection, diesel engine load, and other parameters as considered necessary, should be monitored and recorded continuously in order to demonstrate compliance.

14.4 The NCP should refer to the On-board Monitoring Manual as approved by the Administration and the input data and resulting reports.

Appendix 1

NOx Monitoring Method

- 1 NOx emission in g/kWh and O₂ 13% converted NOx in ppm can be derived in the following equations respectively.
Note that the condition of the NOx and O₂ concentrations is wet basis in this Appendix. If the NOx and O₂ are measured on a dry basis, these dry basis data should be converted to data on a wet basis by dry/wet correction factor:

$$NOx[g/kWh] = K_{HDIES} \times NOx[ppm] \times 10^{-6} \times 2053[g/m^3] \times \frac{G_{EXHW}[kg/h]}{\rho_{exh}[kg/m^3]} \times \frac{1}{W_b[kW]} \quad (1)$$

$$NOx13[ppm] = K_{HDIES} \times NOx[ppm] \times \frac{0.21 - 0.13}{0.21 - O_{2_exh}} \quad (2)$$

where:

K_{HDIES} = humidity correction factor
 $NOx[ppm]$ = NOx concentration in exhaust gas (wet basis)
 $2053[g/m^3]$ = density of NOx
 G_{EXHW} = exhaust gas mass flow rate (wet basis)
 ρ_{exh} = density of exhaust gas
 O_{2_exh} = concentration of oxygen in exhaust gas (wet basis)
 W_b = output

These equations may be expressed by eliminating the common members as follows:

$$NOx[g/kWh] \approx 2053 \times 10^{-6} \times \frac{G_{EXHW}}{\rho_{exh}} [m^3/h] \times \frac{1}{W_b[kW]} \quad (3)$$

$$NOx13[ppm] \approx \frac{0.21 - 0.13}{0.21 - O_{2_exh}} \quad (4)$$

On the other hand, oxygen consumption rate can be derived as follows.

$$O_{2_con} = \frac{F_f}{M_f} \left(a + \frac{b}{4} \right) [mol/h] = \frac{b_e \times W_b}{M_f} \left(a + \frac{b}{4} \right) \times \frac{22.4}{1000} [m^3/h] \quad (5)$$

where,

b_e = specific fuel consumption [g/kWh]
 F_f = fuel oil consumption rate [g/h]
 C_aH_b = molecular formula of fuel oil
 M_f = molecular weight of fuel oil [g/mol]

If fuel oil is composed of carbon and hydrogen, the molecular weight can be expressed as $(12.001a + 1.00794b)$ [g/mol]. Then, formula (5) can be expressed in the following:

$$O_{2_con} = \frac{b_e \times W_b}{12.001a + 1.00794b} \left(a + \frac{b}{4} \right) = b_e \times W_b \left(\frac{1 + 0.25(b/a)}{12.001 + 1.00794(b/a)} \right) \times \frac{22.4}{1000} [m^3/h] \quad (6)$$

NOx emission in g/kWh with equation (1) can be changed by (6) as follows:

$$\begin{aligned}
 NOx[g/kWh] &= K_{HDIES} \times NOx[ppm] \times 10^{-6} \times 2053[g/m^3] \times \frac{G_{EXHW}}{\rho_{exh}} \times \frac{1}{W_b} \\
 &= K_{HDIES} \times NOx[ppm] \times 10^{-6} \times \frac{2053}{0.21-0.13} \times \frac{0.21-O_{2_exh}}{0.21} b_e \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \times \frac{22.4}{1000} \\
 &= NOx13 \times \frac{2053}{0.21-0.13} \times 10^{-6} \times b_e \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \times \frac{22.4}{1000} \\
 &= \frac{2053}{0.21-0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} \times \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \times b_e \times NOx13
 \end{aligned} \tag{7}$$

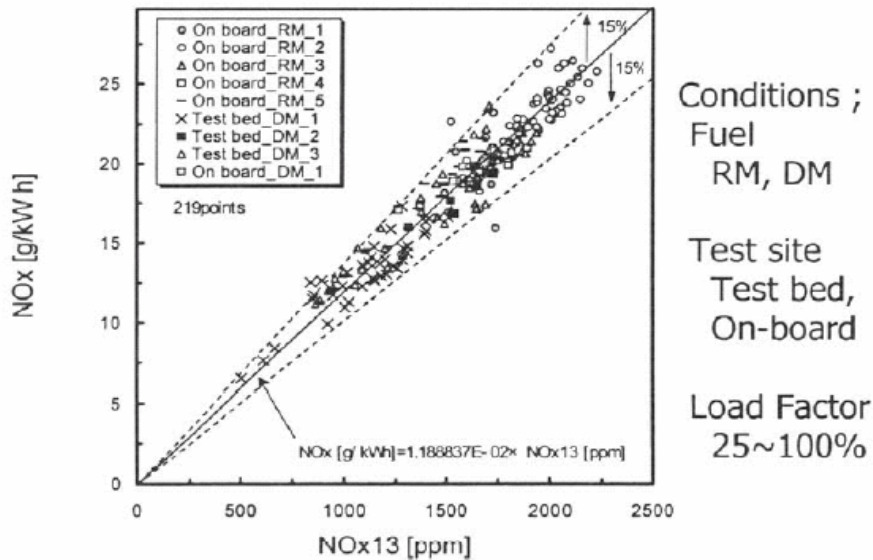
$$\alpha_1 = \frac{2053}{0.21-0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} \tag{8}$$

$$\alpha_2 = \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \tag{9}$$

As α_1, α_2 are constant, NOx in g/kWh can be correlated with NOx13 in ppm and specific fuel consumption b_e .

- 2 The correlation between NOx [g/kWh] and NOx13 [ppm] has been examined by using test bed measurement data and on-board measurement data. The result is shown in the following figure.

From the figure, the difference between NOx [g/kWh] and NOx13 [ppm] is within almost $\pm 15\%$. Then, NOx13 [ppm] can be used the NOx monitoring method on-board measurement.



Appendix 2

The NOx (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NOx (ppm)

NOx in g/kWh can be correlated with O₂ 13% converted NOx in ppm as follows from Appendix 1,

$$NOx[g/kWh] = \frac{2053}{0.21 - 0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} \times \frac{1 + 0.25(b/a)}{12.001 + 1.00794(b/a)} \times b_e \times NOx13$$

where,

$$\alpha_1 = \frac{2053}{0.21 - 0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} : \text{constant}$$

$$\alpha_2 = \frac{1 + 0.25(b/a)}{12.001 + 1.00794(b/a)} : \text{constant}$$

b_e : specific fuel consumption.

Though having many different physical characteristics, fuel oil mainly consist of hydrocarbons, e.g. C₁₅H₃₂. And the specific fuel consumption influences on NOx conversion, the correlation between NOx (g/kWh) and O₂ 13% converted NOx (ppm) can be shown as follows due to the specific consumption level.

(i) $b_e > 210 \text{ g/kWh}$

$$NOx \text{ (g/kWh)} = 0.013 * NOx13 \text{ (ppm)}$$

Therefore, O₂ 13% converted NOx (ppm) of equivalent to 13(3)(a) can be derived as:

$$NOx13_{REG} \text{ (ppm)} = 1/0.013 * NOx_{REG} \text{ (g/kWh)}$$

(ii) $210 \geq b_e > 190 \text{ g/kWh}$

$$NOx \text{ (g/kWh)} = 0.012 * NOx13 \text{ (ppm)}$$

Therefore, O₂ 13% converted NOx (ppm) of equivalent to 13(3)(a) can be derived as:

$$NOx13_{REG} \text{ (ppm)} = 1/0.012 * NOx_{REG} \text{ (g/kWh)}$$

(iii) $190 \text{ g/kWh} \geq b_e$

$$NOx \text{ (g/kWh)} = 0.011 * NOx13 \text{ (ppm)}$$

Therefore, O₂ 13% converted NOx (ppm) of equivalent to 13(3)(a) can be derived as:

$$NOx13_{REG} \text{ (ppm)} = 1/0.011 * NOx_{REG} \text{ (g/kWh)}$$

where, NOx13 shows O₂ 13% converted NOx

NOx_{REG} (g/kWh) : IMO NOx figure

NOx13_{REG} (ppm) : O₂ 13% converted NOx (ppm) of equivalent to 13(3)(a).

Appendix 3

Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_{FW} using FFW

1 Total additional volume FFW

The stoichiometry of the combustion of fuels containing H, C, S, N and O is described. The relations of masses of the reaction partners are calculated and the standard volumes for gaseous compounds. For each combusted element the resulting additional volume (exhaust volume – air volume) is given. The summation of these additional volumes results in the total additional volume FFW.

- (i) Additional volume by combustion of hydrogen

$$(2 \times MVH_2O - MVO_2) / (4 \times AWH) = (2 \times 22.401 - 22.392) / (4 \times 1.00794) = 5.5584 \text{ [m}^3/\text{kg H]} \quad (1)$$

- (ii) Additional volume by combustion of carbon

$$(MVC O_2 - MVO_2) / AWC = (22.262 - 22.392) / 12.011 = -0.01083 \text{ [m}^3/\text{kg C]} \quad (2)$$

- (iii) Additional volume by combustion of sulphur

$$(MVSO_2 - MVO_2) / AWS = (21.891 - 22.392) / 32.065 = 0.01562 \text{ [m}^3/\text{kg S]} \quad (3)$$

- (iv) Additional volume by reaction

$$MVN_2 / MWN_2 = 22.39 / 28.01 = 0.79936 \text{ [m}^3/\text{kg N]} \quad (4)$$

- (v) Additional volume by combustion

$$MVO_2 / MWO_2 = 22.392 / 31.9988 = 0.69978 \text{ [m}^3/\text{kg]} \quad (5)$$

- (vi) Total additional volume FFW [m³/kg fuel]

Addition of the additional volumes of (i) to (v) results in the total additional volume FFW:

$$FFW = 0.05584 \times \alpha - 0.0001083 \times \beta - 0.0001562 \times \gamma + 0.0079936 \times \delta + 0.0069978 \times \varepsilon \quad (6)$$

For the calculation of the exhaust volume flow V_{EXHW} it can be used as follows:

$$G_{EXHW} = G_{AIRW} + G_W + G_{FUEL} \quad (7)$$

$$V_{EXHW} = V_{AIRW} + V_W + G_{FUEL} \times FFW \quad (8)$$

where,

V_{AIRW} = Intake air volume flow rate on wet basis [m³/h]

V_W = Supplied water content of the exhaust [m³/h]

V_{EXHW} = Exhaust volume flow rate on wet basis [m³/h]

G_{FUEL} = Fuel mass flow rate [kg/h]

G_W = Supplied water flow rate [kg/h]

G_{EXHW} = Exhaust gas mass flow rate on wet basis [kg/h]

MVH_2O = Molar volume of water [l/mol]

$MVC O_2$ = Molar volume of carbon dioxide [l/mol]

$MVSO_2$ = Molar volume of sulphur dioxide [l/mol]

MVN_2 = Molar volume of nitrogen [l/mol]

MVO_2 = Molar volume of oxygen [l/mol]

AWH = Atomic weight of hydrogen	α = H content of fuel [% (m/m)]
AWC = Atomic weight of carbon	β = C content of fuel [% (m/m)]
AWS = Atomic weight of sulphur	γ = S content of fuel [% (m/m)]
MWN_2 = Molar weight of nitrogen [g/mol]	δ = N content of fuel [% (m/m)]
MWO_2 = Molar weight of oxygen [g/mol]	ε = O content of fuel [% (m/m)]

2 Calculation of the dry to wet correction factor K_{Wr} using FFW

The dry to wet correction factor K_{Wr} is used for converting dry measured concentrations to the wet reference condition. K_{Wr} is further the quotient between dry and wet exhaust volume flow:

$$K_{Wr} = \frac{c(\text{exhaust wet})}{c(\text{exhaust dry})} = \frac{V_{EXHD}}{V_{EXHW}} = 1 - \frac{V_{H_2O}}{V_{EXHW}} \quad (9)$$

V_{H_2O} here has to be interpreted as the water content of the exhaust, which condenses in the cooling bath of the gas analysis system and which is thus removed from the exhaust before measurement. V_{H_2O} is calculated by adding the water from the intake air and the water injected to the water formed by combustion and subtracting the rest water, which is still present after the cooling bath:

$$V_{H_2O, \text{ intake air}} = \frac{G_{AIRD} \times H_a \times MV_{H_2O}}{1000 \times MWH_2O} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (10)$$

$$V_{H_2O, \text{ supplied water}} = \frac{G_W \times MV_{H_2O}}{MWH_2O} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (11)$$

$$V_{H_2O, \text{ formed by combustion}} = \frac{\alpha \times G_{FUEL} \times MV_{H_2O}}{1000 \times 2 \times AWH} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (12)$$

$$V_{H_2O, \text{ rest after cooling bath}} = G_{AIRD} \frac{p_{REST} \times H_a \times MV_{H_2O}}{p_B \times MWH_2O} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (13)$$

where,

V_{AIRD} = Intake air volume flow rate on basis [m^3/h]

H_a = Absolute humidity of the intake air [g/kg]

MWH_2O = Molar weight of water [g/mol]

p_{REST} = Water partial pressure after cooling bath [kPa]

p_B = Total barometric pressure [kPa]

Then the dry to wet correction factor can be derived as follows:

$$K_{Wr} = 1 - \frac{\frac{G_{AIRD} \times H_a \times MV_{H_2O}}{1000 \times MWH_2O} + \frac{G_W \times MV_{H_2O}}{MWH_2O} + \frac{\alpha \times G_{FUEL} \times MV_{H_2O}}{100 \times 2 \times AWH} - \frac{G_{AIRD} \times p_{REST} \times MV_{H_2O}}{p_B \times MWH_2O}}{\frac{G_{AIRD} \times H_a \times MV_{H_2O}}{1000 \times MWH_2O} + \frac{G_{AIRD}}{1.293} + \frac{G_W \times MV_{H_2O}}{MWH_2O} + G_{FUEL} \times FFW} \quad (14)$$

$$K_{Wr} = 1 - \frac{1.2434 \times H_a + 1243.4 \times (G_W / G_{AIRD}) + 111.123 \times \alpha (G_{FUEL} / G_{AIRD}) - 1243.4 \times (p_{REST} / p_B)}{773.4 + 1.2434 \times H_a + 1243.4 \times (G_W / G_{AIRD}) + (G_{FUEL} / G_{AIRD}) \times FFW \times 1000} \quad (15)$$

ANNEX 2

DRAFT for the approval as a part of diesel engine (Part B)

**GUIDELINES FOR WATER INJECTION SYSTEMS –
MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)**

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A – WIS CERTIFICATION

- 1 GENERAL
 - 1 Purpose
 - 2 Application
 - 3 Definitions
- 2 SURVEY AND CERTIFICATION
 - 1 General
 - 2 Procedures with the certification of a WIS
 - 3 Technical File on Engine with WIS
- 3 EMISSION LIMIT
- 4 EMISSION TESTING
- 5 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

- 6 GENERAL
- 7 EXHAUST GAS MEASUREMENT
- 8 CALCULATION OF EMISSION RATE
- 9 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE
- 10 ON-BOARD MONITORING MANUAL
- 11 ENGINE COMPLIANCE
- 12 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring Method

Appendix 2 The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

Appendix 3 Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_{ff} using FFW

DRAFT for the approval as a part of diesel engine (Part B)

**GUIDELINES FOR WATER INJECTION SYSTEMS –
MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)**

INTRODUCTION

Regulation 13(3) of Annex VI to MARPOL 73/78 requires ships to comply with the NO_x limit either by diesel engine itself, an exhaust gas cleaning system or any other equivalent method to reduce NO_x emission. Water injection system (WIS) is one of the equivalent method and has some method to inject water into the diesel engine; for example, water injection before compressor inlet of turbocharger, before or after inter cooler, or direct injection into cylinders through injection nozzles. The WIS with a diesel engine is to be approved by the Administration taking into account guidelines to be developed by the Organization.

These guidelines have been developed with the intention of being objective and performance oriented. Introduction of the O₂ 13% converted NO_x (ppm) method would simplify the monitoring of NO_x emission. See Appendix 1 for the rational explaining the use of O₂ 13% converted NO_x (ppm) as the basis for system monitoring.

These guidelines are recommendatory in nature, however, Administrations are invited to base their implementation on these guidelines.

SAFETY NOTE

Due attention is to be given to the safety implications related to the handling and proximity of exhaust gases, the measurement equipment and the storage and use of cylindered pure and calibration gases. Sampling positions and access staging should be such that this monitoring may be performed safely.

SCHEME A – WIS CERTIFICATION

Water Injection System (WIS) is certified with the diesel engine by the Administration with subsequent in service verification at survey intervals by indirect means use monitoring.

1 GENERAL

1.1 Purpose

The purpose of these Guidelines is to specify the requirements for the testing, survey and certification of water injection system (WIS) with the diesel engine to ensure that they comply with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

1.2 Application

1.2.1 These Guidelines apply to WIS as fitted to the diesel engine.

1.2.2 These Guidelines cover only the certification, survey, and testing of WIS for compliance with regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI.

1.3 Definitions

“ppm” means “parts per million”. It is assumed that ppm is measured by gas analysers on a molar basis, assuming ideal micro-moles of substance per mole of total amount ($\mu\text{mol/mol}$), but ppm is used in order to be consistent with units in the NO_x Technical Code.

2 SURVEY AND CERTIFICATION

2.1 General

WIS should be surveyed as a part of the diesel engine at Initial, Annual/Intermediate Surveys by the Administration.

2.2 Procedures for the certification of a WIS

2.2.1 The diesel engine which uses WIS should be certified including it as meeting the emission limit of Regulation 13(3)(a) under the restrictions as given by the Technical File on the Engine as approved by the Administration.

2.2.2 Determination of the emission value should be in accordance with the provisions of these Guidelines.

2.3 Technical File on Engine with WIS

2.3.1 If a diesel engine uses WIS to comply with the emission limit of Regulation 13(3)(a), Technical File on Engine should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the operating limits, or range of operating values for the engine
These should, as a minimum, include:
 - (i) Type of WIS and water injection position;
 - (ii) maximum and minimum water flow rate;
 - (iii) salinity levels or fresh water elements necessary to provide adequate neutralizing agents; and
 - (iv) other factors in concerning the design and operation of the WIS relevant to achieving a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (b) any requirements or restrictions applicable to the WIS or associated equipment necessary to enable the unit to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (c) maintenance, service or adjustment requirements in order that the WIS can continue to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (d) the effect on water quality;
- (e) design requirements of the water injection system.

2.3.2 Additions, deletions or amendments to the Technical File on WIS should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the Technical File are separate to the Technical File as initially approved, they should be retained with the Technical File and should be considered as part of the Technical File.

2.3.3 In lieu of the maximum emission rate stipulated in 2.3.1(a) (iv) of Regulation 13(3)(a), O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) measured at downstream of engine may be used. O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) is explained in Appendix 2.

3 EMISSION LIMIT

3.1 The diesel engine with WIS should be capable of reducing emissions to no more than Regulation 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and as specified in paragraphs 3.2 through 3.3 of these Guidelines.

3.2 In order to demonstrate performance, the method of emission measurements should be referred “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”.

3.3 Alternatively to the provisions of 3.2, the diesel engine with WIS should be capable of reducing emissions to no more than O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and 2.3.2.

4 EMISSION TESTING

4.1 Emission testing should follow the requirements of the NO_x Technical Code, chapter 5, and associated Appendix, and “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”, except as provided for in these Guidelines.

4.2 NO_x should be measured on a dry or wet basis using analysers operating on CLD, HCLD or ZRDO (Zirconia sensor) principles and with additional equipment such as dryers as necessary. Other systems or analysers may be accepted, subject to the approval of the Administration, provided they yield equivalent results to those of the equipment referenced above.

4.3 An exhaust gas sample for NO_x should be obtained from a representative sampling point defined in sections 5.9.3 and 6.3.5 of NO_x Technical Code.

4.4 NO_x should be monitored on-line using either cross-duct or extractive sample systems.

4.5 Where NO_x is measured by a cross-duct system, the water content in the exhaust gas stream at that point is also to be determined in order to correct the reading to a dry basis value.

4.6 Where the exhaust gas mass flow is to be calculated in accordance with the NO_x Technical Code, Appendix 6, the complete combustion case calculations may be used. The exhaust gas mass flow (G_{EXHW}) should be determined in respect of the mass flow from the engine exhaust outlet. Furthermore, the water injected flow rate should be considered for Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor K_W by Appendix 3.

4.7 In applying the NOx Technical Code, equation 15, the dry basis NOx concentration should be converted to a wet basis value using the dry/wet correction factor applicable to the exhaust gas from the engine exhaust outlet (NOx Technical Code, equation 11, CO = 0).

4.8 The power should be the uncorrected engine brake power.

4.9 The determined emission value should be equal to, or less than, Regulation 13(3)(a).

4.10 In lieu of the testing procedure laid down in 4.6 to 4.8, compliance may be demonstrated by continuous monitoring of NOx and O₂ concentration from the engine exhaust outlet and demonstrating that the O₂ 13% converted NOx (ppm), at each test point is equal to or less than the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a).

4.11 Should the O₂ 13% converted NOx (ppm) method be used:

- (a) The conditions stipulated in 4.4 and 4.5 should also apply to the measurement of O₂ (%) and it is recommended that NOx and O₂ samples should be obtained at the same location.
- (b) Measurement of O₂ should either be carried out above the respective dew points or on a fully dry basis recognizing that the conditions stipulated in 4.6 to 4.8 should also apply to the measurement of O₂ (%).
- (c) Calculation of the O₂ 13% converted NOx (ppm) as defined in the following should comply with the requirements of Scheme B, section 8.

$$\text{O}_2 \text{ 13\% converted NOx(ppm)} = \text{NOx(Measured by ppm)} \times \left(\frac{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(13\%)}{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(\text{Measured by } \%)} \right)$$

5 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

5.1 For the engine with WIS, the Technical File on Engine should contain a verification procedure for use at surveys as required. This procedure should not require specialized equipment or an in depth knowledge of the system. Where particular devices are required they should be provided and maintained as part of the system. WIS should be designed in such a way as to facilitate inspection as required. The basis of this verification procedure is that if all relevant components and operating values or settings are within those as approved, then the performance of the diesel engine with WIS system is within that required without the need for actual exhaust emission measurements. It is also necessary to ensure that the WIS is fitted to a diesel engine for which it is rated.

5.2 Included in the verification procedure should be all components and operating values or settings which may affect the operation of the WIS and its ability to meet the required emission limit.

5.3 The verification procedure should be submitted by the diesel engine manufacturer and approved by the Administration.

5.4 The verification procedure should cover both a documentation check and a physical check of the WIS.

I:\BLG\10\12-2.doc

5.5 The Surveyor should verify that each WIS is installed in accordance with the Technical File on Engine as required.

5.6 The WIS should include means to automatically record when the system is in use. This should automatically record, as a minimum, injection water and fuel oil flow rate or rate between injection water flow rate and fuel oil flow rate at the WIS inlet connection, diesel engine load, and other parameters as considered necessary. The data recording system should comply with the requirements of Scheme B, sections 9 and 10.

5.7 If a continuous exhaust gas monitoring system is not fitted, it is recommended that a daily spot check of the exhaust gas quality in terms of O₂ 13% converted NO_x (ppm), is used to verify compliance in conjunction with parameter checks stipulated in 5.6. If a continuous exhaust gas monitoring system is fitted, only daily spot checks of the parameters listed in paragraph 5.6 would be needed to verify proper operation of the WIS.

5.8 It is recommended that continuous exhaust gas monitoring of each diesel engine be used to assure ship operators of compliance when operating and in the event of port State authority inspection.

5.9 A Record Book of the diesel engine should be maintained by the shipowner recording maintenance and service of the unit. The form of this record should be submitted by the diesel engine manufacturer and approved by the Administration. This record book should be available at surveys as required and may be read in conjunction with engine room log-books and other data as necessary to confirm the correction operation of the WIS. Alternatively, this information is to be recorded in the vessel's planned maintenance record system as approved by the Administration.

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

Compliance demonstrated in service by continuous exhaust gas monitoring. Monitoring system should be approved by the Administration and the results of that monitoring available to the Administration as necessary to demonstrate compliance as required.

6 GENERAL

This Scheme should be used to demonstrate that the emissions from a diesel engine fitted with a WIS will, with that system in operation, result in an emission value of O₂ 13% converted NO_x (ppm) below the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) and thus compliance with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

7 EXHAUST GAS MEASUREMENT

Exhaust gas composition, NO_x and O₂ measurement should be at an appropriate position at engine exhaust outlet and comply with the requirements of 4.2 and 4.9, Scheme A.

8 CALCULATION OF EMISSION RATE

8.1 NO_x (ppm) and O₂ (%) to be continuously monitored and recorded onto a data recording and processing device at a rate which should not be less than 0.005 Hz.

8.2 If more than one analyser is to be used to determine the O₂ 13% converted, these should be tuned to have similar sampling and measurement times and the data outputs aligned so that the O₂ 13% converted is fully representative of the exhaust gas composition.

9 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

9.1 The recording and processing device should be of robust, tamper proof design with read only capability.

9.2 The recording and processing device should record the data required by section 9.1 against UTC.

9.3 The recording and processing device should be capable of preparing reports over specified time periods.

9.4 Data should be retained for a period of not less than 18 months from the date of recording. If the unit is changed over that period, the shipowner should ensure that the required data is retained onboard and available as required.

9.5 The device should be capable of downloading a copy of the recorded data and reports in a readily useable format. Such copy of the data and reports should be available to the Administration or port State authority as requested.

10 ON-BOARD MONITORING MANUAL

An On-board Monitoring Manual (OMM) should be referred "Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5"

11 ENGINE COMPLIANCE

11.1 Under Scheme B, the Technical File on Engine should present continuous monitoring demonstrating that the O₂ 13% converted NO_x (ppm) does not exceed the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a). Under Scheme A, this would be demonstrated using daily recordings.

11.2 Ship construction requirements generally require that each diesel engine should have its own exhaust gas system venting to the atmosphere. Therefore compliance by the ship may be demonstrated by each diesel engine meeting the requirements of either Scheme A or Scheme B.

12 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

12.1 The injection water and fuel oil flow rate or rate between injection water flow rate and fuel oil flow rate at the WIS inlet connection, diesel engine load, and other parameters as considered necessary, should be monitored and recorded continuously in order to demonstrate compliance.

12.2 The Technical File on Engine with WIS should refer to the On-board Monitoring Manual as approved by the Administration.

Appendix 1

NOx Monitoring Method

[annex to appendix 1 of annex 1]

Appendix 2

The NOx (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NOx (ppm)

[annex to appendix 2 of annex 1]

Appendix 3

Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_w using FFW

[annex to appendix 3 of annex 1]

ANNEX 3

DRAFT for the type approval of system (Part A)

**GUIDELINES FOR WATER EMULSIFIED FUEL SYSTEMS –
MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)**

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A – WEFS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

- 1 GENERAL
 - 1 Purpose
 - 2 Application
 - 3 Definitions
- 2 SURVEY AND CERTIFICATION
 - 1 General
 - 2 Procedures with the certification of a WEFS
 - 3 WEFS Technical Manual
- 3 EMISSION LIMIT
- 4 APPROVAL OF WEFS
 - 1 Unit approval
 - 2 Serially manufactured units
 - 3 Product range approval
- 5 EMISSION TESTING
- 6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

- 7 GENERAL
- 8 EXHAUST GAS MEASUREMENT
- 9 CALCULATION OF EMISSION RATE
- 10 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE
- 11 ON-BOARD MONITORING MANUAL

NCP COMPLIANCE PLAN

12 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

13 SHIP COMPLIANCE

1 Scheme A

2 Scheme B

14 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring Method

Appendix 2 The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

Appendix 3 Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_{ff} using FFW

DRAFT for the type approval of system (Part A)

**GUIDELINES FOR WATER EMULSIFIED FUEL SYSTEMS –
MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)**

INTRODUCTION

Regulation 13(3) of Annex VI to MARPOL 73/78 requires ships to comply with the NO_x limit either by diesel engine itself, an exhaust gas cleaning system or any other equivalent method to reduce NO_x emission. Water emulsified fuel system (WEFS) is one of the equivalent method. WEFS is defined as a water emulsified fuel supply system into the diesel engine up to injection pump in these guidelines. The WEFS is to be approved by the Administration taking into account guidelines to be developed by the Organization.

Similar to an exhaust gas cleaning system (EGCS-SO_x), WEFS may be type approved subject to periodic parameter and emission checks or the system may be equipped with a continuous emission monitoring system. These guidelines have been developed with the intention of being objective and performance oriented. Introduction of the O₂ 13% converted NO_x (ppm) would simplify the monitoring of NO_x emission. See Appendix 1 for the rational explaining the use of O₂ 13% converted NO_x (ppm) as the basis for system monitoring.

These guidelines are recommendatory in nature, however, Administrations are invited to base their implementation on these guidelines.

SAFETY NOTE

Due attention is to be given to the safety implications related to the handling and proximity of exhaust gases, the measurement equipment and the storage and use of cylindered pure and calibration gases. Sampling positions and access staging should be such that this monitoring may be performed safely.

SCHEME A – WEFS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

Unit certification of water emulsified fuel system (WEFS) by the Administration should be made with subsequent in service verification at survey intervals by indirect means together with unit use monitoring.

1 GENERAL

1.1 Purpose

The purpose of these Guidelines is to specify the requirements for the design, testing, survey and certification of water emulsified fuel system (WEFS) to ensure that they comply with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

1.2 Application

1.2.1 These Guidelines apply to WEFS as fitted to a diesel engine onboard a ship.

1.2.2 These Guidelines cover only the certification, survey, and testing of WEFS for compliance with regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI.

I:\BLG\10\12-2.doc

1.3 Definitions

“ppm” means “parts per million”. It is assumed that ppm is measured by gas analysers on a molar basis, assuming ideal micro-moles of substance per mole of total amount ($\mu\text{mol/mol}$), but ppm is used in order to be consistent with units in the NO_x Technical Code.

2 SURVEY AND CERTIFICATION

2.1 General

2.1.1 Prior to use, each WEFS should be issued by the Administration with a NO_x Assist Compliance Certificate (NACC).

2.1.2 WEFS as fitted should be subject to survey on installation and at Initial, Annual/Intermediate and Renewals Surveys by the Administration.

2.1.3 The ship’s NACC should be duly endorsed at each survey as required by 2.1.2.

2.1.4 In accordance with regulation 10, WEFS may also be subject to survey by PSC.

2.2 Procedures for the certification of a WEFS

2.2.1 In order to meet the requirements of 2.1.1 either prior to, or after installation on board, each WEFS should be certified as meeting the emission limit of Regulation 13(3)(a) under the restrictions as given by the WEFS Technical Manual (WETM) as approved by the Administration.

2.2.2 Determination of the emission value should be in accordance with the provisions of these Guidelines.

2.2.3 WEFS meeting the requirements of 2.2.1 should be issued by the Administration with a NACC.

2.2.4 Application for a NACC should be made by the WEFS manufacturer, shipowner or other party.

2.2.5 Subsequent WEFS of the same design and rating as that certified under 2.2.1 may be issued with NACC by the Administration without the need for testing in accordance with 2.2.1 subject to section 4.2 of these Guidelines.

2.2.6 WEFS of the same design, but with ratings different from that certified under 2.2.1 may be accepted by the Administration subject to section 4.3 of these Guidelines.

2.3 WEFS Technical Manual

2.3.1 Each WEFS is to be supplied with a WEFS Technical Manual (WETM). This WETM should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the identification of the unit (manufacturer, model/type, serial number and other details as necessary) including a description of the unit and any required ancillary systems;

- (b) the operating limits, or range of operating values, for which the unit is certified. These should, as a minimum, include:
 - (i) Type of WEFS, water inlet position type of emulsifier if used and content of emulsifier;
 - (ii) the power, type and other relevant parameters of diesel engine for which the WEFS is to be fitted;
 - (iii) maximum and minimum water flow rate, fuel rack position;
 - (iv) salinity levels or fresh water elements necessary to provide adequate neutralizing agents; and
 - (v) other factors in concerning the design and operation of the WEFS relevant to achieving a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (c) any requirements or restrictions applicable to the WEFS or associated equipment necessary to enable the unit to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (d) maintenance, service or adjustment requirements in order that the WEFS can continue to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (e) the means by which the WEFS is to be surveyed to ensure that its performance is maintained and that the unit is used as required (see section 6);
- (f) the effect on water quality;
- (g) design requirements of the water emulsified fuel system; and
- (h) the NACC as applicable.

2.3.2 The WETM should be approved by the Administration.

2.3.3 The WETM should be retained onboard the ship onto which the WEFS is fitted. The WETM should be available for surveys as required.

2.3.4 Additions, deletions or amendments to the WETM should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the WETM are separate to the WETM as initially approved, they should be retained with the WETM and should be considered as part of the WETM.

2.3.5 In lieu of the maximum emission rate stipulated in 2.3.1(b) (v) of Regulation 13(3)(a), O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) measured at downstream of engine may be used. O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) is explained in Appendix 2.

3 EMISSION LIMIT

3.1 Each WEFS should be capable of reducing emissions to no more than Regulation 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and as specified in paragraphs 3.2 through 3.6 of these Guidelines.

3.2 WEFS fitted to main propulsion diesel engines should meet the requirements of 3.1 by the test cycle which is described in the sections 5 and 6 of NOx Technical Code.

3.3 WEFS fitted to auxiliary diesel engines should meet the requirements of 3.1 by the test cycle which is described in the chapters 5 and 6 of NOx Technical Code.

3.4 WEFS fitted to diesel engines which supply power for both main propulsion and auxiliary purposes should meet the requirements of 3.3.

3.5 In order to demonstrate performance, the method of emission measurements should be referred "Guidelines for On-board NOx Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5".

3.6 Alternatively to the provisions of 3.2-3.5, each WEFS should be capable of reducing emissions to no more than O₂ 13% converted NOx (ppm) of equivalent to 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and 2.3.4.

4 APPROVAL OF WEFS

4.1 Unit approval

4.1.1 WEFS should be capable of meeting the limit value of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a) for each mode and for the range of operating parameters, as listed in 2.3.1(b), for which they are to be approved.

4.1.2 The maximum and, if applicable, minimum fuel oil and water flow rates of the unit should be stated. The effect of variation of the other parameters defined in 2.3.1(b) should be justified by the equipment manufacturer. The effect of variations in these factors is to be assessed by testing or otherwise as appropriate. No variation in these factors, or combination of variations in these factors, should be such that the emission value of the WEFS would be in excess of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a) for each mode.

4.1.3 Data obtained in accordance with this section should be submitted to the Administration for approval together with the WETM.

4.2 Serially manufactured units

In the case of nominally similar WEFS of the same fuel oil and water flow ratings as that certified under 4.1, and to avoid the testing in accordance with 2.2.1 each WEFS, the equipment manufacturer may submit, for acceptance by the Administration, a conformity of production arrangement. The certification of each WEFS unit under this arrangement should be subject to such surveys that the Administration may consider necessary as to assure that each WEFS has an emission value of not more than Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a) for each mode when operated in accordance with the parameters defined in 2.3.1(b).

4.3 Product range approval

4.3.1 In the case of WEFS of the same design, but of different maximum fuel flow and water flow capacities, the Administration may accept, in lieu of tests on WEFS of all capacities in accordance with section 4.1, tests of WEFS systems of three different capacities provided that the three tests are performed at intervals including the highest, lowest and one intermediate capacity rating within the range.

4.3.2 Where there are significant differences in the design of WEFS of different capacities, this procedure should not be applied unless it can be shown, to the satisfaction of the Administration, that in practice those differences do not materially alter the performance between the various WEFS types.

4.3.3 For WEFS of different capacities, the sensitivity to diesel engine to which they are fitted should be detailed together with sensitivity to the variations in the parameters listed in 2.3.1(b). This should be on the basis of testing, or other data as appropriate.

4.3.4 The effect of changes of WEFS capacity on water characterization should be detailed.

4.3.5 All supporting data obtained in accordance with this section, together with the WETM for each capacity unit, should be submitted to the Administration in accordance with 4.1.3.

4.3.6 If there is a data with units of O₂ 13% converted NO_x (ppm) and g/kWh by the measurement procedure of NO_x Technical Code, O₂ 13% converted NO_x (ppm) may be used for emission limit value specified in 4.1 to 4.3 above.

5 EMISSION TESTING

5.1 Emission testing should follow the requirements of the NO_x Technical Code, chapter 5, and associated Appendices, and “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”, except as provided for in these Guidelines.

5.2 NO_x should be measured on a dry or wet basis using analysers operating on CLD, HCLD or ZRDO (Zirconia sensor) principles and with additional equipment such as dryers as necessary. Other systems or analysers may be accepted, subject to the approval of the Administration, provided they yield equivalent results to those of the equipment referenced above.

5.3 An exhaust gas sample for NO_x should be obtained from a representative sampling point defined in sections 5.9.3 and 6.3.5 of NO_x Technical Code.

5.4 NO_x should be monitored on-line using either cross-duct or extractive sample systems.

5.5 Where NO_x is measured by a cross-duct system, the water content in the exhaust gas stream at that point is also to be determined in order to correct the reading to a dry basis value.

5.6 Where the exhaust gas mass flow is to be calculated in accordance with the NO_x Technical Code, Appendix 6, the complete combustion case calculations may be used. The exhaust gas mass flow (G_{EXHW}) should be determined in respect of the mass flow from the engine exhaust outlet. Furthermore, the water injected flow rate should be considered for Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor K_W by Appendix 3.

5.7 In applying the NOx Technical Code, equation 15, the dry basis NOx concentration should be converted to a wet basis value using the dry/wet correction factor applicable to the exhaust gas from the engine exhaust outlet (NOx Technical Code, equation 11, CO = 0).

5.8 The power should be the uncorrected engine brake power.

5.9 The determined emission value should be equal to, or less than, Regulation 13(3)(a).

5.10 In lieu of the testing procedure laid down in 5.6 to 5.7 and 5.8, compliance may be demonstrated by continuous monitoring of NOx and O₂ concentration from the engine exhaust outlet and demonstrating that the O₂ 13% converted NOx (ppm), at each test point is equal to or less than the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a).

5.11 Should the O₂ 13% converted NOx (ppm) method be used:

- (a) The conditions stipulated in 5.4 and 5.5 should also apply to the measurement of O₂ (%) and it is recommended that NOx and O₂ samples should be obtained at the same location.
- (b) Measurement of O₂ should either be carried out above the respective dew points or on a fully dry basis recognizing that the conditions stipulated in 5.6 to 5.8 should also apply to the measurement of O₂ (%).
- (c) Calculation of the O₂ 13% converted NOx (ppm) as defined in the following should comply with the requirements of Scheme B, section 9.

$$\text{O}_2 \text{ 13\% converted NOx(ppm)} = \text{NOx(Measured by ppm)} \times \left(\frac{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(13\%)}{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(\text{Measured by } \%)} \right)$$

6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

6.1 For each WEFS, the WETM should contain a verification procedure for use at surveys as required. This procedure should not require specialized equipment or an in depth knowledge of the system. Where particular devices are required they should be provided and maintained as part of the system. WEFS should be designed in such a way as to facilitate inspection as required. The basis of this verification procedure is that if all relevant components and operating values or settings are within those as approved, then the performance of the WEFS system is within that required without the need for actual exhaust emission measurements. It is also necessary to ensure that the WEFS is fitted to a diesel engine for which it is rated.

6.2 Included in the verification procedure should be all components and operating values or settings which may affect the operation of the WEFS and its ability to meet the required emission limit.

6.3 The verification procedure should be submitted by the WEFS manufacturer and approved by the Administration.

6.4 The verification procedure should cover both a documentation check and a physical check of the WEFS.

6.5 The Surveyor should verify that each WEFS is installed in accordance with the WETM and has a NACC as required.

6.6 At the discretion of the Administration, the Surveyor should have the option of checking one or all of the identified components, operating values or settings. Where there is more than one WEFS, the Administration may, at its discretion, abbreviate or reduce the extent of the survey on board however the entire survey should be completed for at least one of each type of WEFS on board provided that it is expected that the other WEFS perform in the same manner.

6.7 The WEFS should include means to automatically record when the system is in use. This should automatically record, as a minimum, water and fuel oil flow rate or rate between water flow rate and fuel oil flow rate at the WEFS inlet connection, water injection pressure and temperature, diesel engine load, and other parameters as considered necessary. The data recording system should comply with the requirements of Scheme B, sections 11 and 12.

6.8 If a continuous exhaust gas monitoring system is not fitted, it is recommended that a daily spot check of the exhaust gas quality in terms of O₂ 13% converted NO_x (ppm), is used to verify compliance in conjunction with parameter checks stipulated in 6.7. If a continuous exhaust gas monitoring system is fitted, only daily spot checks of the parameters listed in paragraph 6.7 would be needed to verify proper operation of the WEFS.

6.9 If the WEFS manufacturer is unable to provide assurance that the WEFS will meet the limit value of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) for each mode between surveys, by means of the verification procedure stipulated in 6.1, or if this requires specialist equipment or in-depth knowledge, it is recommended that continuous exhaust gas monitoring of each WEFS be used to assure ship operators of compliance when operating and in the event of port State authority inspection.

6.10 A WEFS Record Book should be maintained by the shipowner recording maintenance and service of the unit. The form of this record should be submitted by the WEFS manufacturer and approved by the Administration. This record book should be available at surveys as required and may be read in conjunction with engine room log-books and other data as necessary to confirm the correction operation of the WEFS. Alternatively, this information is to be recorded in the vessel's planned maintenance record system as approved by the Administration.

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

Compliance demonstrated in service by continuous exhaust gas monitoring. Monitoring system should be approved by the Administration and the results of that monitoring available to the Administration as necessary to demonstrate compliance as required.

Additionally for all ships which are to use a WEFS in order to comply with the requirements of regulation 13(3) there should be a NO_x Compliance Plan (NCP) for the ship, approved by the Administration, detailing how:

- (a) compliance is to be achieved;
- (b) that compliance is to be demonstrated.

7 GENERAL

This Scheme should be used to demonstrate that the emissions from a diesel engine fitted with a WEFS will, with that system in operation, result in an emission value of O₂ 13% converted NO_x (ppm) below the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) and thus compliance with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

8 EXHAUST GAS MEASUREMENT

Exhaust gas composition, NO_x and O₂ measurement should be at an appropriate position at engine exhaust outlet and comply with the requirements of 5.2 and 5.9, Scheme A.

9 CALCULATION OF EMISSION RATE

9.1 NO_x (ppm) and O₂ (%) to be continuously monitored and recorded onto a data recording and processing device at a rate which should not be less than 0.005 Hz.

9.2 If more than one analyser is to be used to determine the O₂ 13% converted, these should be tuned to have similar sampling and measurement times and the data outputs aligned so that the O₂ 13% converted is fully representative of the exhaust gas composition.

10 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

10.1 The recording and processing device should be of robust, tamper proof design with read only capability.

10.2 The recording and processing device should record the data required by section 10.1 against UTC.

10.3 The recording and processing device should be capable of preparing reports over specified time periods.

10.4 Data should be retained for a period of not less than 18 months from the date of recording. If the unit is changed over that period, the shipowner should ensure that the required data is retained onboard and available as required.

10.5 The device should be capable of downloading a copy of the recorded data and reports in a readily useable format. Such copy of the data and reports should be available to the Administration or port State authority as requested.

11 ON-BOARD MONITORING MANUAL

An On-board Monitoring Manual (OMM) should be referred "Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5".

12 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

For all ships which are to use a WEFS, in order to comply with the requirements of regulation 13(3) there should be a NO_x Compliance Plan (NCP) for the ship, approved by the Administration.

13 SHIP COMPLIANCE

13.1 The NCP should list each item of diesel engine which is to meet the requirements for operating by means of an approved WEFS.

13.2 Under Scheme A, the NCP should present daily recordings demonstrating that the parameters in paragraph 6.7 are maintained within the manufacturer's recommended specifications.

13.3 Under Scheme B, the NCP should present continuous monitoring demonstrating that the O₂ 13% converted NO_x (ppm) does not exceed the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a).

13.4 Ship construction requirements generally require that each diesel engine should have its own exhaust gas system venting to the atmosphere. Therefore compliance by the ship may be demonstrated by each diesel engine meeting the requirements of either Scheme A or Scheme B.

13.5 If each diesel engine meets the requirements of either regulation 13(3)(a) or 13(3)(b)(ii) the ship is considered to be in compliance with the requirements.

14 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

14.1 The NCP should refer to, not reproduce, the WETM and Record Book as specified under that Scheme. Alternatively, this information is to be recorded in the ship's planned Maintenance Record System, as allowed by the Administration.

14.2 For all diesel engine listed under 13.1, details should be provided demonstrating that the rating and restrictions for the WEFS as approved, 2.3.1(b), are complied with.

14.3 The water and fuel oil flow rate or rate between injection water flow rate and fuel oil flow rate at the WEFS inlet connection, water temperature, diesel engine load, and other parameters as considered necessary, should be monitored and recorded continuously in order to demonstrate compliance.

14.4 The NCP should refer to the On-board Monitoring Manual as approved by the Administration and the input data and resulting reports.

Appendix 1

NO_x Monitoring Method

[annex to appendix 1 of annex 1]

Appendix 2

The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

[annex to appendix 2 of annex 1]

Appendix 3

Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_W using FFW

[annex to appendix 3 of annex 1]

ANNEX 4

DRAFT for the approval as a part of diesel engine (Part B)

GUIDELINES FOR WATER EMULSIFIED FUEL SYSTEMS – MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A – WEFS CERTIFICATION

- 1 GENERAL
 - 1 Purpose
 - 2 Application
 - 3 Definitions
- 2 SURVEY AND CERTIFICATION
 - 1 General
 - 2 Procedures with the certification of a WEFS
 - 3 Technical File on Engine with WEFS
- 3 EMISSION LIMIT
- 4 EMISSION TESTING
- 5 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

- 6 GENERAL
- 7 EXHAUST GAS MEASUREMENT
- 8 CALCULATION OF EMISSION RATE
- 9 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE
- 10 ON-BOARD MONITORING MANUAL
- 11 ENGINE COMPLIANCE
- 12 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring Method

Appendix 2 The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

Appendix 3 Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_{FW} using FFW

DRAFT for the approval as a part of diesel engine (Part B)

**GUIDELINES FOR WATER EMULSIFIED FUEL SYSTEMS –
MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(ii)**

INTRODUCTION

Regulation 13(3) of Annex VI to MARPOL 73/78 requires ships to comply with the NO_x limit either by diesel engine itself, an exhaust gas cleaning system or any other equivalent method to reduce NO_x emission. Water emulsified fuel system (WEFS) is one of the equivalent method. The WEFS with a diesel engine is to be approved by the Administration taking into account guidelines to be developed by the Organization.

These guidelines have been developed with the intention of being objective and performance oriented. Introduction of the O₂ 13% converted NO_x (ppm) would simplify the monitoring of NO_x emission. See Appendix 1 for the rational explaining the use of O₂ 13% converted NO_x (ppm) as the basis for system monitoring.

These guidelines are recommendatory in nature, however, Administrations are invited to base their implementation on these guidelines.

SAFETY NOTE

Due attention is to be given to the safety implications related to the handling and proximity of exhaust gases, the measurement equipment and the storage and use of cylindered pure and calibration gases. Sampling positions and access staging should be such that this monitoring may be performed safely.

SCHEME A – WEFS CERTIFICATION

Water Emulsified Fuel System (WEFS) is certified with the diesel engine by the Administration with subsequent in service verification at survey intervals by indirect means use monitoring.

1 GENERAL

1.1 Purpose

The purpose of these Guidelines is to specify the requirements for the testing, survey and certification of water emulsified fuel system (WEFS) with the diesel engine to ensure that they comply with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

1.2 Application

1.2.1 These Guidelines apply to WEFS as fitted to the diesel engine.

1.2.2 These Guidelines cover only the certification, survey, and testing of WEFS for compliance with regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI.

1.3 Definitions

“ppm” means “parts per million”. It is assumed that ppm is measured by gas analysers on a molar basis, assuming ideal micro-moles of substance per mole of total amount ($\mu\text{mol/mol}$), but ppm is used in order to be consistent with units in the NO_x Technical Code.

2 SURVEY AND CERTIFICATION

2.1 General

WEFS should be surveyed as a part of the diesel engine at Initial, Annual/Intermediate Surveys by the Administration.

2.2 Procedures for the certification of a WEFS

2.2.1 The diesel engine which uses WEFS should be certified including it as meeting the emission limit of Regulation 13(3)(a) under the restrictions as given by the Technical File on the Engine as approved by the Administration.

2.2.2 Determination of the emission value should be in accordance with the provisions of these Guidelines.

2.3 Technical File on Engine with WEFS

2.3.1 If a diesel engine uses WEFS to comply with the emission limit of Regulation 13(3)(a), Technical File on Engine should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the operating limits, or range of operating values for the engine. These should, as a minimum, include:
 - (i) Type of WEFS, water inlet position type of emulsifier if used and content of emulsifier;
 - (ii) maximum and minimum water flow rate, fuel rack position;
 - (iii) salinity levels or fresh water elements necessary to provide adequate neutralizing agents; and
 - (iv) other factors in concerning the design and operation of the WEFS relevant to achieving a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (b) any requirements or restrictions applicable to the WEFS or associated equipment necessary to enable the unit to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (c) maintenance, service or adjustment requirements in order that the WEFS can continue to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (d) the effect on water quality;

- (e) design requirements of the water emulsified fuel system.

2.3.2 Additions, deletions or amendments to the Technical File on WEFS should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the Technical File are separate to the Technical File as initially approved, they should be retained with the Technical File and should be considered as part of the Technical File.

2.3.3 In lieu of the maximum emission rate stipulated in 2.3.1(a) (iv) of Regulation 13(3)(a), O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) measured at downstream of engine may be used. O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) is explained in Appendix 2.

3 EMISSION LIMIT

3.1 The diesel engine with WEFS should be capable of reducing emissions to no more than Regulation 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and as specified in paragraphs 3.2 through 3.3 of these Guidelines.

3.2 In order to demonstrate performance, the method of emission measurements should be referred “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”.

3.3 Alternatively to the provisions of 3.2, the diesel engine with WEFS should be capable of reducing emissions to no more than O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and 2.3.2.

4 EMISSION TESTING

4.1 Emission testing should follow the requirements of the NO_x Technical Code, chapter 5, and associated Appendix, and “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”, except as provided for in these Guidelines.

4.2 NO_x should be measured on a dry or wet basis using analysers operating on CLD, HCLD or ZRDO (Zirconia sensor) principles and with additional equipment such as dryers as necessary. Other systems or analysers may be accepted, subject to the approval of the Administration, provided they yield equivalent results to those of the equipment referenced above.

4.3 An exhaust gas sample for NO_x should be obtained from a representative sampling point defined in sections 5.9.3 and 6.3.5 of NO_x Technical Code.

4.4 NO_x should be monitored on-line using either cross-duct or extractive sample systems.

4.5 Where NO_x is measured by a cross-duct system, the water content in the exhaust gas stream at that point is also to be determined in order to correct the reading to a dry basis value.

4.6 Where the exhaust gas mass flow is to be calculated in accordance with the NO_x Technical Code, Appendix 6, the complete combustion case calculations may be used. The exhaust gas mass flow (G_{EXHW}) should be determined in respect of the mass flow from the engine exhaust outlet. Furthermore, the water injected flow rate should be considered for Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor K_W by Appendix 3.

4.7 In applying the NOx Technical Code, equation 15, the dry basis NOx concentration should be converted to a wet basis value using the dry/wet correction factor applicable to the exhaust gas from the engine exhaust outlet (NOx Technical Code, equation 11, CO = 0).

4.8 The power should be the uncorrected engine brake power.

4.9 The determined emission value should be equal to, or less than, Regulation 13(3)(a).

4.10 In lieu of the testing procedure laid down in 4.6 to 4.8, compliance may be demonstrated by continuous monitoring of NOx and O₂ concentration from the engine exhaust outlet and demonstrating that the O₂ 13% converted NOx (ppm), at each test point is equal to or less than the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a).

4.11 Should the O₂ 13% converted NOx (ppm) method be used:

- (a) The conditions stipulated in 4.4 and 4.5 should also apply to the measurement of O₂ (%) and it is recommended that NOx and O₂ samples should be obtained at the same location.
- (b) Measurement of O₂ should either be carried out above the respective dew points or on a fully dry basis recognizing that the conditions stipulated in 4.6 to 4.8 should also apply to the measurement of O₂ (%).
- (c) Calculation of the O₂ 13% converted NOx (ppm) as defined in the following should comply with the requirements of Scheme B, section 8.

$$\text{O}_2 \text{ 13\% converted NOx(ppm)} = \text{NOx(Measured by ppm)} \times \left(\frac{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(13\%)}{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(\text{Measured by \%})} \right)$$

5 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

5.1 For the engine with WEFS, the Technical File on Engine should contain a verification procedure for use at surveys as required. This procedure should not require specialized equipment or an in depth knowledge of the system. Where particular devices are required they should be provided and maintained as part of the system. WEFS should be designed in such a way as to facilitate inspection as required. The basis of this verification procedure is that if all relevant components and operating values or settings are within those as approved, then the performance of the diesel engine with WEFS system is within that required without the need for actual exhaust emission measurements. It is also necessary to ensure that the WEFS is fitted to a diesel engine for which it is rated.

5.2 Included in the verification procedure should be all components and operating values or settings which may affect the operation of the WEFS and its ability to meet the required emission limit.

5.3 The verification procedure should be submitted by the diesel engine manufacturer and approved by the Administration.

5.4 The verification procedure should cover both a documentation check and a physical check of the WEFS.

5.5 The Surveyor should verify that each WEFS is installed in accordance with the Technical File on Engine as required.

5.6 The WEFS should include means to automatically record when the system is in use. This should automatically record, as a minimum, water and fuel oil flow rate or rate between water flow rate and fuel oil flow rate at the WEFS inlet connection, diesel engine load, and other parameters as considered necessary. The data recording system should comply with the requirements of Scheme B, sections 9 and 10.

5.7 If a continuous exhaust gas monitoring system is not fitted, it is recommended that a daily spot check of the exhaust gas quality in terms of O₂ 13% converted NO_x (ppm), is used to verify compliance in conjunction with parameter checks stipulated in 5.6. If a continuous exhaust gas monitoring system is fitted, only daily spot checks of the parameters listed in paragraph 5.6 would be needed to verify proper operation of the WEFS.

5.8 It is recommended that continuous exhaust gas monitoring of each diesel engine be used to assure ship operators of compliance when operating and in the event of port State authority inspection.

5.9 A Record Book of the diesel engine should be maintained by the shipowner recording maintenance and service of the unit. The form of this record should be submitted by the diesel engine manufacturer and approved by the Administration. This record book should be available at surveys as required and may be read in conjunction with engine room log-books and other data as necessary to confirm the correction operation of the WEFS. Alternatively, this information is to be recorded in the vessel's planned maintenance record system as approved by the Administration.

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

Compliance demonstrated in service by continuous exhaust gas monitoring. Monitoring system should be approved by the Administration and the results of that monitoring available to the Administration as necessary to demonstrate compliance as required.

6 GENERAL

This Scheme should be used to demonstrate that the emissions from a diesel engine fitted with a WEFS will, with that system in operation, result in an emission value of O₂ 13% converted NO_x (ppm) below the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) and thus compliance with the requirements of regulation 13(3)(b)(ii) of Annex VI of MARPOL 73/78.

7 EXHAUST GAS MEASUREMENT

Exhaust gas composition, NO_x and O₂ measurement should be at an appropriate position at engine exhaust outlet and comply with the requirements of 4.2 and 4.9, Scheme A.

8 CALCULATION OF EMISSION RATE

8.1 NO_x (ppm) and O₂ (%) to be continuously monitored and recorded onto a data recording and processing device at a rate which should not be less than 0.005 Hz.

8.2 If more than one analyser is to be used to determine the O₂ 13% converted, these should be tuned to have similar sampling and measurement times and the data outputs aligned so that the O₂ 13% converted is fully representative of the exhaust gas composition.

9 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

9.1 The recording and processing device should be of robust, tamper proof design with read only capability.

9.2 The recording and processing device should record the data required by section 9.1 against UTC.

9.3 The recording and processing device should be capable of preparing reports over specified time periods.

9.4 Data should be retained for a period of not less than 18 months from the date of recording. If the unit is changed over that period, the shipowner should ensure that the required data is retained onboard and available as required.

9.5 The device should be capable of downloading a copy of the recorded data and reports in a readily useable format. Such copy of the data and reports should be available to the Administration or port State authority as requested.

10 ON-BOARD MONITORING MANUAL

An On-board Monitoring Manual (OMM) should be referred "Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5".

11 ENGINE COMPLIANCE

11.1 Under Scheme B, the Technical File on Engine should present continuous monitoring demonstrating that the O₂ 13% converted NO_x (ppm) does not exceed the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a). Under Scheme A, this would be demonstrated using daily recordings.

11.2 Ship construction requirements generally require that each diesel engine should have its own exhaust gas system venting to the atmosphere. Therefore compliance by the ship may be demonstrated by each diesel engine meeting the requirements of either Scheme A or Scheme B.

12 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

12.1 The injection water and fuel oil flow rate or rate between injection water flow rate and fuel oil flow rate at the WEFS inlet connection, diesel engine load, and other parameters as considered necessary, should be monitored and recorded continuously in order to demonstrate compliance.

12.2 The Technical File on Engine with WEFS should refer to the On-board Monitoring Manual as approved by the Administration.

Appendix 1

NO_x Monitoring Method

[annex to appendix 1 of annex 1]

Appendix 2

The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

[annex to appendix 2 of annex 1]

Appendix 3

Exhaust Flow Rate and Calculation of the Dry to Wet Correction Factor K_W using FFW

[annex to appendix 3 of annex 1]

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION



IMO

E

SUB-COMMITTEE ON BULK LIQUIDS
AND GASES
10th session
Agenda item 12

BLG 10/12/1
23 December 2005
Original: ENGLISH

GUIDELINES ON EQUIVALENT METHODS TO REDUCE ON-BOARD NO_x EMISSION

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

Submitted by Japan

SUMMARY

<i>Executive summary:</i>	This document provides the proposal of the draft guidelines for marine selective catalytic reduction systems related to regulation 13(3)(b)(i) of MARPOL Annex VI. Although BLG 10/12, which is corresponding to DE 48/INF.3 has been already circulated, Japan submitted this document as the latest version of the guidelines.
<i>Action to be taken:</i>	Paragraph 3
<i>Related documents:</i>	MEPC 51/4/1, DE 48/INF.3, MEPC 53/4/15, MEPC 53/24, BLG 10/12 and BLG 10/12/2

Background

1 The Marine Environment Protection Committee, at its fifty-third session, considered the submission by Japan (MEPC 53/4/15) containing a proposal for marine selective catalytic reduction (SCR) systems and decided that the Japanese proposal should be taken into account by BLG 10 in its development of the Guidelines on equivalent methods to reduce on-board NO_x emissions.

Purpose

2 The first draft of the Guidelines prepared by Japan was submitted to the DE Sub-Committee as document DE 48/INF.3 and resubmitted to this Sub-Committee under cover of document BLG 10/12. Since these draft Guidelines were prepared using the format of the old draft Guidelines on on-board cleaning systems for SO_x (EGCS-SO_x), Japan has revised the draft, taking into account the Guidelines on EGCS-SO_x, adopted by MEPC 53, in order to facilitate the work of the Sub-Committee.

Action requested of the Sub-Committee

3 The Sub-Committee is invited to consider this draft Guidelines for SCR systems attached as annex to this document and take action as appropriate.

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:\BLG\10\12-1.doc

ANNEX

**DRAFT GUIDELINES FOR MARINE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION
SYSTEMS – MARPOL ANNEX VI, REGULATION 13(3)(b)(i)**

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A - SCRS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

1 GENERAL

- 1 Purpose
- 2 Application
- 3 Definitions

2 SURVEY AND CERTIFICATION

- 1 General
- 2 Procedures with the certification of a SCRS
- 3 SCRS Technical Manual

3 EMISSION LIMIT

4 APPROVAL OF SCRS

- 1 Unit approval
- 2 Serially manufactured units
- 3 Product range approval

5 EMISSION TESTING

**6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT
ON BOARD**

7 SLIP AMMONIA CHECK

SCHEME B -CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

8 GENERAL

9 EXHAUST GAS MEASUREMENT

10 CALCULATION OF EMISSION RATE

11 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

12 ON-BOARD MONITORING MANUAL

I:\BLG\10\12-1.doc

NCP COMPLIANCE PLAN

- 13 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)
- 14 SHIP COMPLIANCE
 - 1 Scheme A
 - 2 Scheme B
- 15 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring Method

Appendix 2 The NO_x (g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x (ppm)

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

INTRODUCTION

Regulation 13(3) of Annex VI to MARPOL 73/78 requires ships to comply with the NO_x limit either by diesel engine itself, an exhaust gas cleaning system or any other equivalent method to reduce NO_x emission. Selective catalytic reduction system (SCRS) is one of the exhaust gas cleaning systems. The SCRS is to be approved by the Administration taking into account guidelines to be developed by the Organization.

Similar to an exhaust gas cleaning system (EGCS-SO_x), SCRS may be type approved subject to periodic parameter and emission checks or the system may be equipped with a continuous emission monitoring system. These guidelines have been developed with the intention of being objective and performance oriented. Introduction of the O₂ 13% converted NO_x (ppm) would simplify the monitoring of NO_x emission and facilitate type approval of the SCRS. See Appendix 1 for the rationale explaining the use of O₂ 13% converted NO_x (ppm) as the basis for system monitoring.

These guidelines are recommendatory in nature, however, Administrations are invited to base their implementation on these guidelines.

SAFETY NOTE

Due attention is to be given to the safety implications related to the handling and proximity of exhaust gases, the measurement equipment and the storage and use of cylindered pure and calibration gases. Sampling positions and access staging should be such that this monitoring may be performed safely.

SCHEME A – SCRS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

Unit certification of Selective Catalytic Reduction System (SCRS) by the Administration should be made with subsequent in service verification at survey intervals by indirect means together with unit use monitoring.

1 GENERAL

1.1 Purpose

The purpose of these Guidelines is to specify the requirements for the design, testing, survey and certification of selective catalytic reduction systems (SCRS) to ensure that they comply with the requirements of regulation 13(3)(b)(i) of Annex VI of MARPOL 73/78.

1.2 Application

1.2.1 These Guidelines apply to SCRS as fitted to a diesel engine installed onboard a ship.

1.2.2 These Guidelines cover only the certification, survey, and testing of SCRS for compliance with regulation 13(3)(b)(i) of Annex VI.

1.3 Definitions

“ppm” means “parts per million”. It is assumed that ppm is measured by gas analysers on a molar basis, assuming ideal micro-moles of substance per mole of total amount ($\mu\text{mol/mol}$), but ppm is used in order to be consistent with units in the NOx Technical Code.

2 SURVEY AND CERTIFICATION

2.1 General

2.1.1 Prior to use, each SCRS should be issued by the Administration with a NOx Assist Compliance Certificate (NACC).

2.1.2 SCRS as fitted should be subject to survey on installation and at Initial, Annual/Intermediate and Renewals Surveys by the Administration.

2.1.3 The ship's NACC should be duly endorsed at each survey as required by 2.1.2.

2.1.4 In accordance with regulation 10, SCRS may also be subject to survey by PSC.

2.2 Procedures for the certification of a SCRS

2.2.1 In order to meet the requirements of 2.1.1 either prior to, or after installation on board, each SCRS should be certified as meeting the emission limit of Regulation 13(3)(a) under the operating conditions and restrictions as given by the SCRS Technical Manual (STM) as approved by the Administration.

2.2.2 Determination of the emission value should be in accordance with the provisions of these Guidelines.

2.2.3 SCRS meeting the requirements of 2.2.1 should be issued by the Administration with a NACC.

2.2.4 Application for a NACC should be made by the SCRS manufacturer, shipbuilder, shipowner or other party.

2.2.5 Subsequent SCRS of the same design and rating as that certified under 2.2.1 may be issued with a NACC by the Administration without the need for testing in accordance with 2.2.1 subject to section 4.2 of these Guidelines.

2.2.6 SCRS of the same design, but with ratings different from that certified under 2.2.1 may be accepted by the Administration subject to section 4.3 of these Guidelines.

2.3 SCRS Technical Manual

2.3.1 Each SCRS is to be supplied with a SCRS Technical Manual (STM). This STM should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the identification of the unit (manufacturer, model/type, serial number and other details as necessary) including a description of the unit and any required ancillary systems;

- (b) the operating limits, or range of operating values, for which the unit is certified. These should, as a minimum, include:
 - (i) maximum and, if applicable, minimum mass flow rate of exhaust gas;
 - (ii) the power, type and other relevant parameters of the diesel engine for which the SCRS is to be fitted.
 - (iii) maximum and minimum amount of reducing agent type and composition of reducing agent, concentration of reducing agent;
 - (iv) exhaust gas inlet temperature ranges and maximum and minimum exhaust gas outlet temperature with SCRS in operation;
 - (v) back pressure limit operating at MCR or 80% of power rating whichever is appropriate; and
 - (vi) other factors in concerning the design and operation of the SCRS relevant to achieving a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (c) any requirements or restrictions applicable to the SCRS or associated equipment necessary to enable the unit to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (d) maintenance, service or adjustment requirements in order that the SCRS can continue to achieve a maximum emission value no higher than Regulation 13(3)(a);
- (e) the means by which the SCRS is to be surveyed to ensure that its performance is maintained and that the unit is used as required (see section 6);
- (g) design requirements of the SCRS; and
- (h) the NACC as applicable.

2.3.2 The STM should be approved by the Administration.

2.3.3 The STM should be retained onboard the ship onto which the SCRS is fitted. The STM should be available for surveys as required.

2.3.4 Additions, deletions or amendments to the STM should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the STM are separate to the STM as initially approved, they should be retained with the STM and should be considered as part of the STM.

2.3.5 In lieu of the maximum emission rate stipulated in 2.3.1(b)(vi) of Regulation 13(3)(a), O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) measured at downstream of SCRS may be used. O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) is explained in Appendix 2.

3 EMISSION LIMIT

3.1 Each SCRS should be capable of reducing emissions to no more than Regulation 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and as specified in paragraphs 3.2 through 3.3 of these Guidelines.

3.2 In order to demonstrate performance, the method of emission measurements should be referred "Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5".

3.3 Alternatively to the provisions of 3.2, each SCRS should be capable of reducing emissions to no more than O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) when operated in accordance with the criteria as given within 2.3.1(b) and 2.3.4.

4 APPROVAL OF SCRS

4.1 Unit approval

4.1.1 SCRS should be capable of meeting the limit value of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) for each mode and for the range of operating parameters, as listed in 2.3.1(b), for which they are to be approved.

4.1.2 The maximum and, if applicable, minimum exhaust gas mass flow rate of the unit should be stated. The effect of variation of the other parameters defined in 2.3.1(b) should be justified by the equipment manufacturer. The effect of variations in these factors is to be assessed by testing or otherwise as appropriate. No variation in these factors, or combination of variations in these factors, should be such that the emission value of the SCRS would be in excess of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) for each mode .

4.1.3 Data obtained in accordance with this section should be submitted to the Administration for approval together with the STM.

4.2 Serially manufactured units

In the case of nominally similar SCRS of the same mass flow ratings as that certified under 4.1, and to avoid the testing in accordance with 2.2.1 each SCRS, the equipment manufacturer may submit, for acceptance by the Administration, a conformity of production arrangement. The certification of each SCRS unit under this arrangement should be subject to such surveys that the Administration may consider necessary as to assure that each SCRS has an emission value of not more than Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) for each mode when operated in accordance with the parameters defined in 2.3.1(b).

4.3 Product range approval

4.3.1 In the case of SCRS of the same design, but of different maximum exhaust gas mass flow capacities, the Administration may accept, in lieu of tests on SCRS of all capacities in accordance with section 4.1, tests of SCRS systems of three different capacities provided that the three tests are performed at intervals including the highest, lowest and one intermediate capacity rating within the range.

4.3.2 Where there are significant differences in the design of SCRS of different capacities, this procedure should not be applied unless it can be shown, to the satisfaction of the Administration, that in practice those differences do not materially alter the performance between the various SCRS types.

4.3.3 For SCRS of different capacities, the sensitivity to diesel engine to which they are fitted should be detailed together with sensitivity to the variations in the parameters listed in 2.3.1(b). This should be on the basis of testing, or other data as appropriate.

4.3.4 All supporting data obtained in accordance with this section, together with the STM for each capacity unit, should be submitted to the Administration in accordance with 4.13.

4.3.5 If there is a data with units of O₂ 13% converted NO_x (ppm) and g/kWh by the measurement procedure of NO_x Technical Code, O₂ 13% converted NO_x (ppm) may be used for emission limit value specified in 4.1 to 4.3 above.

5 EMISSION TESTING

5.1 Emission testing should follow the requirements of the NO_x Technical Code, chapter 5, and associated Appendices, and “Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1, annex 5”, except as provided for in these Guidelines.

5.2 NO_x should be measured on a dry or wet basis using analysers operating on CLD, HCLD or ZRDO (Zirconia sensor) principles and with additional equipment such as dryers as necessary. Other systems or analysers may be accepted, subject to the approval of the Administration, provided they yield equivalent results to those of the equipment referenced above.

5.3 An exhaust gas sample for NO_x should be obtained from a representative sampling point downstream of the SCRS.

5.4 NO_x should be monitored on-line using either cross-duct or extractive sample systems.

5.5 Where NO_x is measured by a cross-duct system, the water content in the exhaust gas stream at that point is also to be determined in order to correct the reading to a dry basis value.

5.6 Where the exhaust gas mass flow is to be calculated in accordance with the NO_x Technical Code, Appendix 6, the complete combustion case calculations may be used. The exhaust gas mass flow (G_{EXHW}) should be determined in respect of the mass flow into the SCRS.

5.7 In applying the NO_x Technical Code, equation 15, the dry basis NO_x concentration should be converted to a wet basis value using the dry/wet correction factor applicable to the exhaust gas at entry into the SCRS (NO_x Technical Code, equation 11, CO = 0):

$$w = 0.002053, u = w/\text{exhaust gas density in g/m}^3 \text{ at } 0^\circ\text{C and } 101.3 \text{ kPa}$$

5.8 The power should be the uncorrected engine brake power.

5.9 The determined emission value should be equal to, or less than, Regulation 13(3)(a).

5.10 In lieu of the testing procedure laid down in 5.6 to 5.7 and 5.8, compliance may be demonstrated by continuous monitoring of NOx and O₂ concentration in the exhaust gas down stream of SCRS and demonstrating that the O₂ 13% converted NOx (ppm), at each test point is equal to or less than the equivalent O₂ 13% converted NOx (ppm) to 13(3)(a).

5.11 Should the O₂ 13% converted NOx (ppm) ratio method be used:

- (a) The conditions stipulated in 5.4 and 5.5 should also apply to the measurement of O₂ (%) and it is recommended that NOx and O₂ samples should be obtained at the same location.
- (b) Measurement of O₂ should either be carried out above the respective dew points or on a fully dry basis recognizing that the conditions stipulated in 5.6 to 5.8 should also apply to the measurement of O₂ (%).
- (c) Calculation of the O₂ 13% converted NOx (ppm) as defined in the following should comply with the requirements of Scheme B, section 9.

$$\text{O}_2 \text{ 13\% converted NOx(ppm)} = \text{NOx(Measured by ppm)} \times \left(\frac{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(13\%)}{\text{O}_2(21\%) - \text{O}_2(\text{Measured by } \%)} \right)$$

6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

6.1 For each SCRS, the STM should contain a verification procedure for use at surveys as required. This procedure should not require specialized equipment or an in depth knowledge of the system. Where particular devices are required they should be provided and maintained as part of the system. SCRS should be designed in such a way as to facilitate inspection as required. The basis of this verification procedure is that if all relevant components and operating values or settings are within those as approved, then the performance of the SCRS system is within that required without the need for actual exhaust emission measurements. It is also necessary to ensure that the SCRS is fitted to a diesel engine for which it is rated.

6.2 Included in the verification procedure should be all components and operating values or settings which may affect the operation of the SCRS and its ability to meet the required emission limit.

6.3 The verification procedure should be submitted by the SCRS manufacturer and approved by the Administration.

6.4 The verification procedure should cover both a documentation check and a physical check of the SCRS.

6.5 The Surveyor should verify that each SCRS is installed in accordance with the STM and has a NACC as required.

6.6 At the discretion of the Administration, the Surveyor should have the option of checking one or all of the identified components, operating values or settings. Where there is more than one SCRS, the Administration may, at its discretion, abbreviate or reduce the extent of the survey

on board however the entire survey should be completed for at least one of each type of SCRS on board provided that it is expected that the other SCRS perform in the same manner.

6.7 The SCRS should include means to automatically record when the system is in use. This should automatically record, as a minimum, amount of reducing agent and concentration of reducing agent at the SCRS inlet diesel engine load, and exhaust gas temperature before and after the SCRS. The data recording system should comply with the requirements of Scheme B, sections 11 and 12.

6.8 If a continuous exhaust gas monitoring system is not fitted, it is recommended that a daily spot check of the exhaust gas quality in terms of O₂ 13% converted NO_x (ppm), is used to verify compliance in conjunction with parameter checks stipulated in 6.7. If a continuous exhaust gas monitoring system is fitted, only daily spot checks of the parameters listed in paragraph 6.7 would be needed to verify proper operation of the SCRS.

6.9 If the SCRS manufacturer is unable to provide assurance that the SCRS will meet the limit value of Regulation 13(3)(a) or the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) for each mode between surveys, by means of the verification procedure stipulated in 6.1, or if this requires specialist equipment or in-depth knowledge, it is recommended that continuous exhaust gas monitoring of each SCRS be used to assure ship operators of compliance when operating and in the event of port State authority inspection.

6.10 A SCRS Record Book should be maintained by the shipowner recording maintenance and service of the unit. The form of this record should be submitted by the SCRS manufacturer and approved by the Administration. This record book should be available at surveys as required and may be read in conjunction with engine room log-books and other data as necessary to confirm the correction operation of the SCRS. Alternatively, this information is to be recorded in the vessel's planned maintenance record system as approved by the Administration.

7 SLIP AMMONIA CHECK

Slip ammonia gas generated in the SCRS system should be checked not to be more than the target of 10 ppm after the SCRS during at emission testing. The slip ammonia can be measured by using a detector tube with the approval of the administration. The result should be added in the PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD of chapter 6 in this guideline.

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

Compliance demonstrated in service by continuous exhaust gas monitoring. Monitoring system should be approved by the Administration and the results of that monitoring available to the Administration as necessary to demonstrate compliance as required.

Additionally for all ships which are to use a SCRS in order to comply with the requirements of regulation 13(3) there should be a NO_x Compliance Plan (NCP) for the ship, approved by the Administration, detailing how:

- (a) compliance is to be achieved;
- (b) that compliance is to be demonstrated.

8 GENERAL

This Scheme should be used to demonstrate that the emissions from a diesel engine fitted with a SCRS will, with that system in operation, result in an emission value of O₂ 13% converted NO_x (ppm) below the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a) and thus compliance with the requirements of regulation 13(3)(b)(i) of Annex VI of MARPOL 73/78.

9 EXHAUST GAS MEASUREMENT

Exhaust gas composition, NO_x and O₂ measurement should be at an appropriate position after the SCRS and comply with the requirements of 5.2 and 5.9 Scheme A.

10 CALCULATION OF EMISSION RATE

10.1 NO_x (ppm) and O₂ (%) to be continuously monitored and recorded onto a data recording and processing device at a rate which should not be less than 0.005 Hz.

10.2 If more than one analyser is to be used to determine the O₂ 13% converted, these should be tuned to have similar sampling and measurement times and the data outputs aligned so that the O₂ 13% converted is fully representative of the exhaust gas composition.

11 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

11.1 The recording and processing device should be of robust, tamper proof design with read only capability.

11.2 The recording and processing device should record the data required by section 12.1 against UTC.

11.3 The recording and processing device should be capable of preparing reports over specified time periods.

11.4 Data should be retained for a period of not less than 18 months from the date of recording. If the unit is changed over that period, the shipowner should ensure that the required data is retained onboard and available as required.

11.5 The device should be capable of downloading a copy of the recorded data and reports in a readily useable format. Such copy of the data and reports should be available to the Administration or port State authority as requested.

12 ON-BOARD MONITORING MANUAL

An On-board Monitoring Manual (OMM) should be referred "Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC 49/22/Add.1, annex 5".

13 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

For all ships which are to use a SCRS, in order to comply with the requirements of regulation 13(3) there should be a NO_x Compliance Plan (NCP) for the ship, approved by the Administration.

14 SHIP COMPLIANCE

14.1 The NCP should list each item of diesel engine which is to meet the requirements for operating by means of an approved SCRS.

14.2 Under Scheme A, the NCP should present daily recordings demonstrating that the parameters in paragraph 6.7 are maintained within the manufacturer's recommended specifications.

14.3 Under Scheme B, the NCP should present continuous monitoring demonstrating that the O₂ 13% converted NO_x (ppm) does not exceed the equivalent O₂ 13% converted NO_x (ppm) to 13(3)(a).

14.4 Ship construction requirements generally require that each diesel engine should have its own exhaust gas system venting to the atmosphere. Therefore compliance by the ship may be demonstrated by each diesel engine meeting the requirements of either Scheme A or Scheme B.

14.5 If each diesel engine meets the requirements of either regulation 13(3)(a) or 13(3)(b)(i) the ship is considered to be in compliance with the requirements.

15 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

15.1 The NCP should refer to, not reproduce, the STM and Record Book as specified under that Scheme. Alternatively, this information is to be recorded in the ship's planned Maintenance Record System, as allowed by the Administration.

15.2 For all diesel engine listed under 15.1, details should be provided demonstrating that the rating and restrictions for the SCRS as approved, 2.3.1(b), are complied with.

15.3 The amount of reducing agent and concentration of reducing agent at the SCRS inlet, diesel engine load, and exhaust gas temperature before and after the SCRS, and other parameters as considered necessary, should be monitored and recorded continuously in order to demonstrate compliance.

15.4 The NCP should refer to the On-board Monitoring Manual as approved by the Administration and the input data and resulting reports.

APPENDIX 1

NO_x MONITORING METHOD

- 1 NO_x emission in g/kWh and O₂ 13% converted NO_x in ppm can be derived in the following equations respectively.

Note that the condition of the NO_x and O₂ concentrations is wet basis in this Appendix. If the NO_x and O₂ are measured on a dry basis, these dry basis data should be converted to data on a wet basis by dry/wet correction factor.

$$NO_x[g/kWh] = K_{HDIES} \times NO_x[ppm] \times 10^{-6} \times 2053[g/m^3] \times \frac{G_{EXHW}[kg/h]}{\rho_{exh}[kg/m^3]} \times \frac{1}{W_b[kW]} \quad (1)$$

$$NO_{x13}[ppm] = K_{HDIES} \times NO_x[ppm] \times \frac{0.21 - 0.13}{0.21 - O_{2_exh}} \quad (2)$$

where:

K_{HDIES} = humidity correction factor

NO_x [ppm] = NO_x concentration in exhaust gas (wet basis)

2053 [g/m³] = density of NO_x

G_{EXHW} = exhaust gas mass flow rate (wet basis)

ρ_{exh} = density of exhaust gas

O_{2_exh} = concentration of oxygen in exhaust gas (wet basis)

W_b = output

These equations may be expressed by eliminating the common members as follows.

$$NO_x[g/kWh] \approx 2053 \times 10^{-6} \times \frac{G_{EXHW}[m^3/h]}{\rho_{exh}} \times \frac{1}{W_b[kW]} \quad (3)$$

$$NO_{x13}[ppm] \approx \frac{0.21 - 0.13}{0.21 - O_{2_exh}} \quad (4)$$

On the other hand, oxygen consumption rate can be derived as follows.

$$O_{2_con} = \frac{F_f}{M_f} \left(a + \frac{b}{4} \right) [mol/h] = \frac{b_e \times W_b}{M_f} \left(a + \frac{b}{4} \right) \times \frac{22.4}{1000} [m^3/h] \quad (5)$$

where,

b_e = specific fuel consumption [g/kWh]

F_f = fuel oil consumption rate [g/h]

C_aH_b = molecular formula of fuel oil

M_f = molecular weight of fuel oil [g/mol]

If fuel oil is composed of carbon and hydrogen, the molecular weight can be expressed as $(12.001a + 1.00794b)$ [g/mol]. Then, formula (5) can be expressed in the following.

$$O_{2_con} = \frac{b_e \times W_b}{12.001a + 1.00794b} \left(a + \frac{b}{4} \right) = b_e \times W_b \left(\frac{1 + 0.25(b/a)}{12.001 + 1.00794(b/a)} \right) \times \frac{22.4}{1000} [m^3/h] \quad (6)$$

NOx emission in g/kWh with equation (1) can be changed by (6) as follows.

$$\begin{aligned}
 NOx[g/kWh] &= K_{HDIES} \times NOx[ppm] \times 10^{-6} \times 2053[g/m^3] \times \frac{G_{EXHW}}{\rho_{exh}} \times \frac{1}{W_b} \\
 &= K_{HDIES} \times NOx[ppm] \times 10^{-6} \times \frac{2053}{0.21-0.13} \times \frac{0.21-0.13}{0.21-O_{2_{exh}}} b_e \times \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \times \frac{22.4}{1000} \\
 &= NOx13 \times \frac{2053}{0.21-0.13} \times 10^{-6} \times b_e \times \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \times \frac{22.4}{1000} \\
 &= \frac{2053}{0.21-0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} \times \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \times b_e \times NOx13
 \end{aligned} \tag{7}$$

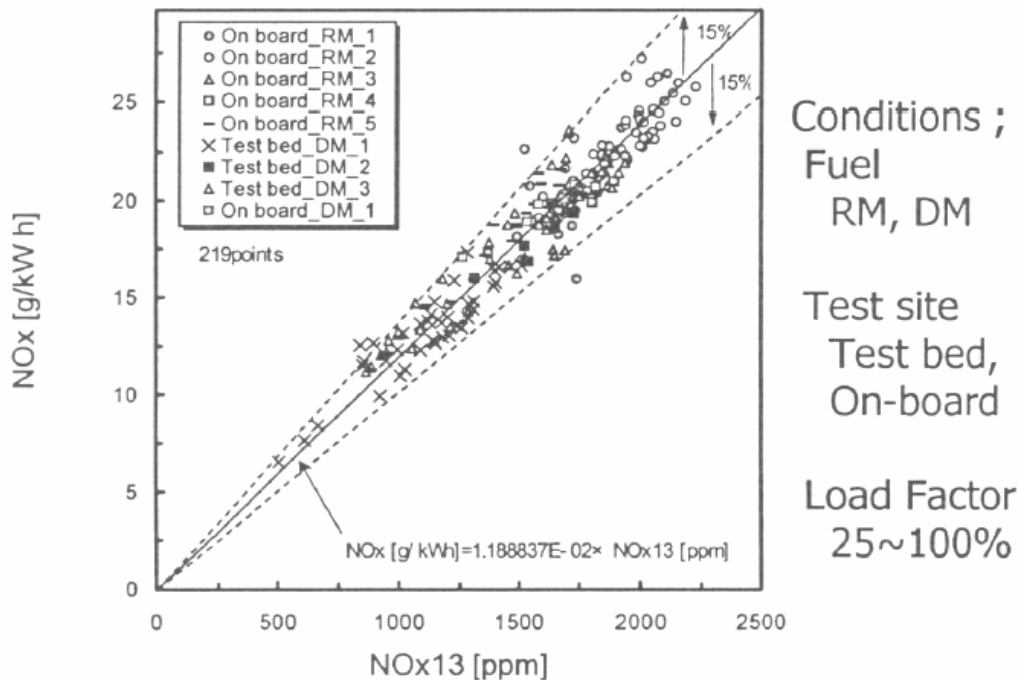
$$\alpha_1 = \frac{2053}{0.21-0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} \tag{8}$$

$$\alpha_2 = \frac{1+0.25(b/a)}{12.001+1.00794(b/a)} \tag{9}$$

As α_1, α_2 are constant, NOx in g/kWh can be correlated with NOx13 in ppm and specific fuel consumption b_e .

- The correlation between NOx [g/kWh] and NOx13 [ppm] has been examined by using test bed measurement data and on-board measurement data. The result is shown in the following figure.

From the figure, the difference between NOx [g/kWh] and NOx13 [ppm] is within almost $\pm 15\%$. Then, NOx13 [ppm] can be used the NOx monitoring method on-board measurement.



APPENDIX 2

THE NO_x (G/KWH) TO EQUIVALENT O₂ 13% CONVERTED NO_x (PPM)

NO_x in g/kWh can be correlated with O₂ 13% converted NO_x in ppm as follows from Appendix 1,

$$NO_x[g/kWh] = \frac{2053}{0.21 - 0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} \times \frac{1 + 0.25(b/a)}{12.001 + 1.00794(b/a)} \times b_e \times NO_{x13}$$

where,

$$\alpha_1 = \frac{2053}{0.21 - 0.13} \times \frac{22.4}{1000} \times 10^{-6} : \text{constant}$$

$$\alpha_2 = \frac{1 + 0.25(b/a)}{12.001 + 1.00794(b/a)} : \text{constant}$$

b_e : specific fuel consumption.

Though having many different physical characteristics, fuel oil mainly consist of hydrocarbons, e.g. C₁₅H₃₂. And the specific fuel consumption influences on NO_x conversion, the correlation between NO_x (g/kWh) and O₂ 13% converted NO_x (ppm) can be shown as follows due to the specific consumption level.

(i) $b_e > 210 \text{ g/kWh}$

$$NO_x (\text{g/kWh}) = 0.013 * NO_{x13} (\text{ppm})$$

Therefore, O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) can be derived as;

$$NO_{x13\text{REG}} (\text{ppm}) = 1/0.013 * NO_{x\text{REG}} (\text{g/kWh})$$

(ii) $210 \geq b_e > 190 \text{ g/kWh}$

$$NO_x (\text{g/kWh}) = 0.012 * NO_{x13} (\text{ppm})$$

Therefore, O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) can be derived as;

$$NO_{x13\text{REG}} (\text{ppm}) = 1/0.012 * NO_{x\text{REG}} (\text{g/kWh})$$

(iii) $190 \text{ g/kWh} \geq b_e$

$$NO_x (\text{g/kWh}) = 0.011 * NO_{x13} (\text{ppm})$$

Therefore, O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a) can be derived as;

$$NO_{x13\text{REG}} (\text{ppm}) = 1/0.011 * NO_{x\text{REG}} (\text{g/kWh})$$

where, NO_{x13} shows O₂ 13% converted NO_x

NO_{xREG} (g/kWh) : IMO NO_x figure

NO_{x13REG} (ppm) : O₂ 13% converted NO_x (ppm) of equivalent to 13(3)(a).

平成 17 年 10 月 31 日

NO_x 低減装置 IMO ガイドライン日本案について

本年 7 月に開催されました IMO MEPC53(海洋環境保護委員会)で Exhaust Gas Cleaning Systems(EGCS-SO_x)のガイドラインが採択され、この後、BLG(ばら積み液体及びガス小委員会)において本年 2 月に開催されました DE48(設計設備小委員会)に日本からインフォメーションペーパーとして提出しました SCR 脱硝装置ガイドラインについて審議されることになっています。さらに、来年 4 月に開催されます BLG10 に NO_x 低減装置として水噴射及び水エマルジョンのガイドラインについても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、社団法人日本船舶技術研究協会の「船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究(MP3)」におきまして、NO_x 低減装置 IMO ガイドライン日本案の調整作業を行いました。

採択されました EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドライン“GUIDELINE FOR EXHAUST GAS-SO_x CLEANING SYSTEMS – MARPOL ANNEX VI, REGULATION 14(4)(B)”を基本として、以下の考え方で日本案ドラフトを調整致しました。

- ・ EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドラインを基本とし、SO_x を NO_x に変更するとともに、Wash Water、Wash Water Monitor 及び Wash Water Residues の項及び NO_x に関係しない記述等を削除した。
- ・ EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドラインと同様に、性能試験による認証方法と間接監視の検証方法を組み合わせた方式(スキーム A)と連続直接監視法による実証方式(スキーム B)の 2 系列のガイドランとする。
- ・ 水噴射装置及び水エマルジョン装置は低減装置として個別に型式認証を受ける方法(ここでは“ A”と示す)と機関仕様の一部とみなして認証を受ける方法(ここでは“ B”と示す)の 2 ケースのガイドライン案を作成し、今後の BLG での審議の中でどちらにするか決定する。
- ・ NO_x 関連の計測方法等は NO_x テクニカルコード及び船上計測法についてのガイドライン”Guidelines for On-board NO_x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method, MEPC49/22/Add.1ANNEX5”を基本として、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」も参考にした。
- ・ 海上技術安全研究所が検証した O₂ 13%換算 NO_x(ppm)の計測方法を船上計測で使用可能とし、この O₂ 13%換算 NO_x(ppm)と NO_x(g/kWh)の換算式についても記述した。
- ・ 水噴射及び水エマルジョン装置を使用したときの排気ガス量及び乾き/湿り補正係数について式を記述した。

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。なお、ここでは水噴射システムの場合を代表して示します。

A：装置として型式認証を受ける場合

INTRODUCTION

水噴射装置がNOx規制値を満足するための船上NOx同等削減の一方法であり、水噴射にはいくつかの方法があることを記述しました。水噴射装置はパラメーターと排気ガスの検証または連続モニタリングで認証され、また、O₂ 13%換算NOx(ppm)の計測方法を船上計測で使用可能である旨記載しています。

SAFETY NOTE

計測機器、計測に際しての安全について記載しています。

SCHEME A – WIS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

装置の型式認証と手順について記載しています。

1.1 GENERAL

本ガイドラインの目的、適用及び ppm の定義について記載しています。

- 1 Purpose
- 2 Application
- 3 Definitions

1.2 SURVEY AND CERTIFICATION

証書に対する手順や水噴射装置の技術マニュアルについて記載しています。

- 1 General
- 2 Procedures with the certification of a WIS
- 3 WIS Technical Manual

1.3 EMISSION LIMIT

船上でのNOx計測方法、O₂ 13%換算NOx(ppm)での計測、規制を満たす条件について記載しています。

1.4 APPROVAL OF WIS

装置での認証、手法・容量が同等の装置の場合は個々の試験を実施しないでの認証、シリーズの装置の場合に最大、中、最小の装置のテストによる認証を受けて他のシリーズ装置は個々の試験を実施しないでの認証可能の記載をしています。

- 1 Unit approval
- 2 Serially manufactured units
- 3 Product range approval

1.5 EMISSION TESTING

計測時の計測方法、手順等について記載しています。

1.6 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

船上で規制値を満足していることを示す手順について記載しています。

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

モニタリング装置が主管庁に認証を受けていること、本装置でどのように規制を満足したか、その証明を示す NO_x Compliance Plan が必要である旨記載しています。モニタリング以外はスキーム A と同じような内容になっています。

1.7 GENERAL

1.8 EXHAUST GAS MEASUREMENT

1.9 CALCULATION OF EMISSION RATE

1.10 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

データ記録、処理装置について記載しています。

1.11 ON-BOARD MONITORING MANUAL

船上モニタリングマニュアルは船上 NO_x モニタリングと記録装置のガイドラインを参照するよう記載しています。

NCP COMPLIANCE PLAN

上記 NCP について記載しています。

1.12 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)

1.13 SHIP COMPLIANCE

船舶が規制を満足していることを確認する方法について記載している。

1.14 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

上記の確認に対して示す方法を記載しています。

Appendix 1 NO_x Monitoring method

O₂ 13%換算NO_x(ppm)での計測方法の妥当性について記載しています。

Appendix 2 The NO_x(g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x(ppm)

O₂ 13%換算NO_x(ppm)とNO_x(g/kWh)の換算方法について記載しています。

Appendix 3 Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor kw using FFW

排気ガス量、乾き/湿り補正係数について記載しています。

B : 機関仕様の一部として型式認証を受ける場合

B についても型式認証以外は A とほぼ同じ内容になっています。

INTRODUCTION

水噴射装置は機関に装着された状態で認証を受ける旨記載しています。

SAFETY NOTE

SCHEME A – WIS CERTIFICATION

- 1 GENERAL
 - 1 Purpose
 - 2 Application
 - 3 Definitions
- 2 SURVEY AND CERTIFICATION
 - 1 General
 - 2 Procedures with the certification of a WIS
 - 3 Technical File on Engine with WIS
- 3 EMISSION LIMIT
- 4 EMISSION TESTING
- 5 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

- 13 GENERAL
- 14 EXHAUST GAS MEASUREMENT
- 15 CALCULATION OF EMISSION RATE
- 16 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE
- 17 ON-BOARD MONITORING MANUAL
- 18 ENGINE COMPLIANCE
- 19 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring method

Appendix 2 The NO_x(g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x(ppm)

Appendix 3 Exhaust flow rate and calculation of the dry to wet correction factor k_w using FFW

また、先に SCR 脱硝装置ガイドライン日本案を DE48 にインフォメーションペーパーとして提出したことを報告しましたが、提出後に EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドラインの内容が大幅に変更になりました。これに対応するため、BLG10 に日本から SCR 脱硝装置ガイドライン日本案改訂版を提出すべく、上記水噴射と同様の内容で調整し、以下の章で構成されています。

A：装置として型式認証を受ける場合のみ

INTRODUCTION

SAFETY NOTE

SCHEME A – SCRS TYPE APPROVAL AND CERTIFICATION

- 2 GENERAL
 - 1 Purpose
 - 2 Application

- 3 Definitions
- 2 SURVEY AND CERTIFICATION
 - 1 General
 - 2 Procedures with the certification of a SCRS
 - 3 SCRS Technical Manual
- 3 EMISSION LIMIT
- 5 APPROVAL OF SCRS
 - 1 Unit approval
 - 2 Serially manufactured units
 - 3 Product range approval
- 5 EMISSION TESTING
- 7 PROCEDURES FOR DEMONSTRATING COMPLIANCE WITH EMISSION LIMIT ON BOARD
- 7 SLIP AMMONIA CHECK

テストの際にアンモニアスリップが 10ppm 以下であることを確認して結果を報告するよう記載しています。簡易な計測方法がないので検知管でも確認可能としています。

SCHEME B – CONTINUOUS MONITORING OF NO_x EMISSIONS

- 16 GENERAL
- 17 EXHAUST GAS MEASUREMENT
- 18 CALCULATION OF EMISSION RATE
- 19 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE
- 20 ON-BOARD MONITORING MANUAL

NCP COMPLIANCE PLAN

- 21 NO_x COMPLIANCE PLAN (NCP)
- 22 SHIP COMPLIANCE
- 23 DEMONSTRATION OF COMPLIANCE

Appendix 1 NO_x Monitoring method

Appendix 2 The NO_x(g/kWh) to Equivalent O₂ 13% Converted NO_x(ppm)

水噴射、水エマルジョン装置、SCR 脱硝装置ガイドライン日本案に対するコメント

日本舶用工業会、日本造船工業会、日本船主協会に内容確認依頼し、以下のコメントがあった。

No	装置	コメント	修正検討
1	水噴射装置	文章中の WIS(Water Injection System)に不定冠詞“a”が付記されている箇所とそうでない箇所があるのは、あえて使い分けされているのでしょうか？ 構成・内容に影響は無いのですが、ちょっと疑問です。	本ガイドラインドラフト案は概要でも述べましたが、EGCS-SO_x 排気清浄装置のガイドラインを基本とし、SO_x を NO_x に変更するとともに、EGCS-SO_x を WIS に変更しています。従って、疑問点については排気清浄装置のガイドラインについても同様であり、IMO でのチェックによる修正にしたいと思います。
2	水噴射装置	ケース“A”の 6.7 の 2 つ目文章に“..... at the WIS inlet connection, diesel engine load.”と記述されていますが、14.3 では“..... at the WIS inlet connection, diesel engine load and other parameters as considered necessary, should be monitored”と記述されています。前者は後者に統一する方が良いのではないのでしょうか？また、“at the WIS inlet connection”は不要ではないのでしょうか？ケース“B”の 5.6 及び 12.1 にも同様な記述があります。 理由： 原案では燃料流量と注入水量を計測して噴射燃料中の水分割合を算出しようとしているものと推測しますが、ディーゼル機関へ供給された水混合燃料は燃料噴射ポンプでシリンダ内の燃料噴射弁から噴射される燃料と噴射されないで再循環して再度、水を注入されるような配管システムを有する場合があると推測します。このような系統を持つ場合、再循環系統の燃料油は注入された水分が De-aerating Valve から完全に抜け出ないのではないかと推測します。従って、再循環系統の燃料油中の水分を完全に取り除く装置を設けるか、又は再循環する燃料中の水分を計測する必要があると考えます。 また、“at the WIS inlet connection”を記	Introduction でも記述しましたが、水噴射としてはシリンダ前で給気中に噴射する場合、シリンダ内に直接噴射する場合があります。直接水噴射の場合には水を含む噴射されない燃料の再循環はほとんどないと思われること、ドレン等が戻される場合があっても水量が増加する方向なので NO_x レベルとしては低減方向のため、IMO でのチェックによる修正としたいと思います。 なお、ご指摘のように 6.7 を 14.3 の記述と統一します。

		述すると燃料中に水を注入するイメージが強く、燃焼空気中に水分を注入するような方式では記述が正確でないように感じます。	
No	装置	コメント	修正検討
3	水エマルジョン装置	船上において“ 水、燃料の流量割合” と“ エンジン負荷” が自動記録されるべき項目として謳われていますが、“ エンジン負荷” の記録は必要ないと思います。	規制レベルによってはエンジン負荷によって水、燃料の流量割合が変更されることも考えられることから、このままにしたいと思います。
4	水噴射装置及び水エマルジョン装置	ガイドラインは水噴射又は水エマルジョンの装置を「個別に型式認証受ける方法」“A”と「機関の一部として認証を受ける方法」“B”の2ケースがあり、各ケースについて SCHEME A と SCHEME B について記述していますが、目次の取り方(Section No.)が通し番号となっているので理解しにくいように感じます。 Scheme A(Section 1～5)と Scheme B(Section 6～12)は並立しているのではないかと推測しますが、そうであれば、Scheme B についても“1 GENERAL”のように 1, 2, 3, とするのが良いと考えます。	「船上排気ガス洗浄装置ガイドライン」の審議の中で、DE48/WP.5 ではご指摘のように Scheme A, B でそれぞれ 1 から採番されていましたが、MEPC53 の WG で間違えやすいということで通し番号に変更されて採択された経過があります。 つきましては、このままの採番にしたいと思います。
5	水噴射装置及び水エマルジョン装置	上記に関連しますが、ケース“B”の 11.2 の末尾に“..... either Scheme A or Scheme B.”と記述されています。Scheme A での要求内容は Section 1～5 の範囲に記述し、11.2 には Scheme B についてのみ記述してはどうでしょうか？	ケース B の場合は、付加装置を機関の一部としているため、ケース A の場合の NCP COMPLIANCE PLAN の記述をなくしているためわかりにくくなっている可能性もありますが、Scheme B は 10 項の ON-BOARD MONITORING MANUAL までで、11、12 項は COMPLIANCE に関係するものです。ついては、このままで提出したいと考えます。

5.5 船舶用環境性能評価総合評価指標の試案作成

5.5.1 最近の船舶規制動向とその背景

(1) 大気汚染物質(NO_x、SO_x、PM)に対する船舶規制動向とその背景

MARPOL 73/78 条約VI附属書は 2005 年 5 月 19 日に発効した。これに伴い、付属書内に定められた NO_x 規制値の見直し規定と同時に、全体の見直し作業が 2005 年 7 月に開催された MEPC53 において開始され、NO_x だけでなく SO_x、VOC 規制の見直し、および従来未規制であった PM 規制の可能性の検討および、現在事実上ディーゼル機関のみに対して実施されている排気ガス規制(燃料中の硫黄分規制は原稿でも全ての排出源が事実上対象である)を、ガスエンジンやガスタービンなど他の排出源も対象にするかなどを含めて検討することになった。

これらの検討事項は、2007 年までに終了する事を目途に BLG(液体ガスバラ積み小委員会)に対して付託されている。今回の TOR(次ページ参照)を決める審議の直前に、総合指標に関してのプレゼンテーションを行い、各国との意見交換を行った。特に GHG 排出とのバランスについては総論としては、賛成であるとの声が多く聞かれた。

IMO 以外の船舶規制としては、欧州の新たな硫黄に関する指令(停泊荷役中の燃料硫黄分の規制)、ライン川規制(内陸水面を航行する船舶が対象)およびカルフォルニア州における新しい SIP(特定の大気質管理区に対してのみ適用される州レベルでの規制値であるが、その内容は EPA も承認するもの。今回の新規提案では、埠頭で停泊時および荷役時に使用される補機類に対しての規制に重点が置かれており、代替案として補機には対策を行わず陸電を使用することで実質的に同じ削減量に到達する方法などが提案されている)および東京港(新聞報道などによれば、東京都環境保全局と港湾局は、都内の NO_x、SO_x、PM の大気環境状況の改善のため、内航船外航船を対象に、停泊時使用燃料の MDO への切換えと同じく居住区への陸電の供給の検討中とのことである)などが、新しい動きとしてあげられる。

これらの、規制はいずれも、停泊中もしくは荷役時を対象にしており、グローバル規制とは別に、地域規制が大きくクローズアップされていることがわかる。これには、グローバル規制や領海内であっても外航船を対象にした規制の実効性を考えると、検査や陸上施設への行政指導を含めて規制実施の担保がしやすい停泊時あるいは荷役時の規制を優先させているという側面ももちろんある。しかし、環境面から見た場合も、移動発生源として捉えられる航路帯に比較して生活域に近い停泊時の見かけ上の固定発生源が問題になっていると考えられる。

このため、グローバル規制と地域規制のそれぞれについて、規制内容の環境面の改善について再評価の必要があると考えられる。

ANNEX 14

**TERMS OF REFERENCE FOR THE BLG SUB-COMMITTEE ON THE REVISION
OF MARPOL ANNEX VI AND THE NO_x TECHNICAL CODE**

- 1 The BLG Sub-Committee is instructed to:
 - .1 examine available and developing techniques for reduction of emission of airpollutants;
 - .2 review the relevant technologies and potential for reduction of NO_x, and recommend future limits of NO_x emission;
 - .3 review technology and the need for reduction of SO_x, justify and recommend future limits of SO_x emission;
 - .4 review the technology and potential for reduction of VOC;
 - .5 with a view to controlling emissions of particulate matter (PM), study current emission levels of PM from marine engines, including their size distribution, quantity, and recommend actions to be taken for the reduction of PM from ships. Since reduction of NO_x and SO_x emission is expected to also reduce PM emission, estimate the level of PM emission reduction through this route;
 - .6 consider reducing NO_x and PM limits for existing engines;
 - .7 consider whether Annex VI emission reductions or limitations should be expanded to include diesel engines that use alternative fuels and engine systems/power plants other than diesel engines;
 - .8 review the texts of Annex VI, NO_x Technical Code and related guidelines and recommend necessary amendments.
 - 2 The BLG Sub-Committee should complete its work on the above by 2007.
-

(2) 地球温暖化物質(CO2)に対する船舶規制動向とその背景

IMO MEPC において、排出量削減の検討作業が進行中である。2005 年 7 月に開催された MEPC53 において、各船舶から排出される CO2 排出量を輸送量ごとに算定する GHG Index 算定のための暫定マニュアルが採択された。現時点では、搭載機関が NOx 規制対象かどうかで、算定方法に違いはない。

一方で、ISO14000 シリーズや GHG プロトコルなど陸上側の枠組み内の要求から、主に荷主などが使用するための輸送効率算定方法(GHG Index と、この ISO 規格を、将来共通化することも期待される)の開発も、ISO TC8 で別途進行中である。国内でも、改正省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律)では、一定規模以上の貨物・旅客輸送事業者(総船腹量 2 万総トン)と荷主(年間輸送量が 3000 万トンキロ以上)には、GHG プロトコルと同様に、毎年の輸送量とそれに対応する CO2 発生量(燃料消費量)の報告および削減計画の提出が義務付けられる方向で検討が進められている。

したがって、輸送量当たりの燃料消費量に今後、より大きな説明責任が課せられる。ただし、他の交通機関に比較した場合、船舶は航行時の燃料消費量が全体のエネルギー消費の大半を占めるため、主機、推進器の効率や船型の影響が出やすいと予想される。また、燃料コストが、料金に直接結びつくため、荷主からは常に省エネに対する要求があり、これも陸上交通機関より厳しいと考えられる。MARPOL 73/78 条約 付属書 VI 改正後においては、燃費のペナルティーに対して何らかの救済が必要になるだろう。

5.5.2 IMO 現規制の実質的効果

現在の MARPOL 73/78 条約 付属書 VI の実質的な削減効果は、現在の活動量の増加を考えない場合、NOx については 10%減、SOx、CO2 はほぼ変化がないと予想される。

NOx について、海洋政策研究財団の調査(平成 13 年度 船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査)によれば、未規制機関に比較して IMO 規制対応型機関の排出率(g/kWh)には 23%程度の削減がある。ただし、実海域においては、軸出力の測定誤差や使用燃料の影響により、その差異は接近し、12%程度に留まる。活動量の増加を見込んだ NOx 排出総量は 10%程度しか低減していない。また、輸送総量の増加に伴い、一部の海域では正味の排出量が増加している場合すらある。例えば、米国 EPA は、カリフォルニア州の EEZ 内の船舶排ガス総量を推定している。入港隻数の増加とそれに伴う航行量の増加もあるが、コンテナ船の増加により停泊中の船内動力源からの排出量が増えており、IMO 現行規制下においても総量は実質増加していることがわかる。このデータに基づき、米国 EPA は、カリフォルニア州において前述の SIP において船舶排ガス規制設置の必要性を説いている。

一方、SOx 排出量は、IMO による燃料中硫黄分のモニタリング結果(MEPC53/4/1 など)から明らかのように、最頻値、平均値ともに経年変化がみられない。

また、CO2 排出量は、NOx 規制に機関単体の燃焼改善技術などで対応した結果、現時点で燃費(g-fuel/kWh)に対するペナルティーは 1%より少ないと予想され、経年変化量は無視できる。ただし、SOx、CO2 とともに、前述のように活動量に伴い総量は増加していることには留意する必要がある。

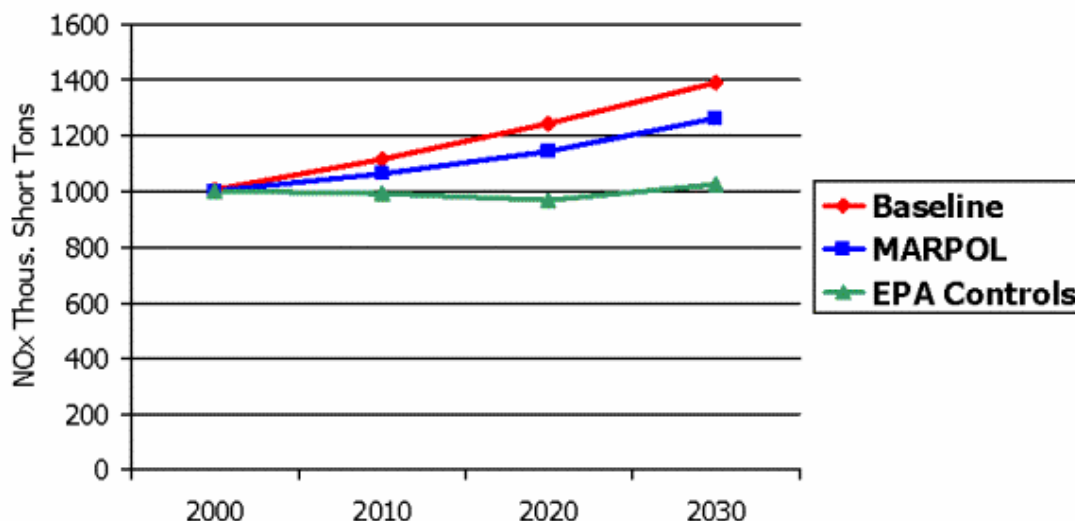


図 5.5.1 米国 EPA の排出量シミュレーション例
(加州の EEZ 内の NOx 排出量の伸びを示したもの)

5.5.3 グローバル規制における削減の考え方

グローバル規制においては、まず排出総量に対する削減目標値の設定が必要である。先に述べたように、排出総量は (活動量×排出係数)によって規定される。したがって、目標も、単に排出係数だけをみただけでなく、将来の輸送量の伸びをある程度考慮したものが望ましい。特に近年のコンテナ輸送の伸びを考えると、少なくともグローバルな総輸送量は短期的には増加することが予想され、また停泊時における DG 駆動率が高いコンテナ船では、バラ積み船に比較して停泊時の活動量が多くなることも考えられる。これらの活動量の量的質的変化予測をある程度見込んだ上で、排出総量に対しての削減目標が必要であろう。

付属書VIの作成作業においては、MEPC 決議において SOx5 割、NOx3 割という削減目標が決められた(ただし総会決議においては削除されている)。今回も「環境保全の観点から総量の削減目標を設定すること」が望ましい。仮に排出総量は活動量の伸びに伴い抑えきれない場合でも、排出係数たとえば既存船を含めた平均排出率(たとえば g/kWh)の削減目標の設定が必要であろう。

排出係数の削減目標設定には、米国EPAのBACT、MACT¹など技術面からの単体の削減目標を設定することは可能であるが、少なくともグローバルに、新造船に対してのみ、技術的に高いハードルを設定することは、既存機関とのバランスから不必要であると考えられる。グローバルに平均排出率を数割程度削減するためには、SOx規制(燃料規制)と同様に、NOx、PMの排出規制についても、何らかの形で既存機関に対しても一定の削減を求める検討が重要になると考えられる。

また、削減目標設定においては、単純な陸上排出量あるいは陸上規制値との比較ではなく、酸性雨、オキシダントへの変換など二次的な影響も考慮した環境面での評価の上での設定が望まれる。環境面

¹ 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。

の評価では、ガス状物質から、オゾンや酸性物質など、二次生成物質への問題から、粒子化までの解析が必要である。特に、ガス状物質を前駆体にして、二次生成によって **PM** が生成される。ガス状物質の削減による二次粒子削減の効果も考慮すべきである。この点は、**BLG** への **TOR** にも触れられている。たとえば、**SOx** の規制などにより二次粒子(硫酸ミスト)の削減の可能性があることについても検討の必要があろう。

また、環境影響については、ガス状物質については上記の変換も含めた寿命を考慮すること、**PM** については寿命と同時に粒径分布の解析も必要になると考えられる。一般的には、大洋での排出が、陸上に住む人間への直接的な与える影響は少ないと予想される。

(1) グローバル規制における個別物質の考え方(**NOx**)

燃焼改善においては **NOx** と **CO2** の間には、トレードオフの関係があり、排ガス後処理でも、プロセスのエネルギー消費、反応剤タンクによるカーゴスペースへの影響など輸送効率を低下させる可能性が大きい。したがって今後の **NOx** 規制強化に伴い、**CO2** 排出量が無視できない程度に増加する可能性がある。両者規制バランスをどこに取るかについては、国際的なコンセンサスが必要である。

次に、既存船との競争力を担保する必要がある。総合指標の必要性。既存船への **NOx** 規制の適用。3つのカテゴリーが存在することになる。既存機関へ仮に **NOx** 規制を行う場合には、カテゴリーB よりもカテゴリーA を優先させるのか、全体のバランスを取った規制の枠組みを決めることが必要である。

A. 2000 年 1 月 1 日以前の搭載機関

B. 2000 年 1 月 1 日以降の搭載機関

C. [2010 年 1 月 1 日]以降、新規規制値に適合する機関

(適用年は現時点では未定であるが最短で 2010 年と予想される)

特に、各カテゴリー間の燃費ペナルティーの救済措置については重要である。**NOx** 排出率は、機関単体ではあと 2-3 割程度の削減が期待できるが、燃費が悪化し、仕事量あたりの **CO2** 排出量が増加することが予想される。つまり **NOx** 排出率(g-**NOx**/kWh)の低下に伴い、**SFC**(Be; g-Fuel/kWh)が増加する可能性がある。従来は、**SFC** の悪化は既に述べたように無視したが、**NOx** 排出率の削減割合が大きくなるに従い無視しえなくなる。このことは、既存船との競争力が低下する可能性がある。また、仮に排ガス処理により行う場合、周辺機器のエネルギー消費量を排出率に組み込む必要がある。総合指標に基づくインセンティブにより、二次規制船舶と既存船舶との間の不公平を、ある程度緩和する方策が必要。環境面での影響を考慮すると、現在のように回転数のみをパラメータにするのではなく、主機と **DG**、あるいは岸からの距離などをパラメータに海域ごとに規制値を設定するといった、用途/海域を区別して規制値を定めることも一つのオプションであるかもしれない。

(2) グローバル規制における個別物質の考え方(**SOx**)

SOx は酸性雨などの距離ごとの影響および石油精製業界および供給体制への影響を十分に考慮した上で、燃料中 **Cap** を設定すべきである。陸上で処理できない残渣油を船上焼却しているという側面もあろう。ただし、**EU** などはこのような海上焼却処理と同等の扱いは、海洋の低 pH に

結びつく可能性があるとして、その環境影響について定量的な解析が必要であるとしている。

その一方で、陸地に影響がある距離、あるいは港湾内での使用燃料については、グローバルな燃料中硫黄分制限値とは、別の設定が可能か指定海域の枠組み以外で可能かどうか、検討することが必要であると考えられる。

たとえば、5.1.1で紹介した EU などの規制案のように、停泊中の使用燃料あるいは大気排出率に別途規定を設けることもオプションの一つとして検討しなければいけないだろう。

(3) グローバル規制における個別物質の考え方(PM)

PM については、これまで全くの未規制である。5.6 章において詳述するように、PM については様々な定義があり、それに対応して削減技術も異なる。何を測定し、何を規制するのか、というところから、議論を開始しなければいけない。陸上の移動発生源を対象にしてほぼ実用化されている希釈法に基づく PM 測定は、船舶排ガスを対象には、国内外ともにほとんど行われてこなかった。希釈法は、硫酸ミストの影響が非常に小さい軽油焚き機関(自動車やオフロード機関)を対象にした測定方法であり、直接の適用は技術的な困難が伴う。たとえば、同じく低質燃料を用いる陸上の焼却炉や石炭焚きボイラーなどについても、希釈法は適用されていない。

国内では、船舶排ガスの PM 測定法に関する研究開発が過去 10 年以上にわたり進められてきたが、排気量の違いに起因する希釈率の設定の難しさ、使用燃料が異なることによるフィルターおよび排ガス温度管理の問題など、完全に実用化されているとはいえない状況である。このように、何を測定するのかが未定の状態では、まず現状把握が先であり、それにはまだ数年の時間がかかると思われる。

少ないデータではあるが、平成 16 年度マリンエンジニアリング学会が調査した船舶排出大気汚染物質削減技術検討調査報告書によれば、4 サイクル中速機関において、硫黄含有率の異なる MDO(2 種)と HFO 使用した際に、希釈法を用いた測定データでは、DP が 1 割程度であるのに対して、硫酸ミスト 7 割、その他の SOF 分(主に潤滑油経由)が 2 割程度の成分になるとされている。このように、現在のように高硫黄分の燃料を使用した場合には、硫黄分が PM 排出排出量に占める割合が大きすぎ、燃焼改善などによる本来の Soot 成分の削減効果は、事実上意味がなくなってしまう。つまり、仮に低質 C 重油焚きの機関では、燃料による影響が非常に大きい燃焼制御技術では対応できず、実質的に DPF などの後処理以外には対策が困難との結論が現時点でも見えている。工場出荷時だけでなくオンボードでの測定が必要になり、大規模な規制コストが掛かってしまうことも問題であろう。

他方、環境面でも影響について考察すると、硫酸ミストは、大気中では水分の凝着により、粒径が成長し、乾性沈着などによる除去効果が大きいと考えられる。希釈法による重量評価では、過大評価となる可能性がある。港湾域では、PM10 のまま人間が暴露する可能性があるが、大洋域で排出される SOx あるいは硫酸ミストが、PM10 の状態で生活域に到達するか、については既に述べたようにモデルなどにより環境中の挙動について環境影響を行うことが望ましい。

たとえば、PM 規制の実施前に低質 C 重油焚きの排出については、黒煙など Visible Smoke の対策を取りながら、慎重に環境影響を評価するなどの方策が現実的であると考えられる。

また、停泊時に主に用いられる DG であれば、DPF の使用やコモンレールの採用による低負荷時の燃料噴射圧の向上などにより、実用的な対策が施せる可能性があるため、当初は規制対象を高速小規模機関に限定することについても議論をするべきであろう。

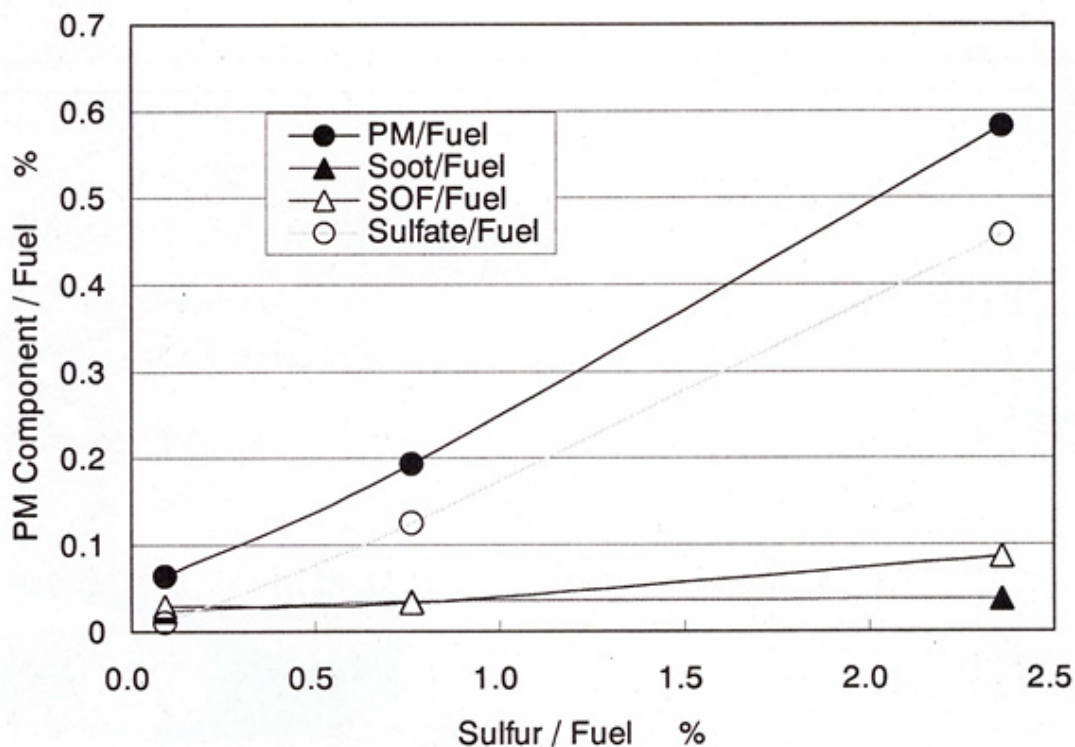


図 5.5.2 希釈法による PM 組成成果(4 サイクル中速機関の測定例)
平成 16 年度 ME 学会、船舶排出大気汚染物質削減技術検討調査報告書

5.5.4 地域規制における削減の考え方

各国の地域規制には、地域の大气汚染状況の特徴を反映して設定されている。地域規制型(SO_x・NO_x重視、CO₂ 発生量はやや増加)、EU 型(SO_x のみ重視、CO₂・NO_x はそのまま)、超低排出量型(陸電使用や水利用など NO_x 量が大幅に低下したもの)に大別できる。それぞれの規制に対応する技術は大きく異なる。各国のニーズが異なる以上、地域規制値を IMO MEPC において一本にまとめることは困難であると考ええる。ただし、地域でなくグローバルに港湾停泊時や荷役時の排出規制を行う考え方はある。全ての規制値を達成する技術は燃料転換などコストが大幅に上昇する可能性がある。グローバル規制値と地域規制値はこれまで以上に乖離することになるだろう。

5.5.5 総合指標の考え方とその必要性

以上述べてきたように、今回の付属書VIの改正あるいは、各国の地域規制は、汚染物質間の複合的な影響が大きくなる領域に入っており、単独の物質を対象に削減技術のコストを含めた限界などで議論すべきではない。機関単体ではなく、総量としての削減目標の設定が必要であり、そのためには各規制物質間を総合的に評価するためのツールが必要である。

このため、規制が考えられている対象物質具体的には NO_x、SO_x、PM、CO₂ に関して、全体の規制効果を判定するための総合化が必要である。総合指標として、最も簡単なものは、各物質に、何ら

かの重み係数を乗じて足し合わせることで、その合計値で機関の環境負荷を求めるものである。重み係数の一例としては、排出権取引の際の売買単価(US\$/ton-NOx)のように、その環境影響や規制の重要性についての市場評価価格あるいは外部コストを、そのまま用いるといった考え方があげられる。ただし、排出権取引の売買価格は、地域によって大きく異なっており、それは環境影響もさることながら、市場にもともとかけられた規制の厳しさによる需要供給曲線により規定されている場合が多い。

今回の場合は、重み係数を設定するにしても、最新の知見を用いた環境影響評価に基づく外部コストのような評価に基づくべきであると考ええる。この場合、特に外洋の PM および SOx 排出影響については、粒径の成長や沈着を含めた評価が必要になり、グローバルに一律のコスト化は困難かもしれない。

また、総量としての削減を達成するためには、新造船に対する規制強化だけでなく、既存船に対する NOx、PM 規制を組み合わせた方策が、全体の公平性などからもベターであると考えられることは既に述べたとおりである。

ただし、同指標の必要性については合意ができるが、具体的な計算方法と削減方策については、国内においても今後議論が必要であろう。たとえば、将来的には GESAMP のような第 3 者機関において純粋に環境面から科学的な総合評価方法を設定する方が、客観性を担保できるかもしれない。

5.6 浮遊粒子状物質（PM）に係る削減技術の調査

調査目的

2005 年 7 月に開催された MEPC 53 において、MARPOL 73/78 条約付属書VIの改正作業が実質的に始まり、2006 年 4 月に開催される BLG10 以降、粒子状物質（PM）の規制の可否についての検討を行うこととなった。このような状況を踏まえれば、わが国の陸上における PM 規制とその規制レベルに対応する削減対策の現状を整理しておくことや、船舶での PM 規制のための基礎的情報を整理した上で BLG に対して提供することは、BLG における議論において必要である。

また、PM 削減技術は陸上施設等を主な対象として開発されてきたが、今後の船舶への適用を考えた場合、それらの削減技術の削減率及び開発動向など現状を整理・把握するとともに、適用範囲を含めた総量としての削減可能量など総合的に評価することが重要である。

そこで IMO（BLG）へのわが国からの情報提供文書を作成するとともに、PM 削減技術に関する情報を収集・整理し、そのマクロな削減可能幅や対応範囲などを環境面から総合的に評価することを目的とする。

5.6.1. PM 削減技術に係る情報収集・整理および評価

1) はじめに

ディーゼルエンジンから発生する排ガス中には、気体状の NO_x、SO_x、未燃炭化水素および CO と固体又は液体の粒子が含まれている。粒子状物質は大きな粒子で 100 μm を超えるものがある一方、50 nm 以下という微細粒子が存在する。

日本の環境基本法では、粒子状物質の内、特に径が 10 μm 以下のものを浮遊粒子状物質（SPM：Suspended Particulate Matter）と定義している。

粒子状物質のうち、粒子径が 2.5 μm 以下の粒子を「微小粒子」、粒子径がナノメートルサイズの粒子を「超微小粒子」と定義されることもある¹⁾。ディーゼルエンジン、特にディーゼル自動車から排出される粒子状物質（以下PMと呼ぶ）の特徴として以下のことが知られている²⁾。

- ① 大部分の粒子が微細な粒子（1 次粒子、約 20 nm）の集合体である。
- ② 重量的には、粒径 0.1～0.3 μm の粒子が大部分を占める。
（エンジン形式、運転条件、燃料種類により比率は異なる）
- ③ PM は、物理化学的構成成分により、以下の 3 種類に分類されている。
 - ・ Dry Soot 燃料および潤滑油中の無機物（含む遊離炭素）、未燃物（有機溶剤に溶解しない炭化水素）。
 - ・ SOF（Soluble Organic Fraction）燃料、潤滑油未燃物のうち有機溶剤に溶解する炭化水素。
 - ・ Sulfate SO_x中の無水硫酸（SO₃）が水分と結合・凝縮した液体。

PM の発生要因は、①エンジン内における不完全燃焼、②燃料中の無機物や硫黄のような不純物によるものに分けられており、現在進められている PM 削減技術は、発生要因に対し、

- ① エンジン内における燃焼改善（潤滑油の消費低減も含む）

② 燃料の改善

以上の2方法が主流となっている。この2方法でPMの削減が不十分と考えられる場合には、

③ 発生したPMを回収、または消滅させる後処理

がある。

オンロード用小型ディーゼルエンジンにおいては、①のエンジン改善だけでは排出規制達成が困難なことから、②の燃料改善との組み合わせが必要となっている。また、将来の更に厳しい規制（長期規制）に対応するため、③の後処理との組み合わせが必要不可欠と考えられている³⁾。

ディーゼルエンジンは効率の良さ、利用できる燃料性状の範囲の広さが特徴であるが、大気汚染防止に対応するため、特徴の1つである燃料に制約を加えつつあるのが現状となっている。即ち、わが国では中小ディーゼル発電機使用燃料が、C重油、A重油から低硫黄の軽油に変わってきている。また欧米ではディーゼル自動車用燃料としてシティ軽油が導入される傾向にある。このシティ軽油は、国によって詳細が異なるが、一般軽油と比較し、①硫黄分が少ない、②芳香族分が少ない、③軽質であるという特徴を持っている⁴⁾。

ここでは、マリンディーゼルエンジン用のPM削減対策技術に対し、現状の簡単なまとめを行い、他分野、例えばオンロード用および発電等の陸上固定施設用燃焼設備用対策技術の転用に関する技術的な問題点を抽出し、環境的側面を主体とした技術評価を行う。

2) PM発生要因と対策

ディーゼルエンジンでは、燃料と酸素が拡散・混合すると同時に酸化反応が進行するという、いわゆる拡散燃焼が主たる燃焼過程となっている。燃焼律速は拡散過程にあるため、点火エンジン（ガソリンエンジン）のように混合気内を火炎が伝播する爆発燃焼に比べ、燃焼速度は緩慢である。また、高温・高圧空気内に燃料を噴射するため、不均一性は避けられず、未燃物由来の粒子状物質が発生するのが宿命と考えられている。

ディーゼルエンジン内における粒子発生状況を図5.6.1に簡単にまとめた。

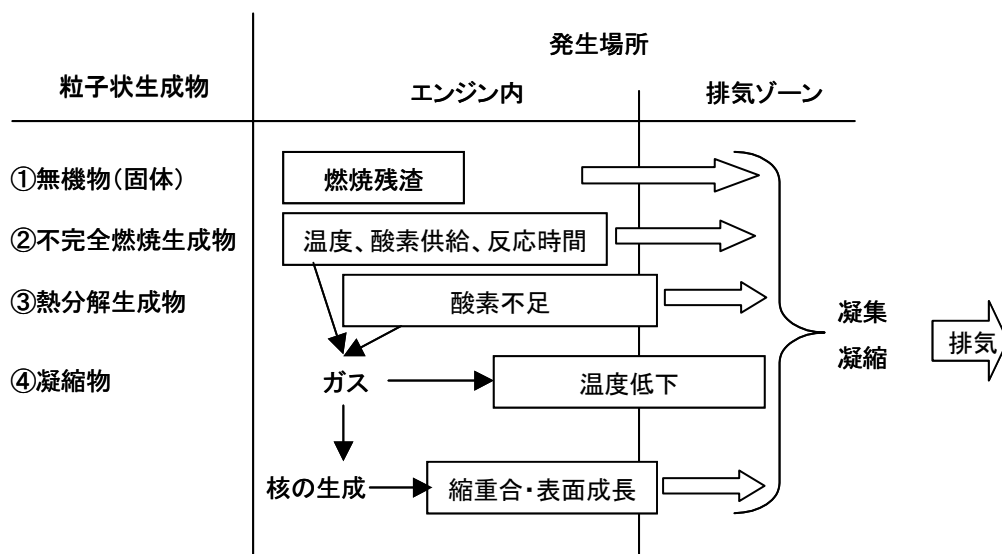


図 5.6.1 ディーゼルエンジンからの粒子発生状況

① 燃焼残渣；燃料中に含まれる酸化ケイ素、酸化アルミ、その他金属類の無機物および未燃炭素
燃料が完全燃焼しても無機物は発生する。重質油のように炭素数の多い炭化水素は、
燃焼による炭素析出の可能性が高い。また、炭素の酸化反応は気固反応であるため、
ディーゼルエンジンのようにミリ秒の短時間反応では、未燃炭素の酸化は期待
できない。これに加え、船用機関では潤滑油由来の燃焼残渣が加わる。

② 不完全燃焼生成物；燃焼時、酸素供給が不十分なため、部分的に酸化されたもの
(拡散律速が原因)。

③ 熱分解生成物；酸化反応の前に他の領域での燃焼による輝炎からの輻射熱により、分解又は重合
したもの。(不均一性が原因)

②および③は反応面からの区別が上記のようにできるが、③の熱分解生成物がエンジン内での
混合により、酸素と出会い再燃焼する経路も考えられている⁵⁾。

④ 凝縮物；凝縮物としては大きく2つに分けることができる。

- ◆ 高温でガス状であった物質がエンジンからの排気過程における冷却により、凝縮・粒子化する。
- ◆ エンジン内の酸素欠乏領域において、ガス状物質が縮重合などの反応により高沸点物質となり、
凝縮・粒子化する。

④の過程については、図 5.6.2 に示すようなモデルが考えられている^{6),7)}。

シリンダー内には燃料からの蒸発成分が酸素欠乏領域において気体状で存在している。高温下では、
炭素数が少ない飽和直鎖炭化水素(パラフィン)の方が熱力学的に安定であるため、燃料成分中の飽和
直鎖炭化水素(パラフィン)は低分子化合物に分解される。この分解物は酸素と出会えば簡単に燃焼
し、酸素と会わなければ露点が低いため、そのまま気体として大気に放出される。一方、芳香族(不
飽和環状化合物)は熱力学的に高温状態では炭素数が多い方が安定であるため、無酸素状態では、縮
重合反応により炭素数の多い化合物(多環芳香族)になり、単分子又はクラスターとして存在する。
クラスター同士の凝集、ガス成分のクラスター表面への凝縮(含む反応)などの表面反応により成長
し、粒子前駆体となる。この粒子前駆体が凝集し、20 nm 程度の一次粒子となる。一次粒子が更に凝
集し、大きな粒子へと成長して行く。

エンジン内には、燃焼残渣および熱分解により炭素リッチとなった固体物質が存在しており、これ
らもまた一次粒子又はその前駆体となる。一方、燃料中の硫黄分(炭化水素化合物として存在)は高
温で SO_2 、 SO_3 の気体として存在し、 SO_3 は露点以下の温度で凝縮し、 SO_3 同士又は他の粒子と凝集し粒
子化する。

表 5.6.1 自動車用機関における PM 削減対策の基本的考え方 (G ; gas、S ;solid、 L ;liquid)

由来	現象	排出物		PM 対策	
		気体排出物	PM	エンジン側対応	燃料側対応
燃料	完全燃焼 (非現実的)	NO _x 、SO _x 、	Sulfate 無機燃焼残渣		低硫黄化 高純度化
	不完全燃焼 or 熱分解	NO _x 、SO _x 、HC (G) (HC; Hydro Carbon)	Smoke (S) SOF (L) Sulfate	表 5.6.2 に記載	低硫黄化 高セタン価 低分子化 残留炭素減 脱アロマ
潤滑油	熱分解	HC	Smoke (S) SOF (L)	潤滑油消費量削減の ためのエンジン構造	耐熱性向上 (高沸点化)
	不完全燃焼	HC、(SO _x)	Smoke (S) SOF (L)		脱S、P化 (脱塩素化)

よく知られているように、NO_x発生とPM発生はトレードオフの関係(図 5.6.3 に例示)にある。日本における自動車用ディーゼルエンジンの規制では、NO_x対策を重視し、PM発生に手薄となった過去の経緯がある。ディーゼルエンジン小型車が乗用車の 40 % (2002 年) に達している EU では、NO_xを抑え且つPMを削減する方法として、低温で且つ、良好な燃焼を図ることが基本的な方法として開発されている³⁾。

船舶用機関の規制の検討においても NO_x と PM それぞれの規制の必要性や両者および燃費への影響とのバランスを取った規制値を定めていくことが望ましいと言える。

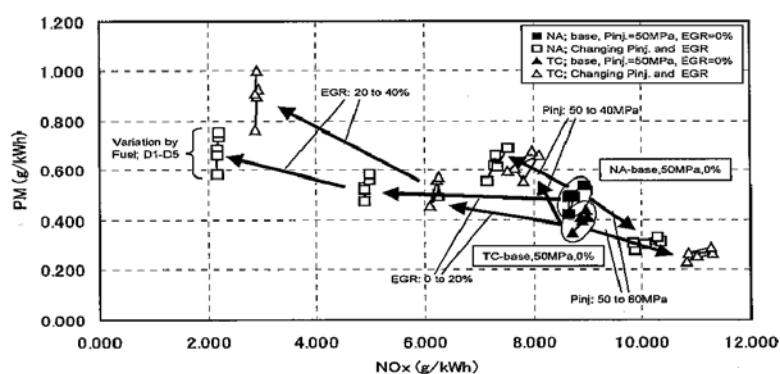


図 5.6.3 NO_x生成とPM生成の相関例⁸⁾

燃料以外の PM 発生要因として、潤滑油起源がある。ディーゼルエンジンでは燃焼によるすすの発生が避けられないため、潤滑油が潤滑性とシリンダー内面のクリーニングの役目を負う必要があり、潤滑油がシリンダー内に入り込んで燃料と同様に燃焼する確率は高く、潤滑油による PM 発生対策も必要である。

3) 技術評価のための考え方

自動車は人の居住地近くを走行するため、その排ガスが生活域の環境に与える影響は大きい。また、ディーゼル車の増加およびPM発生量がガソリン車に比べ多いため、ディーゼル自動車排ガスに対する規制は、世界的にみて厳しい方向に向かっている。

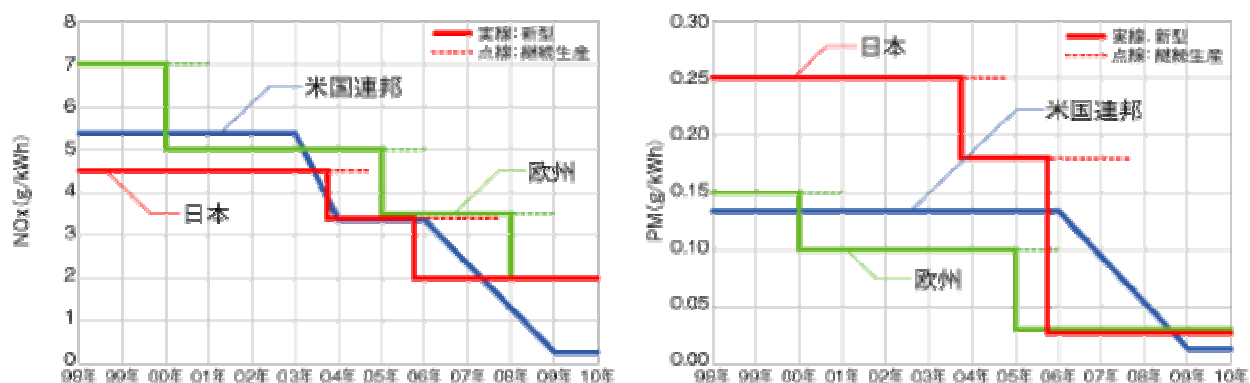


図 5.6.4 日、米、欧のディーゼル自動車の排ガス規制

図 5.6.4 に日米欧のディーゼル自動車排ガス規制値の推移を示したが、日米欧の自動車運転モードの違いがあるため、数値上での単純比較はできない。ただし、日本の規制の特徴的なことは、前述したようにNOx削減重視のため、緩かったPMの規制値を、ここ最近で急激に厳しくしていることが読み取れる。

世界の各地域における環境規制を達成するため、自動車製造およびエンジン製造会社は、エンジンの改良、排ガス後処理装置の開発を進めている。一方で、エンジンおよび排ガス後処理性能の確保には、燃料側のサポートが必要との観点から、日、米、欧の自動車工業会および米国のエンジン工業会が、使用燃料の規格に対し提言⁹⁾を行っている。現在、この提言に対し、超低硫黄軽油供給について日米欧各国政府および石油精製団体が協力する方向で進んでいる¹⁰⁾。

表 5.6.2. Diesel Fuel に関する規格 (Word-Wide Fuel Charter, 2002)

		カテゴリー1		カテゴリー2		カテゴリー3		カテゴリー4		JIS 規格	
項目	単位	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
セタン指数		45	-	50	-	52	-	52	-	45	-
密度	kg/m ³	820	860	820	850	820	840	820	840	-	-
硫黄分	ppm	-	5000	-	300	-	30	-	5~10	-	500
芳香族 炭化水素	%m/m	-	-	-	25	-	15	-	15	-	-
90%流出温度	℃	-	-	-	340	-	320	-	320	-	350

カテゴリー1：排出ガス規制があまり厳しくなく、車両/エンジンの基本的な性能を保証するために必要な燃料。

カテゴリー2：現状の排出ガス規制に対応するために必要な燃料

カテゴリー3：現状の排出ガス規定がさらに厳しくなった場合に必要となる燃料

カテゴリー4：カテゴリー3に対応した排出ガス規制がさらに厳しくなった場合（図 5.6.4 の将来の規制を想定）

わが国における自動車からのNOx、PM排出割合の寄与率は環境省資料によれば、NOxで52%、PMで43%という非常に大きな割合を占めており、このため、業界を横断した取り組みが進められている。一方船舶からの影響は、燃料使用量から推算すると運輸部門の5%以下であり、現状ではその寄与は低い。更に、国土交通省の発表によると、東京都においてはディーゼル自動車が多いため、船舶の寄与は2%と言われている¹¹⁾。

このようなことから、マリンディーゼルへの対応としては、先行する自動車関連の技術対応を参考にしながら環境面の対応を進めるという考え方が妥当と思われる。

この理由として、以下があげられる。

- ① 先行する自動車ディーゼルエンジンのPM対策は低硫黄軽質油の利用を前提としている。石油利用の構造的問題から、現状ではマリンディーゼル使用燃料は重質油が主流であり、低硫黄軽質油への変換は容易でない。また、重質油の低硫黄化など、技術的（コスト的に可能）に解決すべき問題もあり、重質油の低硫黄化はすぐに実現しないと考えられる。従って、軽質油使用を前提とした自動車ディーゼル技術との同列検討は将来問題と思われる。
- ② 自動車ディーゼルエンジンのPM規制は重量法で進められるが、第八次環境中央審議会の答申にあるように、PMの中の微細粒子については、実態および人体への影響など不明な部分が多く、測定法の開発を含めた課題と位置付けている。

PM発生要因で述べたように、ディーゼルエンジンからのPMは排気過程で粒子化する成分を含んでいる。このため、冷却過程を含むサンプリング方法により、測定されるPMが異なってくる。自動車に関しては、測定方法が国際的な枠組みの中で統一されてくるが、マリンエンジンの運転モード、それに対応する冷却（希釈）をどう設定するか検討課題は多い。

また、微小粒子（JCAPIIでは未規制物質の1つと定義している）の測定法も国際的な枠組みの中で進んでいる状況である（UN/ECE-WP29）。

マリンディーゼルエンジンからのPMに関する情報が少なく、また先行する自動車用ディーゼルエンジンから排出されるPMについて、検討されるべき部分が残っている。このような状況の下では、ディーゼルエンジンのPM削減技術に具体的な目標を設定した上での技術評価は難しい点がある。このため、自動車の先行技術および陸上燃焼機関における対策技術の適用性とマリンエンジンに対してPM削減技術として取り上げられている技術を紹介する程度とする。

4) 対策技術各論

(1) エンジン対応

1990 後半から自動車用小型ディーゼルエンジンは革新的技術の導入により、画期的な進歩をとげている。これらのエンジンは **modern engine** と呼ばれ、それ以前の旧型ディーゼルエンジンとは明確な区別がなされている。革新的技術とはコモンレールシステム、VGT（Variable Geometry Turbocharger）、4バルブ化、可変スワールコントロール、EGR（Exhaust Gas Recirculation）である。これらの技術により、エンジン内の燃焼が大幅に改善され、NOx および PM 削減に貢献してきている。これら全ての技術が大型、低速回転のマリンエンジンに適用される訳ではないが、今後マリンエンジンへの導入が期待されている。

エンジン対応技術として分類方法が種々あるが、マリンエンジン対応技術として現在考えられている代表的な技術（委員会資料より）をここでは以下のように整理した。

燃焼改善－主として PM 対策

- ・ 高圧噴射による燃料の微粒化
- ・ SAC ボリュームの低減化

低温化－NOx 対策

- ・ 燃料注入コントロール 予混合燃焼における温度上昇を抑える PM 対策も考慮
- ・ EGR
- ・ 水注入
- ・ 水エマルジョン化（水エマルジョン燃料）

潤滑油対策

- ・ 潤滑油性状
- ・ シリンダー壁
- ・ 吸排気システム

a 高圧噴射による燃料の微粒化

エンジン内の燃焼改善方法として、噴射される燃料の微粒子化が効果的である。マリンエンジンにおける燃料噴射圧は、高い動粘度の燃料を使用することから、一般に自動車エンジンに比較してはるかに高い。エンジン負荷に影響されない高圧噴射法としてコモンレール方式が代表的である。

ただし、単なる燃料の微粒化だけでは、PM 削減に効果はあるが、NOx の増大を招くことになり、高圧噴射だけでは、対策技術としては不十分となる。

このため、c 項で述べるように燃料注入コントロールとの組み合わせが理想的と考えられる。

b SAC ボリュームの低減化

燃料噴射ノズルの先端の空間に残った燃料が、シリンダー内に低圧力で注入（滴下）されると、a 項で述べたように径の大きな液滴になり、且つ、燃焼期間が過ぎているため、不完全燃焼のまま排気され PM 発生 の 要 因 と な る 可 能 性 が 高 い。燃料滴下は高回転時には滴下しにくい、低回転時には滴下し易いため、大型 2 サイクル機関などでは影響が大きい。また、港湾入港時の低回転時には、PM 削減への寄与は大きいと考えられている。この技術対応は噴射ノズルの交換又はスライド弁の交換で対応できるため、既存エンジンへのレトロフィット技術としても有効と考えられている。

c 燃料注入コントロール（電子制御エンジン）

エンジン内の燃焼は①着火遅れ期間、②爆発的燃焼期間、③制御燃焼期間、④後燃え期間の 4 段階に分けて考えられている。燃料が一度に注入されると、着火遅れ期間で爆発的に燃焼するため、温度上昇が大きく、また振動も大きくなる。このため、着火遅れ期間内の燃料噴射率を下げることで着火直後のシリンダー内温度上昇を抑え、③の制御燃焼期間における噴射率を上げることで、NOx および PM を削減できる燃料注入コントロールが考えられている。このような燃料注入を精密に行うには、電子制御とそれに対応できる電磁バルブが必要である。方法は a. の高圧燃料噴射システムと組み合わせられことが、より効果的である。この技術は燃料の高圧噴射、噴射量を微量でコントロールするバルブシステム、排ガス状況の測定および電子制御ユニットを必要とし、対策実現にはコスト的に大きな

負担となる。

d EGR (Exhaust Gas Recirculation)

燃焼排ガスの一部をエンジンに燃焼空気として戻し、燃焼温度を低くすることにより NOx 削減を図る技術である。EGR ガスをクーラーで冷却し、更に燃焼温度を下げる事が可能となる。また、冷却により注入空気量を多くすることができるため、PM の削減が可能となる。ただし、EGR ガス量を多くすると酸素量が減少による燃焼効率の悪化を招き、PM 発生が増大に繋がる。排気ガスを循環するため、排気ガス中の SOx による硫酸腐食および PM の循環ラインにおける蓄積が懸念されるため、高硫黄燃料・重質油への適用は注意を要する技術である。

e 水注入

エンジン内温度低下のため、筒内に水を注入することで蒸発潜熱により燃焼雰囲気内の温度を低下させる方法である。燃料に対して水 1 % 注入することにより NOx が 1 % 削減できる²¹⁾。PM 削減には効果がなく、水注入量の増加により逆に PM が増加する可能性が大きい。実質燃料注入量が減少するため、エンジン出力は低下する。

f 水エマルジョン燃料

燃料と水を添加剤によりエマルジョン燃料とし、エンジンに注入する方法である。E 項の水注入と異なり、エマルジョン化しているため、微小粒径の水が爆発的に蒸発し、その爆発により、燃料が微細化し、NOx 削減と PM 削減が同時に達成され则认为られている。ロンドンではバス用燃料として利用され、NOx 13 %、PM₁₀ を 25 % 削減できているとの報告がある¹²⁾。また、定置型ディーゼルエンジン発電機用燃料として、混合率最大 50/50 (軽油/水) の燃料が、商品化されており、使用実績も出ている¹³⁾。

g 潤滑油対策

潤滑油由来の PM は全体の PM 発生量、特に SOF 発生量に大きな影響を与える。潤滑油対策はその点で重要である。対策としては潤滑油性状とエンジン構造の 2 つに分かれる。

◆ 潤滑油性状の改善

潤滑油は基材に粘度指数向上剤、極圧剤、酸化防止剤、清浄剤、分散剤など潤滑油としての機能維持のため、種々の添加剤が加えられている。基材は高炭素数の炭化水素であり、高温では蒸発・燃焼 (又は熱分解) し、SOF の要因となる可能性を持っている。極圧剤および酸化防止剤として、塩素、硫黄、P などの化合物が用いられていたが、PM 発生要因となることから、自動車用ディーゼルでは、別の化合物が用いられるようになって来ている。

一方、マリンディーゼルエンジンは高硫黄重質油を燃料として利用することから、燃焼によって生じた酸を中和し、潤滑剤中に分散させ取り除く機能も要求される。このようなことから、マリンディーゼルでは潤滑油の性能管理として全アルカリ価が用いられている。

清浄剤、分散剤には Ba、Ca、Mg などのアルカリ (土類) 金属化合物が使用されており、自動車用ディーゼルにおけるオイルアッシュの PM 生成および後処理装置である CR-DPF (次節で説明) への影響が調べられている¹⁴⁾。この報告によれば、燃料中の硫黄分 100 ppm においても、潤滑油

中のCa由来のCaSO₄によるCR-DPFの圧力上昇が無視できないという結果が得られている。

マリンディーゼルへのDPF適用に際しては、低硫黄燃料に比較し、CaSO₄が増加すると予想されることから、注意が必要と考えられる。

◆ シリンダー壁（潤滑油注入機器の改善）

潤滑油を最も消費する場所と言われている。シリンダー壁に均一に厚みを保つ必要があり、潤滑油の高温に晒される面積が大きくなるため、蒸発する機会が多い。蒸発を抑えるため、シリンダー壁を冷却しすぎると壁近辺での温度低下による燃焼不良、それに伴うPMが発生する。必要最小量の潤滑油注入が、対策の1つと考えられており、効果は大きいと推定されている。このような目的で、SIP（Swirl Injection Principle）シリンダー注油システムが開発されている。

また、ディーゼルエンジンは高圧になるため、エンジンからのリークによるPM発生が問題となる可能性があり、特にシリンダーリングにおけるシール性能維持が重要と考えられている。

大型マリンディーゼルエンジンはシリンダー径が大きく、又高圧であることから、注油システムおよびシリンダーシールの改善はPM（SOF）削減に有効と考えられている。

◆ 吸排気（エンジン構造の改善）

燃焼空気の吸気および排ガスにより同伴される潤滑油の影響も無視はできない。特に吸気時に同伴された潤滑油は燃焼しがたい燃料が入ったと同じことになる。排気に同伴される潤滑油は温度的にはそのまま液体として排気されることになり、PMとして挙動することになる。

上記、シリンダーリングとともに排気弁構造の改善は、主としてSOF分の削減に有効と考えられている。

(2) 燃料対応

自動車用ディーゼルエンジン燃料対応としては発生原因との関連から以下のことが考えられている。

- ・ 燃料中硫黄の低減化 10 ppm 以下というサルファーフリーが目標
- ・ 燃焼のし易さ 高セタン価の実現と軽質化
- ・ 粒子前駆体発生原因の除去 多環芳香族水素、芳香族およびアセチレン系炭化水素を含まない燃料
- ・ 一次粒子生成を阻害する。モノマー又はクラスターの凝集を防ぐ、有効な添加剤は開発されていない。含酸素燃料が有効であるとのデータが出始めている⁸⁾。
- ・ その他粒子核発生要因の排除 燃料の高純度化（無機物の除去）および残留炭素の減少

以上のように燃料対応は、要約すれば、低硫黄化、軽質化、脱アロマになるが、これらの対策は燃料の潤滑性を低下させることになり、燃料の潤滑性維持が逆に課題となる。

一方、重質油を使うマリンエンジンにとって、低硫黄化は共通の対策となるが、それ以外の対策は次項で述べるように実現が困難と言える。

a 軽油（石油燃料）

ディーゼルエンジン用燃料の原料である石油は、パラフィン系炭化水素（直鎖飽和炭化水素）、ナフテン系炭化水素（環状飽和炭化水素）、アロマ系（芳香族）炭化水素の混合物であり産地によってその比率は異なるが、パラフィンおよびナフテンが大部分を占めている。

ディーゼル燃料としてみた場合、パラフィン系はセタン価を高めるが、潤滑性、低温流動性に劣る。逆に芳香族はセタン価を低めるが、低温流動性に優れるという特性を持っている。

日本の石油供給の特徴として

- ・ 消費地精製政策を採用；原油を輸入し、大量消費地近くで精製する。（ ⇨製品輸入政策）
従って、残渣油まで含めて国内消費を行う必要がある。
- ・ 欧米に比べ灯油供給量が遥かに多い。欧米の **diesel fuel** は、灯油（**kerosene**）を基材としていることが多いが、日本の場合は需給バランスから、軽油基材は重質軽油又は重質油の分解油になる。このため、欧米に比べ、日本の軽油は重質となる。
- ・ 日本への原油供給先は大部分が中東であるが、中東原油は硫黄含有量が比較的高く、水素添加による脱硫の比率が高い。

日本の **A 重油** は沸点範囲では軽油とほぼ同じである。税制上の問題から軽油留分にアスファルト留分を混入し、利用している。このため、国際的基準で見ると重質油には分類されない特殊な燃料となっている。

原油中の硫黄分（化合物として存在）は水素添加により、化合物中の硫黄を硫化水素として除去する。通常の脱硫操作は残留硫黄が **50～100 ppm** 程度を目標としている。現在、サルファーフリー（**10 ppm** 以下）とするため、より高度な脱硫が行われており、従来法に対し深度脱硫と言われている。

水素添加反応により、生成物は原料油より低分子化するが、この時反応性に富むオレフィン（2 重結合）および芳香族も副生成物とし生成する。灯油は炭素数が少ない炭化水素を原料としているため、脱硫に際して高温・高圧を必要としない。このため、灯油はより高温・高圧を必要とする重質軽油および重質油の脱硫に比べ副生成物の含有が少ない、いわゆる素直な燃料となる。

軽油は常圧蒸留塔からの重質軽油と減圧蒸留塔から得られた軽い（炭素数の少ない）炭化水素を脱硫し、更に接触分解で軽質化した油を基材として用いている。常圧蒸留塔残渣は、水素添加により軽質化、脱硫が行われ軽い成分はガソリン、軽油の原料となる。

重質油はこれらの水素添加反応の残渣が主体となっている。このため、重質油中には、蒸発性の低い芳香族分、アスファルテン分が増加する。重質油を利用する場合、流動性を増すため、脱硫で得られ、芳香族が増加した軽質分が希釈材として用いられる。このような重質油は、芳香族が多い燃料となり、**PM** 発生の可能性が高い。

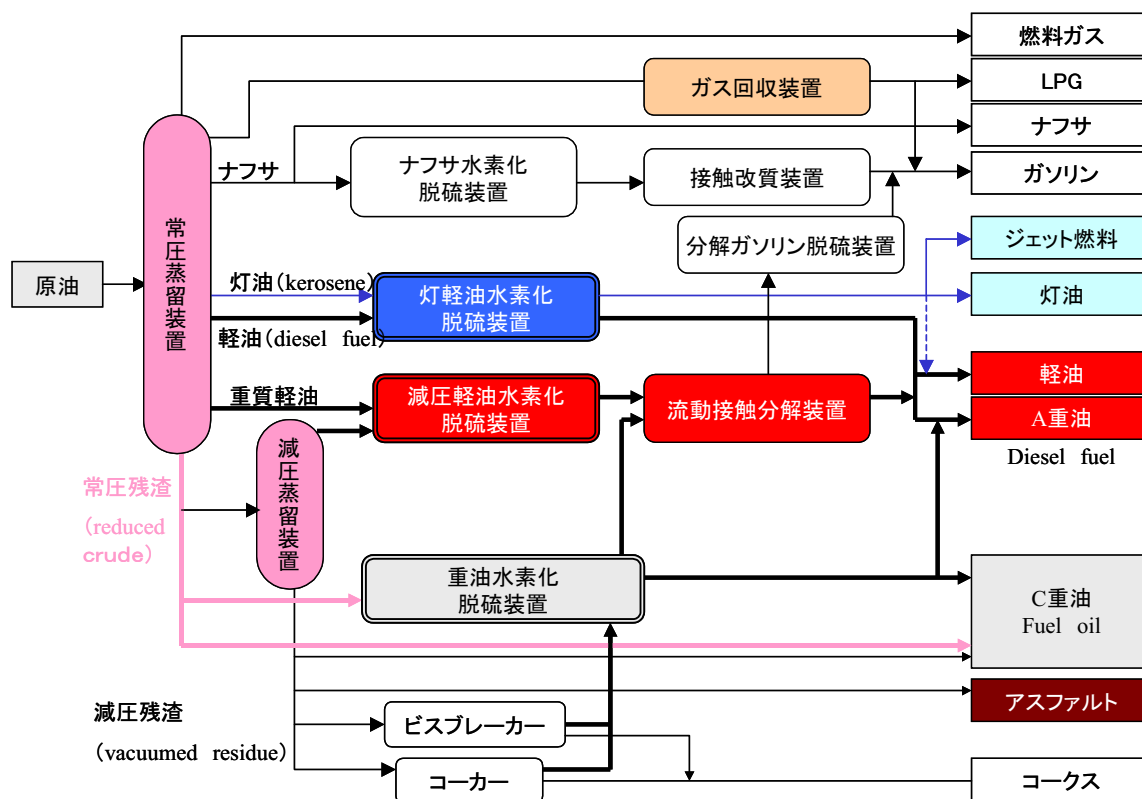


図 5.6.5 石油精製プロセスの例（出光興産資料を修正）¹⁵⁾

（出典；出光石油<http://www.idemitsu.co.jp/chibasei/seiyusyo/process.html>より）

大型火力また工場でも排ガス処理とコストバランスを考慮し、燃料は天然ガスへの転換が進んでおり、重質油の需要が減少している。また、単価の安い重質系原油を輸入し、軽質油を得る方が、コストメリットがあることから、原油高状況が続くとの見通し下では、重油の軽質化比率が高まると予想されている。

従って、重質油燃料を利用するマリンエンジンにとって PM 対策上悪い方向に向かうと考えられている。

深度脱硫のコストの 1 例として（コスモ石油記者発表資料）、コスモ石油坂出製油所の軽油深度脱硫設備の改造がある。コスモ石油は、触媒交換だけで実現したが、その費用は 40,000 バレル／日（約 6,400 kL/d）処理量に対し、触媒 60 億円と発表している。処理量と触媒交換を 2 年と考えると単純計算で 1.3 円/L—軽油に相当する。従来脱硫でも触媒は利用されており、実際にはその差額となる。PEC（石油産業活性化センター）発表では設備新設を行った場合は、触媒込みで 200～300 億円となっている。

重質軽油および重質油中の硫黄を除去するためには、より高温、高圧での反応が必要となり、コストは高くなると言われているが、具体的数値は不明である。重質油の軽油の深度脱硫から推算すると数円／L 上乗せとなると想定される。

b. 新燃料

ディーゼルエンジン燃料として、石油系の軽油、重質油が使われているが、前項で述べたようにPM発生要因を完全にクリアすることは難しい。このため、クリーン燃料が検討されているが、将来的な需要に対応できる可能性があるのは合成燃料であるGTL (Gas To Liquid) とDME (Dimethyl Ether; ジメチルエーテル) であると言われている。バイオマス燃料はCO₂問題から注目を集めており、その中の植物油脂由来の燃料は直鎖で且つ含酸素炭化水素であるためPM対策に有望と見られているが、供給量および供給体制の問題から、限定された範囲での利用と考えられている。

なお、合成燃料はCO、H₂、CO₂を原料とし、合成反応により得られる炭化水素であり、反応自体は古くから知られている。原料を石炭ガスから天然ガス(メタン)とすることおよび触媒の開発により、コスト的に石油系燃料に近づいたことで注目を集めている。

天然ガスは、パイプライン又は液化し需要地に輸送されるが、パイプライン施設又は液化施設の建設費が非常に高額であり、採算ベースとするには、あるレベル以上の算出量が必要である。算出量のレベルに達しない中小ガス田の天然ガスを商品価値が有り、且つ輸送し易い炭化水素に変換する方法が開発され、工業規模での製造が行われている。これらの代表的な商品がGTL又はDMEである。天然ガス中には、有害物質である硫黄、水銀等、が含まれているが、これらを天然ガスから取り除いた後、合成反応を行う。このため、合成燃料は不純物を含まず、クリーンエネルギーと言われており、きたるべき燃料電池用の水素ドナーの候補でもある。

◆ GTL (Gas to Liquid)

合成油は炭素数がC1~C100まで広い範囲に渡る直鎖飽和炭化水素であり、窒素化合物および芳香族を含まない油である。蒸留精製により、灯油、軽油相当の燃料とすることができる。直鎖炭化水素であるためセタン価が高く、ディーゼル燃料として利用が可能である。ただし、潤滑性に乏しいため、そのままディーゼル燃料として利用することは困難である。潤滑性向上剤の添加又は燃料注入系機器の変更・改造が必要となる。原油留分と同じで性状であるため、既存の石油輸送・貯蔵・供給施設がそのまま利用できるというメリットがある。

GTLの製造コストは製造技術が進み、工業規模的な製造が行われたと仮定のもとで、12円~20円/Lという値が発表されている¹⁶⁾。

南アフリカでは燃料として利用され、ディーゼル用燃料の希釈剤としての実績がある。

◆ DME (Dimethyl Ether)

化学式はCH₃OCH₃と表わされ、常温では気体であり、圧縮により容易に液体となる。DMEは含酸素化合物であり、高温において凝集し難い燃料であると言われている(NEDOパンフレットより)。製造コストは、¥7.2~9.2/Lというレベル¹⁶⁾であり、発熱量ベースのコストで比較すると、GTLと同等かそれ以下となる。DMEは物理性状としてはLPGに近いので、LPGのインフラが基本的に利用可能である。しかしながらエステルであるため、パッキング(ゴム)類への腐食問題があり、そのまま転用はできない。また、燃料としての使用実績はなく、ディーゼル燃料としての開発段階にある¹⁷⁾。

(3) 後処理技術

陸上定置式燃焼装置からの排ガス処理、すなわちNO_x、SO_x、PM(どちらかといえばダスト)後処理は概ね別々の装置を用いて実施されている。しかしながら、各論で述べるように後処理装置の性能

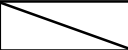
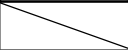
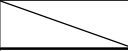
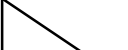
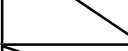
を十分に引き出すように、上流において燃焼管理が行われており、燃焼・後処理を含めて1つのシステムとして考えられている。

この考えが顕著なのは、自動車ディーゼル排ガスの後処理方法である。処理装置の設置場所の関係から、NO_x 除去、PM 除去、未燃炭化水素除去を一体化する必要がある。一体化実現のために、前節で述べたように燃料性状（硫黄含有量、燃焼性、芳香族含有）および燃焼コントロールを行っている。

船舶についても、搭載機器のコンパクト化は同様の要求事項であるが、自動車に比べ余裕はある。自動車との大きな相違点は燃料問題である。コスト面及び燃料体系という点から、燃料を今直ぐ、後処理が容易な燃料に切り替えることは難しい。SO_x フリーは望ましいが、SO_x 存在下でも対応可能な技術进行评估するということが必要と考えられる。

現在他分野も含め、マリンディーゼルエンジン排ガスの後処理に適用可能と考えられる技術の、適用条件を表 5.6.3 に簡単にまとめた。詳細は各論で述べるが、適用条件から各技術の導入時期がおおよそ推定できる。

表 5.6.3 後処理技術の適用条件

処理対象物	後処理技術	SO _x の存在	ダストの存在	排ガス組成調整	処理温度
PM	DPF	適用可		不要	再生時高
	CR-DPF	不可		必要	低温可
	DPNR	不可		必要	
	EP（電気集塵器）	適用可		不要	SO ₃ 露点以上
NO _x	SCR（尿素・アンモニア法）	適用可	適用可	不要	高い
	SCR（HC 法）	不可	△	不要	200~400℃ 触媒によって変化
	NO _x 吸蔵還元分解	不可	△	必要	
	HC 吸蔵還元分解	不可	△	必要	
HC（含 CO）	HC 酸化分解	不可	△	必要、△	低温も可
SO _x 、PM	海水（湿式）スクラバー		適用可	不要	SO _x 対策の場合低温
	乾式スクラバー		適用可	不要	SO ₃ 露点以上

注) SO_x存在下での触媒被毒がある場合、SO₂酸化によるサルフェート生成は適用不可としている。ダスト付着、堆積（対応策があれば良い△で表示）による性能劣化および耐久性欠如は適用不可としている。一般的に低温でも性能が発揮できる高活性触媒は、活性が高い故に被毒され易い性質を持っており、活性点（多くの場合細孔内にある）を覆うダストの存在を嫌う傾向がある。

即ち、

- ① SO_x 存在下で利用可能な後処理技術は現状の高硫黄・重質燃料に対応の可能性がある。
- ② 排ガス組成調整を必要としない後処理技術は、EGR、エンジン電子制御が行われない段階での導入の可能性がある。
- ③ SO_x の非存在下および排ガス調整を必要とする後処理技術は、燃料面およびエンジン改善が現在の自動車排ガスと同じ状況になった時に導入の可能性がある。

以上のようなものである。

a 海水スクラバー法

スクラバーは設置コストが安いことから、高効率を期待しない有害ガス除去、粉塵除去に用いられてきている。スクラバー水として海水を用いる方法は、海岸設置の定置型燃焼設備の SO_x 除去として利用されている例がある。これは、海水を利用し、マグネシウム（水酸化マグネシウム）を吸収剤とする水マグ法とも言われている。

排ガス処理用の海水スクラバーはタンカーの不活性ガス製造システムの一部として、タンカーに搭載されている例がある。ただし、処理対象ガスはボイラー排ガスであり、ディーゼルエンジン排ガスは処理されていない。また、陸上定置用と異なり、アルカリ吸収剤を添加しないのが、船舶用海水スクラバーの特徴とも言える。

2 万 DWT 以上のタンカーにはイナータガス (IG) システム (IGS) の設置が義務付けられている (SOLAS, 1974)。

IGS としては以下のように 2 種類ある。

- ・ Flue Gas Method (FGM) : ボイラー燃焼ガスを利用する。
- ・ Generator Method (GM) : PSA (Pressure Swing Adsorption) などによる IG の製造 (不純物の混入を嫌う、ケミカル類、LNG、LPG に利用)

FGMはGMに比べ製造コストが低いことおよびガスを大量に製造することが可能であることから、大型原油タンカーなどに用いられている。IGSのフロー図の例を図 5.6.6 に示す。IGSの原料としては、負荷が 90 %以上となるボイラー排ガスが用いられる。ディーゼルエンジン搭載船であってもディーゼル排ガスが利用されることはない。この理由として、高負荷時のボイラー排ガスの組成は安定しており且つ、酸素濃度 5%以下を確保できることである。この場合、海水スクラバーの性能として、ボイラー排ガス中の硫黄分 (SO₂、SO₃) の 95 wt%以上、ダストの 90 wt%以上の除去が一般的とされている¹⁹⁾。

一方、EUのレポートではSO_x対策を主とした海水スクラバーの評価を行っているが、PMの削減率は 15~25 %と低い値におさまっている¹⁸⁾。スクラバー排水をそのまま放流すると、付近海面にダスト又は油分が浮遊し、海面汚染となることから、多くの船は冷却水等で薄めて放流している。放流排水による環境への影響については、今後検討の必要がある。

IMO OILPOL では排水中の鉱物油濃度として 15 ppm を規定しているが、それ以外の物質については、規準を設けていない。

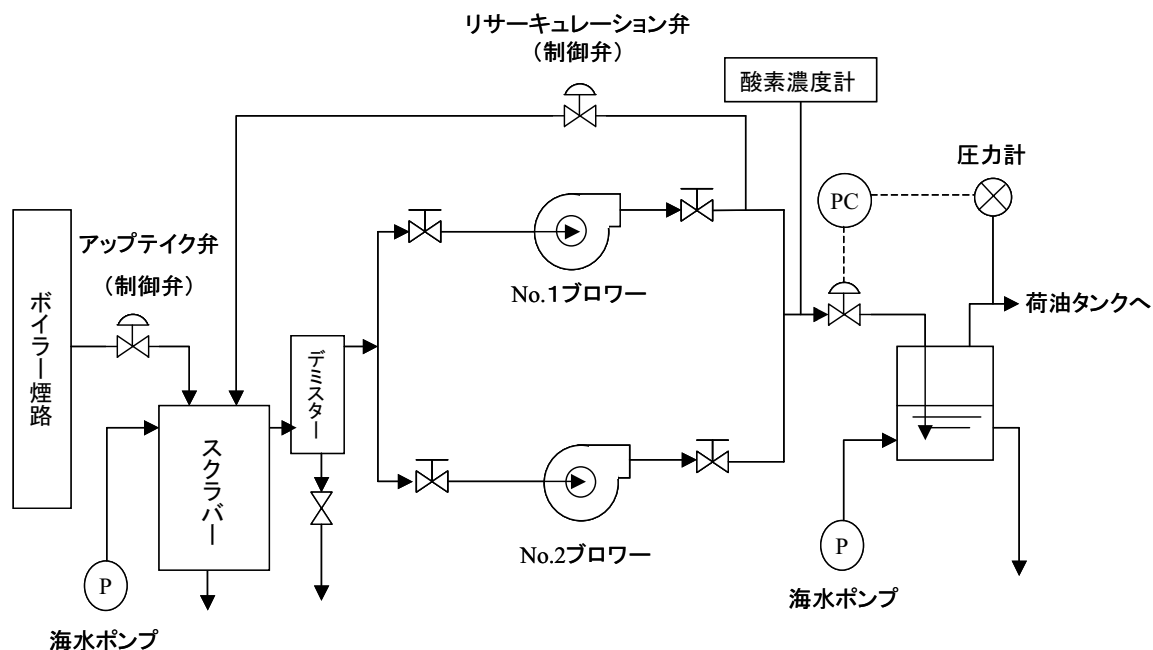


図 5.6.6 イナートガスシステムのフロー図¹⁹⁾

(タンカー荷役実務研究会 : “大型タンカーの実務”、(株)成山堂書店、pp152(‘85)より抜粋)

・ 海水スクラバー処理の問題点

① 除去機能の違い

海水スクラバーで除去可能な物質は SO_x とPM (粒子) である。 SO_2 はガスとして液に吸収されるが、粒子状 (液体) の SO_3 (サルフェート) およびその他粒子は、スクラバー水との衝突によりスクラバー水に捕捉 (たたき落と) される。このため、大きい粒子 ($1\mu\text{m}$ 以上) の捕捉率は高いが、小粒子および疎水性のSOF、カーボン粒子の捕捉率は低い。なお、 SO_2 は 50°C 以下の水に良く溶解し、水中で SO_3^{2-} に解離するため、溶解度は大きい、溶解量が増加し、液が酸性になると溶解度は低下する。このため、海水スクラバー利用の場合、海水の循環利用はあまり期待できない。

② 除去効率と圧力損失

①で述べたように、サルフェートと粒子の除去率はある程度慣性力に依存する。このため、除去効率を高めるには排ガスの圧力損失 (エンジンへの背圧が大きくなる) を見込む必要がある。微粒子はスクラバー出口のデミスター (又はエリミネーター) で除去する考えが一般的である。IGS は吸引ブロワーを持っており、このため、ダストの除去効率を高めることが可能と考えられる。

③ 排水処理

スクラバー水には、排ガス中のSOF (油分)、SS、 SO_3^{2-} 、重金属 (バナジウム、ニッケル、銅など) が混入しており、液は酸性となり、また SO_3^{2-} 由来の高COD水となる。ビルジ水処理設備で処理可能な範囲なのか、新たに設置が必要となるか、規制動向を考えた対策が必要となる。

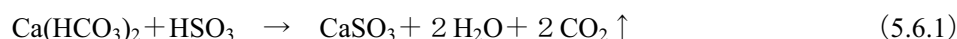
④ 腐食対策

サルフェート（無水硫酸）は水分との親和力が強く、気体状の水分とも結合し、硫酸となる。340℃以上では、SO₃として存在し、この状態では、金属との化学親和力はない。サルフェート（液体硫酸）は硫酸の露点以下で存在するが、硫酸露点は気体中の水分、SO₃濃度、SO₂濃度、その他ガス成分濃度で決まる。硫黄分 2.5 wt%前後のボイラー排ガスでは、露点が 140~170℃となるため、これを、考慮したガス温度を保持する必要がある。

スクラバーは腐食対策上、複合プラスチックでライニングされているが、耐熱は 100℃以下であるため、100℃以上はゴムライニング又はチタンなどを利用する必要がある。

⑤ 海水中のアルカリ

海水にはアルカリとしてCa、Mg、Naが存在しているが、この中で吸収したSO₂を固定するのは、Ca(HCO₃)₂として存在する溶解性Ca²⁺である。



スクラバー水を循環利用し、海水中のCa²⁺を全て利用した場合、フリーのSO₂がミストとして大気に放出される可能性がある。

・無水硫酸の挙動

燃料中の硫黄（S）は、燃焼により二酸化硫黄（亜硫酸ガス；SO₂）になり、更に酸素存在下では以下の化学反応で無水硫酸（三酸化硫黄；SO₃）が生成する。

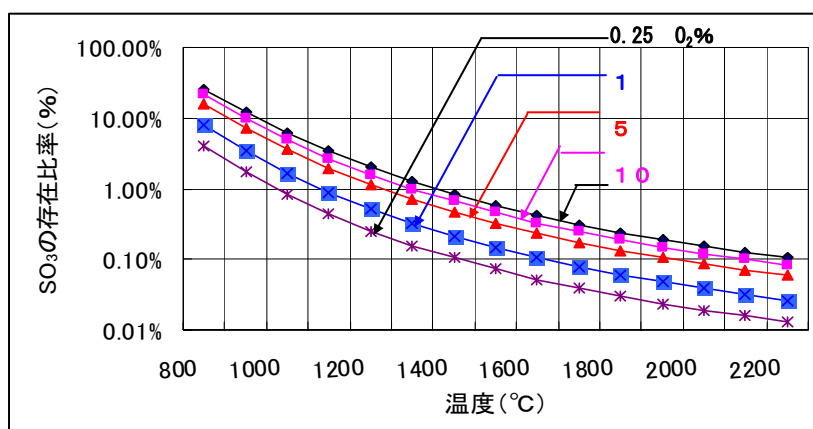


図 5.6.7 1 気圧におけるSO₃の存在比率（平衡濃度）

$$\log K_p = 5186.5 / T + 0.611 \times \log T - 6.7495 \quad T; \text{温度 (K)}$$

平衡定数 K_p は（社）産業公害防止協会；“排煙脱硫”、丸善（'73）を使用

図 5.6.7 は 1 気圧における化学的平衡時のSO₃存在比（mol%）（=SO₃/(SO₃+SO₂））である。ボイラー排ガス中のSO₃存在比は、2~5 %程度と言われている。ボイラーは主燃焼室とエコマイザー（2 次燃焼室）を持つため、高温の滞留時間が十分あり、ディーゼルエンジンより完全燃焼に近づいている。

ディーゼルエンジンは燃焼時の温度はボイラーより高いため、 SO_3 への添加率はボイラー排ガスの 2～5%より低いと予想される。

図 5.6.8 に海水スクラバーの基本的フローを示した。装置全体としては比較的シンプルになると考えられる。また代表的なスクラバーを図 5.6.9 に示した。

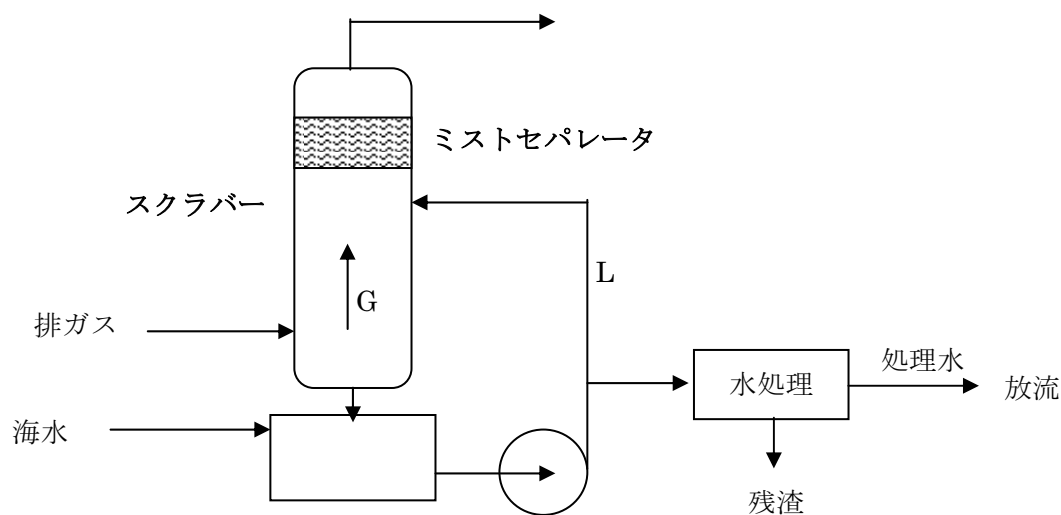


図 5.6.8 海水スクラバーの基本的フロー²⁰⁾

スプレー塔	充填塔	ベンチュリースクラバー ジェットスクラバー
塔内のガス流速は 2 m/sec 以下。圧力損失が少ないが、除去効率は低い。 ガスを旋回させ、効率を上げるタイプもある。塔内に邪魔板を設置するタイプもある。 圧力損失を少なくする場合に利用。	ガス流速は 1 m/sec と非常に遅く、塔径が大きくなる傾向にある。 充填物の代わりに棚段を設置するタイプもある。 スプレー塔より効率は期待できるが、処理量の柔軟性に欠ける。	ガスの押し込め力で液を吸引する。液注入量を増加させることにより、ガス吸引力を増すことも可能。気液混合流体を液面に衝突させ、粒子を捕捉する。 エネルギー消費量が多い。送液ポンプの能力次第であるが、幅広い操作範囲が確保できる。

図 5.6.9 代表的スクラバー例²⁰⁾

船舶のエンジン負荷モードを考えると、スクラバー方式としてはスプレー塔、充填塔タイプより、ベンチュリーのような操作範囲の広いタイプが向いていると考えられる。

b. 乾式スクラバー

排煙脱硫設備の導入初期において、日本では湿式スクラバー（石灰・石膏法）が主流であったが、米国では排ガスダクトに石灰スラリー（又は石灰粉末）を噴霧し、バグフィルター又はサイクロンで石灰粒子を回収するといういわゆるドライスクラバーが用いられていた。最近では、ダイオキシン除去を目的に焼却炉排ガスに粉末活性炭を投入し吸着させる方式が行われている。粉末活性炭はコスト高であるため、重曹粉末を注入し酸性ガスの除去と同時にダスト捕捉が行われている。ドライスクラバーは、設備的に簡単であるが投入粉末とガス中の除去目的物の間における接触確率およびダスト捕集フィルターによって除去率が決まる。フィルターとしてサイクロン分離器又はバグフィルターが用いられる。サイクロンはコストも安く、設備もコンパクトになる特徴を持つが、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子捕捉効率は悪い。バグフィルターは $1\mu\text{m}$ 以下の粒子を捕捉できる（重量ベースで90%以上）が、サイクロンに比べコストが大きく、大きな設置エリアが必要となる。

ダイオキシン対策に利用されていることから、微小粒子であるPMに関しても適用の可能性はあると思われるが、除去性能に関するデータ採取および噴霧剤の選定を含めた開発が必要と考えられる。

c. 電気集塵器（EP ; Electrostatic Precipitator）

高電圧コロナ放電により、粒子を帯電（+側）させ、陰極側に静電力で粒子を捕集する方法で陰極に付着した粒子は衝撃力で剥離され回収される。通常は、EPの前段に粗粒子除去用のサイクロン又は衝突（慣性）型エリミネーターを置いた組み合わせで使用されている。

日本国内では、圧力損失が少ないこと、除去性能が高いことからゴミ焼却場の排ガス処理に採用されていた。しかしながら、EP内においてダイオキシン再合成が 300°C 付近でも行われることが判明した後、塩素（又は塩化水素）が存在しない、又は 200°C 以下（再合成が起きない）という特殊雰囲気での利用に限定されたため、国内で市場を失っている。ダスト捕捉率は90%以上と高い。

欧州では固定施設ディーゼル排ガス後処理用として検討が始められている²⁰⁾。この場合の技術的問題点として、以下が上げられている。

① 排ガス中の塩化水素濃度。ダイオキシン発生問題

通常原油は、塩素分を1 ppm以下にコントロールした後、精製プロセスで処理される。このため、軽質燃料への塩素混入量は少ないが、重質油に蓄積される可能性がある。潤滑油中の塩素濃度のコントロールと併せての検討が必要。

② 液体粒子（SOF）対策

SOFに対する捕集データは少ない。電極からの剥離の容易性が問題。

③ サルフェートによる電極腐食

硫酸の露点以上の温度での操作が必要。エンジン出力により排ガス温度および流量が変化するため、温度を硫酸露点以上に常に保持することが可能か？

EPは電極版の間を流れるガス流速を、粒子が捕捉できるように遅くする必要がある。このため設備が大型になる傾向がある。また、 SO_2 はスルーするため、将来 SO_x が厳しくなった時、 SO_x 対策が後付けで必要となる可能性がある。

d. DPF (Diesel Particulate Filter)

◆ DPF 概要

ディーゼル排ガスを耐高温のフィルターでろ過し、フィルターに捕捉された粒子を 500～700℃で燃焼処理し、再生する。燃焼処理において、温度は 1,000℃近くまで上昇するため、フィルター素材として SiC、コージライトなどのセラミックが用いられている。フィルターユニットを 2 系列以上設置し、ろ過、再生を切り替える交互再生方式を通常 DPF と呼んでいる。

一方、フィルター表面に白金、パラジウムなどの貴金属系酸化触媒を担持し、低温で PM を酸化除去する連続再生方式がある (CR-DPF ; Continuous Regeneration Diesel Particulate Filter)。CR 方式は、SO_x 存在下では、SO₂ の酸化によるサルフェートの増大、SO_x の触媒被毒による耐久性に問題があり、低硫黄燃料用が前提となっている。

DPF では再生時にフィルターを 500℃以上にする必要があり、加熱方法としてヒータ加熱、バーナ加熱、燃料燃焼加熱などの方法がある。大型ディーゼルトラックなどのレトロフィット用として、ヒータ加熱方式が最も普及している。DPF はフィルターの熱履歴の問題があり、サーマルショックに強いセラミック素材の開発が続けられている。

EU では、ディーゼル自動車用として、CR-DPF とエンジンの電子制御と組み合わせた燃料供給加熱が主流となっており、低硫黄燃料を前提としており、排ガス温度が低下する低負荷時に燃料を過剰注入し、フィルターでの酸化加熱用としている。

CR-DPF は DPF に比べ設置スペースが少なく済むというメリットがあるものの、低硫黄燃料とエンジン電子コントロールが不可欠である。

◆ DPF のマリンエンジン適用上の問題点

① サルフェートの捕捉率

高負荷時には排ガス温度が 350℃以上となり、無水硫酸は気体として存在する。このため、フィルターには捕捉されない。逆に低回転時にはガス温度が低くなり、無水硫酸の露点以下となった場合、フィルター負荷を増大させる可能性がある。

② 重質油利用時の DPF の有効性

重質油利用時の DPF の有効性については、まだ開発段階である。港湾区域への環境影響が大きいと考えられる港湾内の低回転運転時に発生するろ過性状の悪い PM に対応可能かどうかの見極めが必要となる。エンジン内温度および排ガス温度低下により生成する粘着性の高い PM 対応が可能かどうかの確認が必要である。

e. 炭化水素触媒酸化分解法

ディーゼル排ガス中に気体状で存在する未燃炭化水素のうち、炭素数の少ないものは気体として大気拡散しオキシダント生成原因物質となる (VOC 規制)。また、芳香族系の炭化水素のあるものは、発ガン性物質として大気放出の規制対象となる。これらの CO を含む未燃炭化水素は通常 500℃以上で燃焼処理が可能であるが、エンジン排ガス系ではこのような高温が維持できない。このため、低温で酸化分解可能な触媒酸化分解法が用いられている。酸化触媒は他分野で種々用いられている触媒を利用することが可能であるが、硫黄被毒の問題がある。低硫黄燃料用が前提となる。

f. NO_x 吸蔵触媒分解

NO_xを触媒に吸着させ、NOを酸化しNO₂とした後、還元剤で窒素と酸素に分解する方法である。還元剤として燃料である軽油が利用できるのが特徴。なおこの方法は、通常運転時にはリーン状態としてNO_xを吸蔵した後、燃料制御によりリッチ状態とすることにより、未燃燃料を触媒上に供給する。この方法は、触媒被毒の関連から低硫黄燃料用であり、リーンおよびリッチの切り換えが可能な電子制御エンジンが前提である。

また、先にリッチ状態とし、HC（炭化水素）を吸蔵させ、その後リーン状態でNO_xと反応させ分解させる方法もある。この技術は出力に切り替えの影響があまり出ない、高速回転の中小型エンジン向けと考えられている。低硫黄燃料用が前提となる。

g. 選択触媒還元法（SCR：Selective Catalytic Reduction）

選択触媒還元法（SCR）はNO_x対策技術であり、触媒を利用し窒素と酸素（又は酸素化合物）に還元分解する技術である。PM削減に直接貢献するものではないが、PMに対する影響という観点から取り上げることとする。

燃焼機関から排出されるNO_xの大部分はNOである。NOは酸素の存在下、且つ温度低下とともにNO₂に変化し、常温ではNO₂も窒素と酸素に分解される。ところが、NOからNO₂への反応およびNO₂の分解反応速度は非常に遅く、排ガス中のNO_xとしてはNOを対象として考えることが妥当となっている。

◆ SCR 概要

SCRは触媒および還元剤を用いたNO_xの分解処理法の1つであり、図5.6.10にNOを例にし、その分類を示した。

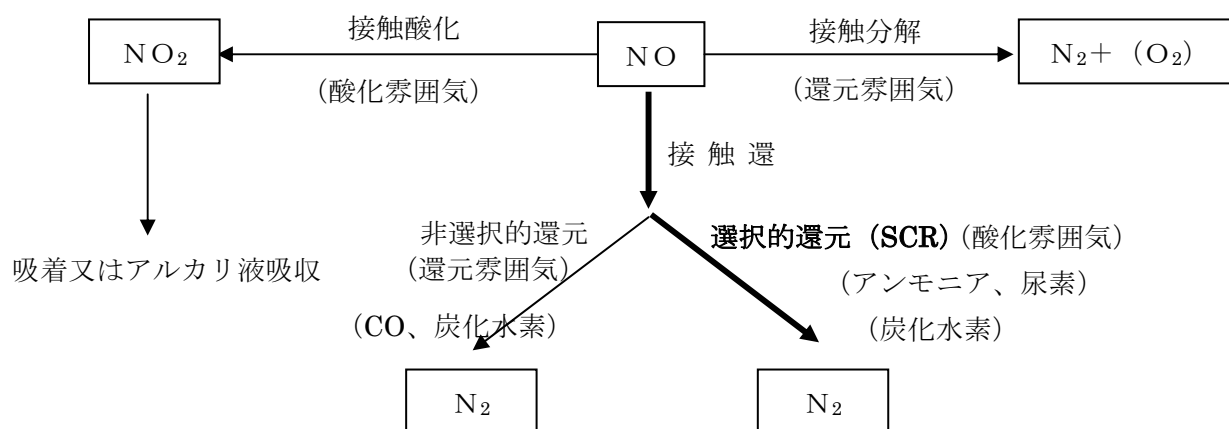


図 5.6.10 触媒を用いた NO 除去技術の分類

5.6.10 図中の接触分解、非選択的還元法はいずれも低酸素領域（還元雰囲気）で行われるため、反応は比較的容易に進む。この反応は、ガソリンエンジンの排ガス処理（3 元触媒法）に利用されている。

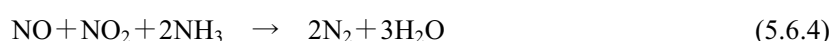
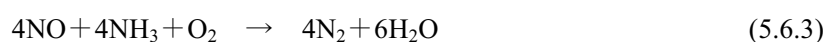
これに対し、接触酸化法およびSCRは酸素存在下で利用される対策技術である。このうち接触酸化法はNO₂回収を目的とする特殊な利用技術であり、固定発生源からの燃焼排ガスの脱硝技術としては

SCRが最も一般的である。

SCRは酸化雰囲気中で還元を行うため、還元剤を必要とする。SCR用還元剤としては、アンモニア利用が一般的である。ただし、アンモニアは有毒・可燃性を有し、また、高压での取り扱いが必要なため、アンモニア供給設備は相応の規模となり、中・大型燃焼機関用技術と考えられている。一方、定置型中小燃焼機関用としてアンモニアに比べ取り扱いが容易な尿素水が利用されることがあり、一部船舶機関において実用化されている。

オンロード用として、安価且つ取り扱いが容易な炭化水素（パラフィン系）、含酸素炭化水素（メタノール）が還元剤として利用できる触媒が開発されつつあるが、温度領域が狭い又は硫黄被毒等の問題が残っており、現在は限定的な利用に止まっている²²⁾。

SCRにおけるNO_x処理反応は次式で示される。



上の反応式で示されるように、NO_xに対して等モルのアンモニアが必要となる。NO_xの転換率（分解率）はおおよそ、80～90%である。

SCRを脱硝設備とする固定発生源の排ガス処理システムの典型例を図5.6.11に示した。

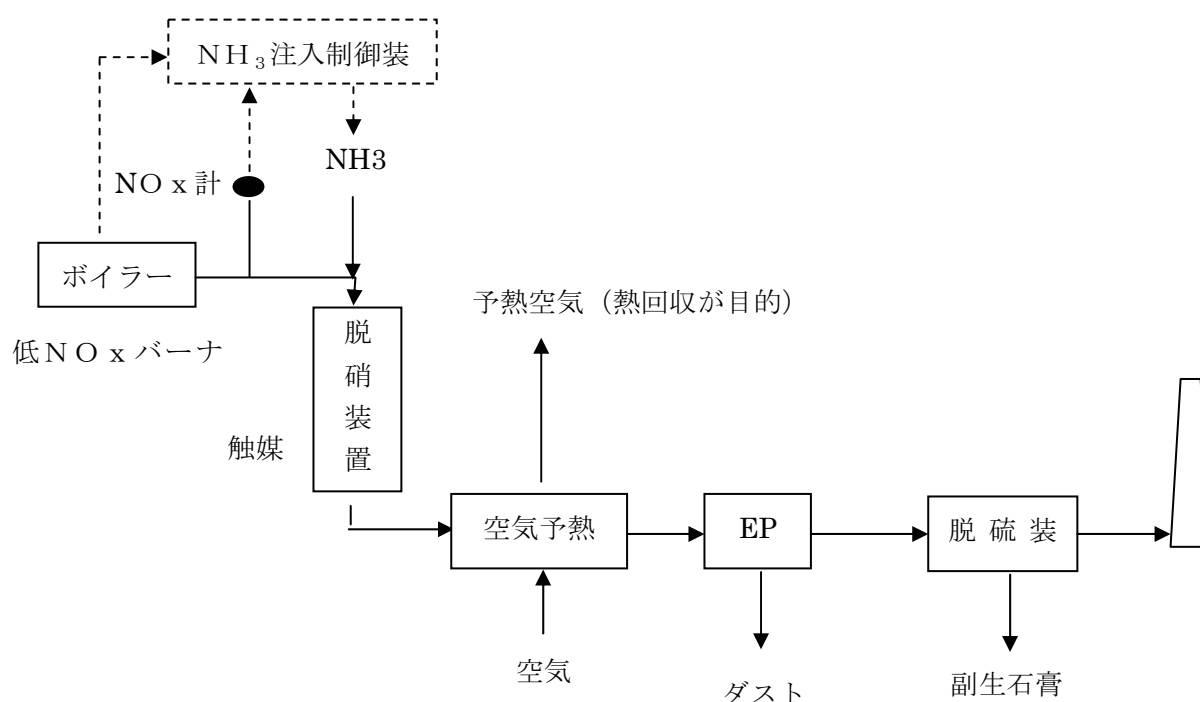


図 5.6.11 固定発生源燃焼排ガスの典型的排ガス処理システム

ボイラー排ガスはSCR（300～400℃）で処理され、空気予熱器で約200℃に冷却し（熱回収が目的）、EP（電気集塵器）でダスト除去を行った後、脱硫装置（湿式が多い）を経て放出される。

脱硝触媒の運転範囲は300～400℃の範囲で行われることが多い。なお、排ガス中のSO₃濃度が高い排ガスに対しては、操作温度は350～400℃と設定される傾向にある。

この理由として、以下が上げられる²³⁾。

- ① 脱硝触媒は硫黄対策のため、主成分を酸化チタンとし、活性金属としてバナジウム、タングステン、等が用いられているが、触媒活性温度が概ね 300℃以上である。（触媒製造会社により差がある）
- ② 余剰アンモニア（リークアンモニア）が多い場合、無水硫酸と以下のように反応し、硫酸水素アンモニウム（ NH_4HSO_4 ）を生成し触媒表面を覆う可能性がある。又排ガス配管（又はダクト）に蓄積し、閉塞させる可能性がある。この対応として、リークアンモニア量を 5 ppm以下とする制御が行われている。

$$\text{NH}_3 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{HSO}_4 \quad (5.6.5)$$
- ③ NH_4HSO_4 は 350℃以上で分解するため、アンモニアと無水硫酸の反応は発生しない。このため、350℃以上では SO_3 濃度を気にすることなくアンモニアを利用できる。
- ④ 400℃以上では、アンモニアが酸化されるため、脱硝率が低下する。

このように、SCR は比較的高い操作温度を必要とするため、SCR はボイラー出口に設置されるのが一般的である。このため、触媒はダスト存在下に晒されるため、いわゆる格子（ハニカム）状又は板状に成型され、ダストによる閉塞を避ける構造となっている。触媒反応器は一般的には配置スペースの関係から排ガスの流れが水平になるように設置されるが、石炭専焼ボイラーのようにダストの多い排ガスに対しては、排ガス流路が垂直になるように設置されることがある。（図 5.6.12 参照）また、ダストの多い排ガスに対しては、SCR 反応器前（ボイラー出口）にスートブロー装置が設置されることが多い。全操作範囲に渡る脱硝性能を維持するため、反応器はボイラーの最大負荷時の排ガス量で設計されるため、大型化するのが一般的である。

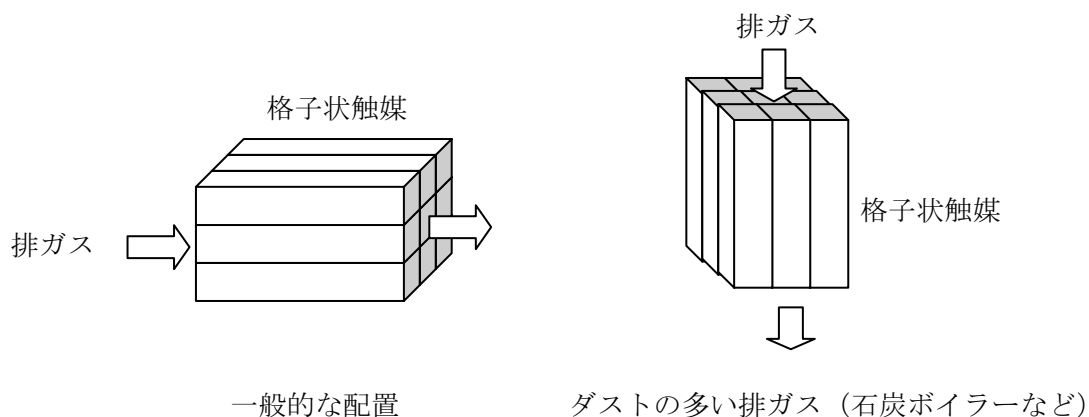


図 5.6.12 SCR 反応器の配置例

固定発生源では、アンモニア注入量は、ボイラー出口の NO_x 計出力とボイラー負荷情報の両方から決定されている。どちらかと言えば、ボイラー負荷情報を基にしたフィードフォワード制御が主体であり、 NO_x 計の測定値は制御用の演算修正に利用している。リークアンモニアを 5 ppm 以下とするため、注入アンモニア量を理論量（等モル）より少なくし、80%程度の脱硝率を狙う方式が一般的である。

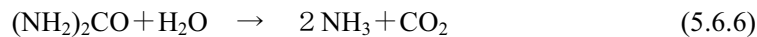
コンピュータ制御の発達により、中大型ボイラーの負荷変動に対する燃料供給とそれに対応する空気／燃料比を一定とする燃焼空気量の制御はかなり精密に行われており、 NO_x 濃度予測および出口排ガス温度の一定化が可能となっている。

固定発生源における NOx 対策は、低 NOx バーナーによる発生源での NOx 対策を十分に行い、SCR では高い転換率を狙わずアンモニアリーク量を抑えるという基本的考えを基にしている。

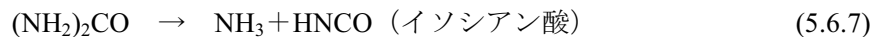
ボイラー燃焼制御と組み合わせたアンモニア注入システムは、中小ボイラーではコスト的負担が大きいため、アンモニア注入コントローラーを設置せず、過剰のアンモニアを注入する例がある。リークアンモニア対策として、SCR 後段にアンモニア酸化触媒を設置することがあるが、SO₂の酸化による無水硫酸の生成問題があり、この対策は、低硫黄燃料利用システムに限定される。ただし、中小ボイラーでは高硫黄重質油を燃料として使用する例は少ない。

◆ 尿素（尿素水）利用時の注意点

アンモニアの代替として、尿素が利用できる。尿素は熱分解によりアンモニアを発生させる。アンモニア発生後は通常のアンモニア SCR 法と同じである。通常は尿素を水に溶かした水溶液として利用する。



ただし、150℃以下では、以下の分解反応によりイソシアン酸が生成する。



イソシアン酸は重合し、シアヌール酸などの固体となり、触媒表面への付着・閉塞および新たな粒子発生の原因となるため、注入ラインの温度制御は重要である。

◆ マリンディーゼルエンジン適用への問題点

SCR は陸上固定発生源対策として確立された技術であり、高硫黄酸化物存在下でも適用が可能という特徴をもった技術である。しかしながらマリンディーゼルへの適用ということで考えると以下の問題がある。

- ・ 所定の脱硝率を得るには排ガス温度を望むらくは、全負荷に渡って 350~400℃にコントロールする必要がある。
- ・ リークアンモニアを 5 ppm 以下に抑える必要がある。
- ・ 触媒層への粒子付着による性能劣化対策を考慮する必要がある。

上記条件は SCR に陸上設備と同程度の性能および耐久性を求める場合に必要である。

5) 技術評価

マリンエンジンからの PM 排出に関する系統的なデータ採取および整理が進行中であり、現時点で定量的なデータで技術評価を行うのは難しい状況にある。海洋からの PM が陸上又は地球規模でどのような影響を与えるのかの検討も不足している。

このようなことから、各技術が PM をどこまで削減できるか不明である。このため、メーカーヒアリングおよび文献等の公表データなどを参考にし、相対的な評価を行うこととした。

(1) エンジン技術

エンジン周りの技術は自動車ディーゼルエンジンと同様な技術と、大型低回転というマリンエンジン特有な問題への対処技術に分かれている。PM 削減技術は各エンジン製造会社がそれぞれ独自に開発を行ってきており、各エンジン製造会社により温度差がある。従って、ここでは技術の基本的な考えに対して、PM 削減効果を評価することにする。

以下に各技術の評価を述べるが、実際には各技術単独では実施されることはなく、製作コスト（プライス競争）との関係を考慮しながら、組み合わせて提供されて行くと考えられる。

a. 燃焼改善

SOF 対応として検討又は開発されている技術として、以下がある。

① 高圧燃料噴射（主として SOF 対策）

燃焼改善による PM 削減には効果があるが、NOx の増加を伴うため、実際には NOx 対策と併用し、実現されて行くと考えられる。NOx 対策としては電子制御エンジン又は SCR が考えられる。どちらを選定するかは、規制動向を考えて進むと思われる。

② SAC ボリュームの低減化（主として SOF 対策）

大型エンジンの低速回転時、特に 2 サイクルエンジンからの PM 削減に有効と考えられる。既存エンジンを大規模改良しないで、対応が可能な技術である。

b. 低温化（NOx 対策および PM 対策）

① 電子制御エンジン

燃料注入量と噴射時期をコントロールし、エンジン温度と燃焼の改善を図る技術であり、PM 削減とともに NOx 削減には有効な技術である。ただし、開発およびコスト的には大きな負担となる。

燃料注入パターンの基本的考え方は同じであるが、エンジン製造会社により微妙な点で違いがあり、それにより効果も違ってくる。高硫黄重質油燃料にも対応可能な技術である。

② EGR

NOx 削減に効果があり、PM 削減も条件により可能であるが、リサイクルガスの冷却時における硫酸腐食問題を解決することが、重要と考えられる。基本的には、低硫黄燃料対応技術である。

③ 水注入

NOx 対応であり、PM 削減に対しては効果が薄い又は逆に働く可能性がある。燃料注入時に燃料－水－燃料などの試みがなされている。単なる水注入でなく、エンジンコントロールとの組み合わせ技術が今後、検討されていく可能性があり、将来的な評価は変わる可能性も持っている。

④ 水エマルジョン化

軽油－水エマルジョン燃料は陸上のオンロードおよびオフロードディーゼルエンジンに対し実績を持っている。NOx および PM 削減に有効と考えられる技術である。高硫黄重質燃料に対しての実績が今後の課題と考えられる。

⑤ 潤滑油対策

◆ 潤滑油性状

高硫黄燃料を利用するマリンエンジンには特有の潤滑油管理がある。潤滑油の蒸発・燃焼問題とともに潤滑油アッシュの PM への影響および後処理設備の処理性能への影響を含めた潤滑油の開発が今後とも必要と考えられる。

◆ エンジン側対応

潤滑油の消費は PM 増大に繋がる、このための潤滑油消費量の減少を目的とした潤滑油注入技術は PM 削減に効果があると考えられる。また、シリンダーリングからのリーク対策は潤滑油由来の PM 削減対応として効果が期待できる。

(2) 燃料対応

技術各論では日本の石油状況から検討したが、マリンエンジン燃料は日本に限定されるものではなく、世界各国で調達されるため、世界的な枠組みの中で議論されるべきであろう。

a. 現状の燃料

IMO による SOx 規制から、燃料中の硫黄分が規定されているが、自動車エンジン用に比べ遥かに高い値である。原油価格が高水準で将来に亘って推移すると予想されることから、コスト的な問題、石油利用体系からマリン用燃料は、高硫黄重質油が主体となると考えられる。従って、当面 PM 削減対策は高硫黄重質油を主体として検討するのが基本と思われる。

b. 低硫黄化

現在燃料中の硫黄分は 4.5 %（特定地域では 1.5 %）となっている。マリンディーゼル用重質油の低硫黄化は、①SOx 規制の強化、②NOx、PM 規制が厳しくなり低硫黄燃料の必要となった時に、実現の可能性が高いが、将来的な問題と考えられる。

低硫黄化重質油燃料利用により、サルフェート由来の PM 削減に効果があり、燃焼改善技術および排ガスの選択肢が広がるという効果が出てくる。

重質油の低硫黄化は燃料製造コストを上昇させ、燃料中の二重結合炭化水素および多環芳香炭化水素の含有量を増加させる。これら不飽和炭化水素の PM 削減に与える影響が、低硫黄化実現の折に必要な課題と考えられる。

c. 新燃料

合成燃料である GTL、DME は新燃料としての期待は大きい。SOx および PM 削減に対し非常に大きな効果が期待できる。しかしながら、マリンエンジン向けと考えた場合、世界的規模での供給が必要となってくる。製造施設および供給インフラの整備を考えると、将来的な構想と思われる。

(3) 後処理技術

ディーゼル自動車排ガスに対する後処理技術が、種々開発又は実用化されている。これら技術の多くは、長期規制対応を前提としており、使用条件として燃料の硫黄フリー、軽質化が設けられている。このようなことから、マリンディーゼルエンジンに適用可能な技術として、燃料条件に対応して以下のように評価できる。

a. 高硫黄重質油を燃料として利用

① DPF

相互再生式の DPF は原理的に SO_x 存在下でも利用可能であることから、マリンエンジンからの PM 削減に有効と考えられている技術である。PM 捕集効率はフィルターのろ過性能で定まるが、微小粒子まで対象とすると濾過差圧が大きくなる。エンジン排ガスの排気圧力の範囲内での利用となる。高硫黄重質油燃料の排ガス性状はエンジンの運転条件によって異なるため、実験的な開発が必要と考えられる。

なお、ろ過時にはサルフェートによる腐食およびフィルターの差圧上昇を避けるため、硫酸露点以上の運転が必要となるおそれがある。この場合、サルフェート由来の PM については効果がない。

② 海水スクラバー

海水スクラバーは EU で検討されているように、その主目的は SO_x 対策である。PM 又はダスト対策としての効果は、スクラバーおよびデミスターとしてどのような形式を選定するかによって定まる。SO_x および PM に対し、相応の削減効果は期待できると考えられるが、マリンディーゼルエンジン排ガスに対する試験を行う必要があると思われる。また、スクラバー排水の処理方法などについて、今後検討を進める必要があると考えられる。

③ SCR

基本的に NO_x 対策であるが、エンジン側で PM 対策を行い、NO_x 処理でバランスをとるという視点では、PM 削減技術として有効と考えられる。陸上設備として利用されている SCR は高硫黄石炭燃料に対しても脱硝性能は確保されている。ただし、脱硝率を維持するためには、脱硝触媒の温度管理が必要となり、エンジン側におけるコントロールが必要となる。還元剤としては、現状では尿素水（アンモニア）となるが、リークアンモニアによる触媒への蓄積が耐久性に大きく影響する。低硫黄燃料であれば、アンモニア酸化触媒が利用可能であるが、高硫黄燃料を利用する限り、尿素水の注入コントロールは重要となる。排ガス温度コントロールおよび尿素コントロールが課題と考えられる。

以上の、DPF、海水スクラバー、SCR は、マリンエンジン用としての PM 削減効果が期待できると考えられるが、性能維持および耐久性に関する開発要素は残っていると考えられる。

その他、以下の④および⑤の技術は高硫黄燃料に対しても、PM 削減に効果が期待できる技術であるが、マリンエンジン排ガスに対する実績がないため、効果確認を含めた開発が必要と思われる。また、設置エリアとして大きなスペースを必要とすることから、大型船など用途先は限定される可能性がある。

④ ドライスクラバー

⑤ EP

b. 低硫黄燃料対応

マリンエンジンに低硫黄燃料が利用できる場合には、自動車エンジン用の短期又は長期規制対

応技術をベースとして、マリンエンジンの PM 削減に有効となると考えられる。この場合、マリンエンジンに対する NO_x、SO_x および PM 規制が厳しいという想定であり、将来的な対応と考えられる。

- ① NO_x 吸蔵分解
- ② CR-DPF 技術
- ③ 連続酸化処理技術

表 5.6.4 に PM 削減対策技術をまとめた。なお、表 5.6.4 には本文では触れていないが、運用上有効と思われる、燃料切り替え、バース停泊時の陸上電源利用（陸電）を参考までに記載した。

6) まとめ

自動車用ディーゼルエンジンの PM 対策は種々の技術を組み合わせ、各技術の特性を生かした上で全体として規制目標を達成しようとしている。自動車ディーゼルエンジン排ガスの影響は燃料使用量からみると環境面および産業・経済面において非常に大きい。このため、各分野の技術が投入されてきている。しかしながら、PM に関する情報が全て整っているという状況にはなく、微小 PM に対しては測定法、影響の程度について取り組み中である。

一方、マリンディーゼルエンジンについては、排出 PM について粒径、粒径分布、化学組成などのデータが殆どないという状況である。まず、マリンディーゼルエンジンからの PM に関する実態調査を行い、燃料問題を加味した上で、将来的にも対応可能な技術の整理・評価を今後とも続けていくことが必要である。

参考資料

1. 中央環境審議会答申、「今後の自動車排出ガス低減化対策のあり方について」（第八次答申、平成 17 年 4 月 8 日）
2. 環境省；「ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会」、平成 13 年度報告
3. 経産省；「クリーンディーゼル乗用車の普及・将来性見通しに関する検討会報告」平成 17 年 4 月
4. PEC 成果報告会発表資料；「欧米におけるシティー軽油導入動向について」平成 10 年発表会
5. “Emission Formation in Diesel Engines”, http://www.dieselnet.com/tech/diesel_emiform.html
6. 吉原監修；「ディーゼル車排ガスの微粒子除去技術」、CMC 出版(2001)
7. 森吉；自動車研究,p27,vol27,12(2005)
8. JCAP 推進室；技術報告書 2-7-1、エンジン技術、燃料性状のディーゼル排気への影響解析（2002）
9. <http://www.autoalliance.org/archives/000090.html>
10. 環境省；中核的温暖化対策技術検討会、「平成 14 年度 民生・運輸部門における中核的対策技術に関する中間報告」（平成 15 年 3 月）
11. 国土交通省；記者発表、<http://www.mlit.go.jp/kisha/oldmot/kisha00/21koutu/kankyous11.htm>
12. Lucy,Sadler；”The air quality impact of Water Diesel Emulsion Fuel and Selective Catalytic Reduction Technologies”,http://www.London.gov.uk/gla/publications/environment/scr_wde.pdf
13. コマツディーゼル；技術紹介、<http://www.komatsu-kdl.co.jp/new020725/top.html>
14. JCAP 推進室；JCAP 技術報告書、2-3-4、連続再生式 D P F に及ぼすオイルアッシュの影響調査（平成 14 年 3 月）
15. 出光石油；出光石油 H P , <http://www.idemitsu.co.jp/chibasei/seiyusyo/process.html>
16. 北海道電力；北電リサーチレポート,<http://www.hepco.co.jp/souken/>
17. 大野ら；JFE 技報、No6、pp70-75、(2004)
18. Entec Uk；“Emissions/Assignment, Abatement and Market-based Instruments,” task 2C, final report , EC/DGE,Ship, Aug.2005
19. タンカー荷役実務研究会；“大型タンカーの実務”、(株)成山堂書店(‘85)
20. 化学工学会編；“化学工学便覧 5 版”、丸善（1990）
21. “Diesel Emission Control”,http://dieselnet.com/tech/engine_control.html
22. 岩本監修；「環境触媒ハンドブック」、エヌ・ティー・エス、(2001)
23. 牧野ら；電中研レビュー、No.46、(2002)

表 5.6.4 PM 対策技術評価のまとめ

対策大分類	対策名	対策概要					対策レベル 技術概要	適用範囲	船舶	環境影響 2次影響 2次影響	総合評価
		技術概要									
		Scot	SoF	Sulfate	NOx	HC					
1 エンジン周 り・対策	燃焼改善 (PM対策)	高圧燃料噴射	○	○	×	○	燃料を微細化し燃焼効率の改善を図る。 ただし、NOxは増大する。	○	NOxの増大	燃焼が改善され、PMが削減されるがNOxは増大する。燃料注入コントロールとの組み合わせでNOx対策も含めより効果は高くなる。	
	電子制御エンジン		○	○	—	○	燃料供給、空気供給などの制御	○	無し	燃料の注入コントロールにより、NOx、PMの削減効果が可能。	
	SACポリユールの低減		○	○	—	○	噴霧ノズル先端部体積を減らし、燃料2次注入量を減らす。	△	無し	スート、SOF削減に有効である。サルファード削減には寄与しないがコスト的に見れば、早期導入が可能な技術である。	
	低溫化 (NOx対策)	排ガス循環 (BGR)	—	—	—	○	排ガスを一部循環し、酸素量を減らす。	○	有り(PM)	循環率により、PMの増大の可能性有り。排ガス中のSOxによる腐食問題があるため、低硫黄燃料用の技術。	
	燃料遅延注入		—	(×)	—	○	燃料注入を遅らせ燃焼温度を下げる。	○		単なる遅延注入は、PMの増大の可能性あり。燃料注入コントロールとの組み合わせにより、NOx、PM対策となる。	
	水エマルジョン燃料		—	○	—	—	燃焼の低溫化と水の爆発的蒸発による燃料の微粒化	○		軽油に対して実績あり、重質油に対する技術的な実証が必要。コスト的に見れば早期導入も可能。	
	水注入		(×)	(×)	—	○	水1%でNOx1%減、注入量増加でPMは増加の可能性高い	○		NOx削減に有効であるが、PMの増大を招く可能性が大きい。燃料注入パターンとの組み合わせが行われている。	
	低硫黄化			◎			低硫黄燃料の利用	サルファードフリー	△～×	○	燃料の改質は自動車ディーゼルエンジン用の軽油に対しては進んでいる。低硫黄化により、利用できる後処理技術の選択肢が広まり、結果的にサルファード以外のPM削減に有効となる。
	軽質化		◎	◎	○	◎	重質油の改質によるC数の低い燃料の製造、ある程度の低硫黄化も同時に実現	△	△～×		マリン用ディーゼル燃料が軽質化、脱アロマが実現されれば、現状の高硫黄重質燃料利用に比べ、PMも含め大幅な排気ガスの改善につながる。
	脱アロマ		△	△	—	×	PM原因物質の除去	△	△～×	有り	石油燃料の利用体系、コスト面からマリン用燃料の改善は、将来的な課題と位置づけられる。大型エンジンの潤滑油消費量削減はPM削減の有効な技術と思われる。今後の開発が期待される。
2 燃料、潤滑油及び添加物対策	潤滑油対策	シリンダ注油剤減	△	○	△	—	新型注油器によるシリンダ注油量の削減	○	○		SOF削減を目的とした潤滑油の開発が今後とも必要。潤滑油の性能維持のための添加剤がPM発生要因、後処理装置性能に与える影響が今後の課題
	潤滑油性状改善		△	△	—	△	潤滑油由来のPM発生量を抑える改善	○	○		SOF削減を目的とした潤滑油の開発が今後とも必要。潤滑油の性能維持のための添加剤がPM発生要因、後処理装置性能に与える影響が今後の課題
	混合燃料		△	△	○	—	直鎖HC、含酸素HC	△	△		含酸素燃料の添加によるPM削減効果は、エンジン性能によるものが大きい。バイオ由来、合成燃料などが候補となっているが、添加効果の確認、インフラを含めた供給の安定性が問題。利用設定の対策であり、マリン向けとするには課題あり。
	GTL、DME		◎	◎	—	◎	サルファードフリー、ノンPM燃料、高セタン価であるが潤滑性に欠ける。	×	×		クリーンエネルギーとして将来は利用される可能性の高い燃料。潤滑性が乏しいため、添加剤を用いるか、燃料注入系を開発するかが今後の課題。
	SCR(尿素、尿素素)		—	—	◎	—	アンモニアによるNOxの触媒還元分解		△	有り	SOx存在下で利用できる数少ないNOx対応技術。SCR単独の効果を狙うより、PM削減との組み合わせで考えて行く技術。マリン用として、温度コントロール、触媒劣化対応など課題はある。
	DPF		◎	◎	×	—	セラミックフィルターで未燃炭化水素を捕捉し、電ヒータなどで加熱分解する。	○	△	SOx酸化によるSulfate生成	硫黄酸化物により耐久に問題あり、サルファード増加がある。低硫黄燃料対応の技術。
	CR-DPF		◎	◎	×	○	未燃炭化水素を触媒フィルターで捕捉し、触媒上で酸化分解する。	○	△	△～×	
	酸化触媒法		◎	◎	×	—	未反応炭化水素、SOFを触媒層に捕捉し、連続的に酸化分解を行なう。	○	△	△～×	
	電気集塵器(EP)		◎	△	—	—	コロナ放電により粒子を帯電させ、クーロン力で粒子を捕捉する。除塵効率は高い。	×	△		電極間の流速を低くする必要がある。大型船舶など限られた船舶に可能性が有る。硫酸腐食に弱い。
	乾式スクラバー		○	△	○	—	アルカリ粉末(又はスラリー)又は粉末活性炭をダクトに注入し、酸性ガスおよびガスを吸着除去。	○	○		脱硫率、粒子捕集率はそれほど高くない。設備が簡単にコスト的なメリットはある。高い除去効率を望む場合、高性能フィルターが必要となり、コスト、広い設置エリアが必要。薬剤(石灰又は重曹)が必要。
3 排ガス後処理対策	海水スクラバー		○	○	◎	◎	タンカー不活性ガス製造用として実績、負荷変動への対応。(エンジンへの実績不足)	×	△	有り	技術的には確率されている。早期実現性はPM除去効率目標次第。低コストでエンジン出力に柔軟に対応できる技術開発がポイント。今後の排水規制の順にちが必要
	港湾内低速航行燃料切換え		△	△	○	△	港湾内航行時の排出量削減		○		技術的には確率されている。早期実現性はPM除去効率目標次第。低コストでエンジン出力に柔軟に対応できる技術開発がポイント。今後の排水規制の順にちが必要
	重油→軽油		○	○	○	—	港湾内航行時の排出量削減		○		環境影響が大きい港湾域における対策として有効。暫定対策としての意味合いもある。他のPM削減技術との組み合わせも考慮の必要あり。
	陸上電源の利用		◎	◎	◎	◎	停止時の排出量削減(陸電)		○	CO ₂ 削減	環境影響が大きい港湾域における対策として有効。暫定対策としての意味合いもある。他のPM削減技術との組み合わせも考慮の必要あり。
4 運用	Exhaust Gas Recirculation		◎	◎	◎	◎	技術レベル	コスト(メーカセアリング)	適用		○：すぐ適用可能 △：条件により適用可 ×：将来適用
	Selective Catalytic Reduction		◎	◎	◎	◎	A研究開発中よける基礎研究レベル	H：高 M：中位 L：低			
	DPF: Diesel Particulate Filter		◎	◎	◎	◎	B：メーカ開発レベル				
	CR-DPF:Continuous Regeneration		◎	◎	◎	◎	C：実用化レベル				
	EP:Electric Precipitator		◎	◎	◎	◎					

5.6.2. IMO への提案文書

平成 17 年 7 月に開催された第 53 回 MEPC において、今後、船舶から排出される粒子状物質（PM）の規制の可否について検討を行うこととなった。これまで主に陸上固定発生源や自動車等から排出される PM について研究や規制が行われてきたところであり、今後の船舶排ガス中の PM 規制を検討するにあたっては、まず、物理的・化学的に複雑な PM の特性に関する認識を共有するとともに、環境中の挙動を含めた人体への暴露経路などを総合的に勘案していく必要がある。このような状況を念頭に、平成 18 年 4 月に IMO 本部にて開催予定の第 10 回 BLG 会合へ提出すべく、PM の特性に関する基礎的な情報について整理し、提案文書としてとりまとめた。第 10 回 BLG 会合へ提出された提案文書（英文）及びその和文は、以下に示すとおりである。



SUB-COMMITTEE ON BULK LIQUIDS
AND GASES
10th session
Agenda item 14

BLG 10/14/11
25 January 2006
Original: ENGLISH

REVIEW OF MARPOL ANNEX VI AND THE NO_x TECHNICAL CODE

Basic Information on Particulate Matter Emitted from Marine Diesel Engine

Submitted by Japan

SUMMARY

Executive summary: This document provides background information regarding general characteristics of particulate matter (PM) from diesel engines for sharing common ideas of the complex physical and chemical properties of PM.

Action to be taken: Paragraph 5

Related documents: MEPC 53/24, MEPC 53/24 Add.1, MEPC 53/4/4

1 Background

1.1 The Marine Environment Protection Committee (MEPC) at its fifty-third session in July 2005 decided to start a comprehensive review on MARPOL Annex VI, including not only NO_x and SO_x but also other pollutants such as particulate matter (PM). The Committee agreed to include this item in the Terms of Reference of the BLG Sub-Committee.

1.2 The information on emission levels of PM from marine engines, including their size distribution and quantity, is limited. Moreover, it is difficult to fully understand the physical and chemical properties or human health effects of PM emitted from any sources including marine diesel engine because of its complex characteristics.

1.3 It is known, especially, that there is much difference of effects on human health or environment according to the properties of PM.

2 Basic Information on Properties of PM

2.1 PM is a complex mixture of solid particles and liquid droplets found in the air. Because of the complex mixture characterized by widely changing chemical composition and physical properties, PM is not a well defined substance. Some characteristics of PM from marine diesel engines classified by their physical and chemical properties are summarized in Table 1. In addition, Table 2 shows some characteristics of PM in ambient condition and from diesel vehicle for a reference.

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.

2.2 In the past, research works on characteristics of PM has been done mainly for stationary emission sources on land and on road emission sources, such as boilers, diesel generators and diesel vehicles. Despite considerable amount of basic research, neither the formation of PM in the engine cylinder, nor its physical and chemical properties are fully understood. PM from these emission sources has been regulated basically by their weight per exhaust gas volume. In consequence, improvements of ambient air quality can be observed to some extent. Nevertheless, on the basis of what is already known, PM is perceived as one of the most harmful emissions produced by diesel engines.

Visible Smoke

2.3 Visible smoke is one of the expressions of PM from diesel engines and is easily recognized by public in terms of reducing visibility and soiling structures. Smoke is in the form of particles, either solid or liquid suspended in the exhaust gases. It can be classified to black smoke and white smoke. Black smoke consists mainly of carbon particles (soot) or coagulates of a wide range of particle sizes. This size distribution depends to some extent on the type of combustion system and of fuel used. While white smoke consists of a mixture of fuel and lubricating oil particles in an unburned condition or under partially load. In case of marine engines, the major concern would be the black smoke.

2.4 Some countries have introduced local regulations in some extent to control smoke emission from stationary sources and other emission sources including marine vessels.

Characteristics by Particle Size

2.5 Another possible expression of PM in exhaust gases could be classification of their particle size, since PM has historically been characterized largely in that manner. PM is often divided into two major groups according to their particle size; coarse particles and fine particles. The coarse particles include larger particles. These particles are sometimes generated in the diesel combustion process as incomplete combustion materials, and they are also formed through deposition and subsequent aggregation of particulate material from engine cylinder or exhaust system surface. Fine particles ($< 1 \mu\text{m}$) are formed by agglomeration of primary carbon particles and other solid materials, accompanied by adsorption of gases and condensation of vapours. They are composed mainly of solid carbon mixed with Soluble Organic Fraction (SOF) such as condensed hydrocarbons, but may also include sulphur compounds, metallic ash, etc. The chemical composition of PM varies greatly depending on the fuel property.

2.6 Exposure to large particles may cause coughing and eye irritation. In the case of exposure to small particles, they may get into the lungs and cause health effects with illnesses from lung diseases. Symptom of the health effects would depend on the period of exposure, the particle sizes and particle composition.

2.7 The ambient residence time of particles varies with their size. In general, coarse particles tend to settle rapidly from the atmosphere. The travel distance of coarse particle could be about one to tens of kilometres. By contrast, fine particles remain suspended longer in the atmosphere, and tend to be transported hundreds to thousands of kilometres.

2.8 Particle size distribution of PM from marine engines is not well known, but it is assumed that, with considering the residual fuel used, it could contain relatively larger size of particles compared to particles emitted from on road diesel vehicles using distilled low sulphate-fuel. In addition, it is concerned that there are some challenges needed to solve for measuring “fine particles” from marine diesel engines precisely.

Measurement Methods

2.9 The definition of particulate matter is in fact determined by its sampling method, the detailed specification of which is an important part of all diesel emission regulations. There are two different measurement methods for determination of particulate mass; the direct measurement method and the dilution method. As for the direct measurement method (e.g., ISO 9096), the sampling nozzle is inserted directly into the gas flow and to withdraw the gas under isokinetic sampling condition. PM in the gas flow is collected by sampling filters, and after drying and conditioning, the filter is weighted to derive the mass of the collected PM. While another method is the dilution method (e.g., ISO 8178) which, in the case of diesel vehicle, PM sampling involves drawing an exhaust gas sample from the vehicle's exhaust system, diluting it with air, and filtering through sampling filters. The mass of particulate emissions is determined based on the weight of PM collected on the sampling filter. It is obvious that any changes in the procedure, for example using a different type of sampling filter, may produce different results. Common sampling method and measurement procedures are one of the most important things when results from different laboratories are to be compared.

2.10 In addition, there is another difficulty for measuring PM from emission gas. The principle of ambient air measurement can be used to measure the concentration of gaseous substance of NO_x and SO_x in emission gas. However, that is not the case with measuring PM because PM has physical configurations, and the difference of measurement conditions such as gas flow rate, temperature and moisture from them in ambient air need to be considered. For this reason, the definition of PM in environment do not exactly corresponded to the definition of PM in exhaust gas. To evaluate the effects of PM reduction in the environment, it is not enough to collect information on the total emission amount and to estimate the possible reduction amount, like usually done in the case of gaseous substances. It is necessary to develop a model which can well reflect the emission particles measured by the methods described in the section 2.9 and concentration in the environment measured by the methods in this section.

3 Items to be considered in future

Because there is only limited information and data available on mass distribution or number distribution, characteristics of particulate matter from marine engines are not well-known. Accordingly, followings should be identified prior to making a recommendation on the reduction of PM.

- PM emission level from marine engines; particle mass and number distribution, chemical composition, difference in fuel characteristics and operation mode, etc.;
- Common sampling method and measurement procedures that can be used for measuring PM from marine diesels; and
- Location of PM emission and travel distance of particles; health effects and environmental concern of PM emitted offshore and in ports.

4 Japan's comment

Japan is of the opinion that a common recognition of PM definition should be developed because it is the basis for future work on this matter.

5 Action requested of the Sub-Committee

The Sub-Committee is invited to consider the above comment and take action as appropriate.

ANNEX

Table 1. Characteristics of Particulate Matter (PM) from Marine Diesel

Term	Description	Size in diameter	Composed of	Atmospheric half-life	Travel distance	Health Effects	Remarks
Visible Smoke	- Visible smoke is primarily the result of incomplete combustion. - Ash and metallic additives in the fuel also contribute to the particulate content of the exhaust.	- Visible size. - may include smaller size of less than 1 μm.	- Black smoke; mainly carbon - White smoke; mainly SOF	Generally Short	Generally 100s of m as visible	Depending on the chemical components and particle size of the smoke. Larger particles can induce coughing and eye irritation. Small particles are the same as those associated with the risk to human health described in the section of Coarse particles and Fine particles.	- Large particles constitute the majority of PM mass.
Coarse Particles	Larger particles (1 μm <) of incomplete combustion materials or particles formed through deposition and subsequent aggregation of particulate material from engine cylinder or exhaust system.	1 μm < *	- Solid carbon - Non-combustible materials, ash	Minutes to hours	1 to 10s of km	Coarse particles less than about 10 μm can lead to a variety of serious health effects because they can get deep into the lungs. The health effects could be problems such as decreasing lung function and development of chronic bronchitis.	- Solid carbon is formed by incomplete combustion.
Fine Particles	Smaller particles (< 1 μm) formed by agglomeration of primary carbon particles and other solid materials, accompanied by adsorption of gases and condensation of vapours.	< 1 μm *	- Solid carbon, ash - SOF such as Condensed heavy hydrocarbons - Sulphur compounds	Days to week	100s to 1,000s of km	In general, as its size decreases, the particle is more likely to penetrate deeper into the lungs, and some may even get into the bloodstream. It has been implicated in an increased risk of noncancer health effects and respiratory disease, and an increased risk of lung cancer as well.	- Soluble Organic Fraction (SOF) is organic fraction of PM and includes hydrocarbons derived from the fuel and from the engine lubricating oil. - Sulphuric acid in diesel exhaust is derived from sulphur in the fuel. - Assumed some challenges required for measuring the fine particles in marine diesel emission.

* There are possibilities to apply other diameter (e.g., 2.5 μm) for separating the coarse particles and the fine particles.

Table 2. Characteristics of Particulate Matter (PM) in Environment and Other Source

Term	Description	Size in diameter	Composed of	Atmospheric half-life	Travel distance	Health Effects	Remarks
PM ₁₀	PM ₁₀ is measure of particles in the atmosphere with a diameter of less than or equal to 10 µm.	Less than or equal to 10 µm	Generally “primary particles” such as soot, ash, and crustal materials.	Minutes to hours	1 to 10s of km	Generally same as the health effects shown in the section of Coarse Particles.	- Smoke or coarse particles from marine engine could be one of the emission source of PM ₁₀ .
PM _{2.5}	PM _{2.5} is a measure of smaller particles in the atmosphere with a diameter of less than or equal to 2.5 µm.	Less than or equal to 2.5 µm	Dominated by “secondary particles” such as sulphates, nitrates and carbon.	Days to weeks	100s to 1,000s of km	Generally same as the health effects shown in the section of Fine Particles.	- Fine particles from marine engine could be one of the emission source of PM _{2.5} .
Diesel particulate matter (DPM)	- Exhaust Particles emitted from diesel vehicle.	- Sub-micron size particles including nanoparticles. - The nuclei mode particles are typically contained only 0.1 – 10% of the total DPM mass, but it often includes more than 90 % of the total particle number.	- Both solid and liquid particles and classified into three fractions; 1) Inorganic carbon (soot) 2) SOF 3) Sulphate	Depend on the size and characteristics of particles	0.1 to 1,000s of km	Long-term inhalation exposure is likely to pose a lung cancer hazard to humans, as well as damage the lung depending on exposure. Short-term exposures can cause irritation and inflammatory symptoms of a transient nature. Exacerbation of existing allergies and asthma symptoms is also indicated.	- Chemical components of PM from marine diesel would be same as DPM’s, although the particle size distribution could be different because of the difference of fuel used and combustion system.



SUB-COMMITTEE ON BULK LIQUIDS
AND GASES
10th session
Agenda item 14

BLG 10/14/11
25 January 2006
Original: ENGLISH

REVIEW OF MARPOL ANNEX VI AND THE NO_x TECHNICAL CODE

船用ディーゼル機関から排出される粒子状物質に関する基礎情報

Submitted by Japan

SUMMARY

Executive summary: 本提案文書は、粒子状物質の複雑な物理的・化学的特徴について共通の認識を持つために、ディーゼル機関から排出される PM の一般的な特性に関して情報を提供するものである。

Action to be taken: Paragraph 5

Related documents: MEPC 53/24, MEPC53/24 Add.1, MEPC 53/4/4

1 背景

1.1 2005 年 7 月に開催された第 53 回海洋環境保護委員会 (MEPC) において、NO_x や SO_x だけでなく粒子状物質のような他の汚染物も含めた MARPOL Annex VI の包括的なレビューを開始することが決定された。委員会は、BLG 小委員会の議題にこの項目を含めることとした。

1.2 粒子状物質 (PM) は、今回の会合で検討される船舶からの大気汚染物質の 1 つである。しかしながら、船用機関からの PM のサイズや排出量といった排出レベルに関する情報は限られている。さらに、その複雑な特性から、船用機関やその他排出源から排出される PM の物理的・化学的な特性、あるいは人の健康への影響について完全に理解するのは困難である。

1.3 特に、PM の特性によって人間の健康あるいは環境への影響に大きな違いがあることが知られている。

2 PM の特性に関する基礎情報

2.1 粒子状物質は、固体粒子と大気中に存在する液滴の複雑な混合物である。幅広い化学組成と物理特性で特徴づけられる複雑な混合物であるため、PM は明確に定義付けられた物質ではない。船用ディーゼル機関から排出される PM の主な物理的・化学的特性について表 1 に示す。また、参考として、環境中及び自動車ディーゼルから排出される PM の主な特性について表 2 に示す。

2.2 これまで PM の特性に関する研究は、主にボイラーやディーゼル発電機、ディーゼル自動車エンジンといった陸上の固定発生源や自動車を対象に行われてきた。多くの研究が行われてきたにもかかわらず、エンジンシリンダ内での PM の形成やその物理的・化学的特性について

て完全に理解されてはいない。これら発生源から排出される PM は基本的に重量で規制され、その結果として大気環境の改善がある程度みられるようになった。しかしながら、既に知られているとおり、PM はディーゼルエンジンから発生する有害な物質の 1 つであると認識されている。

ばい煙

2.3 ばい煙はディーゼル機関から発生する PM の 1 つの形であり、視界の悪化や建造物の汚染といったことから容易に一般住民によって認識されるものである。ばい煙は、排ガスに含まれる固体又は液体の粒子により構成されており、黒煙と白煙に分類することができる。黒煙は、主にカーボン（すす）又は異なる粒径の粒子が凝集したものである。この粒径分布は、燃焼方式や燃料の種類に依存するものである。一方、白煙は、燃料や潤滑油の未燃分から成る。船用機関の場合、主な懸念は黒煙であろう。

2.4 国によっては、固定発生源や船舶を含めたその他発生源から排出されるばい煙を規制しているところもある。

粒径による特徴

2.5 排ガス中の PM に関するもう一つの表現方法として粒径による分類があり、歴史的にこの方法で特徴づけられてきた。粒子状物質は粒径によって大きく粗粒子と微細粒子の 2 つに分類される。粗粒子は、大きな粒径を持つ粒子によって構成される。これらの粒子は、不完全燃焼の結果燃焼過程で生成されるか、または、エンジンシリンダや排気システムの表面に堆積し、続いて起こる凝集によっても生成される。一方、微細粒子（ $< 1 \mu\text{m}$ ）は、ガスの吸着や蒸気の凝縮を伴う一次炭素粒子やその他の固体粒子の凝集によって生成される。これらの粒子は主に炭素と凝縮した炭化水素などの SOF が混合したものであり、場合によっては硫黄化合物、金属灰等を含むこともある。PM の化学組成は、燃料の物性によって大きく変化する。

2.6 粗粒子に暴露することによって、せきや目の刺激といった症状が出ることがある。微細粒子に暴露した場合は、その粒子が肺に侵入し、肺疾患による健康影響を起す可能性がある。健康影響の症状は、暴露の期間や粒径、粒子の組成等によって異なる。

2.7 大気中での粒子の滞留時間は、その粒径によって大きく異なり、一般的に粗粒子は急速に大気中から沈着する傾向にある。粗粒子の移動距離は、およそ 1 ～数十 km であろう。一方、微細粒子は大気中に長く滞在し、数百～数千 km 移動するものと思われる。

2.8 船用機関から排出される PM の粒径分布については明らかとなっていない。しかし、残渣油を用いていることを考慮すると、低硫黄燃料を用いている自動車排ガスに含まれる粒子よりも比較的大きなサイズの粒子が存在すると推測される。また、船用ディーゼル機関から排出される微細粒子を正確に測定する方法については、今後検討する必要があるものと考えられる。

測定方法

2.9 粒子状物質の定義は試料採取法によって定められている部分があり、その詳細な仕様がディーゼル排ガスの規制に重要なものとなっている。粒子状物質の定量には、直接法と希釈法の 2 つの異なった測定方法がある。直接法（例：ISO 9096）は、サンプリングノズルを直接ガス流に挿入し、等速吸引の下でガスを採取する。ガス中の PM はサンプリングフィルターに捕集され、乾燥及び調整の後、フィルターを計量して PM の重量を測定する。もう 1 つの方法である希釈法（例：ISO 8178）は、ディーゼル自動車の場合、自動車の排ガスシステムから排出されるガスを空気希釈し、フィルターにて捕集するものである。粒子状物質の量はフィルターで捕集された PM の重量に基づき決定される。フィルターの種類を変えるなど手順に変更があった場合は、全く違う結果が得られる可能性がある。いくつもの分析機関から得た結果を比較するときには、共通のサンプリング方法や測定手順であることが最も重要な事項の一つである。

2.10 さらに、排ガス中の PM を測定するにあたっては、その他にも問題がある。排ガス中の NO_x や SO_x の濃度測定は、大気環境中のこれらガス状物質を測定するのと同じ測定原理を用いることができる。しかしながら、PM の場合は、物理的な形状を有すること、ガスの流速や温度、湿度といった測定条件の違いを考慮する必要があることから、同じ測定原理を用いることができない。このため、大気環境中における PM の定義と、排ガス中における PM の定義は、同一とはいえない。環境中の PM に対する削減効果を評価するためには、ガス状物質のように排出量ベースでの総量把握と削減可能量の予測だけでは不十分である。2.9 項で記載した排ガスにおける測定方法に基づく排出量削減が、本項で示した環境中の測定方法に基づく環境中での濃度にどの程度反映されるのか、モデルを開発することが必要である。

3 検討事項

粒子量や粒子数の分布に関する既存の情報が限られているため、船用機関から排出される粒子状物質の特徴はよく知られていない。したがって、PM の削減に関する提言を行う前に、以下の事項について検討すべきである。

- 船用機関から排出される PM レベル；粒子量や粒子数の分布、化学組成、燃料特性やモードによる違い等
- 船用ディーゼルからの PM に適用可能な共通のサンプリング方法及び測定手順
- PM が排出される場所や粒子の移動距離；沖合い又は港湾区域で排出される PM の健康影響及び環境影響

4 我が国の意見

我が国は、将来的な作業の基礎として、PM の定義に関する共通の認識が必要であると考え。

5 Action requested of the Sub-committee

The Sub-committee is invited to consider the above comment and take action as appropriate.

ANNEX

Table 1 Characteristics of Particulate Matter (PM) from Marine Diesel

Term	Description	Size in diameter	Composed of	Atmospheric half-life	Travel distance	Health Effects	Remarks
Visible Smoke	- Visible smoke is primarily the result of incomplete combustion. - Ash and metallic additives in the fuel also contribute to the particulate content of the exhaust.	- Visible size. - may include smaller size of less than 1μm.	- Black smoke; mainly carbon - White smoke; mainly SOF	Generally Short	Generally 100s of m as visible	Depending on the chemical components and particle size of the smoke. Larger particles can induce coughing and eye irritation. Small particles are the same as those associated with the risk to human health described in the section of Coarse particles and Fine particles.	- Large particles constitute the majority of PM mass.
Coarse Particles	Larger particles (1 μ m <) of incomplete combustion materials or particles formed through deposition and subsequent aggregation of particulate material from engine cylinder or exhaust system.	1 μ m < *	- Solid carbon - Non-combustible materials, ash	Minutes to hours	1 to 10s of km	Coarse particles less than about 10 μ m can lead to a variety of serious health effects because they can get deep into the lungs. The health effects could be problems such as decreasing lung function and development of chronic bronchitis.	- Solid carbon is formed by incomplete combustion.
Fine Particles	Smaller particles (< 1 μ m) formed by agglomeration of primary carbon particles and other solid materials, accompanied by adsorption of gases and condensation of vapors.	< 1 μ m *	-Solid carbon, ash - SOF such as Condensed heavy hydrocarbons - Sulfur compounds	Days to week	100s to 1,000s of km	In general, as its size decreases, the particle is more likely to penetrate deeper into the lungs, and some may even get into the bloodstream. It has been implicated in an increased risk of noncancer health effects and respiratory disease, and an increased risk of lung cancer as well.	- Soluble Organic Fraction (SOF) is organic fraction of PM and includes hydrocarbons derived from the fuel and from the engine lubricating oil. - Sulfuric acid in diesel exhaust is derived from sulfur in the fuel. - Assumed some challenges required for measuring the fine particles in marine diesel emission.

* : There are possibilities to apply other diameter (e.g., 2.5 μ m) for separating the coarse particles and the fine particles.

Table 2 Characteristics of Particulate Matter (PM) in Environment and Other Source

Term	Description	Size in diameter	Composed of	Atmospheric half-life	Travel distance	Health Effects	Remarks
PM ₁₀	PM ₁₀ is measure of particles in the atmosphere with a diameter of less than or equal to 10 µm.	Less than or equal to 10 µm	Generally “primary particles” such as soot, ash, and crustal materials.	Minutes to hours	1 to 10s of km	Generally same as the health effects shown in the section of Coarse Particles.	- Smoke or coarse particles from marine engine could be one of the emission source of PM ₁₀ .
PM _{2.5}	PM _{2.5} is a measure of smaller particles in the atmosphere with a diameter of less than or equal to 2.5 µm.	Less than or equal to 2.5 µm	Dominated by “secondary particles” such as sulfates, nitrates and carbon.	Days to weeks	100s to 1,000s of km	Generally same as the health effects shown in the section of Fine Particles.	- Fine particles from marine engine could be one of the emission source of PM _{2.5} .
Diesel particulate matter (DPM)	- Exhaust Particles emitted from diesel vehicle.	- Sub-micron size particles including nanoparticles. - The nuclei mode particles are typically contained only 0.1 – 10% of the total DPM mass, but it often includes more than 90 % of the total particle number.	- Both solid and liquid particles and classified into three fractions; 1) Inorganic carbon (soot) 2) SOF 3) Sulfate	Depend on the size and characteristics of particles	0.1 to 1,000s of km	Long-term inhalation exposure is likely to pose a lung cancer hazard to humans, as well as damage the lung depending on exposure. Short-term exposures can cause irritation and inflammatory symptoms of a transient nature. Exacerbation of existing allergies and asthma symptoms is also indicated.	- Chemical components of PM from marine diesel would be same as DPM’s, although the particle size distribution could be different because of the difference of fuel used and combustion system.

5.7 燃焼基礎試験

5.7.1 A 重油とバンカー油の発生 NOx の差の解明

陸上試運転の NOx 測定では A 重油が使用される。一方で就航後はバンカー油が使用されると言う矛盾がある。中・高速機関では、バンカー油に軽質油並みの燃焼を期待するのは所詮無理で、燃焼の悪化は、PM・Smoke・燃費の悪化と同時に NOx の低下に至ることもある。ところが低速機関では、バンカー油の方がより高い NOx を示すと言うケースが見受けられる。図 5.7.1 は、外航船の NOx をモニタリングした RR/E301 研究結果の一例である。本船はコンテナ船で、主機はボア 960 mm、出力 53300 kW、94 rpm の 2 ストローク機関である。これによると、バンカー油 (Bunker Fuel Oil) を燃料とした就航後の On-board Data のほとんどは、A 重油 (Marine Diesel Oil) を燃料とした Shop Trial Data より高くなっている。

5.7.2 大型定容燃焼装置を使った NOx の測定

図 5.7.2 (写真) に示す大型定容燃焼装置を使った実験から、MDO (A 重油) と BFO (バンカー油) の発生 NOx の差を求めた。これを使用すれば、電子制御燃料噴射システムとスワール発生装置によって、実機に近い条件で外乱なく NOx を測定することができる。例えば完全乾燥空気を充填することで給気湿度の影響をなくすなど、諸換算をせずにデータを比較することができる。

表 5.7.1 に性状を示す 3 種類の燃料を使用した。MDO は国内市販の A 重油である。BFO-E は RR/E301 (外航船の NOx モニタリング) 第 3 船のヨーロッパ (Zeebrugge) 積みバンカー油で、本船では Shop Trial (A 重油) より 20%以上高い NOx を示したサンプルである。BFO-A はアメリカ西海岸積みの高アロマ・低硫黄・高窒素のバンカー油である。

図 5.7.3 は、横軸を燃料中窒素%として実験結果 (13%O₂換算 NOx) を整理したものである。各サンプルで空気条件がそろっているほか、図中の燃料噴射圧力波形を見ても同一の噴射パターンが得られている。使用した NOx センサーの CLD とジルコニア (Zr) で差は大きくないが、ここでは CLD データを正にして結果を考察する。

BFO-E では MDO より NOx が 14%高くなっており、RR/E301 で求めた燃料中窒素の Fuel NOx への転換率 55%ラインより 9%も上になっている。高窒素バンカー油である BFO-A では MDO より 18%高くなっており、これも Fuel NOx ラインより 5%上になっている。すなわち両バンカー油では、Thermal NOx に関しても A 重油より多く発生している可能性がある。

5.7.3 可視化実験機関を使った火炎温度の測定

バンカー油が A 重油より Thermal NOx を多く発生する原因として、火炎温度分布の不均一つまり多くのホットスポットの存在が予想される。高温熱解離の産物である Thermal NOx は燃焼温度に敏感で、火炎温度の 200 K の変化は NOx 生成量に 10 倍の変化をもたらす。もし周囲より 200 K 高温のスポットがあれば、そこからは 1 桁高い量の NOx が発生することになる。

本研究では、図 5.7.4 に示す船用低速 2 ストローク機関と相似構造の可視化実験機関 (Bore/Stroke: 190/350 mm) に 2 色法撮影を適用し、A 重油とバンカー油の火炎温度分布を測定した。実際の機関では、燃料は対向する 2~3 本の燃料弁 (各 4~6 噴口) から噴射されるが、ここでは 1 本の燃料弁 (4 噴口) からの火炎を詳細に観察している。燃料は 5.7.2 の大型定容燃焼装置の実験と同じ 3 種類を使用した。燃料噴射圧力は実機に相当する 110 MPa である。

MDO と BFO-E および MDO と BFO-A の熱発生率（燃焼撮影時に測定したもの）比較を図 5.7.5 に示す。昨年度示した中高速機関（850 rpm）の熱発生率に比べ、可視化実験機関での MDO と BFO の熱発生率の差は少ない。これは機関回転数が 400 rpm と低いためと思われる。この熱発生率の違いが NOx 生成に及ぼす影響を 2 領域性能シミュレーションで計算したところ、その差は 1-2%に過ぎなかった。

3 種類の燃料サンプルの火炎温度分布比較を図 5.7.6 に示す。燃料噴射期間は BTDC 4°～ATDC 18°である。この図の赤は緑より 100 K 高温を示すが、2 種類の BFO 火炎とも MDO に比べて明らかに赤の点が多くなっている。例えば、最も燃焼が活発となる ATDC 12°の火炎面積に占める赤（2400 K 以上）の点の割合をカウントすると、MDO で 29%、BFO-E で 46%、BFO-A で 43%であった。さらに、後燃え時の ATDC 20°～24°でも両 BFO の赤の点が MDO より多く残っている。バンカー油のこれらの現象は、蒸発性の悪さなどから火炎内の燃料濃度分布の不均一性が高いことによるものと思われる。

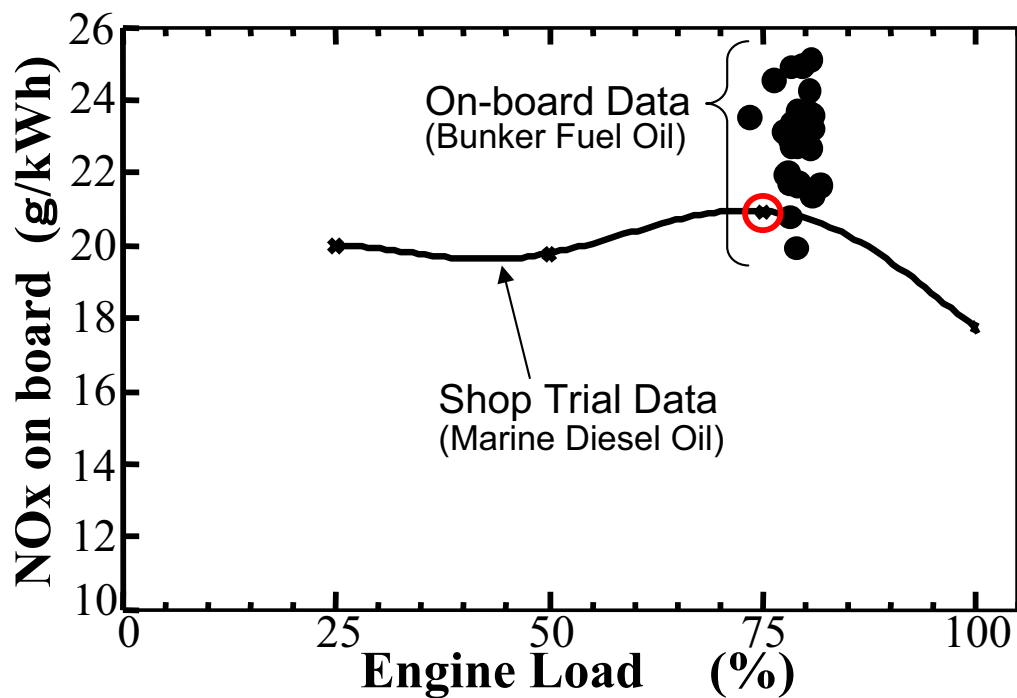
まとめると、窒素分が 0.4%程度の通常のバンカー油でも、低速機関では A 重油より 14%も多く NOx を排出することがある。図 5.7.7 は NK が調査した各補油地点でのバンカー油中の窒素%の例である（RR/E301）。アメリカ西海岸では 0.7%の数字もあり、今回テストした BFO-A は 0.8%を超えていたように、今後高窒素のバンカー油が多く出現する可能性もある。バンカー油と A 重油の NOx の差はさらに大きくなることも予想される。

5.7.4 次年度の予定

○電子制御（あるいはコモンレール）噴射システムによる NOx 低減の可能性の解明

SCR 装置使用、水乳化油装置使用の船に対するインセンティブなどは既に議論の対象にもなっているが、電子制御（あるいはコモンレール）噴射システムを使用する船に関する議論はない。電子制御噴射システムのもつ（潜在的な）NOx および PM 低減能力（特に沿岸、港湾内航行を想定した低負荷における・・・）について調査する。

平成 17 年度と同様に大型定容燃焼装置と可視化実験機関を使用する。両装置の燃料噴射システムを改造し、パイロット噴射、Rate-shaping（初期の燃料噴射率を下げ燃焼初期の NOx を抑える）を行って、NOx 低減率、火炎温度の低減効果、PM 低減効果を明らかにしたい。



4-6-0 ы ' AEN(@ ' L CN(¢ ³ MNw ¢ ã

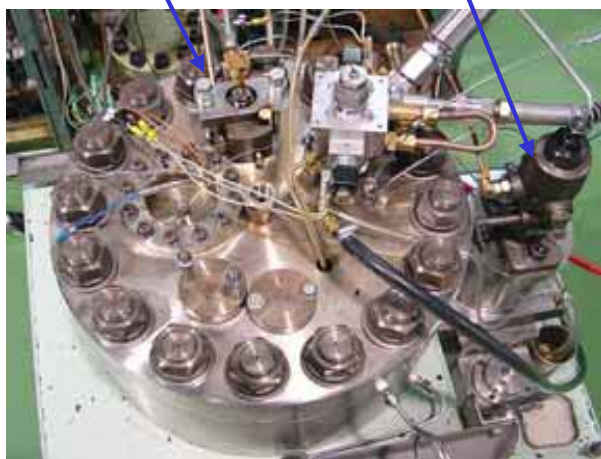
		MDO	BFO-E (Zeebrugge)	BFO-A (US West Coast)
Density (@15°C)	kg/m ³	843	988	986
Kinematic Viscosity(@50°C)	mm ² /s	2.5	350	320
Sulfur	wt%	0.4	2.6	1.3
Nitrogen	wt%	0.02	0.38	0.87
Water	wt%		0.1	0.1
Ash	wt%		0.1	0.05
Residual Carbon	wt%	0.1	13	12
Lower Calorific Value	MJ/ kg	42.5	40.3	40.8
CCAI	—		850	849

4-6-0 ы

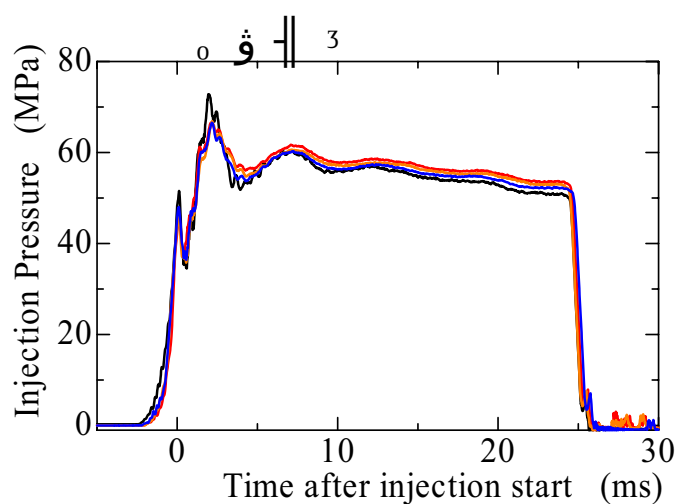
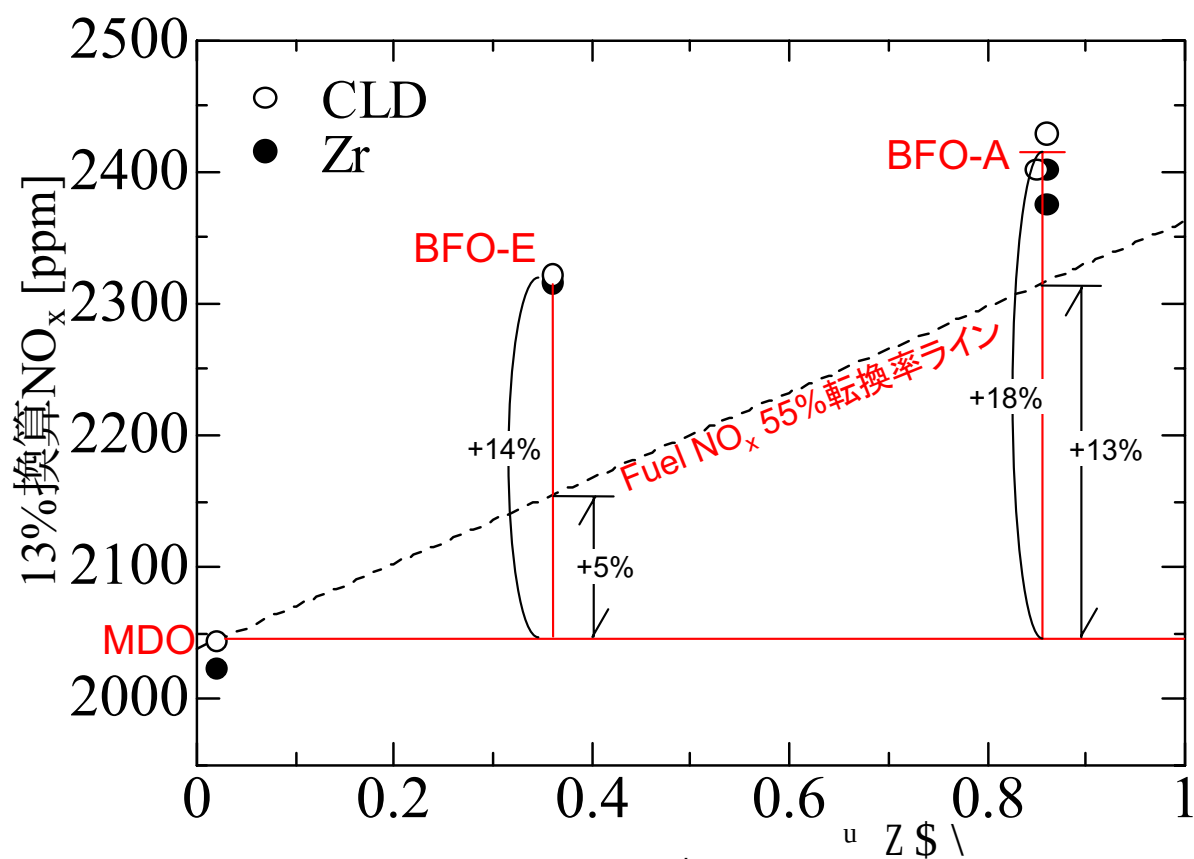
' BFO-E (Zeebrugge) QQ.D2 / 0 'OBB(MNwtg z ã ã ' æ ã
 ã MNw' L CN*1 / \$ ¤ ã (¤ ¤ Õ AEN
 ' BFO-A (US ã M ã ' ã ã ã ¤ ¤ ¤ ¤ ¤ ã

Fuel injector Fuel injection system pump

Cylindrical furnace heater Swirler vane

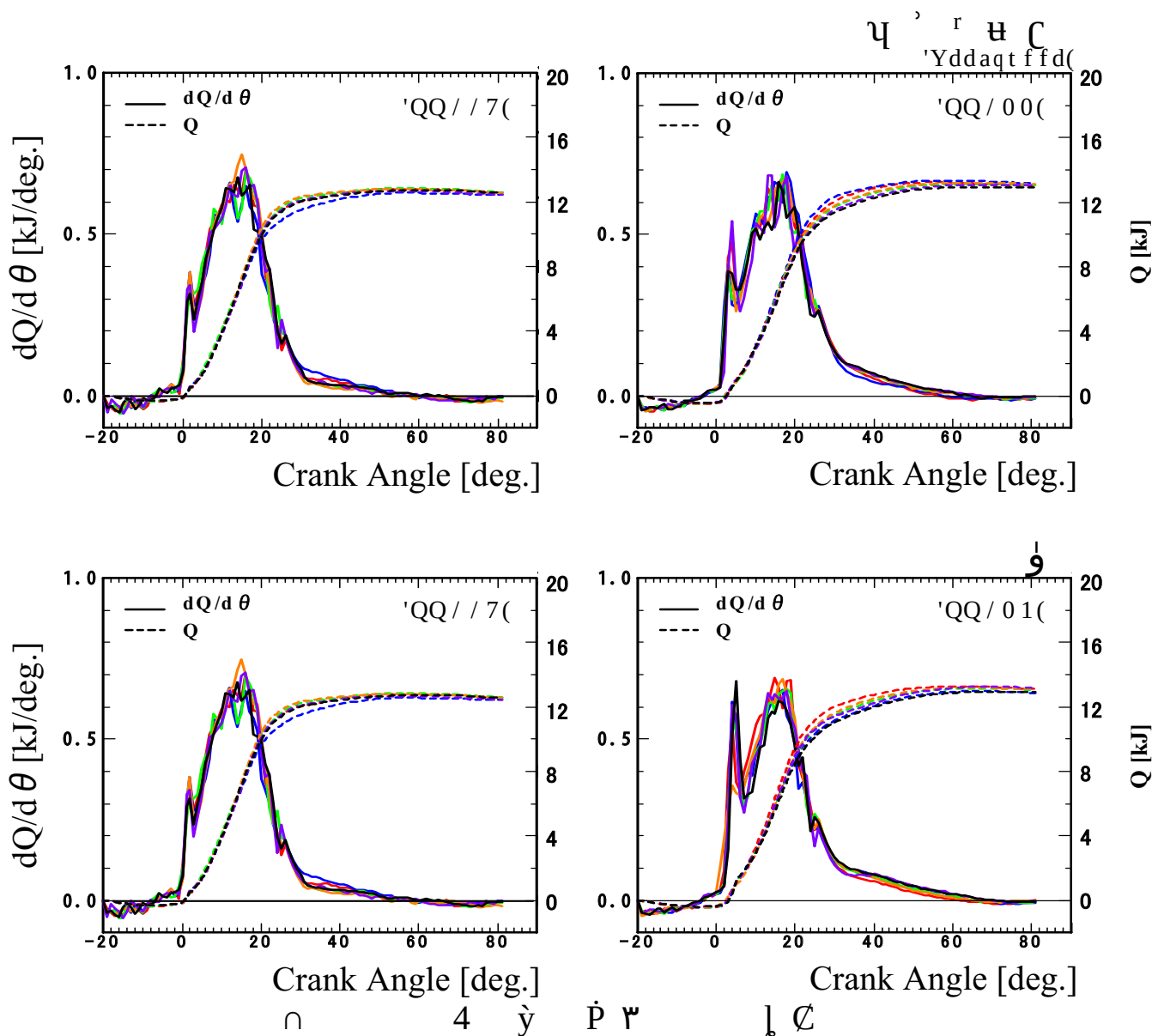
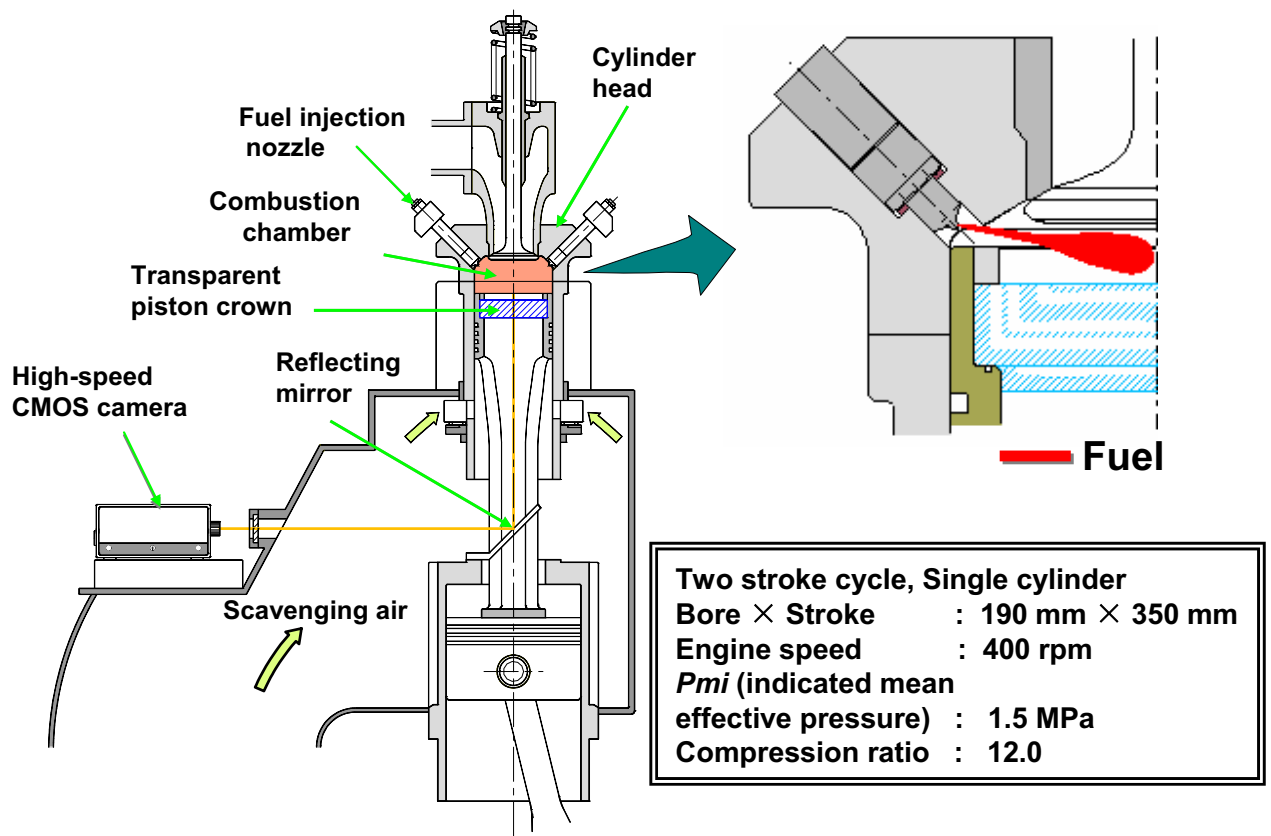


1 MNw BUBB 15 / 1 l



(6 MPa , 550 k)

2 4 6 8 10

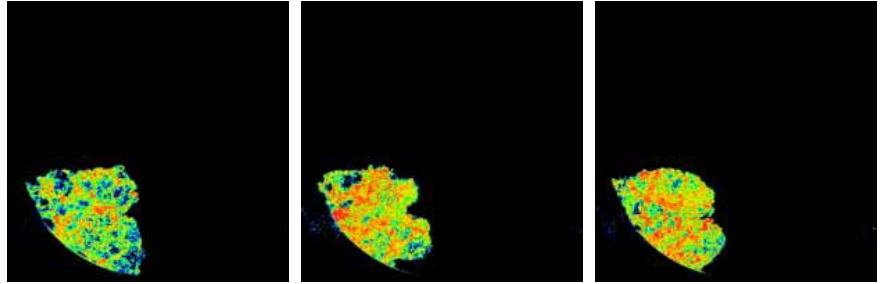


u 9
j i o h

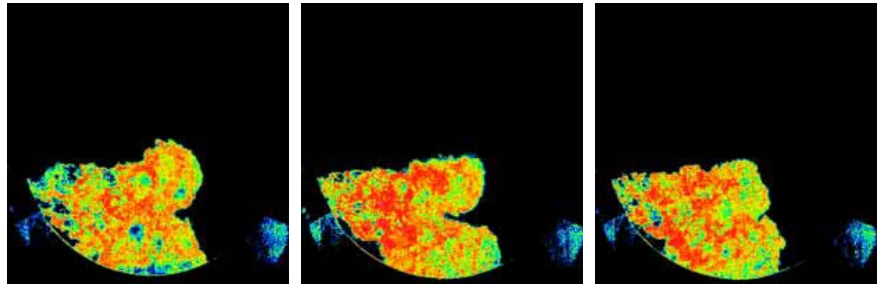
ψ ' r u c

9

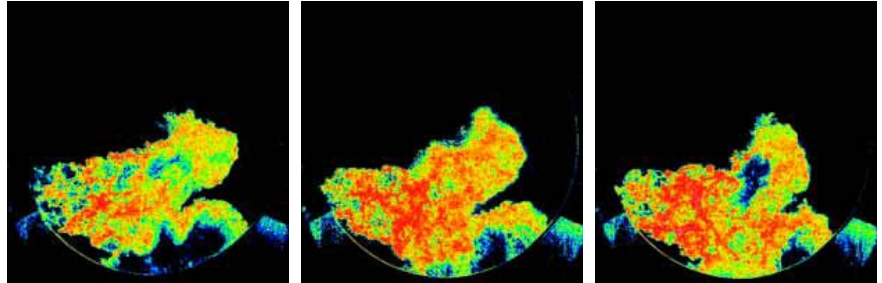
4
ATDC
i



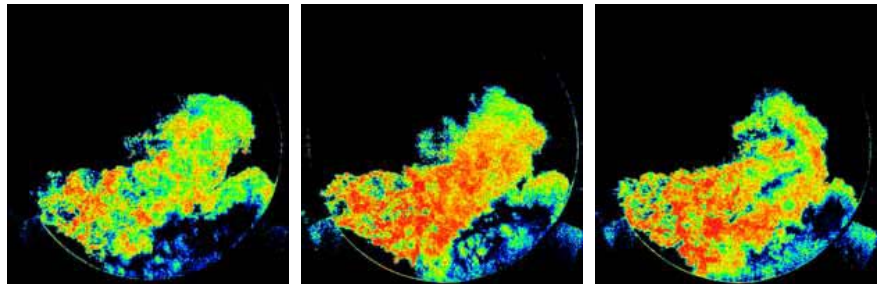
8
i



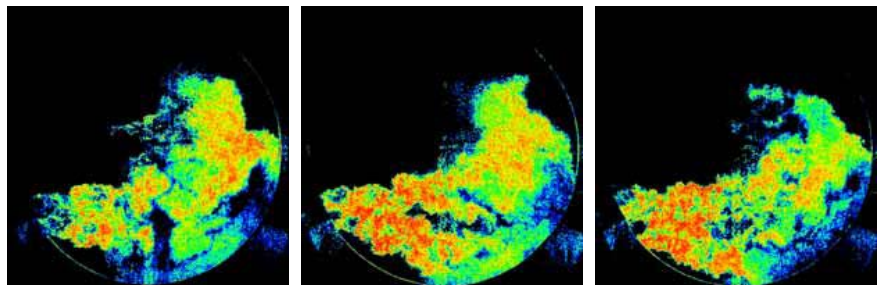
12
i



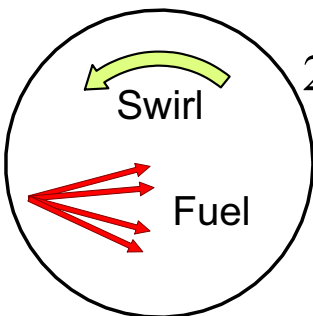
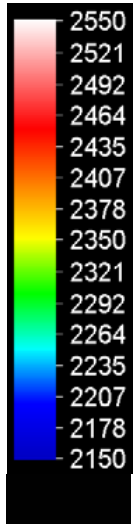
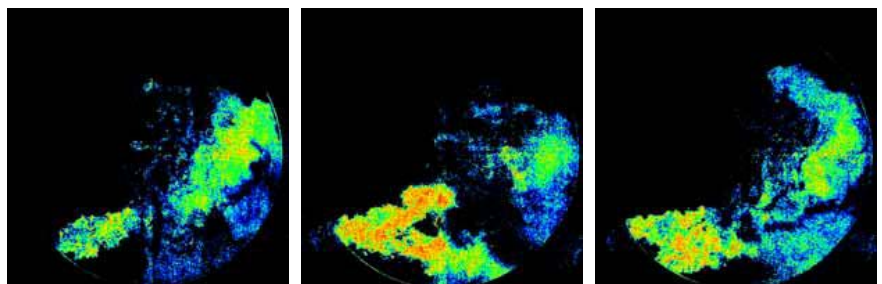
16
i

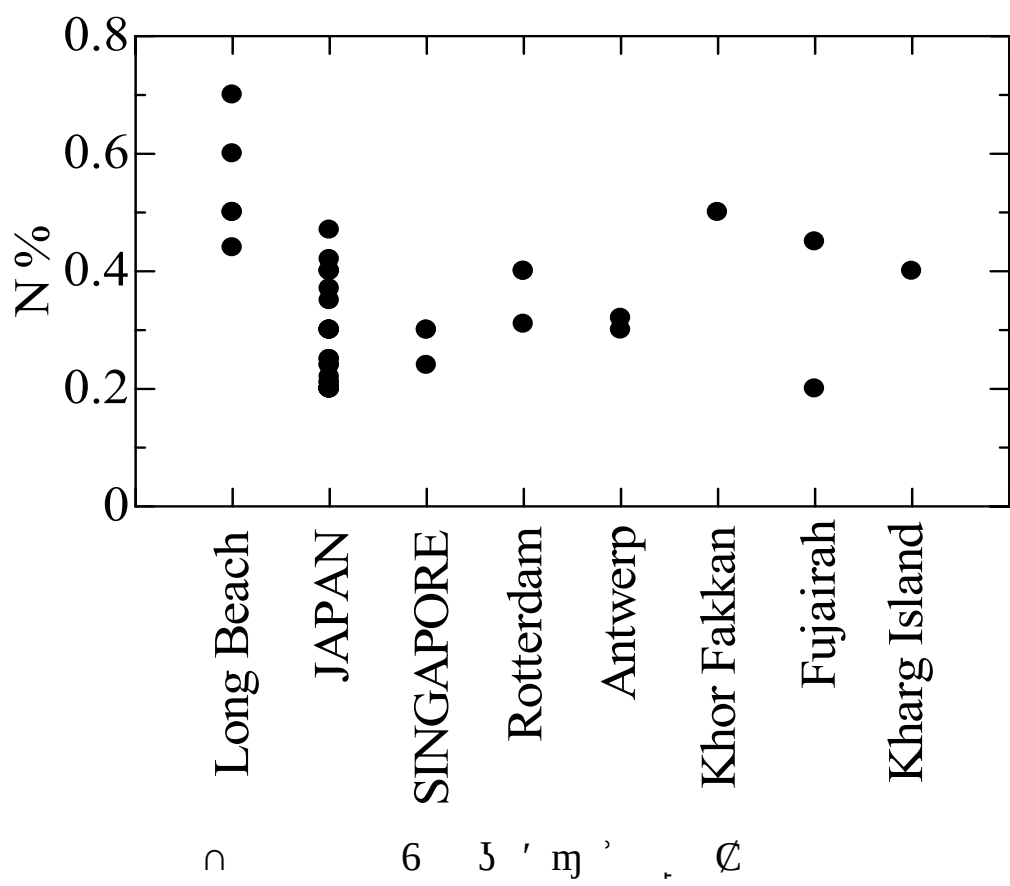


20
i



24
i





6. まとめ（今後の対応、検討事項）

NO_x モニタリングの実船試験チームでは3隻の計測が実施された。第1船は発電機特性運転機関をもつ電気推進船、第2船は4サイクル中速機関をもつ大型フェリー、及び第3船は4サイクル低速機関をもつRORO船を選定し、いずれも非常に有用な情報を得ることができ、具体的なIAPP証書再認証シミュレーション例としてIMO（BLG10）に情報提供を行った。

NO_x 低減装置のガイドライン作成チームは、昨年のSCR脱硝装置のガイドラインに引き続いて、水噴射装置、及び乳化油装置のガイドライン案を予定通り完成しIMO（BLG10）に提案することが出来た。

船舶用環境性能評価総合指標の試案作成チームでは窒素酸化物、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指針を作成し、その必要性に関しIMO（MEPC53）でプレゼンテーションを行うことができた。今後IMOにおける審議結果を見て対応していく。

浮遊粒子状物質に係る削減技術の調査チームでは、陸上におけるPM規制と、その規制レベルに対応する削減対策の現状を整理し、船舶でのPM規制のための基礎的情報をIMO（BLG10）に提供した。今後IMOにおける審議結果を踏まえて、そのPMの定義や計測方法を含めて、マクロな削減可能幅や対応範囲などを環境面から総合的に評価していきたい。

燃焼基礎試験チームでは船用2ストローク機関を模擬した可視化実験装置を用いてMDOとBFOの燃焼火炎温度分布の違いの計測、及びThermal-NO_x生成量の相違を大型定容燃焼装置にて実証試験し、貴重な知見を得た。今後、電子制御燃料噴射方式のNO_x低減について基礎研究していくこととしている。

添付資料

1. BLG 10/14/8 Review of the on-board NO_x direct measurements and monitoring

2. 2005 年度 船舶関係諸基準に関する調査研究 成果報告会
「船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」講演資料



IMO

E

SUB-COMMITTEE ON BULK LIQUIDS
AND GASES
10th session
Agenda item 14

BLG 10/14/8
25 January 2006
Original: ENGLISH

REVIEW OF MARPOL ANNEX VI AND THE NO_x TECHNICAL CODE

Review of the on-board NO_x direct measurements and monitoring

Submitted by Japan

SUMMARY

<i>Executive summary:</i>	This document provides the result of Japan's study on the on-board NO _x direct measurements and monitoring. Japan is of the opinion that the Guidelines for On-Board NO _x Verification Procedure – Direct Measurement and Monitoring Method (resolution MEPC.103(49)) should be reviewed from the viewpoint of implementation.
<i>Action to be taken:</i>	Paragraph 4
<i>Related documents:</i>	MEPC 49/INF.10, MEPC 49/22, paragraph 4.24 and 4.25, Resolution 2 of the 1997 MARPOL Conference (NO _x Technical Code)

Introduction

1 Guidelines for On-Board NO_x Verification Procedure by Direct Measurement and Monitoring Method (Resolution MEPC.103(49)) were adopted at MEPC 49. In order to facilitate the development of the Guidelines, Japan submitted document MEPC 49/INF.10, which informed on the intermediate results of its study regarding on-board NO_x direct measurements and monitoring. Japan continued the study in order to provide further information with a view to improve and facilitate the implementation of the Guidelines.

Result of the study

2 The result of Japan's study on the on-board NO_x direct measurements and monitoring is summarized in the annex to this document.

3 Japan is of the opinion that the on-board NO_x direct measurements and monitoring method should be as simple as possible so that crews can operate the recording and monitoring device and obtain reliable data for verification purpose. From the above point of view, the following items in the Guidelines should be reviewed and be amended as appropriate:

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.

3.1 Zirconia (ZrO₂) sensors

Although section 1.1.3.1 in the Guidelines stipulates the use of a sensor of either the ChemiLuminescent detector (CLD) type or Heated ChemiLuminescent Detector (HCLD) type, to analyze oxides of nitrogen (NO_x), our test results confirmed that Zirconia (ZrO₂) sensors would provide the required performance with respect to reliability, accuracy, durability, and reusability (see annex). Therefore, section 1.1.3.1 in the Guidelines should be revised to permit the use of Zirconia (ZrO₂) sensors for NO_x measurement.

3.2 1-Hertz monitoring

Although section 3.4.2 in the Guidelines specifies that “1-Hertz minimum chart reading of a stable 10-minute sampling interval of each load point should be averaged,” the need for 1-Hertz minimum chart readings is dubious, as indicated in section 5.2 in the annex to this document. Therefore, section 3.4.2 in the Guidelines should be revised to read as follows: “two-point measurements (measurement starting and ending points) or chart readings of a stable 10-minute sampling interval should be averaged.”

3.3 Calibration intervals

- According to Table 3 and Table 4 in Appendix 4 (calibration of analysis instruments) of the NO_x Technical Code, instrument calibration intervals of one to six months are specified to ensure the accuracy and permissible deviations for measurement instruments used onboard ships. However, calibrating instruments for measurements onboard ships imposes technical and costwise problems.
- Calibration intervals for analytical instruments of the existing NO_x Technical Code have been developed on the basis of the International Standard ISO 8178-1: 1996(E). Meanwhile, ISO has revised this standard and deleted fixed calibration intervals for analytical instruments by referring to the accuracy requirements, that is, “Each analyzer shall be calibrated as often as necessary to fulfil the accuracy requirements of this part of ISO 8178”.

Based on the above, Japan considers that the calibration interval specifications for exhaust gas measuring instruments should be reviewed taking into account the revised ISO standard.

3.4 Ships equipped with engines of the same type

Amendments should be made so that for ships equipped with two or more engines of the same type, compliance with NO_x regulations can be confirmed by using direct measurement and monitoring for a single such engine and confirming that the engine parameters of other engines that affect NO_x emissions are identical to those of the first engine inspected by the direct measurement and monitoring method.

Action requested of the Sub-Committee

4 The Sub-Committee is invited to consider the above comments and take action as appropriate.

ANNEX

RESULT OF THE STUDY ON THE ON-BOARD NO_x DIRECT MEASUREMENTS AND MONITORING

1 Preface

This document summarizes the results of Japan's study recently performed using three ships, following the NO_x on-board monitoring tests reported by Japan in MEPC 49/INF.10.

2 Targets of study

The recent simulations were undertaken for the following three main purposes. In particular, the first purpose: 1) seeking to verify the feasibility of using zirconia (ZrO₂) analyzers as evaluation devices (given their attractive cost and ease of maintenance onboard ship), as proposed by Japan.

- .1 Verification of feasibility of zirconia (ZrO₂) analyzers based on continuous monitoring tests;
- .2 Survey of requests and opinions from the crews of ships involved in the study; and
- .3 Identification of technical and operational problems resulting from implementation of regulations.

3 Outline of the project

This project is scheduled to be undertaken for a period of three years from 2004, following the previous project reported in MEPC 49/INF.10. For this new project, Japan has selected three domestic ships. For Ship No.1, the test was performed in strict adherence to the above-mentioned Guidelines for On-Board NO_x Verification Procedure (annex 5 to MEPC 49/22/Add.1). For Ship No.2, a long-term verification tests using zirconia analyzers identical to the one mounted on Ship No.1 has been conducted. These tests are still in progress.

3.1 Introduction of sample ships

In previous tests reported in MEPC 49/INF.10, we used sample ships equipped with two stroke cycle main engines. In the new project, we chose three domestic ships equipped with four stroke cycle engines. Ship No.1 is a domestic diesel-electric propulsion ship. Figure 1 shows one of the generator engines of Ship No.1. Figure 2 shows the main engine (port side) of Ship No.2.



Generator engine 530kw 1,200min⁻¹ 3sets

Figure 1



Main engine 9,900kw 520min⁻¹ 2sets

Figure 2

3.2 Zirconia analysers

- .1 In previous tests reported in MEPC 49/INF.10, we used air injector system. In the new test, we inserted adapter equipped with zirconia (ZrO_2) sensor directly into exhaust gas pipe. As the mounting base of each exhaust gas pipe, we used the sample point connection flange shown in appendix 1 of annex 5 to MEPC 49/22/Add.1.

- .2 Adapter

Figure 3 and Figure 4 illustrate the adapter structure and its mounting configuration.

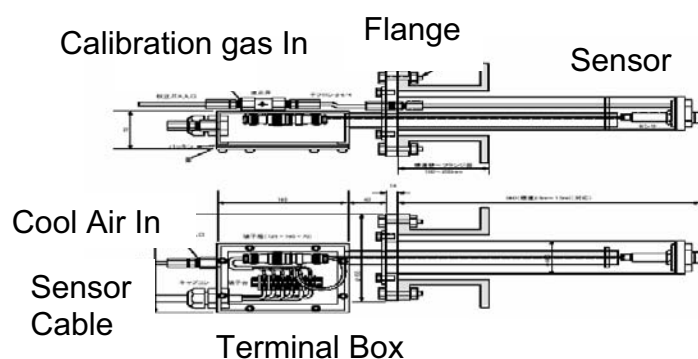


Figure 3



Figure 4

Specification of sensor

Range	: NOx 0 - 2,500ppm, O ₂ 0 - 25%
Repeatability	: ±1%FS Response time : 0.7sec.

3.3 Test procedures

- .1 Ship No.1 was an electric propulsion ship, making it possible to perform the test in strict adherence to the Guidelines in annex 5 to MEPC 49/22/Add.1. Thus, NOx and O₂ were measured only in main generator engine No.3. Other items were measured for all generator engines.
- .2 With Ship No.2, we attempted continuous monitoring for as long as possible during the test to verify the durability of zirconia (ZrO_2) sensors. We also conducted 10-minute tests, depending on the situation during the continuous monitoring period.

4 Simulation test results

- .1 NOx and O₂ test results

In accordance with regulations specified in the *Guidelines*, we performed tests at 50% and 75% loads. Before the tests, we calibrated instruments by using NO of approximately 1371 ppm/N₂ (0.1 MPa) as a span gas for NOx calibration and O₂ of approximately 12.75 %vol./O₂ (0.1 MPa) as a span gas for O₂ calibration. Figure 5 shows the output of the generator engine of Ship No.1 and measurements of NOx and O₂ concentrations.

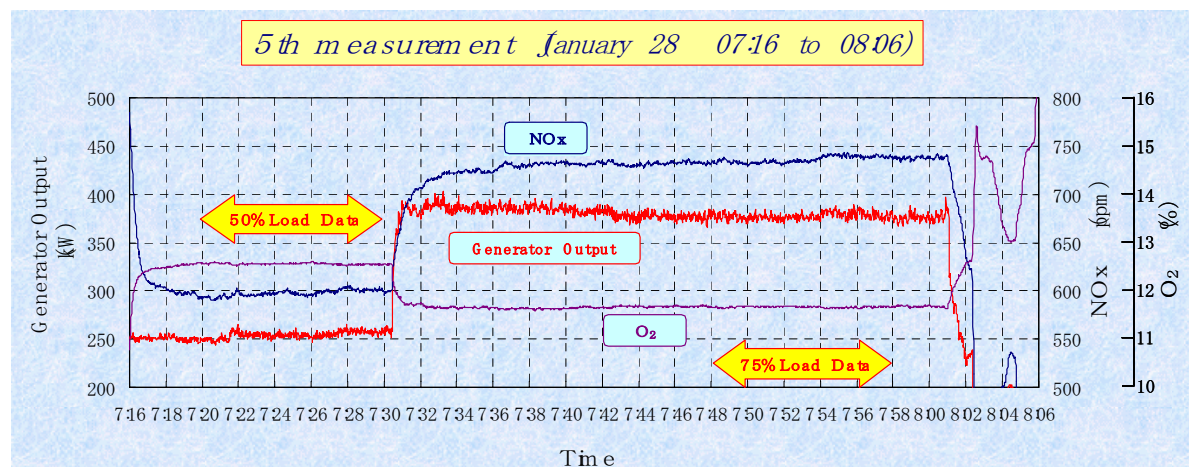


Figure 5

- .2 Power set point stability (section 3.1.8 in annex 5 to MEPC 49/22/Add.1)
The load fluctuations (%C.O.V value) during tests are required to be within 5%. The load fluctuations obtained in the five tests performed with Ship No.1 ranged from 0.6% to 2.1%, satisfying this requirement.
- .3 Emission volume calculations
- For Ship No.1, data in 10-minute intervals required for examination was extracted from the data indicated in Figure 5, and emission volumes were calculated by the universal oxygen balance method. In all five tests, all results were within a range of 6.92 to 8.68 g/kWh, compared to the maximum limit value of 10.9 g/kWh, thus meeting the requirement. Figure 6 shows the results of the tests.
 - For Ship No.2, NOx emission volumes were calculated based on measured engine data, fuel oil characteristic analysis data, exhaust gas measurements (average of 10-minute data continuously recorded from the beginning of engine data collection), and by the universal oxygen balance method. Since this ship was not equipped with a shaft horsepower meter, engine output was calculated from engine revolutions and pump-rack value on the base of the official engine shop test. Figure 7 gives the results.

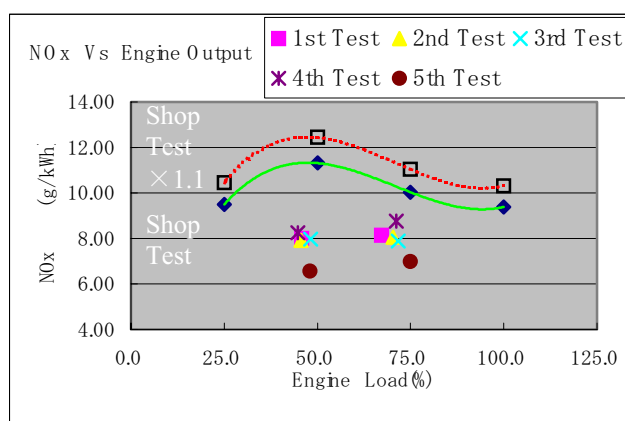


Figure 6

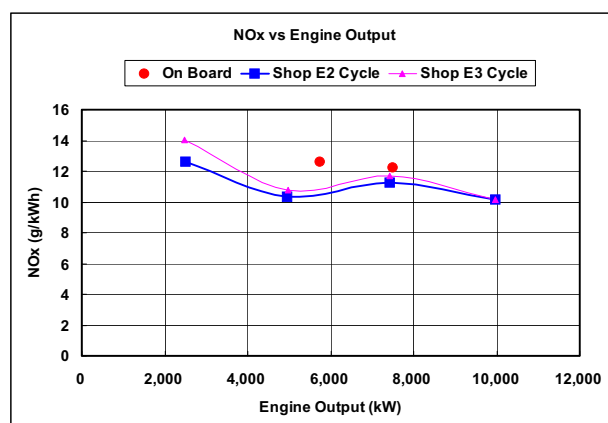


Figure 7

The NO_x emission measurements obtained in official engine shop test and those obtained in actual ship operation are compared below. The NO_x emission measurements obtained in official engine shop test were 11.3 g/kWh in the E3-type test cycle and 10.9 g/kWh in the E2-type test cycle. In actual ship operations using Class-C heavy fuel oil (180 cst), the amount of NO_x was 12.3 g/kWh. Although this figure is within the ship's NO_x maximum limit value of 12.88 g/kWh, it is approximately 10% above measurements obtained in the E3-type test cycle in the official engine shop test.

5 Analysis and examination

5.1 1-Hertz data analysis

Since Ship No.1 was equipped with high-speed 0.5-Hertz recording equipment for meteorological equipment, propulsion equipment, electric generator, and steering system, the onboard equipment was used for the 1-Hertz recording of engine parameters. We added one 1-Hertz data logger for the recording of the NO_x and O₂ data from the zirconia (ZrO₂) sensor. Summarized below are results of tests using measurements obtained at 50% load in the fifth test as sample data.

- .1 The electric generator output sensor was of the high-speed response type, enabling measurement of load fluctuations. As shown in Figure 8, the measurement data indicates a distribution pattern that implies the test was conducted in a ship sailing on calm water. The basic statistical parameters are as follows: average value (μ) of 254.5 kW, median value of 255.00 kW, mode value of 253.00 kW, and standard deviation (σ) of 3.56. Figure 8 gives the frequency distribution.
- .2 Figure 9 shows the frequency distribution for relative humidity (%) in the engine room. Although the data may appear to suggest rapid response, this sensor's response speed was about 5 seconds (to reach 63%). Therefore, judging from the broadening of the base of about 2%, we concluded that the change was within the range of acceptable error. The basic statistical parameters are as follows: average value (μ) of 25.83%, median value of 25.85%, mode value of 25.85%, and standard deviation (σ) of 0.07. Figure 9 gives the frequency distribution.

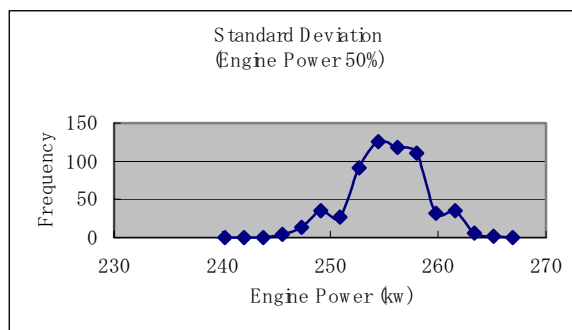


Figure 8

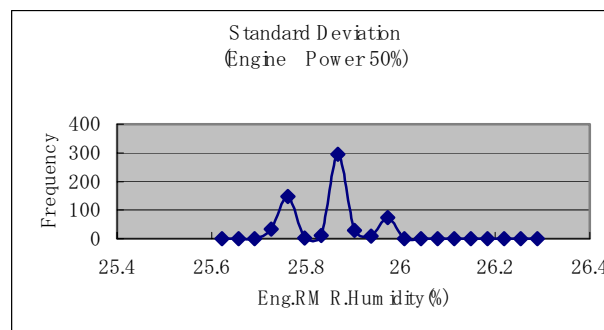


Figure 9

5.2 Examination of 1-Hertz data

- .1 The temperature and air pressure in the engine room were also measured. They fluctuated within approximately $\pm 1\%$ in the same way as the data for engine room humidity (Figure 9). We suspect that these fluctuations resulted from a time delay of about 20 seconds resulting from the protective tube provided on the temperature sensor, as well as numerically small changes in measurements of air pressure in the engine room.
 - .2 Temperature, humidity, and air pressure in an engine room cannot fluctuate rapidly during a 10-minute time period. When a test ship is operating in calm water, engine-related measurement data should also be stable. Thus, there is no need for 1-Hertz measurement. For these reasons, we believe that an ordinary engine data logger with a sample frequency of about 60 seconds will provide sufficient measurement performance.
 - .3 The average value of 600 samples of 1-Hertz measurement over a 10-minute interval obtained with a slow-response sensor, the value averaged by using the time constant of the sensor system, and the value averaged by the data logger were virtually identical. Therefore, a robust, durable and stable measuring system is more desirable for long-term measurements than calibrating instruments for 1-Hertz measurements.
 - .4 1-Hertz measurements are usually performed to obtain data on dynamic parameters such as flow characteristics. When high-accuracy 1-Hertz measurements are necessary, a high-precision, high-response sensor must be used; such sensors are very expensive.
-



2005年度

船舶関係諸基準に関する調査研究 成果報告会

「船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」

講演要旨

2005年11月14日（東京会場）

2005年12月16日（大阪会場）

財団法人 日本船舶技術研究協会

目 次

テーマ 1.	今後の船舶排気ガス対策について - IMO における日本の役割 -	1
	国土交通省 海事局 安全基準課長 安藤 昇	
テーマ 2.	船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究プロジェクト(MP3)の概要	3
	MP3 プロジェクト・マネージャー 三井造船株式会社 理事 機械・システム事業本部 本部長補佐 田中 孝雄	
テーマ 3.	NO _x ・SO _x ・PM・CO ₂ を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方	11
	MP3 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成チームリーダー 海洋政策研究財団 海技研究グループ 海事研究チーム 主任研究員 華山 伸一	
テーマ 4.	SCR (選択触媒還元)脱硝装置 IMO ガイドライン日本案の解説	29
	MP3 NO _x 低減装置の IMO ガイドライン案作成チームリーダー 新潟原動機株式会社 技術センター 技術開発グループ長 川上 雅由	
テーマ 5.	4サイクル主機関搭載3隻の連続NO _x モニタリング結果 - IMOへの情報提供内容 -	41
	MP3 NO _x モニタリング法による IAPP 証書再認証のシミュレーション試験 第1船チームリーダー エムイーシーエンジニアリングサービス株式会社 プラントエンジニアリング事業部 主席 米倉 信義	
テーマ 6.	NO _x 発生に影響を与える重大因子	53
	MP3 燃焼基礎試験チームリーダー 国立大学法人九州大学 大学院 総合理工学研究院 教授 高崎 講二	

テーマ 1

今後の船舶排気ガス対策について ―IMO における日本の役割―

(添付資料なし)

テーマ 2

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する 調査研究プロジェクト(MP3)の概要

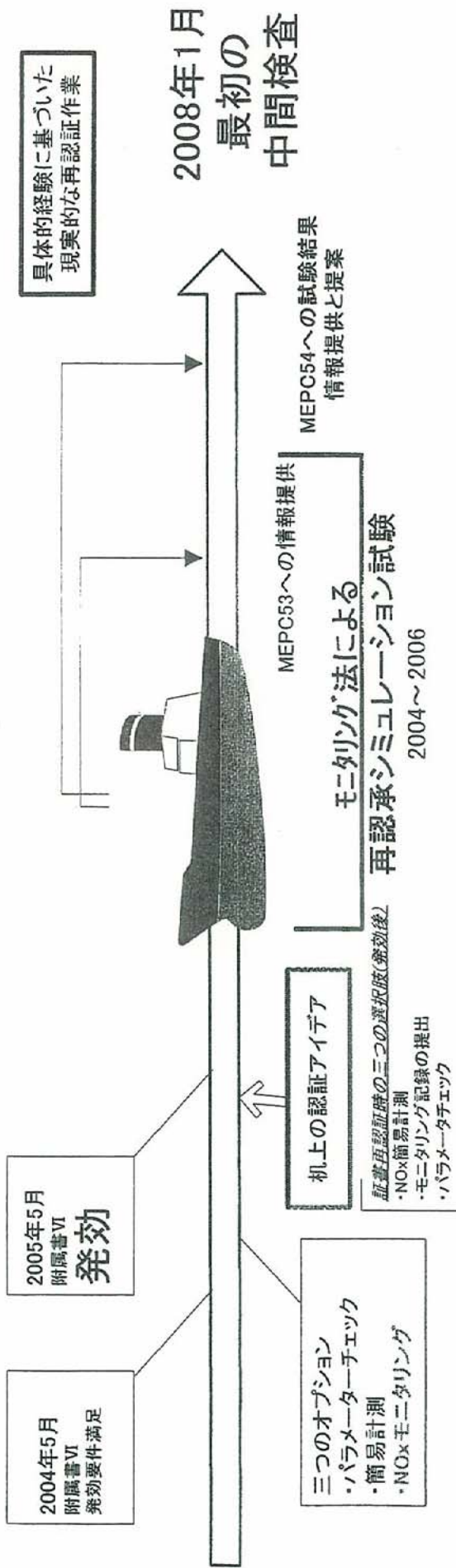
船舶の大気汚染防止基準 の作成に関する 調査研究プロジェクト(MP3)の概要

MP3 プロジェクト・マネージャー

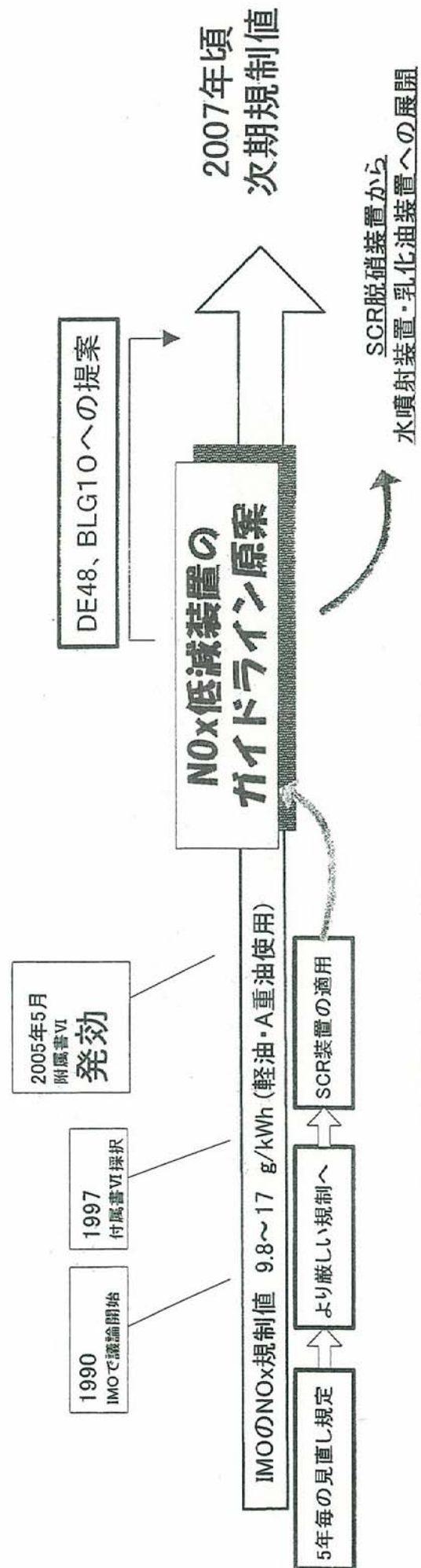
田中 孝雄

MP3 調査研究概要

1 NOxモニタリング法によるIAPP証書再認承のシミュレーション試験

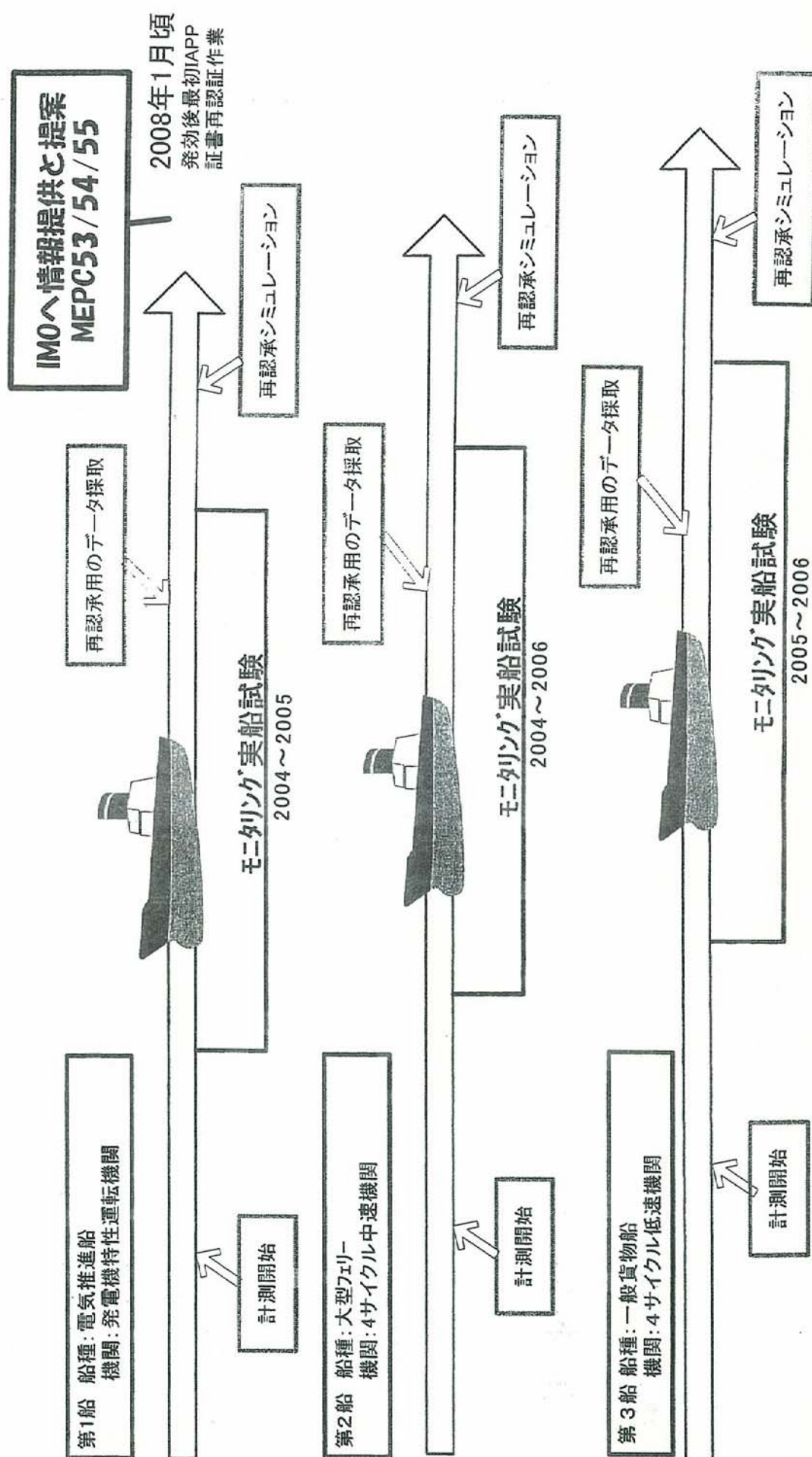


2 NOx低減装置のガイドライン作成 (SCR脱硝装置、水噴射装置、乳化油装置への展開)



3 CO2, NOx, SOxを含む新しい総合評価指標の検討とIMOへの提案

NOxモニタリング法による IAPP証書再認証のシミュレーション試験



新しいNO_x評価指標の検討(Ⅰ)

IMO/MEPC51(2004年3月)に独は温室効果ガスの指標の新しい調査結果を紹介。

船舶の評価基準として、以下の数式を検討した。

$$\text{CO}_{2, \text{ ship}} = \text{CO}_{2, \text{ eng}} / (\text{TDW} * V) \quad [\text{Kg CO}_2 / \text{t sm}]$$

$$V_{\text{sp}} = P * 3600 / (\text{TDW} * V) \quad [\text{KJ} / \text{t sm}]$$

一方、NO_xの評価は、現在 機器単体で評価 される $\text{g} \cdot \text{kWh}$

同じ船で、

100 rpm の低速機関使用の場合、許容されるNO_xは17g/kWh

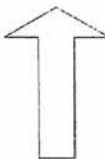
750 rpm 中速機関使用の場合、許容されるNO_xは12g/kWh(30%less)

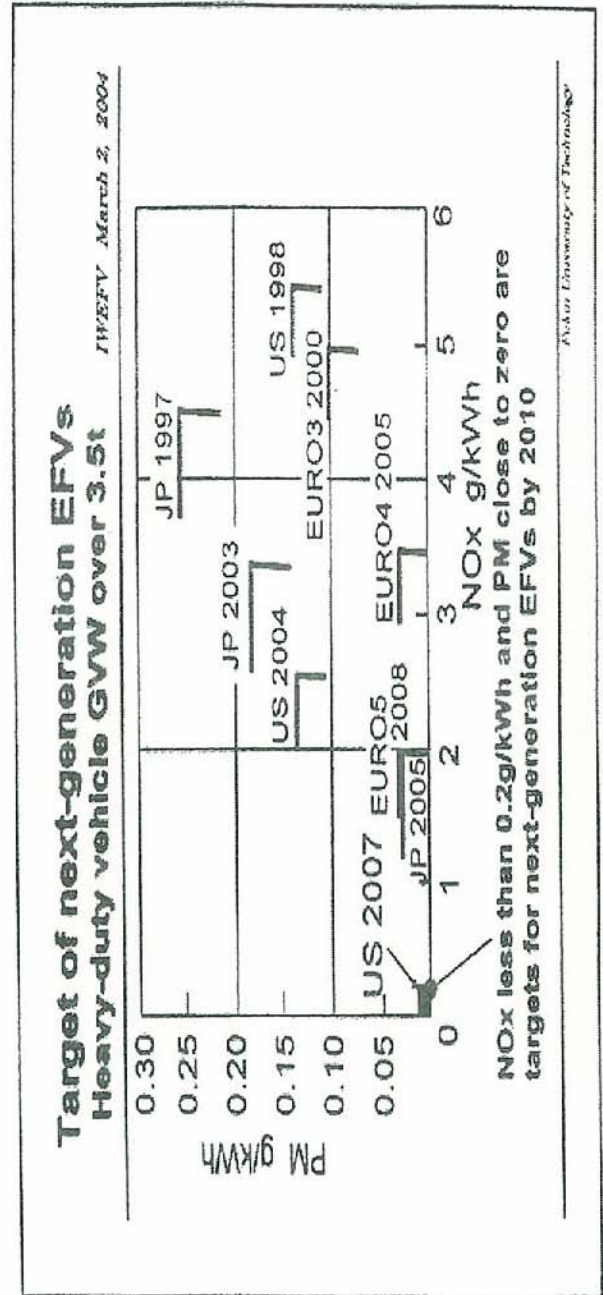
加えて、例えば、エミッション低減のためクリーンな燃料を使用しても現在の評価指標では評価されない

CO₂, NO_x, SO_xを含んだ総合評価指標の提案

新しいNOx評価指標の検討(Ⅱ)

- * 自動車の世界では、次世代自動車開発の環境ターゲットは、限りなくゼロエミッション（しかも2010年までに）
- * 自動車以外の移動発生源（船舶、航空機）、あるいは固定発生源もこれに引きずられないわけには行かない
- * 現在の新造船だけの規制では、全ての船が新造船に切り替わる25～30年後にやっと現状値マイナス30%

何らかの加速手段が必要  総合評価指標の活用



MP3: 新たな課題への対応

(下記の3, 5項目をH17年度の調査研究に追加。)

MEPC53で“BLG10/11”に指示された作業項目

- 1 大気汚染物質削減のために可能な技術の精査
- 2 No_x削減技術の調査と次期規制値の提案
- 3 SO_x削減の必要性と将来規制値の提案
- 4 VOC削減の可能性調査
- 5 船舶から排出されるPMの現状地、削減効果調査
- 6 就航船に対するNO_x、PM削減の検討
- 7 附属書VIを代替燃料使用のディーゼル機関
もしくは、他の原動機にまで拡大適用すべきか
- 8 附属書VI、NO_x Technical code, Guideline見直し

テーマ 3

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の
必要性と考え方

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究
NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方

NO_x・SO_x・PM・CO₂を 含む船舶用環境性能評価 総合指標の必要性和考え方

MP3 船舶用環境性能評価総合指標の試案作成
チームリーダー
華山伸一(海洋政策研究財団)

本日の話題

- 最近の船舶規制動向とその背景
- IMO現規制の実質的效果
- 削減の考え方
- (1)グローバル規制値
 - グローバル規制における個別物質の削減の考え方
- (2)地域規制値
- 総合指標の考え方とその必要性

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方

本日の話題

- 最近の船舶規制動向とその背景
- IMO現規制の実質的效果
- 削減の考え方(1) グローバル規制値
- グローバル規制における個別物質の考え方
- 削減の考え方(2) 地域規制値
- 総合指標の考え方とその必要性

最近の船舶規制動向とその背景

- 大気汚染物質(NO_x、SO_x、PM)
 - 欧州(停泊荷役中の燃料硫黄分の規制)
 - ライン川規制(内陸水面を航行する船舶が対象)
 - カルフォルニア州(コンテナふ頭における陸電使用、新規規制案)
 - 東京港(MDOへの切換えと停泊時における居住区への陸電の供給の検討)
- 停泊中もしくは荷役時を対象にした規制が増えている。生活域に近い発生源が問題になっていると考えられる。グローバルな影響と規制内容については再評価の必要あり。

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究
NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方

最近の船舶規制動向とその背景

- 地球温暖化物質(CO₂)
 - － IMOにおいて排出量削減の検討作業は進行中である。本年7月のMEPC53においてGHG Indexの暫定マニュアルが採択。
 - － 一方で、ISO14000シリーズやGHGプロトコルなど陸上側の枠組み内の要求から、主に荷主などが使用するための輸送効率算定方法(GHG Indexはこれに応用することも期待される)の開発も、ISO TC8で別途進行中である。
- 航行時の燃料消費量が全体のエネルギー消費の大半を占める。しかも、陸上輸送に比較して機器の影響が出やすい。
- 料金に直接結びつくため、荷主からは常に省エネに対する要求がある。Annex VI改正後においては、燃費のペナルティーに対して何らかの救済が必要になると考えられる。

本日の話題

- 最近の船舶規制動向とその背景
- IMO現規制の実質的效果
- 削減の考え方(1) グローバル規制値
- グローバル規制における個別物質の考え方
- 削減の考え方(2) 地域規制値
- 総合指標の考え方とその必要性

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

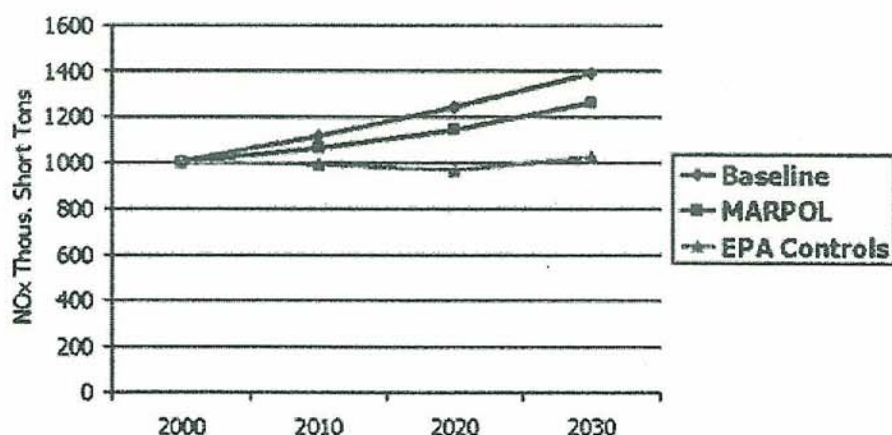
NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方

IMO現規制の実質的效果

- 活動量の増加を考えない場合、実質的な削減効果は、NO_x10%減、SO_x、CO₂は現状ままと考えられる。
- NO_xについて、OPRF財団の調査によれば、未規制機関に比較してIMO規制対応型機関の排出率(g/kWh)には23%程度の削減がある。ただし、実海域においてその差異は接近し、12%程度に留まる。
- NO_x排出総量は10%程度しか低減していない。また、輸送総量の増加に伴い、一部の海域では正味の排出量が増加している場合すらある。

IMO現規制の実質的效果

- 米国EPAの排出量シミュレーション例
(加州のEEZ内のNO_x排出量の伸びを示したもの。航行量の増加で排出量は実質増加している)



IMO現規制の実質的效果

- SO_x排出量は、IMOによる燃料中硫黄分のモニタリング結果(MEPC53/4/1など)から明らかなように、最頻値、平均値ともに経年変化がみられない。
- CO₂排出量は、NO_x規制に機関単体の燃焼改善技術などで対応した結果、現時点で燃費(g-fuel/kWh)に対するペナルティーは1%より少ないと予想され、経年変化量は無視できる。
- ただし、SO_x、CO₂ともに活動量に伴い総量は増加。

本日の話題

- 最近の船舶規制動向とその背景
- IMO現規制の実質的效果
- 削減の考え方(1) グローバル規制値
- グローバル規制における個別物質の考え方
- 削減の考え方(2) 地域規制値
- 総合指標の考え方とその必要性

削減の考え方 グローバル規制値

- 総量に対する削減目標値の設定が必要である。付属書Ⅵの作成作業においては、MEPC決議においてSO_x 5割、NO_x 3割という削減目標が決められた(ただし総会決議においては削除されている)。今回も「環境保全の観点から総量の削減目標を設定すること」が望ましい。
- CO₂と同様に、排出総量は活動量の伸びに伴い抑えきれないだとすれば、少なくとも既存船を含めた平均排出率(たとえばg/kWh)の削減目標の設定が必要。

削減の考え方 グローバル規制値

- BACTなど技術面からの単体の削減目標を設定することは可能であるが、少なくともグローバルに、新造船に対してのみ、技術的に高いハードルを設定することは、既存機関とのバランスから不必要であると、考えられる。
- 平均排出率を、数割程度削減するためには、SO_x規制(燃料規制)と同様に、NO_x、PMの排出規制についても、既存機関に対しての適用が必要になると考えられる。

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究
NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方

削減の考え方 グローバル規制値

- 削減目標設定においては、単純な陸上排出量あるいは陸上規制値との比較ではなく、酸性雨、オキシダントへの変換など二次的な影響も考慮した環境面での評価の上での設定が望まれる。
 - 二次生成物質の問題
 - 粒径分布の問題
- ガス状物質を前駆体にして、二次生成によってPMが生成される。ガス状物質の削減による二次粒子削減の効果も考慮すべきである。
→一次PMの規制前に二次粒子(硫酸ミスト)の削減の可能性
- また粒径分布の解析も必要。
→大洋での排出の人間への直接的な影響は少ない？

本日の話題

- 最近の船舶規制動向とその背景
- IMO現規制の実質的效果
- 削減の考え方(1) グローバル規制値
- グローバル規制における個別物質の考え方
- 削減の考え方(2) 地域規制値
- 総合指標の考え方とその必要性

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方グローバル規制における個別物質の考え方(NO_x)

- ・ 燃焼改善においてはNO_xとCO₂の間には、トレードオフの関係があり、排ガス後処理でも、プロセスのエネルギー消費、反応剤タンクによるカーゴスペースへの影響など輸送効率を低下させる可能性が大きい。したがって今後のNO_x規制強化に伴い、CO₂排出量が無視できない程度に増加する可能性がある。

→両者のバランスは？また、既存船との競争力を担保する必要がある。総合指標の必要性。

グローバル規制における個別物質の考え方(NO_x)

- ・ 既存船へのNO_x規制の適用。3つのカテゴリーが存在することになる。

A. 2000年1月1日以前の搭載機関

B. 2000年1月1日以降の搭載機関

C. [2010年1月1日]以降、新規規制値に適合する機関

既存機関への適用はBよりもAを優先か？

各カテゴリー間の燃費ペナルティーの救済措置は？

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NOx・SOx・PM・CO2を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方

グローバル規制における個別物質の考え方(NOx)

- NOxは、機関単体ではあと2割程度の削減が期待できるが、燃費(CO2)が増加する。
→NOx排出率(g-NOx/kWh)の低下に伴い、SFC(Be; g-Fuel/kWh)も同時に低下する可能性がある。
- このことにより、既存船との競争力が低下する可能性がある。また、仮に排ガス処理により行う場合、周辺機器のエネルギー消費量を排出率に組み込む必要がある。
- 総合指標に基づくインセンティブにより、二次規制船舶と既存船舶との間の不公平を、ある程度緩和する方策が必要。
- 環境面での影響を考慮すると、現在のように回転数のみをパラメータにするのではなく、主機とDGのように、用途を区別して規制値を定めることも一つのオプションか？

グローバル規制における個別物質の考え方(SOx)

- SOxは酸性雨などの距離ごとの影響および石油精製業界および供給体制への影響を十分に考慮した上で、燃料中Capを設定すべき(陸上で処理できない残渣油を船上焼却しているという側面もある)。EUなどは海洋の低pHを問題にしている。Max2~3%程度のCapか？
- その一方で、陸地に影響がある距離、あるいは港湾内での使用燃料については、燃料中Capとは別の設定が可能か検討することが必要か？
- 新造船などには、スクラバーなどを後処理装置搭載の可能性が大きくなる。
- PMへの影響
→後述。硫酸ミストに変換した場合、PMとしてカウント。

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方

グローバル規制における個別物質の考え方(PM)

- PM(何を測り何を規制するのか?)
- 希釈法に基づく測定は、これまで国内外ともにほとんど行われていない。
- 日本においても測定法に関する研究開発が過去10年間にわたり進められてきたが、希釈率の問題など、完全に実用化されているとはいえない状況である。
希釈法による現状はあくには、まず現状把握が先であり、それにはまだ数年の時間がかかると思われる。
→もともと、硫酸ミストの影響が非常に小さい軽油焚き機関(自動車やオフロード機関)を対象にした測定方法であることに留意する必要がある。

グローバル規制における個別物質の考え方(PM)

- PMの問題点
2サイクル低速機関でA重油使用時の希釈法を用いたデータでは、DPが1割程度であるのに対して、硫酸ミスト7割、その他のSOF分(主に潤滑油経由)が2割程度の成分になるとの計測データがある。

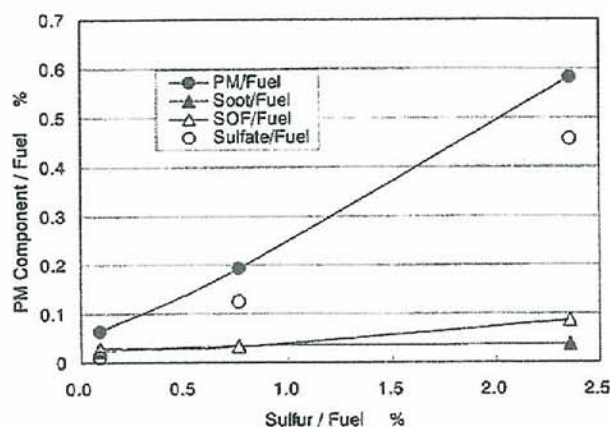
船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方

グローバル規制における個別物質の考え方(PM)

- ・ 希釈法によるPM組成成果(4サイクル中速機関の測定例)

平成17年ME学会、船舶排出大気汚染物質削減技術検討調査報告書



グローバル規制における個別物質の考え方(PM)

- ・ 硫酸ミストは、大気中では水分の凝着により、粒径が成長し、乾性沈着などによる除去効果が大きいと考えられる。希釈法による重量評価では、過大評価となる可能性がある。
- ・ 港湾域では、PM10のまま人間が暴露する可能性があるが、大洋域で排出されるSO_xあるいは硫酸ミストが、PM10の状態で生活域に到達するかは疑問。

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方

グローバル規制における個別物質の考え方(PM)

・ PMの問題点

仮に低質C重油焚の機関に排出規制をかけると、燃料による影響が非常に大きい
 燃焼制御技術では対応できない。

→DPFなどの後処理以外には対策が困難。

・ 工場出荷時だけでなく、オンボードでの測定が必要になるため、規制コストが非常に大きくなる。

・ 低質C重油焚きの排出については、Visible Smoke以外の対策は現実的でないか？

削減目標 グローバル規制値(PM)

・ PMの問題点

規制対象を限定することを検討するべきか？

たとえば、港湾内で使用するDGのみであれば、DPFの使用やコモンレールの採用による低負荷時の燃料噴射圧の向上などにより、実用的な対策が施せる可能性がある。

今後、十分な議論が必要。

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方

本日の話題

- ・ 最近の船舶規制動向とその背景
- ・ IMO現規制の実質的効果
- ・ 削減の考え方(1) グローバル規制値
- ・ グローバル規制における個別物質の考え方
- ・ 削減の考え方(2) 地域規制値
- ・ 総合指標の考え方とその必要性

削減の考え方(2) 地域規制値

- ・ 各国の地域規制には、地域の大気汚染状況の特徴を反映して設定されている。
- ・ 地域規制型(SO_x・NO_x重視、CO₂発生量はやや増加)、EU型(SO_xのみ重視、CO₂・NO_xはそのまま)、超低排出量型(陸電使用や水利用などNO_x量が大幅に低下したもの)に大別できる。
- ・ それぞれの規制に対応する技術は大きく異なる。

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性和考え方**削減の考え方(2) 地域規制値**

- 各国のニーズが異なる以上、地域規制値をIMO MEPCにおいて一本にまとめることは困難であるとする。
ただし、地域でなくグローバルに港湾停泊時や荷役時の排出規制を行う考え方はある。
- 全ての規制値を達成する技術は燃料転換などコストが大幅に上昇する可能性がある。
- グローバル規制値と地域規制値はこれまで以上に乖離することになるだろう。

本日の話題

- 最近の船舶規制動向とその背景
- IMO現規制の実質的效果
- 削減の考え方(1) グローバル規制値
- グローバル規制における個別物質の考え方
- 削減の考え方(2) 地域規制値
- 総合指標の考え方とその必要性

船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究

NO_x・SO_x・PM・CO₂を含む船舶用環境性能評価総合指標の必要性と考え方

総合指標の考え方

- ・ 総合指標の考え方
 - － 既存/新造船、物質間の相互作用、物質間の規制の厳しさを考えると総合指標の導入が必要。
 - － 対象物質→(NO_x、SO_x、PM、CO₂)+VOC?
 - － 総合化の方法は?
 - － 規制またはインセンティブ?
(特に既存船についてはインセンティブの考え方の導入が必要)
- ・ 必要性については合意ができるが、具体的な計算方法と削減方策については、国内においても今後議論が必要。
- ・ IMOにおいても、将来的にはGESAMPのような第3者機関が計算方法を設定する方が、客観性を担保できるかもしれない。

まとめ

- ・ 機関単体ではなく、総量としての削減目標の設定が必要である。
- ・ 目標設定は、最新の知見を用いた環境影響評価に基づくべきである。特に外洋のPMおよびSO_x排出影響については、粒径の成長や沈着を含めた評価が必要。
- ・ 総量としての削減を達成するためには、新造船に対する規制強化により、既存船に対するNO_x、PM規制を組み合わせた方策がベターであると考えられる。
- ・ 燃費を含めて既存/新造船間での競争力が担保できるように、あるいは規制の厳しさの評価のため、民間レベルでの環境評価/インセンティブのためにも、総合指標の作成を、今後国際的に進める必要である。

テーマ 4

SCR（選択触媒還元）脱硝装置 IMO ガイドライン日本案の解説

(財)日本船舶技術研究協会
2005年度 船舶関係諸基準に関する調査研究 成果報告会
「船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」

SCR(選択触媒還元)脱硝装置IMOガイドライン日本案の解説

MP3 NO_x低減装置のIMOガイドライン案作成チーム

川上 雅由

内容

- SCR脱硝装置ガイドライン日本案作成経緯
 - 研究計画
 - SCR脱硝装置の原理と例
 - SCR脱硝装置ガイドライン日本案
 - SCR脱硝装置ガイドライン日本案作成(改訂版)
 - その他のガイドライン案作成対応
-

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

はじめに

- IMO MARPOL 73/78/97 ANNEX VIが2005年5月19日に発効され、これに伴うガイドライン作成が引き続き行われている。
- 船上排気ガス洗浄装置ガイドラインが作成され、本年7月、IMO MEPC53で採択された。
- 上記ガイドラインの作成に引き続き、船用ディーゼル機関のNO_x削減後処理システムであるSCR脱硝装置のガイドラインの作成が予定されていた。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、2005年2月開催のIMO DE48に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本ガイドライン日本案を作成した。

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

	ガイドライン	備考
1	燃焼用燃料油のサンプリングに関するガイドライン	2002年3月MEPC47で承認
2	船上NO _x モニタリングと記録装置のガイドライン	2003年7月MEPC49で承認
3	船上NO _x 同等削減方法のガイドライン	2006年4月BLG10で審議予定 (日本からガイドライン案を提出する)
4	船上排気ガス洗浄装置ガイドライン	2005年7月MEPC53で承認
5	SO _x 規制に対して検証または執行できる他の技術方法に関するガイドライン	

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

研究計画

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 NO_xテクニカルコード、ISO規格等を基にNO_x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

作成したドラフトをInformation PaperとしてDE48へ提出し、各国のコメントを求める。

アンモニアによるNO_x還元反応

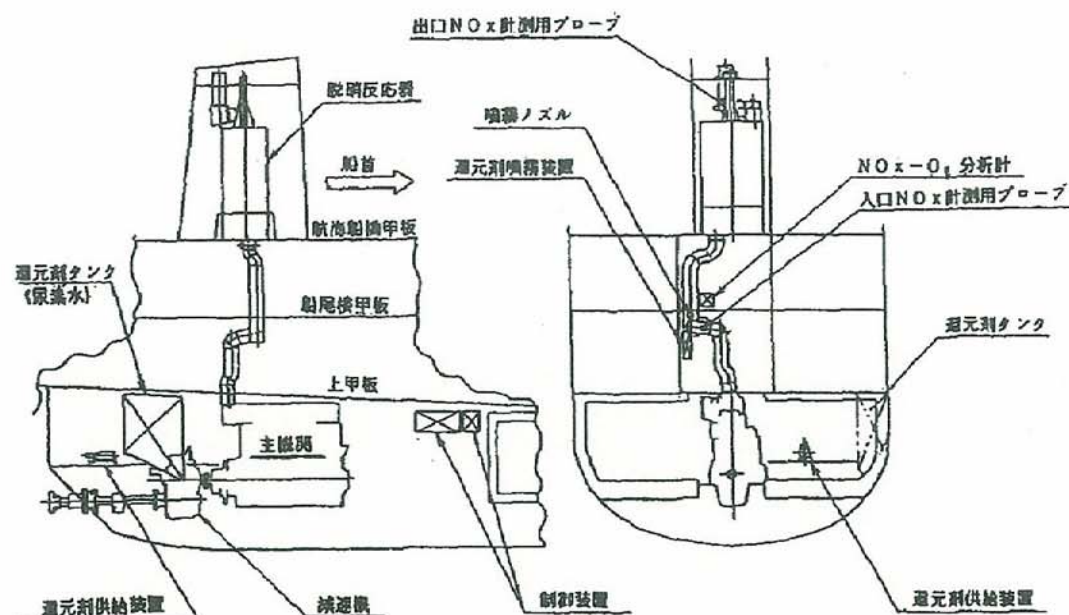
尿素の加水分解



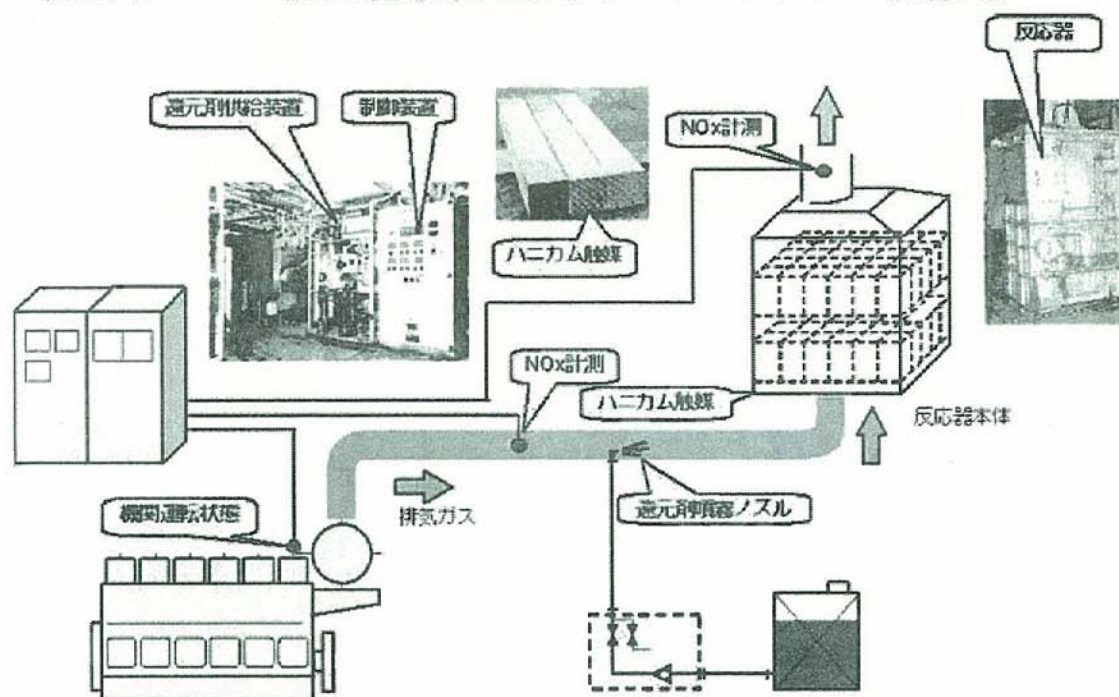
NO_x還元反応



船用SCR脱硝装置搭載状況例(4サイクル機関)



船用SCR脱硝装置例(4サイクル機関)



船用SCR脱硝装置例(2サイクル機関)

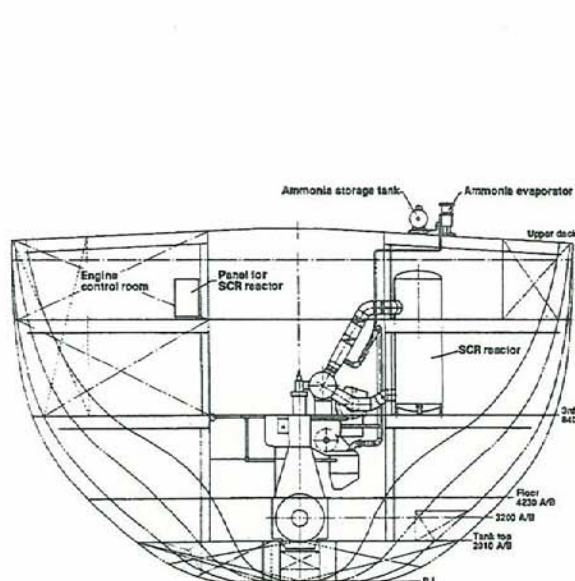


Fig. 8: Actual installation of SCR system on board a vessel (transverse cut)

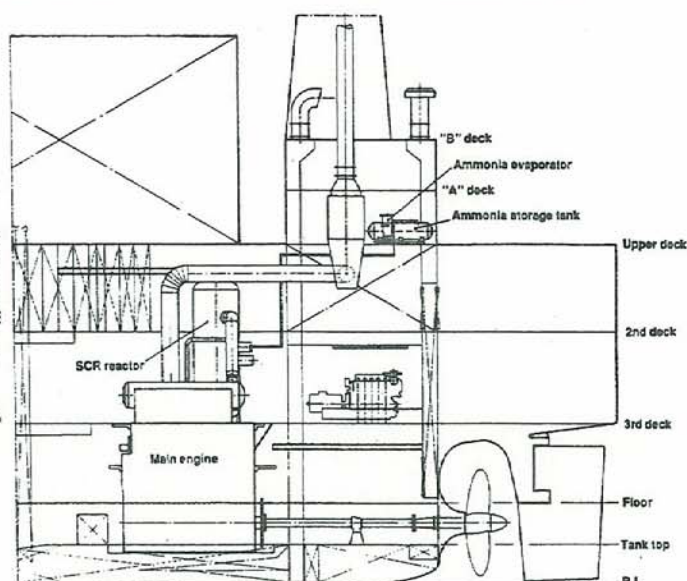
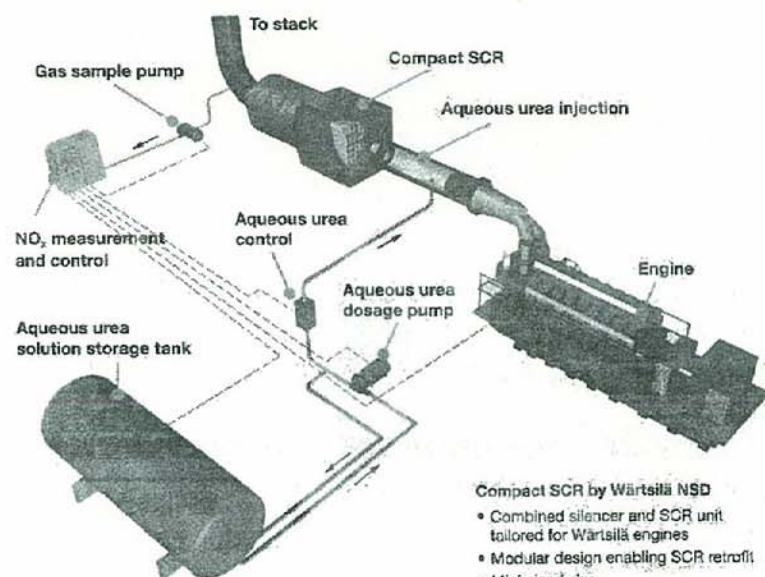


Fig. 9: Actual installation of SCR system on board a vessel (longitudinal cut)

出典: O Grone, et al., NOx Control for Large Marine Diesels, 19th CIMAC, D15, 1991

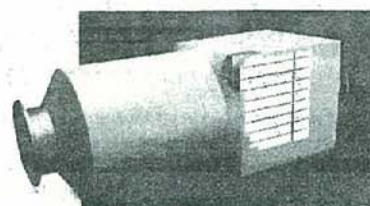
Wartsila社Compact SCRの例

Compact SCR concept for medium-speed engine installations



Compact SCR by Wärtsilä NSD

- Combined silencer and SCR unit tailored for Wärtsilä engines
- Modular design enabling SCR retrofit
- Minimized size
- NO_x reduction 85-95 %
- Sound attenuation 25-35 dB(A)



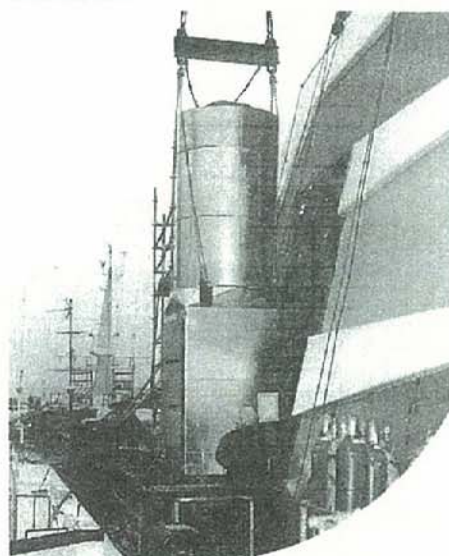
出典: Wartsila社カタログ

SCR脱硝装置搭載船、搭載状況の例



The Silja Symphony and its sister vessel Silja Serenade is equipped with one SCR unit and one DWI plant.

Installation of a Compact SCR in the Birka Princess.



出典：Wartsila社カタログ

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

ガイドライン日本案作成

当時Exhaust Gas Cleaning Systems (EGCS)のガイドライン作成の審議が行われており、作成検討が最終段階に入っていたので、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_x関連の計測方法等はNO_xテクニカルコードから引用した。
- ✓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」も参考にした。
- ✓船上計測法については、“GUIDELINES FOR ON-BOARD NO_x 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。
- ✓リークアンモニア等予想される問題点等を追加した。

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

Principles

SCRはNO_x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_x MEASUREMENT

NO_x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

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

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_x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。

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

業界のコメントと対応

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

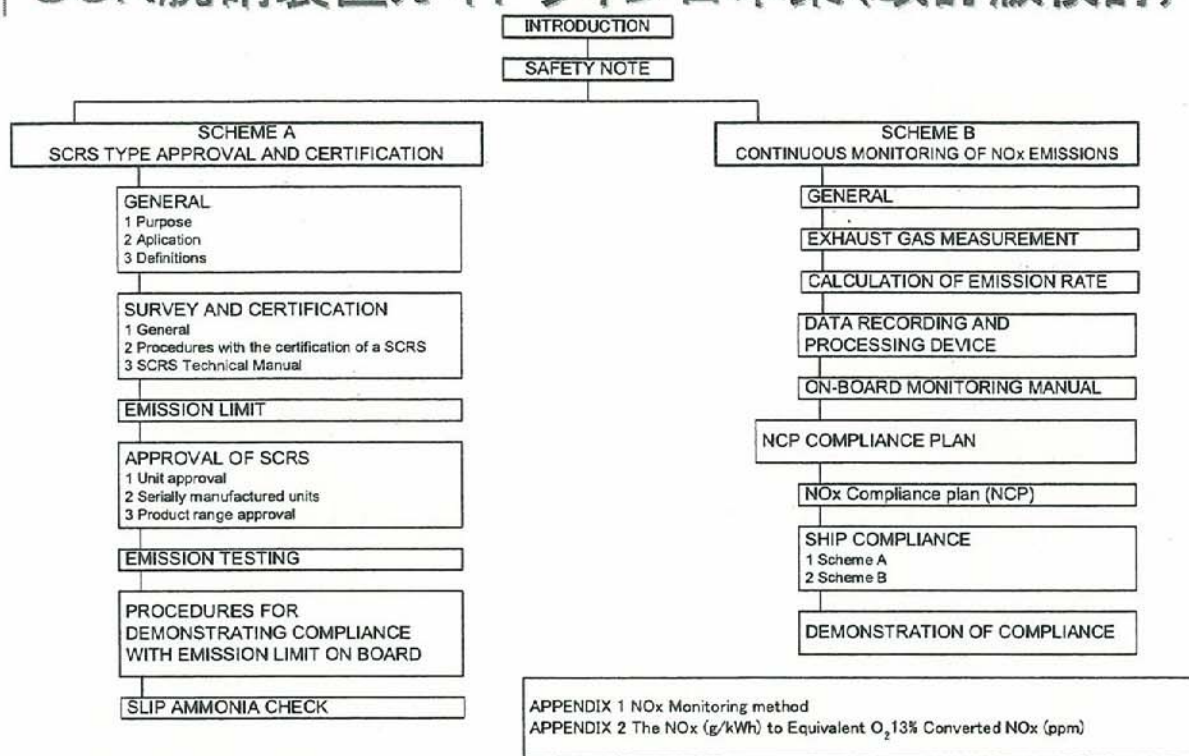
No	コメント	修正
1	メンテナンスに関しても、記載がありましたが、何%の予備のSCRユニットを搭載して、何らかの原因でSCRの効果が低下して、NOxが急上昇した時に対応できる様にすることを義務付ける必要があると思います。SCRを搭載する場合には、燃費等で、他の船よりメリットがある訳ですから、他の船より一層NOxが上昇して、規制値を上回ることがあってはいけな	種々なSCR脱硝装置があるので、予備のユニットを明確に記述できないと思います。これについては、現状の製造者のメンテナンス仕様にもとづいてユーザーの責任でSCRを維持するという記述のみにしたいと考えます。
2	2ストロークの大きなものを想定しますと、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、中高負荷域で使うことが考えられます。本当は、低負荷域を使用する港湾部、沿岸部での低NOx化が望ましいのですが、現行のIMO規制から行くと25%負荷域では、SCRなし、50~100%負荷域でSCR付きと云う運転でのE3モードによるNOx計測であれば、かなりのNOxを低減できることとなります。こう云った運転方法でなければ、2ストローク機関におけるSCRは成り立たないと考えま	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ますので、現状のままにしたいと考えます。
3	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。	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CLO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ようになっていますが、計測に約10分かかります。または、FTIR(fourier transform infrared)、NDUVR(non dispersive ultra 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。

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

No	コメント	修正
6	「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。 (1) 使用還元剤の種類、化学組成、濃度 (2) 使用還元剤の流量	1.9 Test reportに追加することで検討します。
7	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。	本表内用はEGCS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。

注) エディトリアルコメントは記載しておりません

SCR脱硝装置ガイドライン日本案(改訂版検討)

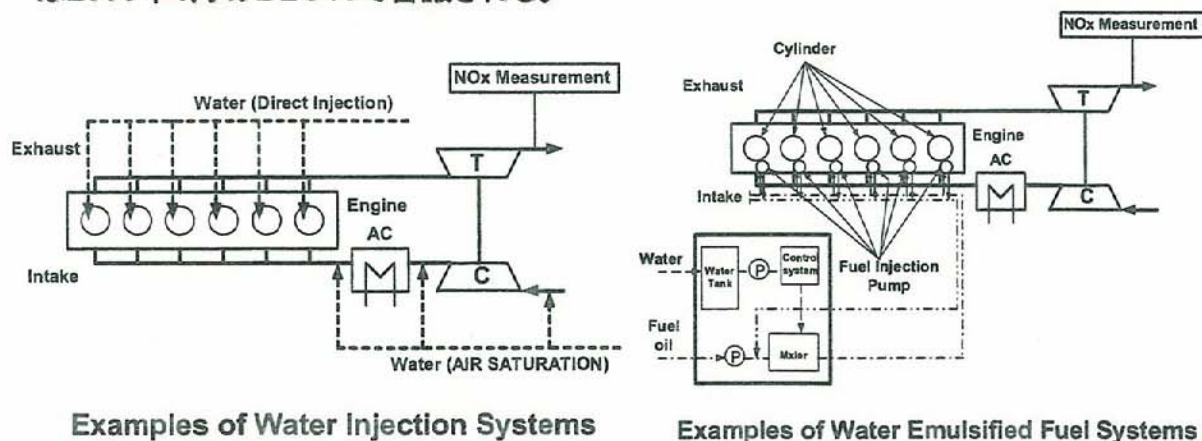


今後の対応

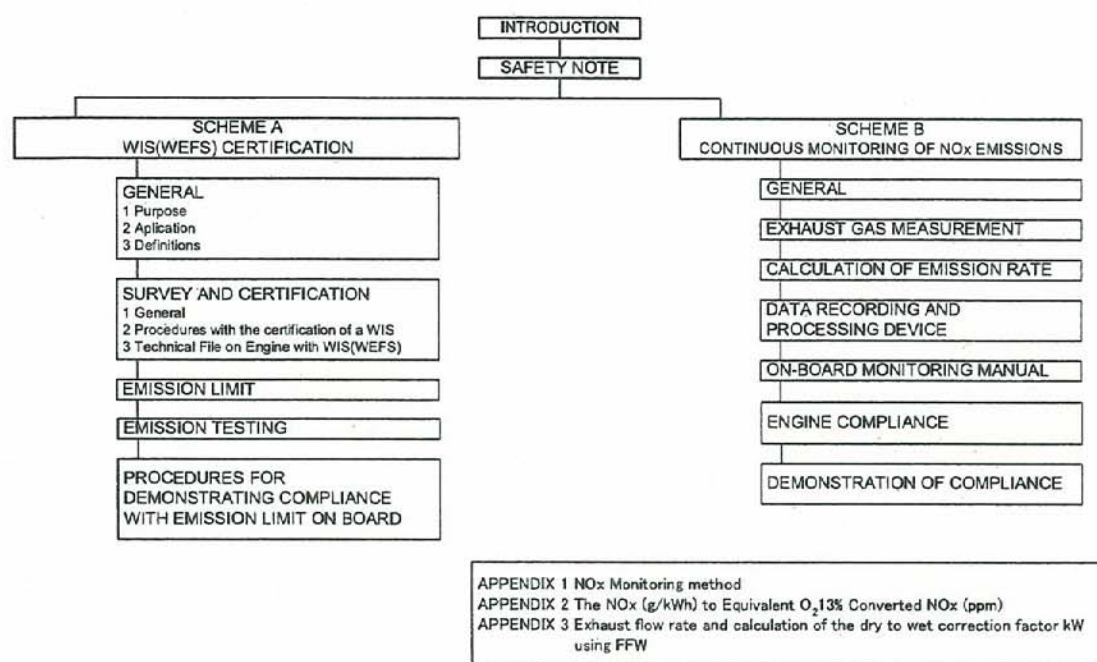
✓水噴射、水エマルジョン燃料装置ガイドライン日本案作成

✓SCR脱硝装置、水噴射、水エマルジョン燃料装置ガイドラインフォロー

なお、SCR脱硝装置のガイドラインの検討も含め、MARPOL ANNEX VIの見直しは2006年4月のBLG10で審議される。



今後の対応



テーマ 5

4 サイクル主機関搭載 3 隻の連続 NO_x モニタリング結果 －IMO への情報提供内容－

4 サイクル主機関搭載3隻の連続NO_xモニタリング結果 - IMO への情報提供内容 -MP3 NO_x モニタリング法による IAPP 証書再認証のシミュレーション試験

発表者(代表) 第1船 チームリーダー 米倉 信義
(エムイーシーエンジニアリングサービス(株))

1. 研究の背景・目的等

1. 1 背景

船舶からの大気汚染防止に関する MARPOL 条約 付属書VIが本年5月より発効した。
国内では、国土交通省海事局より『海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律の一部を改正する法律』と題して施行されている。

この条約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みが必要である。

またこの仕組みによって、放出量の検証はPSCの対象となり他国船への立会検査が可能になった。
同時に関係の各組織体においてスムーズな運営が必要であり、細部にわたっての規則の見直しも必要である。この様な新しい仕組みを実施展開に際し、事前にシミュレーションを行うことは非常に重要である。

1. 2 目的

1) MARPOL 条約 付属書VIの実船試験

本試験研究は、前項のような背景の下に4サイクル主機関搭載船舶をモデル船として、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 証書の再認証作業の工程を関係者間でシミュレーションを行う。

2) 試験結果の解析

工場試験(ファミリーエンジン)でのNO_x放出量と就航時のNO_x放出量に整合性があるか検証する。
同時に計測結果を解析してMARPOL条約 付属書VIの実施上の問題点を抽出する。

3) IMO への情報提供

NO_xモニタリングシミュレーション試験を通して得た経験やデータを用いて、MARPOL 付属書 VI、NO_xテクニカルコードおよび関連ガイドラインの改善点を提供する。

1. 3 実験対象船

以下の3隻をシミュレーション試験の対象として協力を願った。

- 第1船 : 吉祥海運(株) 498t ケミカルタンカー 『千 祥』 ディーゼル電気推進船 E2
- 第2船 : カメラライン(株) 19,961t RO/RO フェリー 『ニュー かめりあ』 E2&E3
- 第3船 : 摂予汽船(株) 2,053t RO/RO 船 『菱栄丸』 E2&E3

1. 4 試験期間

平成16年8月～平成17年9月 (但し、研究は平成18年2月まで続行中)

1. 5 試験等実施者

次の関係者で実施した。(順序不同)

(独) 海上技術安全研究所 九州大学 (財) 日本海事協会
日本郵船(株) (株) イコーズ 摂予汽船(株) 阪神内燃機工業(株)
ヤンマー(株) JFE エンジニアリング(株) (株) 堀場製作所
MEC エンジニアリングサービス(株)

1. 6 NO_xの再認証の方法

Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engine (以下 NTC と略す)の発効により、以下の3方法により検証することが求められている。

- ① Engine Parameter Check Method (以下 エンジンパラメータチェック法と略す)
NO_x発生に影響のあるエンジンの主要パラメータ15項目が変更されていないか、書類や実機で確認する方法で、工場試験時のデータを準拠に確認される。 現在採用されている最も一般的な方法。
- ② Simplified Measurement Method (以下 簡易計測法と略す)
中間検査や定期検査時に該当するテストサイクルで運転を行い O₂ 又は CO₂ 及び CO と共に、NO_x を計測し、同時に16項目のエンジンパラメータを確認する方法。
機関室の湿度や気圧を測定する必要がある。
- ③ Direct Measurement and Monitoring Method (以下、ダイレクトモニタリング法と略す)
就航時に排ガスセンサーを用いて、直接的に NO_x を測定し、その記録を残すことにより、再認証時に計測することなく適合性の確認を行う方法。 測定負荷点数、設定許容範囲等に軽減規定がある。

本シミュレーション試験は、前項 1.6 ③ダイレクトモニタリング法を採用し、一連の再認証作業を行った。

ダイレクトモニタリング法の採用に当たっては、まず MEPC49/22/Add.1 ANNEX 5 Guidelines for On-Board NO_x Verification Procedure — Direct Measurement and Monitoring Method に合致している測定装置が必要であると同時に、船上で計測する要領を示したマニュアルも承認を受けておく必要があるが、計測装置のみシミュレーション試験用として特別に製作した。

2. シミュレーション試験の内容

2. 1 検出項目・方法

1) 計測項目

<一般的項目>

機関出力またはポンプノッチ、機関回転速度、掃気圧、空気冷却器入口温度、空気冷却器出口温度
燃料油流量、吸気温度、機関室温度

<特殊項目>

機関室気圧、機関室湿度、大気気圧、大気温度、排ガス NO 濃度、排ガス O₂ 濃度

2) 試験方法

MEPC49/22Add.1 ANNEX 5にダイレクトモニタリング法のガイドラインに関して規定があるので要点のみを次に記述する。

- ① 認定された計測装置を使用して、海上が平穏な場所で負荷点毎に10分間計測する。
- ② 機関出力は該当するテストサイクルに従って、Weighting Factor が0.5を超過する値で試験を行う。 従って本シミュレーション試験では E2/E3 テストサイクルでは、75%と50%出力で試験を行った。
E2 テストサイクル： 定回転主機関（ディーゼル電気推進方式、CPP 方式）の場合
E3 テストサイクル： 回転数可変主機関・補機関の場合
- ③ 計測は1Hzの記録速さが必要。
第1船はガイドラインに従って全項目 1Hz 計測を実施した。
第2船および第3船は NO 濃度及び O₂ 濃度に関しては1Hz 計測、その他データに関しては、10分間計測間の始端と終端の記録を実施した。
- ④ 計測開始前と後に NO 濃度及び O₂ 濃度に関しては、校正データ (Zero&Span) の記録が必要。

2. 2 測定方法

1) センサーの選択

MEPC49/22/Add.1 1項ではNO_x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_x センサを用いた NO_x/O₂ 分析装置を採用した。

2) ジルコニア NO_x センサ

次に測定原理について説明する。計測部分は 図 2.2.1 に示された長さ 20mm、厚み数 mm 程度のエレメントである。

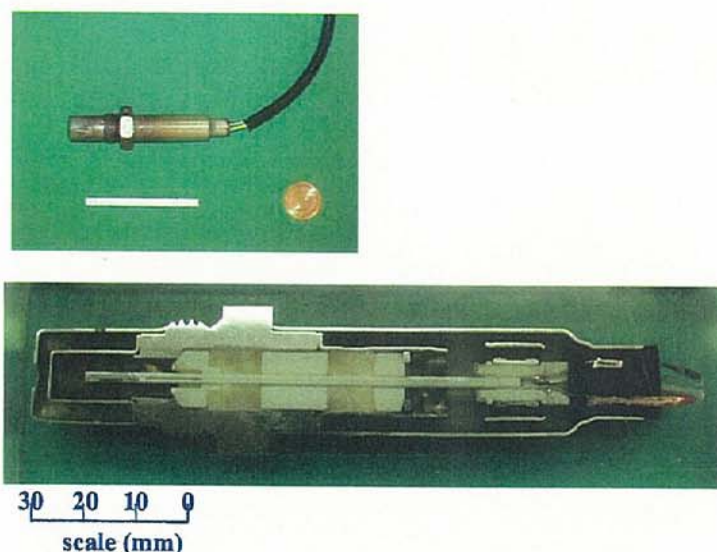


図 2.2.1 ジルコニア NO_x センサ

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。

また還元作用の大きい電極材料を使用することにより、NO は無酸素状態で N₂ と O₂ に分解される。この分解された O₂ を同様の方法で測定する。この時の電流(量)は、測定された酸素濃度と等価の NO_x の量と比例することから、NO_x 濃度が計測可能となることを利用している。

3) 分析装置及び記録装置

- ① MEPC 49/22/Add.1 ANNEX5 Appendix 1に従った NO_x センサ取付け用フランジ部を図 2.2.2 に示す。また図 2.2.1 で示したジルコニア NO_x センサを取り付けた状態を図 2.2.3 に示す。
- ② NO_x 分析装置 および NO, O₂ 記録装置はそれぞれ 図 2.2.4 および図 2.2.5 に示す。NO_x 分析装置は、上部装置と下部装置より構成され、上部装置は NO 及び O₂ 関連の計測を自動的に校正する制御部であり、下部装置は NO と O₂ の校正用標準ガスを充填しているポンペを収容している装置である。
- ③ 1Hz 記録装置を図 2.2.6 に示す。
Windows 2000 を OS として、NO_x 計測専用ソフトを一部改造して対応した。
記録容量としては、640Mbt であり、約 1 日の連続計測が可能。



図 2.2.2 NOx センサ取付け用フランジ部



図 2.2.3 センサ取付け状況



図 2.2.4 NOx 分析装置

図 2.2.5 NO, O₂ 記録装置

図 2.2.6 1Hz 記録装置

2. 3 試験結果

1) 計測結果(生データの収集)

MEPC 49/22/Add.1に規定している1Hz モニタリングの結果(50%及び75%出力)の計測データを図2.3.1に示す。記録は発電機出力(kw)とNOx(ppm)値を示す。時間軸は、時：分である。

また本船の各運航状態でNOxを計測することは、NOx発生の総放出量を算定する上において極めて重要であり、本船の出港から入港まで連続的に記録したデータを図2.3.2に示す。

記録はNOx(ppm)とO₂(Vol.%)値を示す。時間軸は、時：分である。

一方、放出量の検証に必要なデータも収集する必要があるので、試験海域付近では船速を調整し記録した。その代表記録として50%出力状態での試験データを図2.3.3に示す。

時間軸は、年/月/日/時/分である。

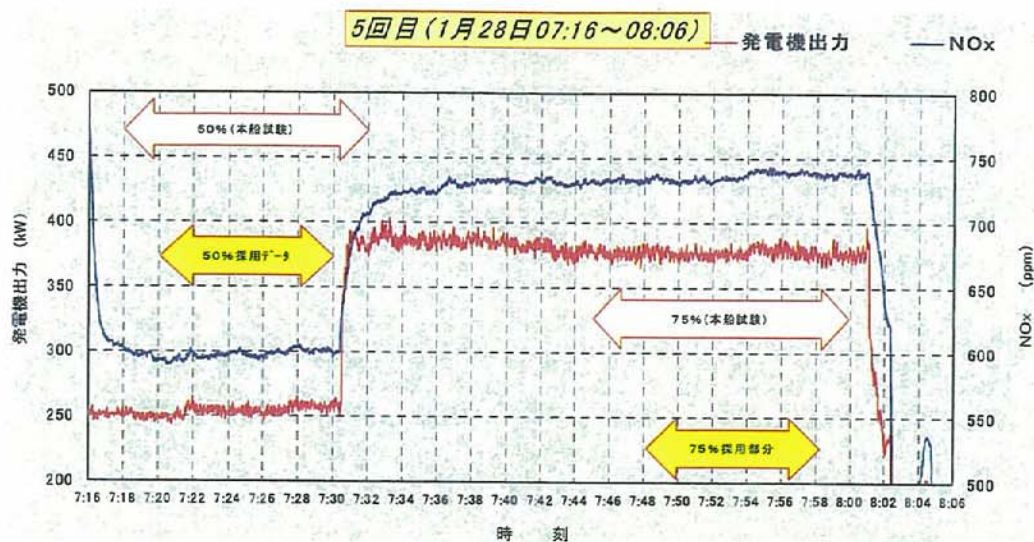


図 2.3.1 1Hz モニタリング結果

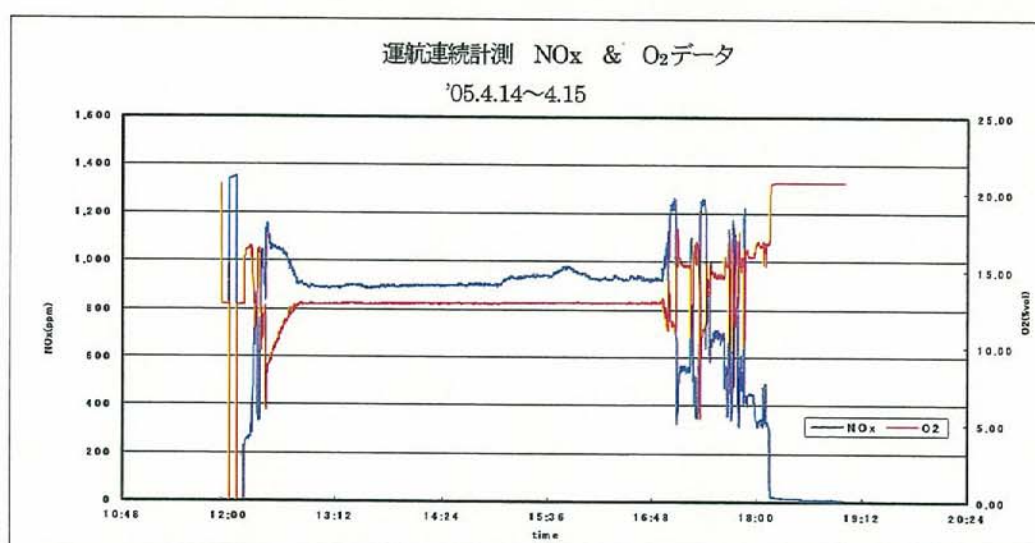


図 2.3.2 運航時の連続計測データ

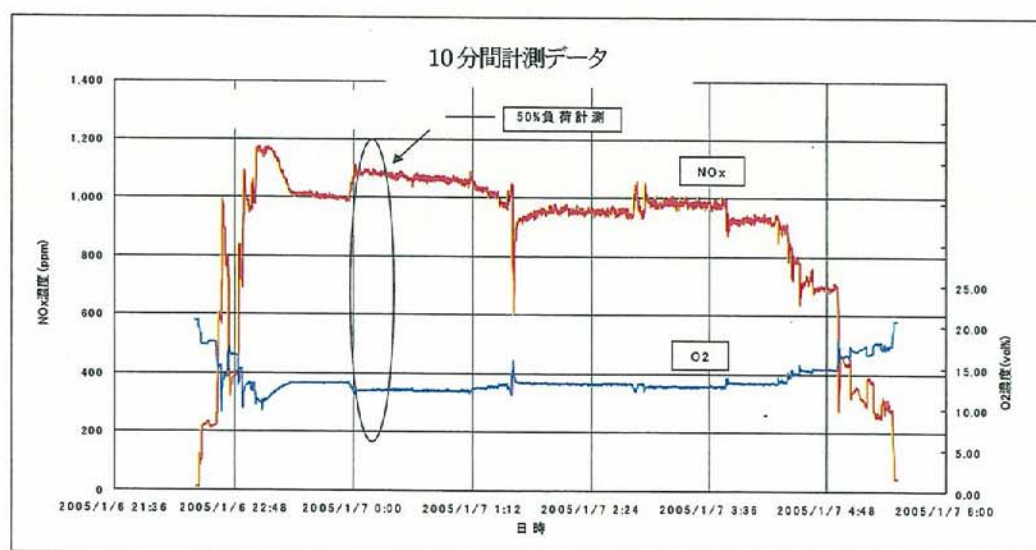


図 2.3.3 認証用データ(50%出力時)

2) 放出量の計算

前項1) に示した各計測データを用いて放出量の計算を行う必要がある。

計算式は Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engine (以下 NTC と略す) に示されているので、そちらを参照されたい。

今回は NO_x , O_2 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) により算出した。(計算方法には他に、ユニバーサル炭素バランス法、酸素バランス法とがあり、詳細は本文を参照願う。)

3) 放出量

① IMO で規制されている放出量

NTC 3.1 項に Maximum Allowable NO_x Emission Limits for Marine Diesel Engines に規定されているので、基本形を次に示すが、詳細は本文を参照願う。

$N < 130\text{rpm}$	17.0	(g/kwh)	
$130 \leq N < 2000$	$45 * N^{-0.2}$	(g/kwh)	
$N \geq 2000\text{rpm}$	9.8	(g/kwh)	(N: エンジン定格回転速度)

② NO_x 試験結果

本船での試験結果を表 2.3.1 に示す。

規制値は上記 3) ① で定められた最大許容放出量、工場試験値は機関の工場試験時にファミリーエンジンとして試験登録されている放出量、海上試験値は今回のシミュレーション試験で実施した時の値である。

なお表中の E2, E3 はテストサイクルを示す。

表 2.3.1 NO_x 試験結果(放出量)

代表試験例	NO_x (g/kwh)			主機関 出力 x 回転速度
	規制値	工場試験値	海上試験値	
第 1 船 第 5 回試験データ	10.9	8.95	6.92	6L 型機関 530kw x 1200min-1
第 2 船 平成 17 年 1 月 7 日	12.88	E2 10.9 E3 11.3	12.3	12V 型機関 9900kw x 520min-1
第 3 船 データ整理中				6L 型機関 2,647kw/ x 240min-1

また各出力での NO_x 放出量を図 2.3.4 及び図 2.3.5 に示す。

図 2.3.4 は、第 1 船の各出力 25、50、75 及び 100%) おける工場試験値を線で示し、50 及び 75% の今回のシミュレーション試験における海上試験の結果を点 (■や▲等) で示した。

図 2.3.5 は、第 2 船の各出力での工場試験結果を図 2.3.4 と同様に図式化したもので、陸 E2、陸 E3 として示した線が E2、E3 サイクルにおける工場試験の結果である。

今回のシミュレーション試験における海上試験結果を●(On Board)で示す。

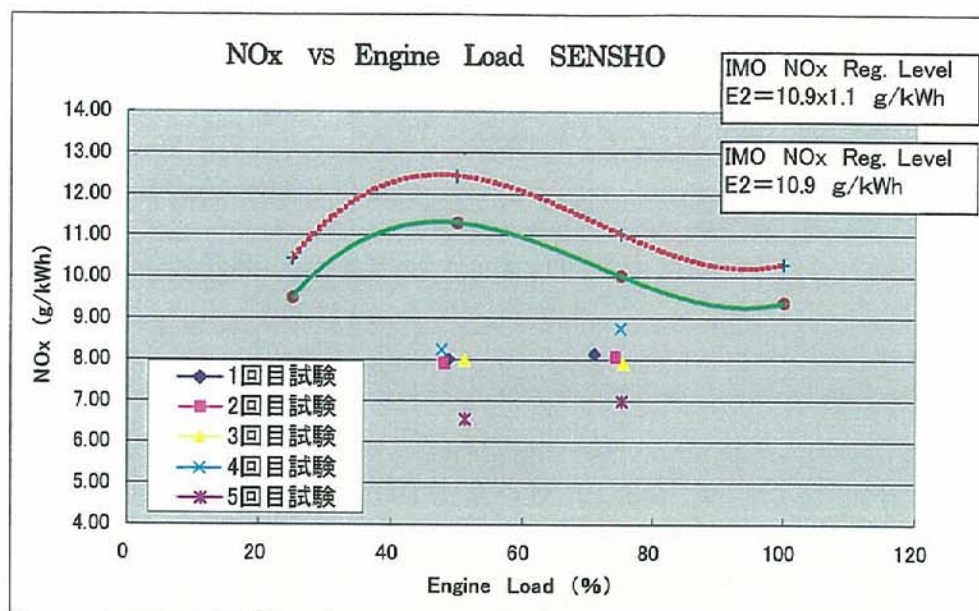


図 2.3.4 第1船 試験結果 (放出量)

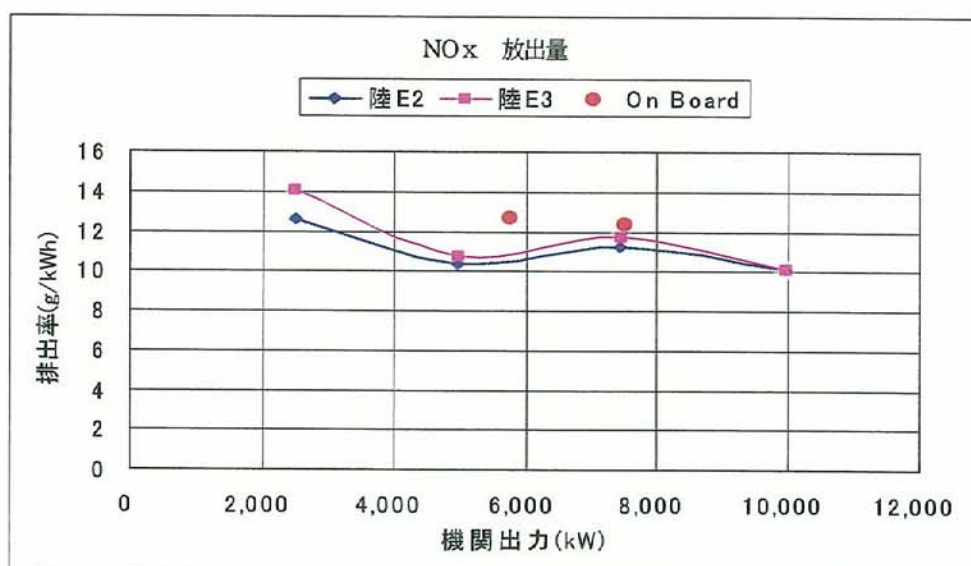


図 2.3.5 第2船 試験結果 (放出量)

③ その他の試験結果

MEPC 49/22/Add.1では、NO_xの放出量の計測を行う場合、平穏な海域での試験を要求している。またこの時の機関出力の変動率を5%以下と規定している。

今回のシミュレーション試験の場合は、基本的にそれに沿う形で行った。

第1船では機関が発電機なので機関出力の計測は容易であると同時に正確であり変動率の試験には必要十分な条件であった。海上試験の解析の結果、変動量は最大2.1%であり規定を満足していた。

第2船および第3船の場合、軸馬力計が設置されていないので、機関出力は工場試験時の機関回転数及びポンプバックより等価換算して算出した。

使用燃料油の性状や試験時の回転数は工場試験と異なるので、機関メーカーより出力の補正方法入手して、船上計測マニュアルに記載しておく必要がある。

3. IAPP 証書(国際大気汚染防止証書)の再発給

本船での計測結果をまとめて官庁検査官(又は代行機関)に提示して規則に沿って機関を運転維持していることを示す必要がある。

NO_xに関する証書発行と検査の流れはお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 (EIAAPP の発給)
- 2) 船内における初回検査 (NO_x 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_x 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、又はダイレクトモニタリング法による確認検査

今回のシミュレーション試験は、上記 1) 製造試験データと上記 3) ダイレクトモニタリング法による試験データとの比較を行った結果、前述 2.3 3) ②に示した様に両者の整合性が保たれており、MEPC 49/22/Add.1 ANNEX 5に規定された NO_x 規制値内であることも検証できたので、シミュレーションではあるが、IAPP 証書を再発給してもらった。

4. シミュレーション試験の評価

1) IMO ガイドライン

MEPC49/22/Add.1 ANNEX 5に規制されているガイドラインに沿ってシミュレーションを行った結果、改善点はあるが使用可能であることが検証された。通常の工場試験では当然であるが、実際に運航業務を行っている傍らで、機関乗組員の方々が自らの手で NO_x ダイレクトモニタリング法で検証実施出来たことは非常に有意義であった。

2) IMO 規制値と主機関製造

工場試験の NO_x データと航行時の NO_x データに差が見られた。特に工場試験データはファミリーエンジンとしての扱いである場合は、回転数やプロペラピッチの状態により試験条件が異なる為、全く同値にはならなかったが、IMO 規定値の範囲内であった。

機関製造者側及び運航者側がしっかりした技術管理を行っている成果であると評価している。

加えて、現在発効になった IMO 規則を十分に満足できる主機関が国内製造者から提供できていることが証明されたと考えている。

- 3) 総合的には、現 IMO 規定のダイレクトモニタリング法で再認証までの一連の作業が終了し、目標は達成したと思っている。

5. IMO への提言

実際にシミュレーション試験を行った結果改善すべきと思われる項目を取り纏めて、5 年間の見直し期間に IMO に提言する方向で動いている。以下に主要項目例を示す。

1) ジルコニア NO_x センサの位置付け

MEPC 49/22/Add.1 ANNEX 5 では、Chemiluminescent Detector (CLD) 又は Heated Chemiluminescent Detector (HCLD) を使用して測定することが記述されているが、これらのセンサは周囲温度の影響を受け易く、設置場所の制約や高価なこと等もあって、本研究では同等の性能を有し、工業的に使用可能で安価なジルコニアセンサを使用し実用上問題ないことを検証したので、本方式での実施を本文に追加するように提案する予定。

2) 計測の簡易化

NTC に規定されている計測は 1 Hz 計測が要求され、これを満足する為には次の 2 項目を満足させる必要がある。

- ① センサ類は、高速追従型及び高分解能が要求される。例えば温度計センサは保護管等の制約からは、高速化は難しく、見直しが必要と考える。
- ② 又、記録装置は一般に既設のデータログシステムと併用したいが、高速データ収集が可能なものが一般化されていない為、特別仕様のデータログシステムが必要となる。

以上のことから、1 Hz 計測をしなくても、既存の機関データログシステムで計測対応しても十分 NO_x の鑑定は可能であるのでその様に提案する予定。

3) 船上計測マニュアルの作成

MEPC 49/22/Add.1 ANNEX 5の規定によれば、ダイレクトモニタリング方法を記述した計測マニュアルを作成・提出して承認を得ておく必要がある。このマニュアルは今回のシミュレーション試験では、未作成であるが今回のシミュレーション試験を通してその必要性を感じた。

一方、NO_x計測機器の校正を毎3～6ヶ月に行う様MEPC 49/22/Add.1 ANNEX 5にされているし、計測も毎月実施して記録しておく必要があり、乗組員の交代があっても確実に実施できる様に計測マニュアルが必要である。

4) 機器の校正インターバル

NTCには、計測機器の校正を毎3～6ヶ月に行う様規定されているが、航行中又は停泊中にセンサ類を校正することは ①船内で専門的な知識持つ者が実施する ②陸上支援部隊により校正を行う ③陸揚げして校正を依頼する等の何れかになると考える。

燃料流量計センサも毎6ヶ月の校正対象品となっており、実施する場合は大変な作業量が予想される。

これら何れの方法を採用しても本船の作業負担は免れないので、本船の定期(中間)検査時に実施することを提案する予定である。

5) 放出量数値化の代替案

MAPOL73/78 ANNEX VIでは、放出量を g/kwh 単位で規制していますが、この場合、基本的には排ガス流量推定値(燃料流量と燃料組成)と軸出力を計測して算出する必要がある。この2項目の計測は規則に忠実に実施した場合、結構大変な面がある。そこでこの2項目を計測せずに簡易的に放出量の指標となる13%酸素濃度換算NO_x濃度(ppm)で数値化してg/kwhと相関があることを調査して代案として提案している。

6. 今後の課題

1) 燃料の多様化対応

(海外積地) 燃料油の性状又は蒸留方法によっては窒素(N)分の多い燃料油がある。工場試験ではNO_x値が規制値内であっても、これらの燃料を使用して運航時に計測してみると規制値を超えるものがある。その原因は、燃料中の窒素分の増加、不均一な燃焼部分による Thermal NO_xの増加及び計測誤差の集積による増加である。今後も追跡調査が必要。

2) 脱硝方法への対応

NO_x低減の為の方策として水噴射、水エマルジョンやSCR装置等が開発され実用化されているがこの場合も同様にNO_x値の検証が必要である。これらの装置の帰属に関しては今後の決定を待つ必要があるが、何れにしるパラメータチェック法を採用する場合は機関と同様にチェックするパラメータが追加されるのは言うまでもない。

3) 機関記録装置との連携

今回の試験では、本船側のデータローガではNO_x関連を追加できる予備チャンネルが無かったので、試験用のデータローガを別途準備したが、時間同期を使用する為にデータを整理して計算するまでかなりの編集時間を要した。

NO_xの計測に当たっては、前述の項目を接続できる予備チャンネルを建造時から標準装備することも必要となってくると思われる。

逆に認定されたNO_x計測装置を搭載したとしても、機関の出力や回転速度等のデータを必要とするので、いずれにしろ機関記録装置にはデータ通信機能が必要になると思う。

一連のシステムとして再構成して機器を纏めて行く必要がある。海外製品では認定の申請が出されているようであるが、国内ではその動きは無い。

4) 排気管への対応

現時点で建造中の船舶に即ダイレクトモニタリング法を採用する船舶は無いと思われるが、規制が厳しくなってきた場合、機関単体で規定を満足するのは難しくなってくることが予想される。

この場合最終的にダイレクトにモニタすることが必要になってくる。

今後の対応策として、建造時にMEPC 49/22/Add.1 ANNEX 5、Appendix 1に記載の160mm(外形)のフランジを標準装備することが必要かと思う。

海外の造船所では、フランジを標準装備することもあると聞く。

5) 多数機関搭載船への対応

多軸船や電気推進船の場合、一般に同型機関が複数台搭載される。この場合、同型機関 1 基のみ代表してダイレクトモニタリング法で計測すれば残りの機関は、パラメータチェック法でも認定されると考える。この実証の為に同型 2 基搭載の第 2 船にて、平成 18 年度に実証試験の予定。

7. 結言

MARPOL 条約 付属書 VIの本年 5 月 発効と同時にNO_xの規制が始まった。

海洋環境の諸対策は今からスタートではあるが、我国ではいち早くは2サイクル機関によるIAPP 証書再認証シミュレーション試験に続き、4 サイクル機関の最認証シミュレーション試験が完了し、世界のトップランナーとして位置付けされ様としている。

NO_x対策に加えSO_x、PM やVOC の対策も対象となっており、今後この方面の情勢は常に把握しておく必要があると考える。

今回のNO_xシミュレーション試験(IAPP 証書再認証)が海運界、造船界および船用工業会等に対し種々の動機付けになれば幸いである。

末尾になりましたが、運航の傍ら試験用のNO_x装置で幾度となく試験して頂きました、吉祥海運(株)『千 祥』、カメラライン(株)『ニューかめりあ』及び 摂津海運(株)『菱栄丸』の乗組員の方々にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

NO_xシミュレーション試験実施者 一同

以上

出展： 第1船成果報告書、第2船成果報告書、第3船第1～2回議事録、海技研 第1回MP-3 資料

テーマ 6

NO_x発生に影響を与える重大因子

2005 年 11 月 14 日、12 月 16 日

「船舶関係諸基準に関する調査研究」成果発表会 日本船舶技術研究協会

テーマ6 NO_x 発生に影響を与える重大因子

MP3 燃焼基礎試験チームリーダー 九州大学・高崎 講二

バンカー油中窒素 (N) 分の Fuel NO_x への転換

燃料中窒素 (N) 分の Fuel NO_x への転換率は? . . . 50~60%

(RR/E301 「NO_x モニタリングガイドライン作成のための検証試験」)

バンカー油 (BFO) 燃焼からの NO_x が A 重油 (MDO) より多い理由の一つであるが、Fuel NO_x の全 NO_x 中に占める割合は少ない (1 割程度?)。

しかし . . .

対策をしても Fuel NO_x は減らない . . . 将来その割合は増加する。

高窒素バンカー油 (N 分 0.7~0.8%) の出現も . . .

Thermal NO_x (例えば、空気中の $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$. . . 燃焼による高温熱解離の産物)

(RR/MP3 「船舶の大気汚染防止基準の作成に関する調査研究」)

バンカー油の方が (Fuel NO_x だけでなく) Thermal NO_x も多い傾向

その理由は?

. . . バンカー油火炎の方が不均一でホットスポット (高温部分) が多い。

(Thermal NO_x は燃焼温度、火炎温度に敏感。)

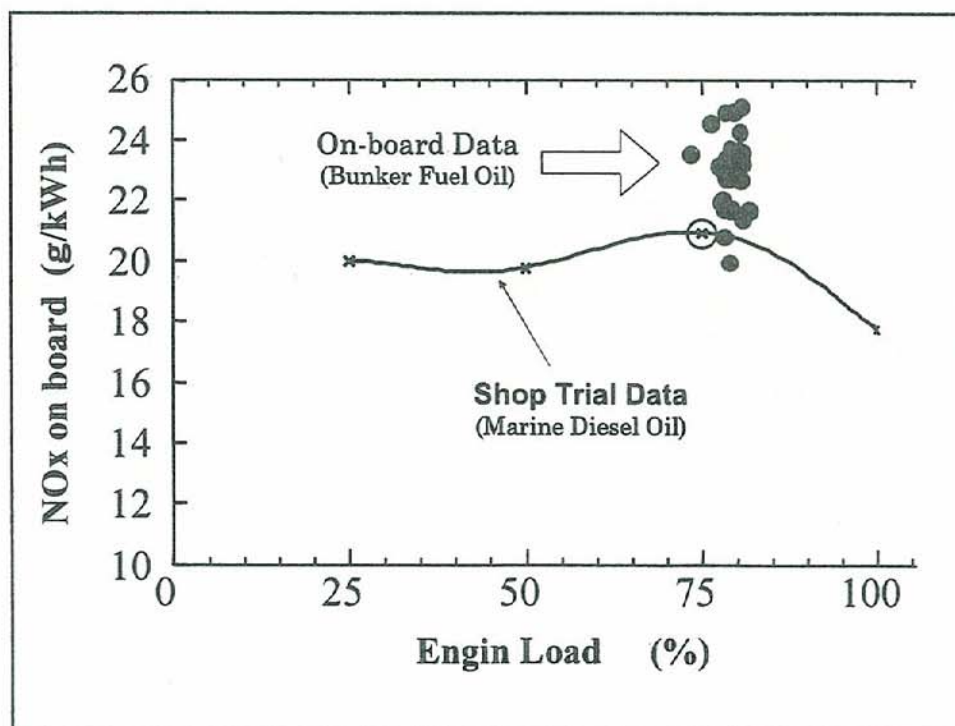
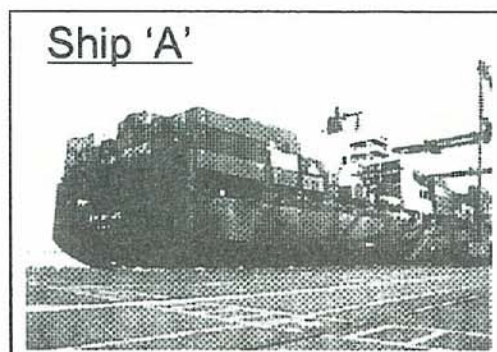
(そこに水添加燃焼の効果も . . .)

A重油（MDO）とバンカー油（BFO）でNO_x発生量は違うのか？・・

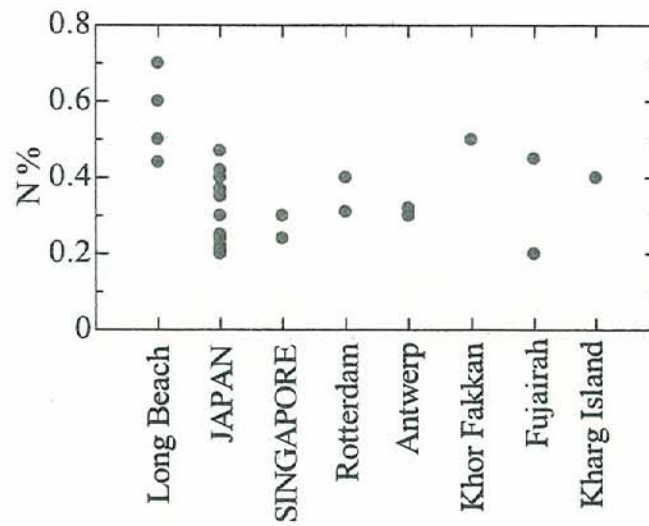
（就航船NO_xモニタリングの結果）

バンカー油燃焼の方がNO_xは多い傾向。

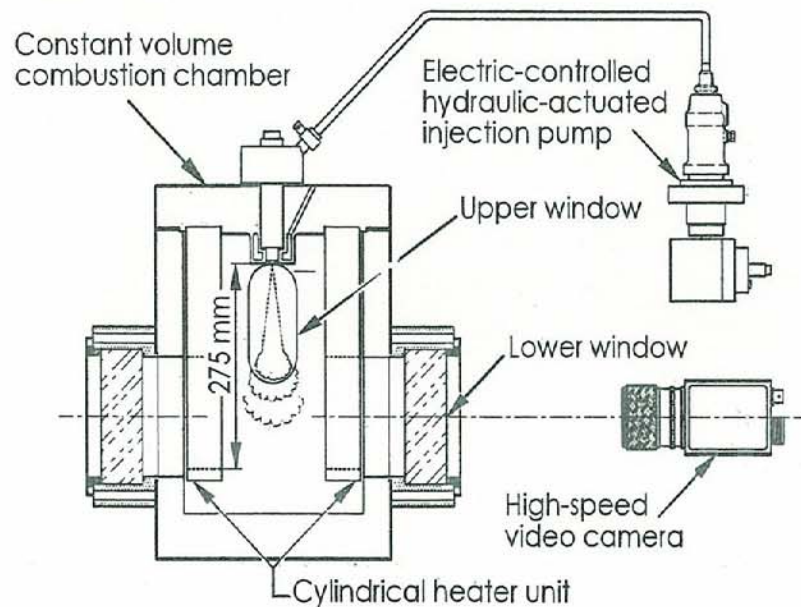
Zirconia type NO_x analyzer

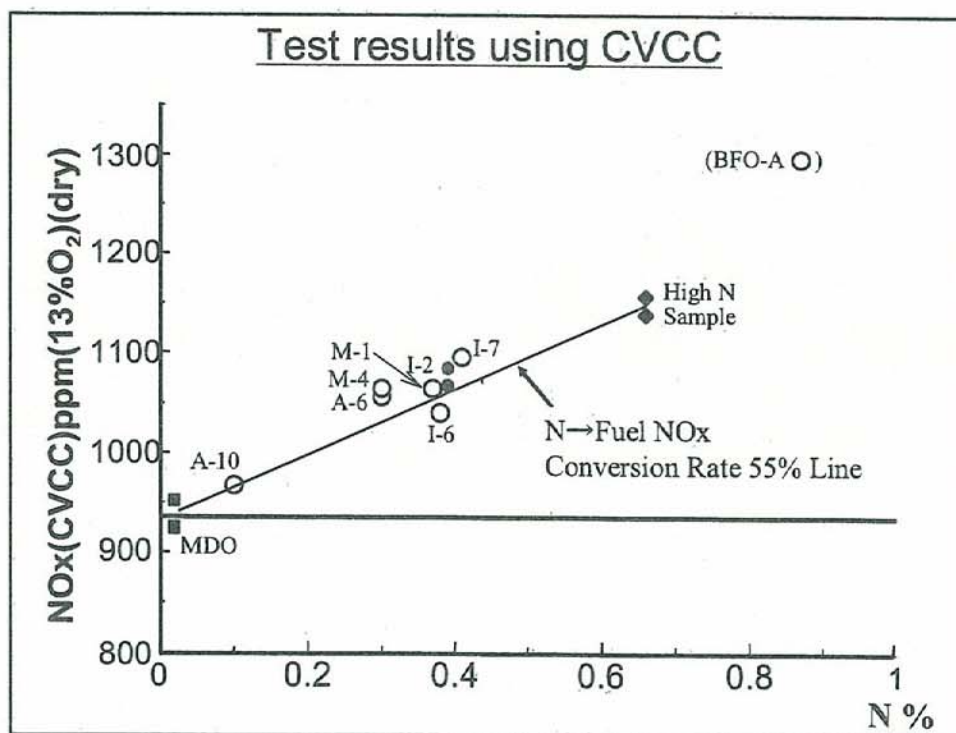
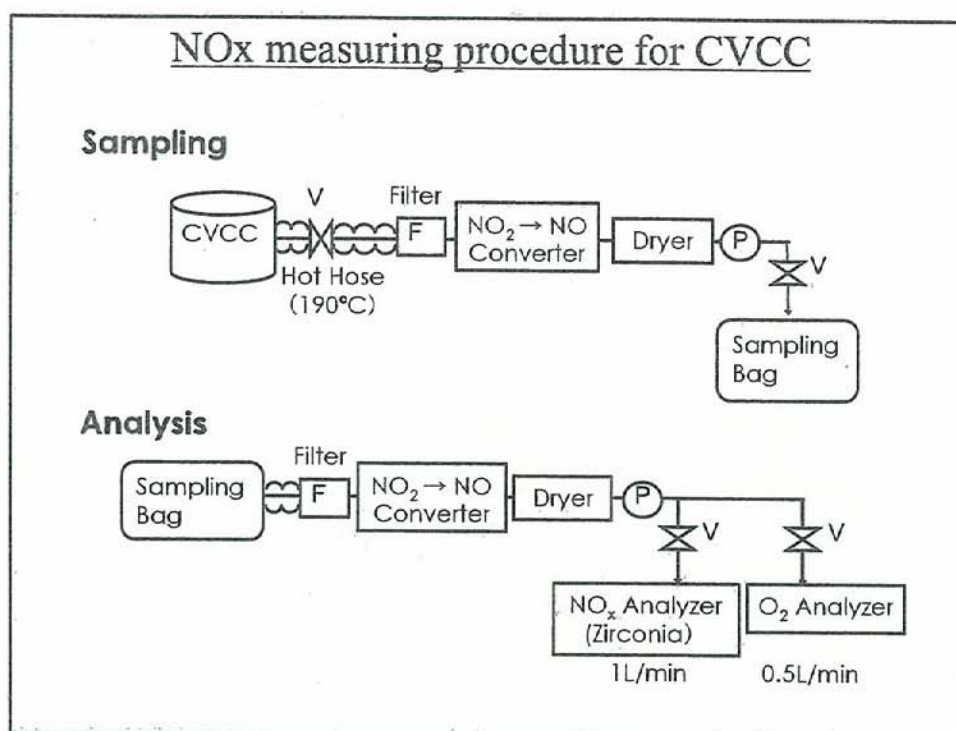


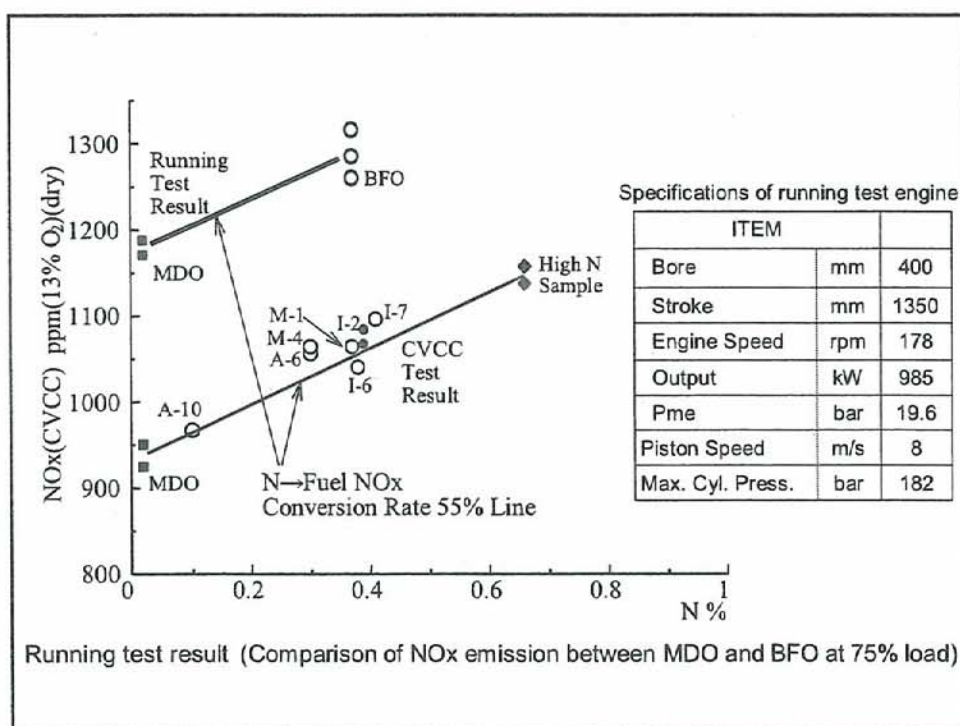
Nitrogen % in bunker fuels from various ports



Constant volume combustion chamber (CVCC)







$$\text{Fuel-NOx (NO}_2\text{) g/kWh} = \text{SFC} \cdot \text{N} \cdot \text{R} \cdot (46/14)$$

SFC = specific fuel consumption

N = nitrogen %/100 in the fuel

R = N to fuel-NOx conversion rate

Molecular weight of nitrogen is 14 and NO₂ is 46.

0.4% nitrogen

180 g/kWh of SFC

55% of conversion rate

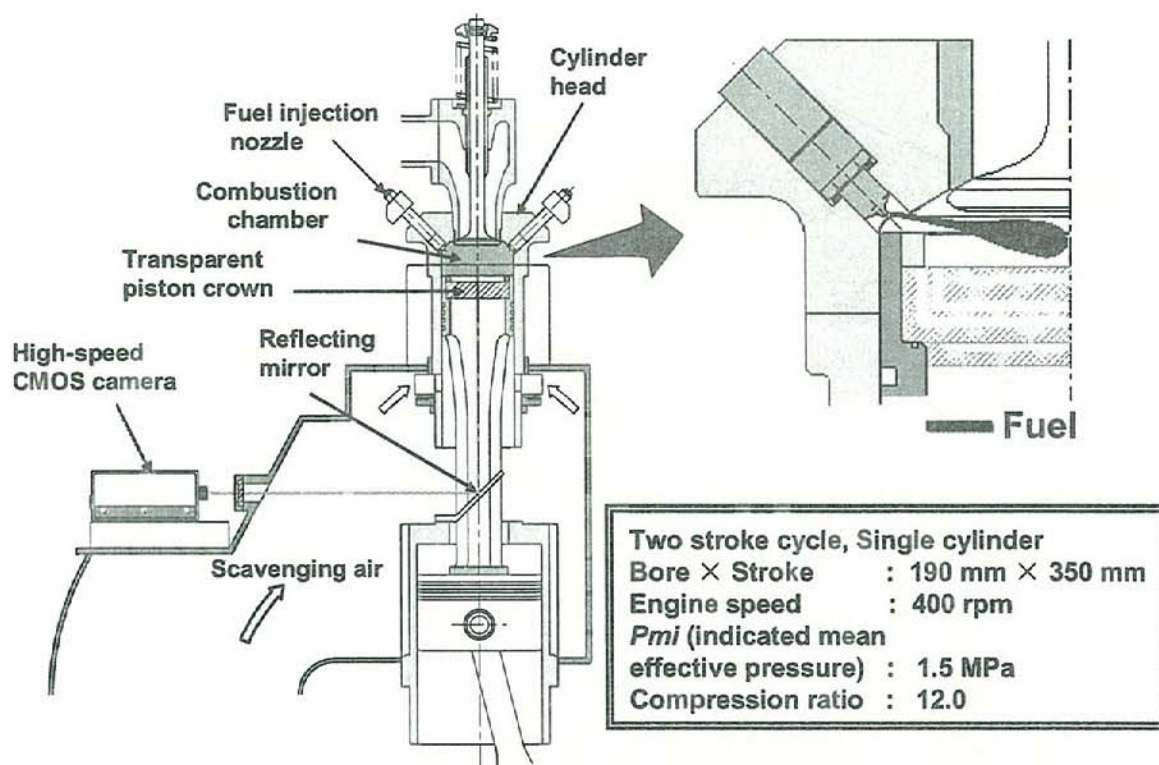
Fuel-NOx is about 1.3 g/kWh.

バンカー油燃焼からのNO_xがA重油より多い理由の一つであるが、Fuel NO_xの全NO_x中に占める割合は少ない（1割程度？）。しかし・・・対策をしてもFuel NO_xは減らない・・・将来その割合は増加する。高窒素バンカー油（N分0.7～0.8%）の出現も・・・

低速2サイクル機関では、BFO（バンカー油・・・通常の・・・）とMDO（A重油）の熱発生率の差は小さい。

バンカー油の方が、Thermal NO_x（例えば、空気中のN₂+O₂=2NO・・・燃焼による高温熱解離による産物）も多い傾向。その原因は？

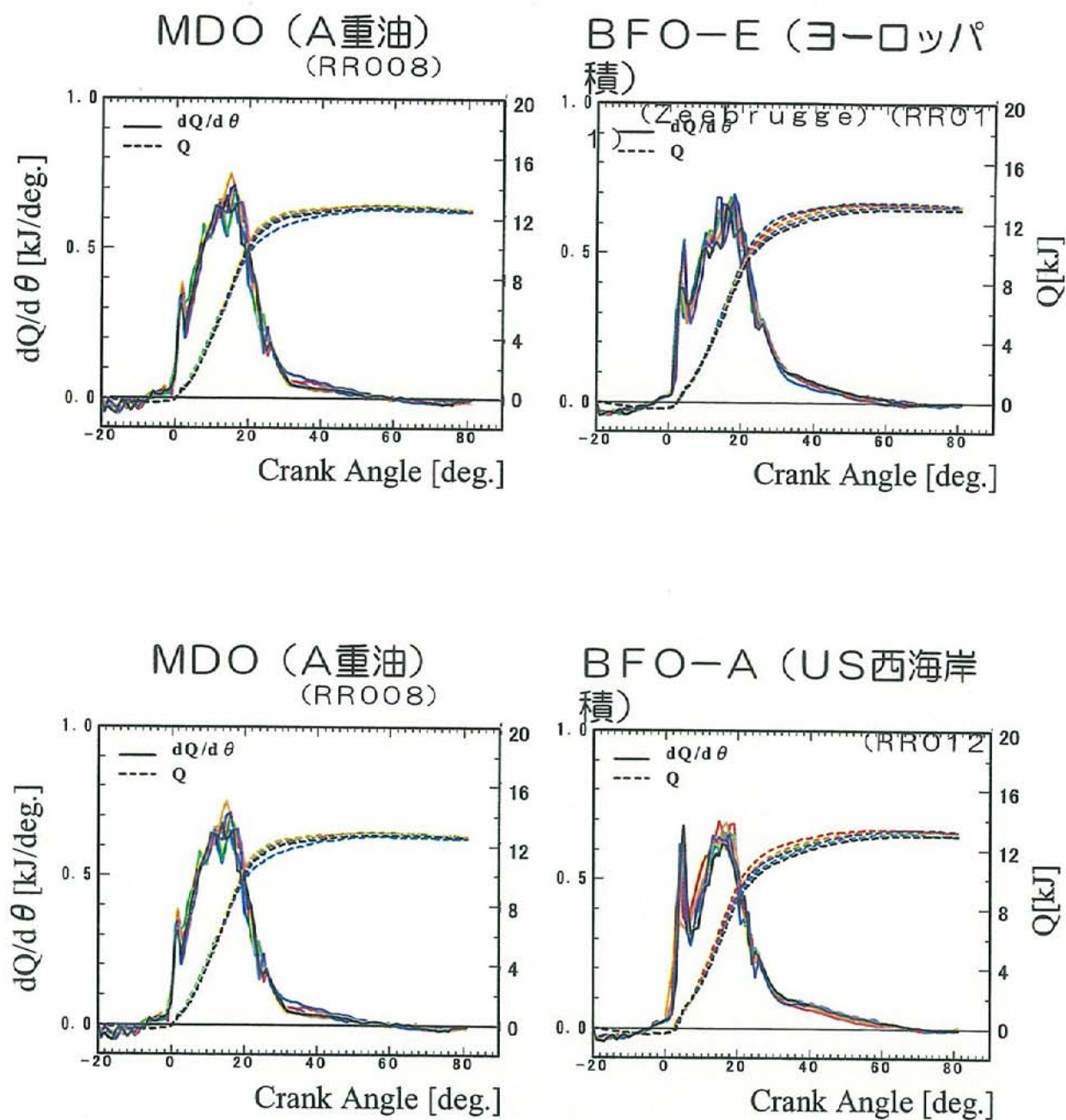
・・・（結果）不均一な火炎温度、ホットスポット
（Thermal NO_xは燃焼温度、火炎温度に敏感。）



		MDO	BFO-E (Zeebrugge)	BFO-A (US West Coast)
Density (@15°C)	kg/m ³	843	988	986
Kinematic Viscosity(@50°C)	mm ² /s	2.5	350	320
Sulfur	wt%	0.4	2.6	1.3
Nitrogen	wt%	0.02	0.38	0.87
Water	wt%		0.1	0.1
Ash	wt%		0.1	0.05
Residual Carbon	wt%	0.1	13	12
Lower Calorific Value	MJ/ kg	42.5	40.3	40.8
CCAI	—		850	849

Fuel properties

熱発生率



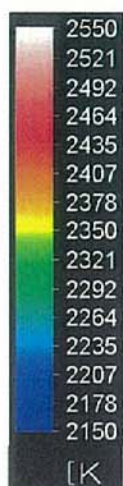
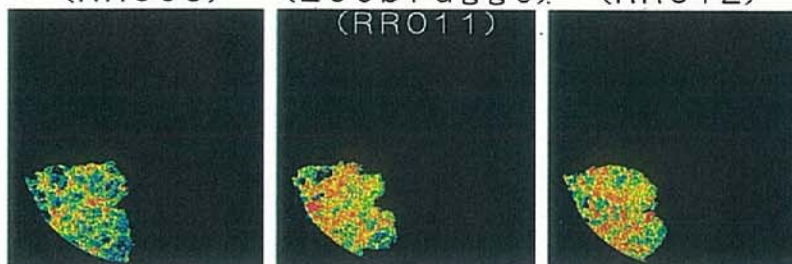
火炎温度分布 (第5サイクル)

MDO
(A重油)
(RR009)

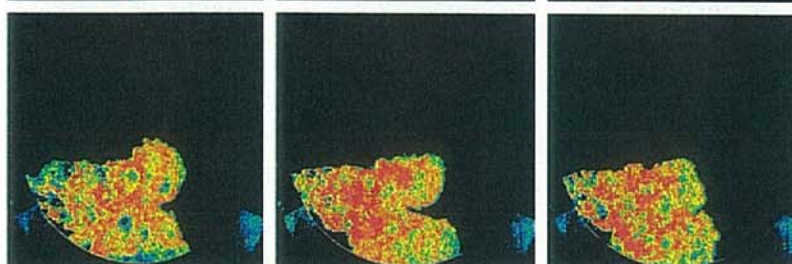
BFO-E
(ヨーロッパ積)
(Zeebrugge)
(RR011)

BFO-A
(US西海岸積)
(RR012)

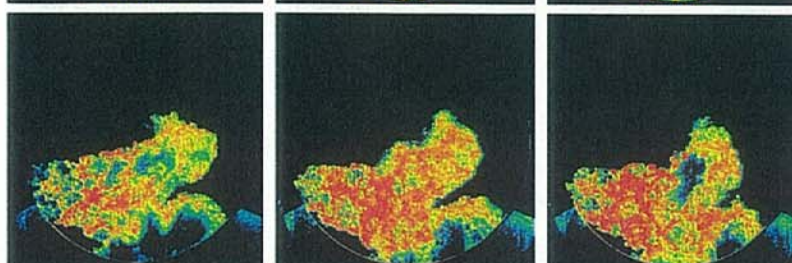
4
(ATD6)



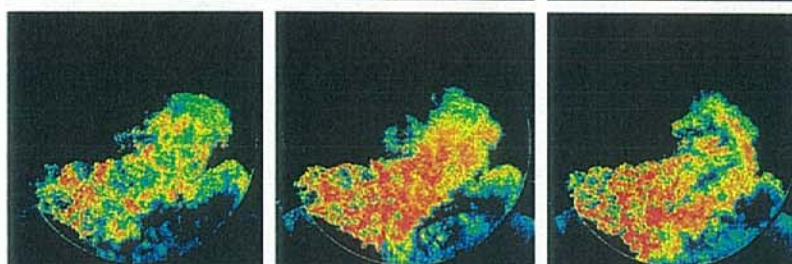
8
°



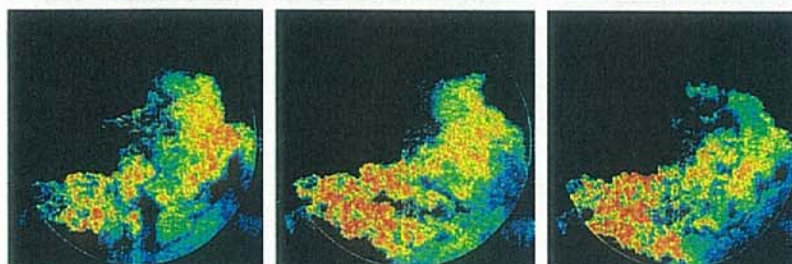
12
°



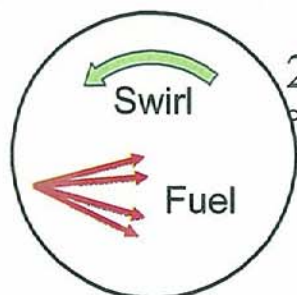
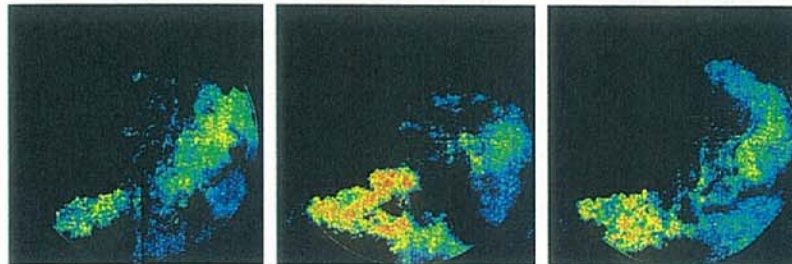
16
°

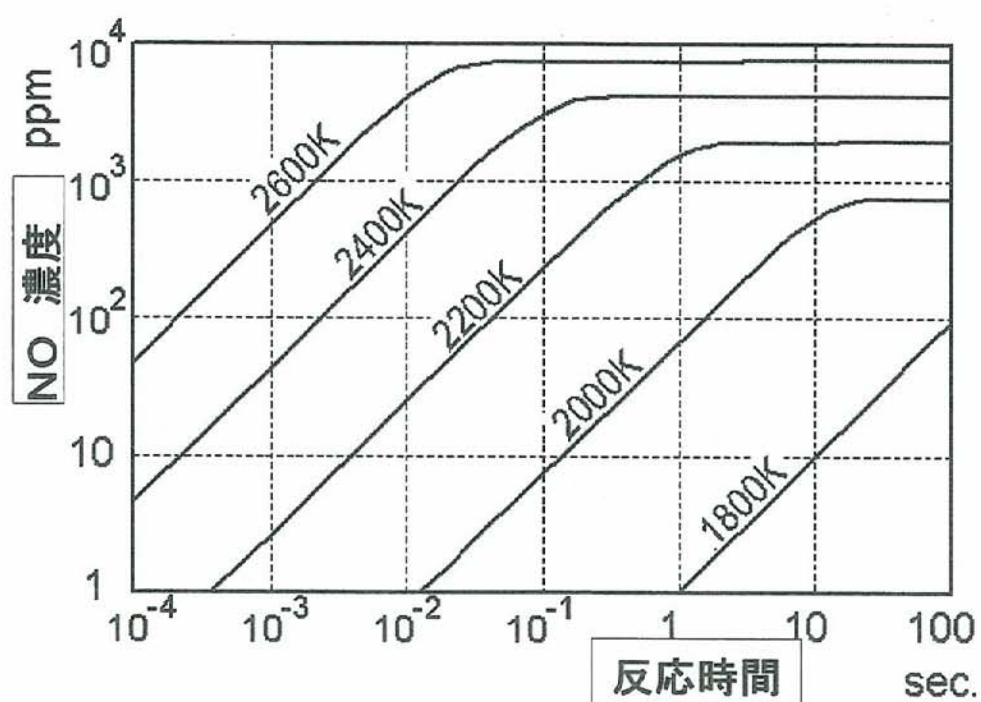


20
°

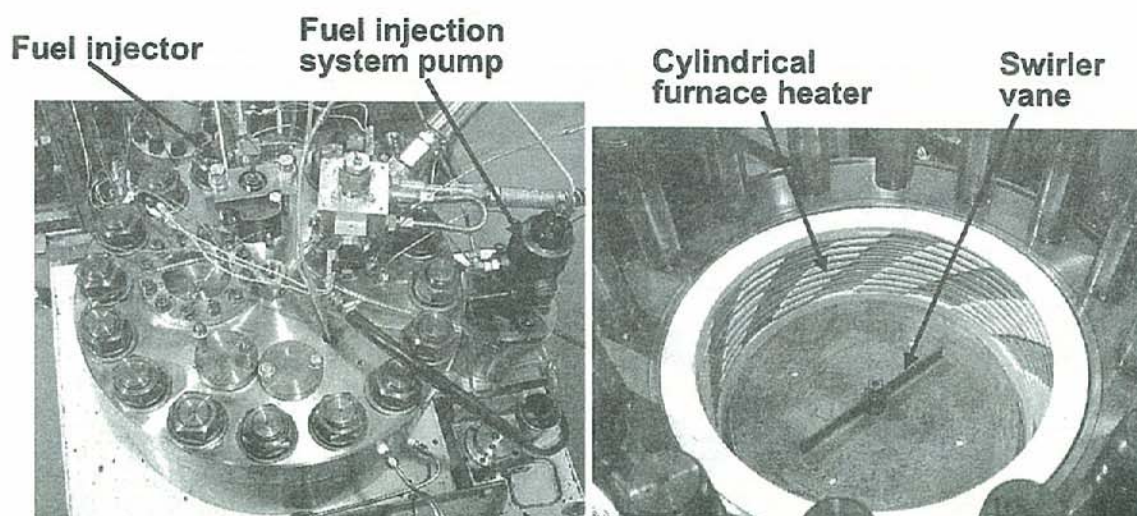


24
°





NO生成量と燃焼温度の関係の例



NO_x測定用大型定容燃焼装置CVCC（燃焼室内径260 mm）

テーマ 1

今後の船舶排気ガス対策について ーIMO における日本の役割ー



今後の船舶排気ガス対策について

— IMOにおける日本の役割 —

国土交通省海事局 安全基準課長

安藤 昇

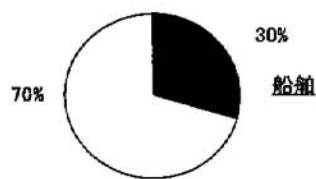
本日の話題

1. 船舶からの排出ガスの現状
2. 船舶排ガス規制の歴史とスケジュール
3. 次期排ガス規制の検討課題
4. 船舶からの排ガス規制
 4. 1 NO_xの規制
 4. 2 SO_xの規制
 4. 3 PMの規制
5. 次期排ガス規制に向けた我が国の対応

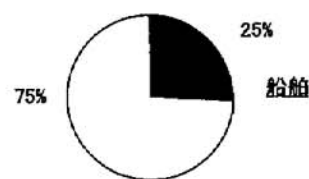
1. 船舶からの排出ガスの現状

①窒素酸化物(NO_x):約72万t (国内総量比約30%)

②硫黄酸化物(SO_x):約27万t (国内総量比約25%)



窒素酸化物放出量



硫黄酸化物放出量

2. 船舶排ガス規制の歴史と今後のスケジュール

- 1988 IMOにおいて船舶からの大気汚染防止についての検討を開始
- 1997.9 MARPOL73/78条約附属書VI「船舶からの大気汚染の防止」を追加する1997議定書を採択
- 2000.1 NO_x 規制適合エンジンの設置開始
- 2005.5.19 1997議定書発効
- 2005.7 次期排ガス規制の検討開始を決定
(第53回海洋環境保護委員会)
- 2007 次期排ガス規制の検討終了予定

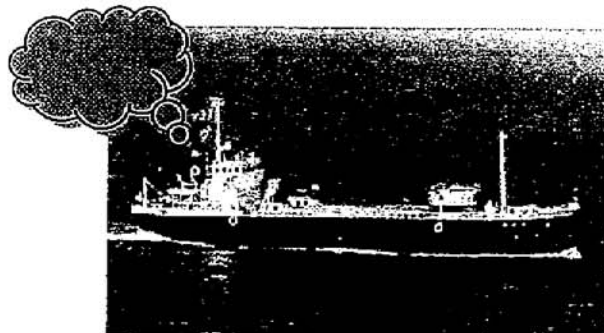
3. 次期排ガス規制の検討課題

- NO_x低減技術の検討及び次期規制値の提案
- SO_x低減技術の検討及び次期規制値の提案
- 粒子状物質(PM)の規制に係る現状調査
- ディーゼルエンジン以外のエンジンの規制
- 現存船へのNO_x及びPM規制



2006年4月開催のBLG10から検討を開始

4. 船舶からの排出ガス規制



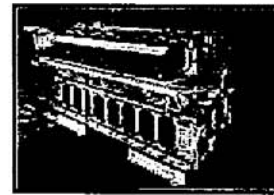
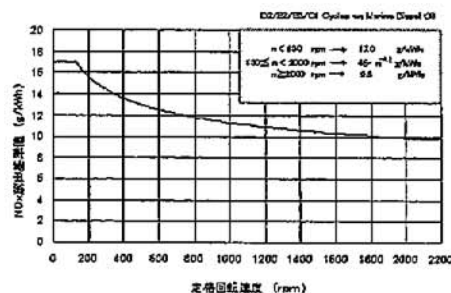
4. 1 NO_xの規制



現行規制 → ディーゼルエンジンの規制

■ 現行規制の削減目標

90年代初頭のエンジンに比べて、NO_x排出性能の30%減を達成するエンジンを搭載



4. 1 NO_xの規制



現行規制の対象

(規制対象のエンジン)

- 130kWを超えるディーゼルエンジン

(規制対象の船舶)

- 外航船の場合

2000年1月1日以後に建造に着手された船舶

- 内航船の場合

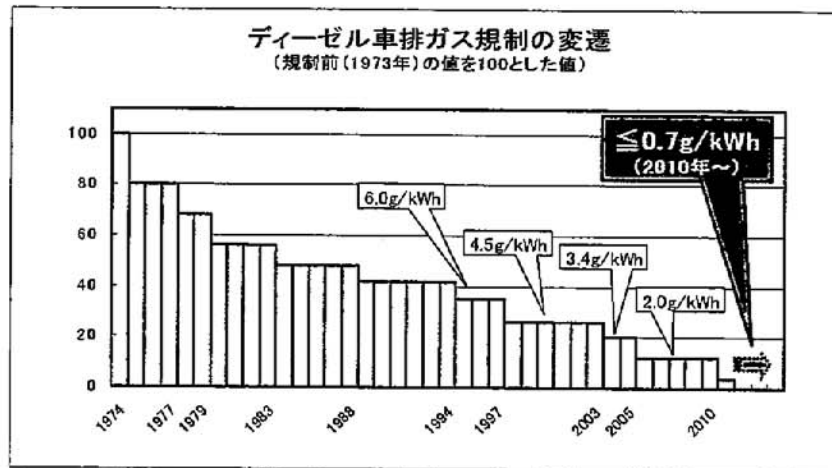
2005年5月19日以後に建造に着手された船舶

4. 1 NO_xの規制



(参考)ディーゼル車の排ガス規制

次世代のNO_x削減目標は、限りなくゼロエミッション



4. 1 NO_xの規制



今後のNO_x規制の論点

- 次期規制値をどの程度にするのか？
- 次期規制に対応するためのNO_x低減技術？
- 現存船も規制対象とするのか？
- ディーゼル以外も規制対象とするのか？

4. 2 SO_xの規制



現行規制 → 燃料油の使用規制

■ 現行規制の削減目標

国際的な規制の枠組みの導入

→ 硫黄分濃度 4.5% 以下
(燃料油の平均硫黄分濃度 約2.8%)

4. 2 SO_xの規制



現行規制の対象

(基準適合燃料油の使用規制)

海 域	硫黄酸化物の濃度
バルティック海海域	1. 5% 以下
それ以外の海域	4. 5% 以下

※すべての船舶に適用

(燃料油供給証明書及び試料の備置き規制)

船 舶	備置き期間
燃料油供給証明書	3年間
試 料	燃料が消費されるまでの期間 (ただし、最低1年間)

※国際航海に従事する総トン数400トン以上の船舶に適用

4. 2 SO_xの規制



今後のSO_x規制の論点

- 次期規制値をどの程度にするのか？
- 今後の規制の方向性？
 - ①燃料油の規制を今後も続けるのか？
 - ②後処理装置の設置を推進していくのか？
- SO_x排出規制海域(硫黄分濃度1.5%)とその他の海域(硫黄分濃度4.5%)との規制値の乖離をどうするべきか？

4. 3 PMの規制



現行規制→ 未規制

- PM(粒子状物質)とは何か？
 - すす(燃焼に伴う黒煙)？
 - SOF(未燃の燃料や潤滑油)？
 - 硫酸ミスト(燃料中の硫黄分からの生成物)？
- PMの規制の検討に必要な調査研究
 - ①PMの定義
 - ②排出量の算定
 - ③環境への影響評価
 - ④規制手法の検討

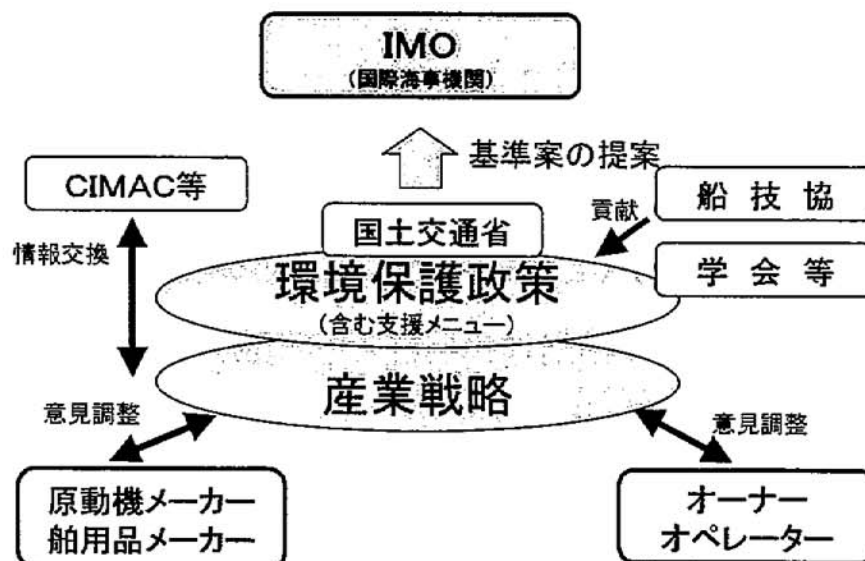
4. 3 PMの規制



今後のPM規制の論点

- 何を対象に規制すべきか？
→ PMには様々な種類がある。
- NO_x、SO_xの低減に伴い、PMも減るのか？
→ そうであるとして、それだけで十分か？
- 環境への影響をどのように評価するのか？
→ 相当の時間と費用がかかる？

5. 次期排ガス規制に向けた我が国の対応





おわり

国土交通省海事局安全基準課

SCR脱硝装置ガイドライン日本案

研究計画

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 NO_xテクニカルコード、ISO規格等を基にNO_x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。

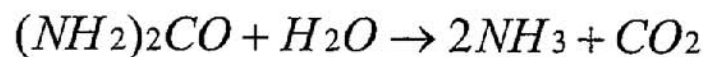
3. IMOへ日本案ドラフト提出

作成したドラフトをInformation PaperとしてDE48へ提出し、各国のコメントを求める。

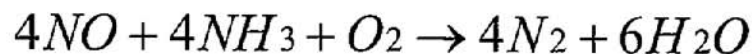
アンモニアによるNO_x還元反応

訂正

尿素の加水分解



NO_x還元反応



用語集

テーマ	略語・用語	
3	NO _x	窒素酸化物。一般的に排ガス中では NO、大気中では次第に酸化されて NO ₂ となる
3	SO _x	硫黄酸化物。欧米では、酸性雨の原因物質として削減要求が強い。
3	PM	Particulate Matter。粒子状物質。未燃性分など固体分や微小液体分(エアロゾル)を含む非ガス状物質全般を言う。大気環境中では、人体に影響がある粒径 10 μ 未満(SPM 浮遊粒子状物質という)とそれより大きな粗大粒子(または降下ばいじん)を区別することもある。
3	GHG プロトコル	温室効果ガスプロトコルイニシアチブ。その目的は、オープンで包括的なプロセスを通じて、国際的に認められた事業所ごとの温室効果ガス排出量の算定と報告の基準を開発し、利用の促進を図ることであり、1998 年に持続可能な発展のための世界経済人会議 (World Business Council for Sustainable and Development: WBCSD) と世界資源研究所 (World Resource Institute: WRI) によって共同して集められた、事業者、NGO、政府機関といった複数の利害関係者の協力によって作成された。強制力はないが、多くの企業の環境レポートにおいてその算定方法が使用されている。
3	EPA	米国。環境保護庁。連邦全体に対する規制を作成するとともに、大気環境基準の達成状況の悪い地域の大気環境改善を目的として、州政府に対して SIP(State Implementation Plan)の作成を命じることができる。
3	BACT	Best Available Control Technology。EPA における大気汚染防止技術の考え方。利用可能な最善の技術と訳され、比較的対策コストがかかるが、削減率の高い技術を言う。大規模新設設備に対して適用される。
3	DP	Diesel Particulate。ディーゼル粒子。ディーゼル燃焼において、液体燃料が気化せず、液体のまま燃焼した場合に発生する炭素粒子。ぶどうの房状の形状(クラスター型という)をなすことが多い。
3	SOF	Soluble Organic Fraction。有機溶剤可溶分。未燃の燃料や潤滑油で構成される。エアロゾルとなっていたり、DP の表面に付着していることが多い。
3	PM ₁₀	PM のうち粒径 10 μ 以下の粒子を言う。微小粒子はそのまま人体の肺胞まで侵入し、アスベストなどと同じく肺がんや呼吸疾患を引き起こす。米国では、最近では更に粒径の小さい PM _{2.5} (2.5 μ 以下の粒子)を問題にする場合が多い。
3	希釈法	排ガスを清浄な空気で希釈することで、温度を下げてから粒子状物質を測定する方法。エンジン排出直後の排ガスをそのままフィルターする直接法に比較して、二次粒子や SOF 分を正確に測定できると言われている。自動車排ガスを対象に開発されており、希釈トンネルやシャーシダイナモなど、大規模な測定装置が必要である。

3	オフロード規制	自動車に対して、船舶、航空機、ディーゼル機関車、建設用機械、芝刈り機などに対する規制を、オフロード規制という。国内法においては、ナンバープレートを付けていないエンジン全般に対しての規制を指す。
3	DPF	Diesel Particulate Filter。ディーゼル粒子を捕捉するために、排ガス出口などに設置される Filter。国内においては、自動車 NO _x ・PM 法に基づき、既存車に対しても装着が義務付けられたが、その実質性能が問題となった。船舶においても一部 PCC など で適用例がある。
3	Visible Smoke	目に見える煙。黒煙・白煙など。大気環境中での測定法としてリングルマン指数(標準版との比較を目視で行う)、排ガス中の測定法としてポッシュ法(白い紙に一定量の排ガスを採取後の色の变化を反射光などで測定)などがある。直接法、希釈法に比較すると、感度・精度ともに劣ると言われている。
3	コモンレール	ディーゼルの各気筒に設置されている燃料噴射弁の手前に、高圧力で燃料を貯める共通の空間を設置するシステムのこと。噴射弁からの吹き始めから吹き終わりまで均一の高圧力が得られるため、燃料噴射率を制御しやすい。高回転の自動車用エンジンでよく用いられている。
3	SPM 大気環境基準	PM に関して政府が定める環境保全行政上の目標。人の健康を保護し、及び、生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準。1 時間値の 1 日平均値が 0.10mg/m ³ 以下であり、かつ、1 時間値が 0.20mg/m ³ 以下であること(48. 5.8 告示)とされている。粒径は 10 μ 以下に限定されている。
4	排気ガス洗浄装置	船舶が SO _x 排出規制海域内で、船舶からの硫黄酸化物の総排出量を 6.0gSO _x /kWh 以下(硫黄酸化物の排出総重量に換算したもの)に低減するための排気ガス洗浄処理装置。
4	SCR (選択接触還元) 脱硝装置	NO _x を含む排気ガスにアンモニアなどを注入・混合し、触媒層を通過させ、アンモニアにより NO _x を選択的に還元し、窒素と水に分解して排出する装置。
4	NO _x テクニカルコード	船用ディーゼルエンジンが MARPOL 73/78 条約付属書 VI 第 13 規則の NO _x 排出制限値に適合するように、その試験、検査及び認証に関する要件を定めたもの。
4	MEPC	IMO (国際海事機関) の Marine Environment Protection Committee (海洋環境保護委員会) の略語
4	DE	IMO (国際海事機関) の Sub-Committee on Ship Design and Equipment (設計設備小委員会) の略語
4	BLG	IMO (国際海事機関) の Sub-Committee on Bulk Liquids and Gases (ばら積み液体及びガス小委員会) の略語
4	リークアンモニア	SCR 脱硝装置において、NO _x 濃度に対して還元用アンモニア注入量に際し、排気ガス中の未反応アンモニアをリークアンモニアという。アンモニア注入量が増加させ NH ₃ /NO モル比を上昇させると、脱硝効率は上昇するが、リークアンモニア量が増加する。

4	FTIR	フーリエ変換赤外線分析計 Fourier transform infrared レーザ光による波数モニタ・移動鏡を有する干渉計・コンピュータによる電算処理部を有する分析計で、赤外線を分子に照射して、赤外線を吸収する度合いを調べることによって化合物の構造推定や定量を行う装置。
4	NDUVR	分析計 Non dispersive ultra violet resonance ISO 8178 Part1 改訂版のアンモニア計測法に記載があるもの。

執筆担当者

田中 孝雄	大江 清登	米倉 信義
中谷 博司	川上 雅由	華山 伸一
岸本 幸雄	高崎 講二	岡部 亮介

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

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