

船用脱硝装置の現状と動向

池野一成*, 岡田大樹*, 佐々木正*

Current Status and Trends of Marine NOx Removal System

IKENO Kazunari*,
OKADA Daiki*,
SASAKI Tadashi*

In recent years marine exhaust gas regulations in response to the growing interest in global environmental conservation has become increasingly severe. Because it is pointed out the need for regulation in the International Maritime Organization Development of denitration apparatus which is one of NOx removal system is progressing research. In this paper I will discuss the current status and trends of NOx removal system equipment based on the regulations of the International Maritime Organization Development.

キーワード 環境問題, 排ガス規制

1. はじめに

近年, 世界的な環境保全への関心の高まりを受けて船用排気ガス規制は厳しさを増している。船舶から排出されるNOx(窒素酸化物)は, 主に船舶のエンジンにおける燃焼過程で酸素と空気中の窒素が反応することにより発生する。NOxは健康被害を引き起こすもので, 陸上においては発電所などの固定排出源やトラックでは既に厳しい規制が導入され, それに対応するNOx削減技術 SCR(Selective Catalytic Reduction: 選択還元触媒脱硝装置)等が確率されつつある。船舶から排出されるNOxについても, 規制の必要性が国連の専門機関である国際海事機関(International Maritime Organization:IMO)で指摘され, 検討されている。

船舶では陸上発電所等に適用されているNOx削減技術と異なり, 排気ガス後処理装置(脱硝触媒)を設置できるスペースが限られているため装置全体がコンパクトであること, 波浪による大きな振動に曝されると,

還元剤は取扱いの容易性と安全性を考慮して決定しなければならないなど, これらの制約要因に適したNOx削減技術が必要となる。そのために, SCR触媒の脱硝性能についてエンジンメーカーでは, 技術開発を進めている。本稿ではIMO規制をふまえその現状とこれからの動向について練習船若潮丸の脱硝装置のデータも交えて考察する。

2. 排ガス規制の背景と目的

2.1 IMOによる規制について

1990年代に入り, 船用ディーゼル機関からの排出ガスの規制に関する議論が活発になった。環境規制の厳しい地域では独自の規制を設け, 酸性雨に悩む北欧ではNOx排出レベルに応じた入港料割引制度を導入する国も現れた。次第に国際的に統一した規制を行うべきとの意見が強まり, IMO条約締結国会議において1997年9月に採択されたMARPOL条約改正付属書VIが2005年5月に発効し, 2000年1月1日以降に建造された新造船に搭載される出力が130Kwを超えるディーゼル機関にNOx排出規制が適用されることとなった。

その後, 見直しの審議が重ねられ, 2008年10月,

*練習船若潮丸

e-mail:ikeno5176@nc-toyama.ac.jp

e-mail:okada@nc-toyama.ac.jp

e-mail:sasaki@nc-toyama.ac.jp

IMO の第58回海洋環境保護委員会 (MEPC58)において、さらに厳しい2次及び3次規制案が採択された。これにより、2011年1月1日以降に建造される新造船は、NO_x排出量を1次規制値から約20%程度削減する2次規制が適用され、2016年1月1日以降建造の新造船は指定海域ECA (Emission Control Area:排出規制海域)において、NO_x排出量を1次規制値から80%削減する3次規制が適用されることとなった。NO_x規制の概要を図1に示す。

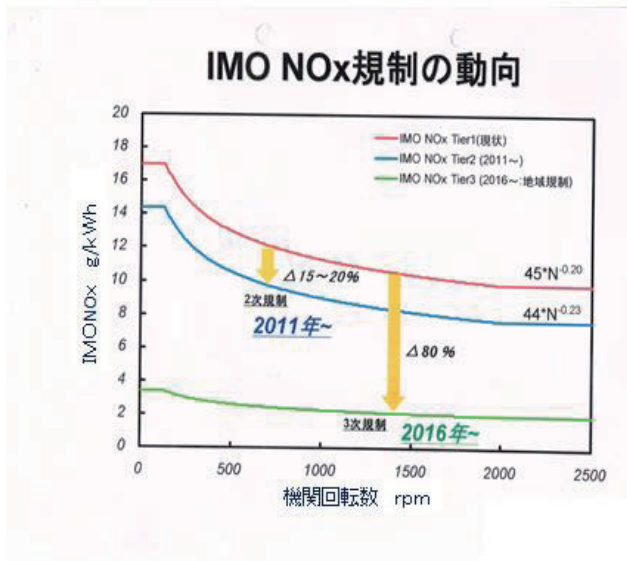


図1 NO_x排出規制

2. 2 IMO 排気ガス 2次規制・3次規制の概要

(1) 2011年より実施される新造船に対する2次規制の概要は次のとおり。

- 130rpm: 14.4g/kwh
(現行1次規制値15.5%減)
- 130rpm以上2000rpm未満:
44.0×n(-0.23)g/kwh
(現行1次規制値15.5%~21.8%減)
- 2000rpm以上: 7.7g/kwh
(現行1次規制値21.8%減)

(2) 2016年から実施予定の新造船に対する概要は次のとおり。

- 130rpm未満: 3.4g/kwh
(現行1次規制値80%減)
- 130rpm以上2000rpm未満:
9×n(-0.2)g/kwh

- (現行1次規制値80%減)
- 2000rpm以上: 2.0g/kwh
(現行1次規制値80%減)

2. 3 ECA 海域

2012年10月現在、排出指定海に指定されているのはバルト海、北海、米国及びカナダ沿岸であり、米国領カリブ海周辺も2011年7月にECAに指定され、2014年より規制が適用される予定である。ECAについては、将来的にはヨーロッパ沿岸、地中海、黒海、シンガポール沿岸等にも適用する議論が行われており、拡大の傾向にある。日本周辺海域に関してもECAに導入するかどうかということについて、国内でECA技術検討委員会を組織し、2009年度から議論がなされてきたが、大気環境のシミュレーションの結果、既存の規制の継続と将来の使用燃料油の規制強化等により、ECA設定を追加する効果は限定的であるという予測から現時点でのECA設定は見送られることとなった。ECA海域を図2に示す。



図2 ECA海域

3. 3次規制対応技術

NO_x規制値は2.2に示したように機関回転数により変化し、大型低速機関における規制値が緩やかなものとなっている。1次規制は主機関への燃料噴射系及

び燃焼室の設計と燃焼マッチングによる技術で対応可能なものとしており、大型2サイクル低速機関の高温高圧燃焼を基本として低燃費特性に配慮したものであった。2次規制値は1次規制案を取りまとめ時点において開発済み及び開発中の主機関への対応技術で対応可能な値を目標値としている。しかし3次規制に対してはディーゼル機関本体の改良のみでは対応困難で、種々の環境対応機器を付加せざるを得ないと考えられている。その中で実用化されている SCR 脱硝装置、排気再循環 (Exhaust Gas Recirculation: EGR) システム、船用デュアルフューエル機関について述べる。

3. 1 SCR 脱硝装置の構成と現状

SCR 脱硝装置は、排ガスラインに触媒を取り付け、その上流から還元剤を噴霧し、排ガス中に含まれる NO_x を触媒上で選択的に還元、除去する装置である。還元剤としては、アンモニア水か尿素水を使用することが多いが、安全性の観点から尿素水を用いることが多い。図3にシステム全体の一例を示す。

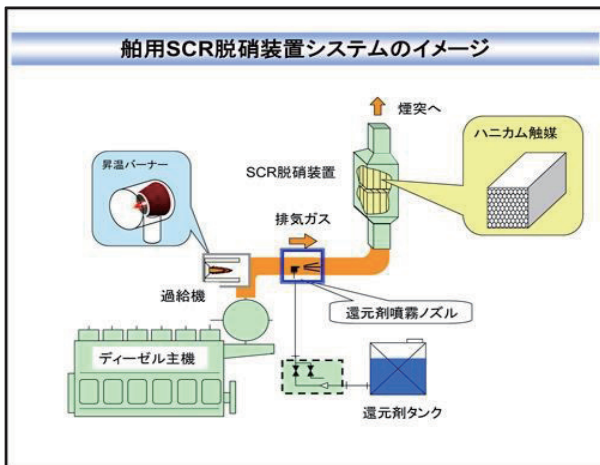
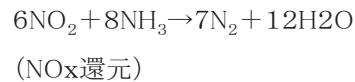
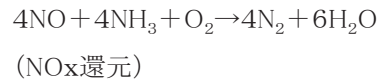
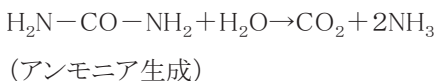


図3 SCR 脱硝装置システム

エンジンから排出された NO_x は噴出されたアンモニア (NH₃) と排ガス中の O₂ が反応 N₂ と H₂O に成る。また NO₂ に関しても、同様に NH₃ と O₂ との反応によって N₂ と H₂O になる。科学反応を以下に示す。



SCR 脱硝装置は、陸上の発電プラントではすでに広く実用化されていることや、排ガス後処理であることから燃費の悪化を心配する必要ないことなどが利点としてあげられる。しかし、触媒を組み込んだ反応塔などの機器の設置やバイパスラインの設置等により船舶偽装に大きな影響が出ることや設置スペースが大きくなることは不可避である。

還元剤に用いる尿素水とアンモニア水について比較してみると尿素水には取扱い不備による結晶化や尿素由来の固形物生成により、還元剤噴射ノズルの閉鎖というトラブルが懸念されている。さらに、アンモニア水は加水分解の過程が不要なので反応時間が比較的短いという利点もある。しかし、陸上での実績や安全性を考えると尿素水の方が優位だと考えられる。

3. 1. 1 過給機前置きシステム

過給機前置きシステムのイメージを図4に示す。

このシステムの特徴としては、過給機に入る前の高温高圧の状態の排ガスを SCR は反応器に送り込める点で、これにより過給機後置きシステムに比べ触媒活性が上昇するため反応器の小型化が可能とされている。また一般に SCR 脱硝装置に使用される触媒が十分な脱硝性能を発揮するには排ガス温度は300度以上必要と言われているが、船用低速ディーゼル機関においては排ガスの過給機出口での温度が210～280℃であるため反応器を過給機後置きとする場合には昇温バーナーを設置するなどの対策が必要となるが、過給機前置きであればそのような対策は不要となる。ただし、過給機前置きでは尿素水噴霧ノズル、噴霧された尿素を十分に蒸発・攪拌させるための蒸発器、脱硝触媒に反応器、SCR バイパスラインを機関出口から過給機入口までの排ガスライン中に設けなければならないため、機関周りの配置は大きく制限されることとなり、計画時には十分な検討を要する。

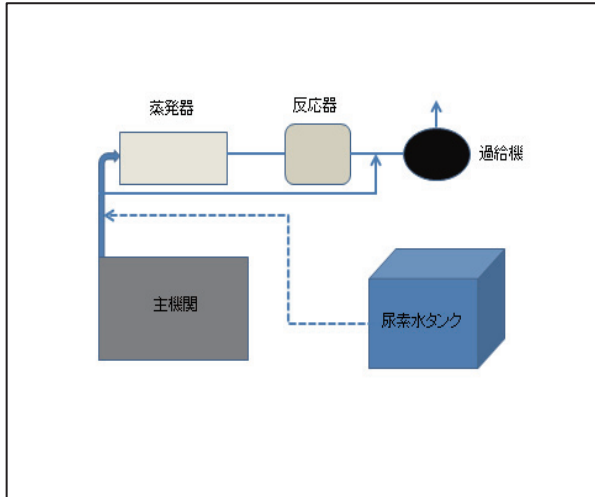


図4 過給機前置きシステム

3. 1. 2 過給機後置きシステム

過給機後置きシステムのイメージを図5に示す。本システムでは過給機後後方に反応器を設置するため、過給機前置きシステムの様な配置の制限を受けない。しかし、反応器設置のためのエンジンケーシングの拡張等必要となる場合があり、上部構造全体での検討が必要となる。

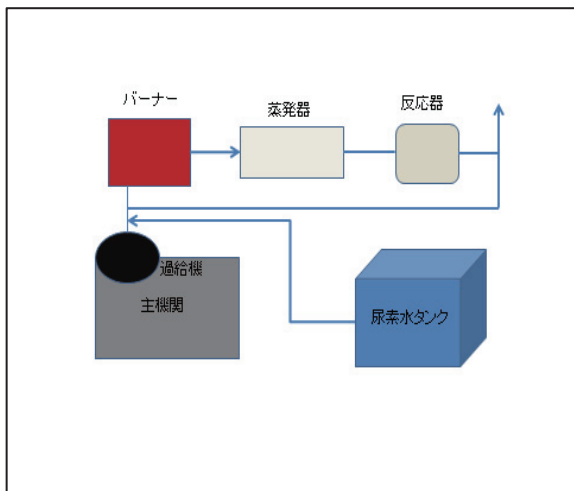


図5 過給機後置きシステム

3. 2 EGR システム

EGRシステムは酸素濃度の低い排気ガスの一部をEGRガスとして取り出し、再び掃気として導入しNO_xを低減するもので、小型高速ディーゼル機関などでは、高圧燃料噴射と組み合わせて実用化されている技術

である。給気側に戻す排ガスを浄化するためのスクラバーや給気温度を抑えるための排ガスクーラーなどの大型の付属機器がエンジン本体に搭載され、さらにスクラバーの洗浄装置や洗浄水の処理装置が船体側に装備されることから、船舶偽装への影響は大きい。また排ガスを循環させることによる腐食の問題や、燃費の悪化をどれだけ抑えることができるかなど、いくつかの課題もある。図6にEGRシステム図を示す。

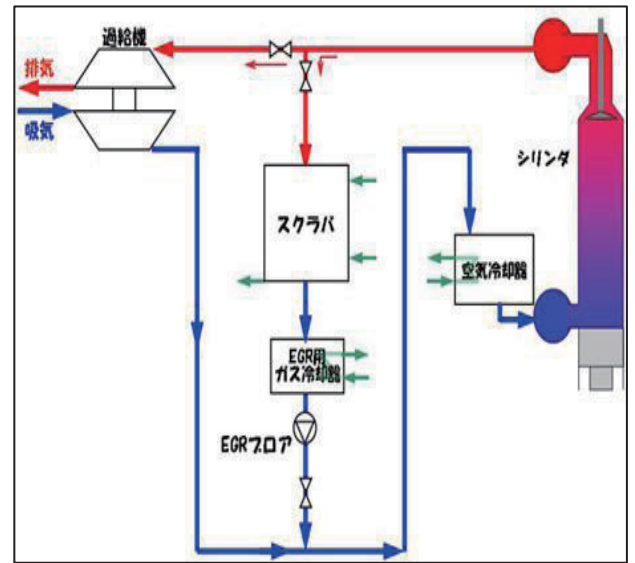


図6 EGRシステム図

3. 3 デュアルフューエル機関

デュアルフューエル機関は、ガス燃料モードとディーゼル液体燃料モードそれぞれで運転が可能となる。ガス燃料モードとディーゼル液体燃料モードそれぞれで運転が可能となる。ガス燃料モード運転では、硫黄酸化物(SO_x)、粒子状物質(PM:particulate Matter)の排出はほとんどなく、CO₂排出量は、ディーゼル機関に比べて23%削減が可能。また、SCRなどの後処理装置をつけることなくIMOのNO_x3次規制をクリアすることが可能である。図7にデュアルフューエル機関を示す。

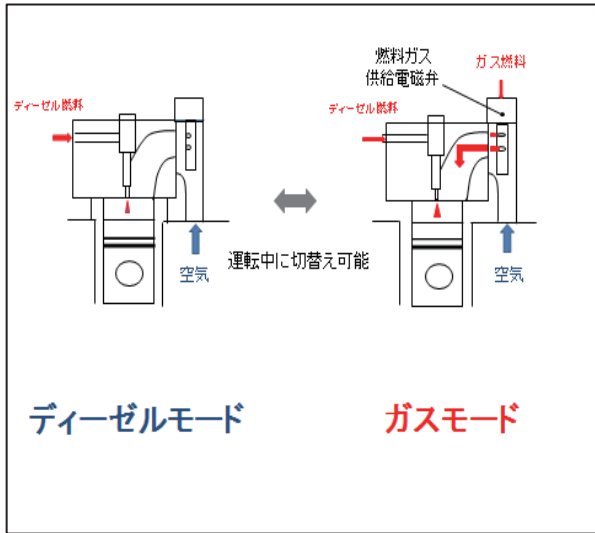


図7 デュアルフューエル機関



図9 若潮丸脱硝装置

4. 若潮丸脱硝装置の運転性能及び脱硝効果

1996年に就役した若潮丸は、国内で第2船目にあたる船用SCR脱硝装置を搭載している。SCR脱硝装置の概略レイアウトを図8、写真を図9に示す。ここでの脱硝装置は当時の陸上用での実績をベースに、軽量・コンパクト、安全性、耐振性、運転操作・保守管理の簡便性等を考慮して作られた。脱硝反応器は過給機の下流側化粧煙突内に設置した。還元剤には取扱やすい尿素水(濃度35%)を用いている。

若潮丸ではSCR脱硝装置搭載試験を行っているので、そのデータをもとに説明する。

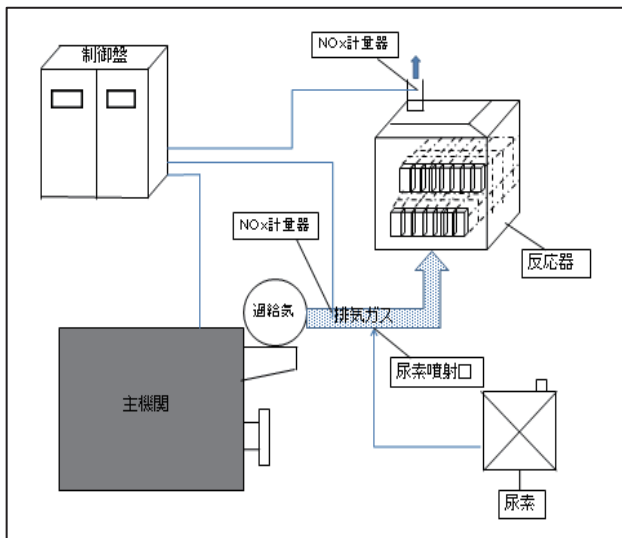


図8 若潮丸脱硝装置レイアウト図

SCR脱硝装置の脱硝効率を陸上及び船上で確認した結果を図10に示すが、ほぼ同等の結果で約80%のNO_x削減が可能であることを確認した。また、尿素水が排ガス中に噴射され加水分解により発生するアンモニアの漏えいについても計測結果により10ppm以下であることを確認した。アンモニアは人体に有害であるため漏えいとはできるかぎり少なくすることが求められる。

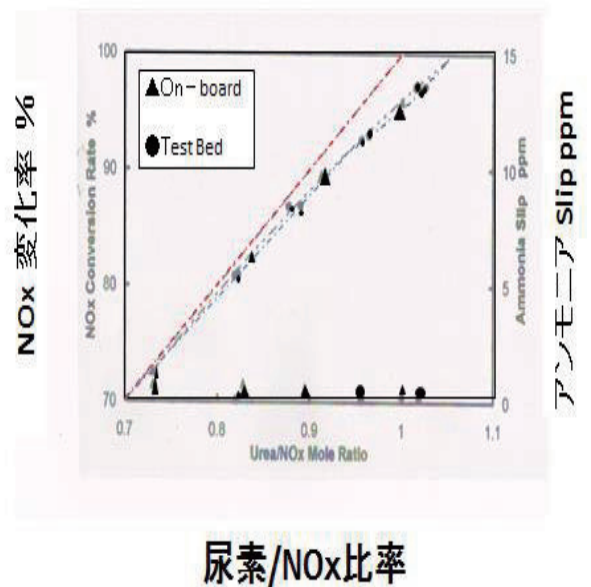


図10 脱硝効率計測結果

6. 参考文献

SCR脱硝装置試験時のトレンドグラフを図11に示す。グラフは、機関回転数、出口 NOx値、負荷率、尿素水流量についてそれぞれの数値の変化について示している。SCR の脱硝装置においては還元剤の供給制御に関して適正化が必要であり、適正化された場合は負荷変動にも対応できることが確認されている。若潮丸の搭載試験では高負荷や負荷変動に対するある程度の可能性が確認されているが、図11の値が示すとおり、回転数が落ちれば、尿素水の噴射量少なくなり NOx値が上昇する問題が現状でも解決されていない。今後の規制を踏まえると低負荷での対応は解決されなければならない問題である。

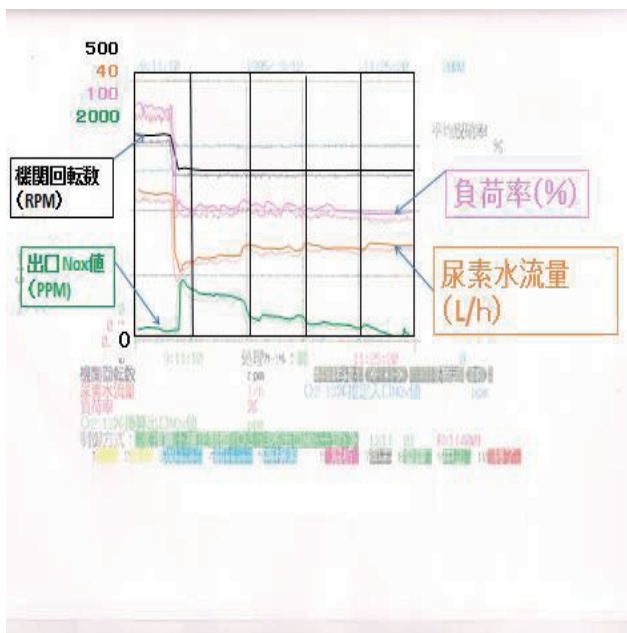


図11 若潮丸脱硝試験のトレンドグラフ

5. おわりに

環境保全への取り組みは今後益々重要となってくると考えられ、船用ディーゼル機関にとって熱効率を維持しながら排気ガスの規制をクリアすることは非常に重要な課題である。SCR 脱硝装置のクリアすべき課題は明確であるので開発、研究が進んでいくことを願う所存である。

(1) 佐々木正, 川端一人, 若潮丸の脱硝装置における性能と効果について, 富山商船高等専門学校研究集録抜刷, (30), (7-14), (1997)

(2) 村岡英一, IMO における大気環境規制の動向, 海上技術安全研究所報告, (8-2), (57-63), (2008)

(3) 岸武行, 平田宏一, 西尾澄人, 高木正英, 村岡英一, 福田哲吾, 永井健夫, 船用ディーゼルエンジンに用いる SCR 脱硝装置に関する研究, 海上技術安全所報告, (8-2), (65-69), (2008)

(4) 公共社団法人日本マリンエンジニアリング学会, 日本マリンエンジニアリング学会誌, (46-2), 2-4, 29-32, (2013)

(5) 公共社団法人日本マリンエンジニアリング学会, 日本マリンエンジニアリング学会誌, (48-1), 21-32, (2013)

(6) 公共社団法人日本マリンエンジニアリング学会, 日本マリンエンジニアリング学会誌, (48-6), 36-41, (2013)

(7) 社団法人日本マリンエンジニアリング学会, 第51回特別基金講演会講演予稿集, 11-22, (2008)

(8) 社団法人日本マリンエンジニアリング学会, 第56回特別基金講演会講演予稿集, 31-36, (2008)