船舶からの大気汚染物質の排出実態と 規制動向

— 2 ストローク低速ディーゼル機関の対応 —*

薦 田 哲 男** 花 房 眞**

Actual Condition and Regulation of Air Pollution from Ships
—Emission Control of Two-Stroke Low-Speed Diesel Engines—

By Tetsuo Komoda, Makoto Hanafusa

2 stroke low-speed diesel engine has already exceed the brake thermal efficiency of 50% with the use of heavy fuel, that is, it contributes to not only the saving of energy but also prevention of global warming. On the other hand, NO_x and SO_x are abundantly discharged, and the correspondence is required from the environmental protection.

In this paper, the present and prospective methods of controlling these emissions are described in contrast with the actual conditions and regulations of air pollution from the ships.

1. ま え が き

現在、大型船用ディーゼル機関には、回転数が60rpm～250rpmの2ストローク低速ディーゼル機関、200rpm～450rpmの4ストローク低速ディーゼル機関、450rpm～750rpmの4ストローク中速ディーゼル機関がある。大型の2ストローク低速ディーゼル機関ではすでに正味熱効率が50%を超え、同時に安価な重質燃料油が使用できることなど、あらゆる熱機関のうちでも際立って高い燃料経済性をもち、エネルギーの有効利用のみならず、地球温暖化の予防に適合する素質を備えている。しかし、回転速度が遅いために、燃焼ガスの高温での滞留時間が長く、窒素酸化物(NO_x)の排出率は高速ディーゼル機関等に比べてきわめて多い。また、使用する燃料性状に依存はするが、硫黄酸化物(SO_x)も多量に排出しており、地球環境保全の観点からはその対応が迫られている。

こうした情勢から、1988年に開催された、IMO (International Maritime Organization, 国際海事機関) の第26回MEPC (Marine Environmental

Pollution Committee, 海洋環境保護委員会)では、ノルウェー国から船舶の大気汚染防止に関する事項を委員会の検討課題に取り上げるべきとの提案がなされ、その後約10年間の審議を経た後、1997年9月、大気汚染防止条約締約国会議において、海洋汚染防止条約(MARPOL73/78)に「船舶からの大気汚染防止のための規則」と題される附属書を新たに追加するための議定書が採択された。この決定により、船舶からの大気汚染防止の為に、窒素酸化物、硫黄酸化物、揮発性有機化合物、オゾン層破壊物質、船上焼却物質等の排出が規制されることになった。本報では、これら船舶からの大気汚染物質の排出実態及びその対策、並びに今後の課題や展望について、主として筆者が関係するMAN B&W Diesel A/Sの2ストローク低速ディーゼル機関を例にとって述べる。

2. 窒素酸化物の排出実態と規制及び対策

2.1 NO_xの生成と挙動 大型低速ディーゼル機関の燃料であるバンカー油中には平均的に0.2～0.3%程度の窒素が存在し、燃焼過程でそのほとんどはいわゆるFuel NO_xに転換される。その排出率は1～2g/kWhである。

* 原稿受付 平成13年10月15日
** 正会員 三井造船株式会社 (玉野市玉3-1-1)

図1 NOx生成における空気過剰率(λ)の効果

一方、シリンダ内で空気中の窒素ガスが起源となる Thermal NOxの生成、挙動は、拡大Zeldovich機構¹⁾により説明され、燃料・空気の温度、圧力、空気過剰率および時間履歴により大きく影響される。

図1は代表的な2ストローク低速ディーゼル機関の上死点における温度・圧力条件を用いて、種々の空気過剰率で燃料を等圧燃焼させた燃焼ガス中でのNO生成量を、空気過剰率をパラメータとして時間に対して示したものである²⁾。

現在の2ストローク低速ディーゼル機関の充填空気過剰率は2.6程度であり、燃焼ガスはピストンの下降と共に膨張して温度が下がるので、平均ガス温度が1700°K以上に保持される時間は0.1秒を超えることはない。従って、これらの条件の下、シリンダ内で一様な燃焼(予混合燃焼)が可能であれば、NOxは高々10ppmのオーダーに押さえることができる。

しかし、実際のディーゼル機関では拡散燃焼が行われており、噴霧内部には低い空気過剰率の高温燃焼ガスが存在し、また、シリンダ内圧力が最高圧力に達するまでは燃焼した高温ガスが断熱圧縮されてさらに温度が上昇するため、上記の条件の下でも桁違いに多量のNOxが生成しているのが現実である。

2.2 2ストローク低速ディーゼル機関における

NOx排出率とIMO規制値

IMOのNOx規制は、NOxと燃費にトレードオフの関係があることに配慮して、燃費にほぼリンクしていると考えられるエ

図2 NOx排出率規制値とMAN B&W MC型ディーゼル機関のNOx排出率の実態

ンジン回転数に対して規制値が定められた。ただし、機関回転数が130rpm以下の機関では、17g/kWh一定の規制値とされた。図2にエンジン回転数に対して設定されたIMO NOx排出量規制値を実線で示す。

この図に、NOx削減対策前である種々のシリンダサイズのMAN B&W MC型機関のNOx排出率をプロットすると、“○”印のようになる。これらは、燃料弁ノズルに低燃費を優先した標準アトマイザーを使用した場合の値であり、大半の機関では規制値に適合させるために、NOxを削減しなければならないことが分かる。

ここで、図のNOx排出率は機関の軸出力、時間あたりの重量で示されているが、体積濃度 (Volume ppm) への換算は、燃料の種類や熱効率が決まれば可能である。ちなみに、A重油を使用した正味熱効率45%の機関では10g/kWhがほぼ950ppm ($O_2=13\%$)に相当する。従って、これまでの大型低速ディーゼル機関のNOx排出濃度は $O_2=13\%$ 換算値で1,200～2,500ppm程度が一般的な値であったといえる。

2.3 NOx削減対策とその効果

NOxの削減方法には、燃焼段階でNOxを削減する1次方法 (Primary Method)と、排気ガス浄化装置による2次方法 (Secondary Method)がある。

前者は燃焼ガス温度を低下させ、あるいは燃焼ガスが高温に保持される時間を短縮してNOx生成を抑制するもので、燃料噴射時期遅延、給気加湿、水エマルジョン燃料の使用、燃料・水層状噴射、シリンダ内水噴射、排気ガス再循環、多口燃料噴射等がこれ

表1 ディーゼル機関のNO_x低減化技術

NO _x 低減化技術	方法および主な作用	NO _x 低減率 (%)	燃費増加率 (%)	問 題 点
燃料噴射時期遅延	燃料噴射時期を遅らせ、燃焼温度を下げる。	20	3～4	・ 煤塵濃度の増加
水エマルジョン燃料	W/Oエマルジョン燃料を使用。水の蒸発により燃焼温度を下げる。	40～50	0～2	・ 燃料噴射系の耐久性低下 ・ 硫黄含有燃料の場合硫酸腐食 ・ 船用では造水装置が必要
燃料・水層状噴射	同一噴口より燃料-水-燃料の順に噴射。水の蒸発により燃焼温度を下げる。	40～50	0～2	・ 燃料噴射系が複雑 ・ 硫黄含有燃料の場合硫酸腐食 ・ 船用では造水装置が必要
給 気 加 湿	給気の絶対湿度を高める。燃焼場の熱容量増により燃焼温度を下げる。	20	2	・ 硫黄含有燃料の場合硫酸腐食 ・ 船用では造水装置が必要
排気ガス再循環	給気に排気ガスの一部を混合。燃焼場の熱容量増により燃焼温度を下げる。	55	1	・ 煤塵濃度の増加 ・ シリンダライク、ピストンライクの摩耗増大 ・ 潤滑油の劣化 ・ 給気系の腐食、汚れ
多噴口燃料噴射	多数の微細噴口から燃料を噴射。噴霧内への空気導入促進による燃焼温度低下、高温滞留時間の短縮	20～30	0～1	・ 燃料噴射弁が多数必要
SCR式排煙脱硝	アンモニアを還元剤とし、触媒上でNO _x を選択接触還元する。	90～98	0	・ 還元剤による高ランニングコスト

にあたる。表1にこれらのNO_x削減方法とその効果、問題点等についての比較を示す。これらの対策のうちで、最も簡単な対策である燃料噴射時期遅延は、約20%のNO_x削減効果が期待できる反面、燃費増加率は3～4%と最も多い。一方、水エマルジョン燃料の使用や燃料・水層状噴射あるいは多噴口燃料噴射では、その対策の最適化の方法によっては、燃費増加を伴わないでかなりのNO_x削減が可能である。

こうした技術的背景を基本に、MAN B&W MC型機関では、当面のIMO規制に関しては、以下に述べる低NO_xアトマイザーの採用や燃料噴射時期遅延などで対応している。

2.3.1 低NO_xアトマイザーによるNO_x削減

各種MC型機関に、従来の燃費を優先した標準アトマイザーとは異なる低NO_xアトマイザーを適用した場合の、NO_x排出率とIMO規制値との関係を図2に合わせて“●”印で示す。

小口径機関（高回転数機関）では、標準アトマイザーでもIMO規制値をクリアしているものもあるが、中口径以上の機関では対策が必要とされており、この低NO_xアトマイザーを使用することにより、ほとんどの機関で現状のIMO規制値はクリアさせることが可能となっている。

ここで、“低NO_x”アトマイザーとは、燃料弁の構造

とは独立に、燃費の増加を最小限に抑えつつNO_x排出量をできるだけ少なくするために噴口の数やサイズ、噴射方向を最適化したものであり、必要なNO_x削減度合いに応じて対応することができる。

図3に標準アトマイザーと低NO_xアトマイザーの燃料噴霧分布パターンの一例を示すが、後者では噴霧と噴霧の重なりを調整することにより、低酸素領域を拡大して燃焼温度を均一化すると共に、NO_x発生が多い噴霧中の高温領域を減らしている。

以上のように、MAN B&W MC型機関では、燃料弁アトマイザーを中心とした性能（燃費）とNO_xの調整により、当面のIMO規制には適合可能とした。しかし、将来に予想される規制強化に向けては以下のような対策が検討され、一部では実用化もなされている。

2.3.2 水エマルジョン燃料によるNO_x削減 さらに50%程度の削減が必要となる場合には、水エマルジョン燃料の使用やシリンダ内水噴射などの採用で対応する方針である。

水エマルジョン燃料の使用は燃焼温度を下げる旧知の完成した技術であるが、これまで実用化されているのは定置式の発電プラントが多く、船舶に採用されているケースはほとんどない。一般に30%以上のNO_x削減が必要な場合に採用されており、適切な粘度管理を行えば通常のC重油を使用する場合と同様

(a) 標準アトマイザー

(b) 低NOx アトマイザー

図3 標準アトマイザーと低NOx アトマイザーの静止雰囲気中での燃料噴霧分布パターン³⁾

図4 水エマルジョン燃料使用による水添加量とNOx, 燃費の関係

に燃焼させることが可能である。但し、水が添加された燃料噴射量(ボリューム)にあわせてノズル径や燃料ポンププランジャー等のサイズは変更する必要がある。

船舶で水エマルジョンを燃料とする場合に必要な装置は、エマルジョン装置と水製造装置で、主機関の燃料ラインは粘度管理のため加熱温度が少し高めになることと、水の沸騰を防ぐためブースターポンプの圧力を高め(約15bar)に保つ必要がある。図4に10K90MC-S機関の工場運転時計測したNOx濃度と燃費の関係を示す。本機関では、NOx削減に対する燃費のペナルティは、従来言われている予想線よりも少なかった。

図5 シリンダ内直接水噴射概念図³⁾

2.3.3 筒内直接水噴射によるNOx削減 NOx削減の原理は水エマルジョンと同じであるが、筒内直接水噴射では燃料噴射弁と水噴射弁が独立となるためミキシング装置が不要、燃料切り替えが不要、水噴射量のコントロールが容易等のメリットがある。燃料噴射に先だってシリンダ内に直接水を噴射し、その気化熱で燃焼室の空気温度を温度を下げ、サーマルNOxの生成を抑制する。

図5に燃料噴射弁と水噴射弁の配置及び水噴霧と燃料噴霧の挙動概念図を示す。筆者らが実施した単気筒2ストローク低速ディーゼル機関による試験では、水噴射量が燃料噴射量の45vol%の時、NOxが50%減少、燃費が2%増加という結果を得ており、シリ

ダ内直接水噴射が、将来の有効なNO_x低減技術として実用化が期待されている。

これと同様な技術として、一つの燃料弁から燃料と水を交互に噴射させる燃料・水層状噴射も他社の機関では実用化がなされている。⁴⁾

2.3.4 SCR式排煙脱硝(Secondary method)

90%を超えるようなNO_x削減が必要な場合は、現状では、排気ガス浄化装置による後処理が必要である。この方法は、4サイクル中速ディーゼル機関の分野でほぼ完成された技術として、陸上発電プラントに多くの実績があるが、2サイクル低速ディーゼル機関では、過給機後の排気ガス温度が523K(250℃)前後で非常に低く、触媒の最適な反応温度や目詰まり等の問題からSCR反応塔を過給機前に置く必要があり、各社とも過給機前に配置したコンパクトな装置を考案中である。

しかし、還元剤としてのアンモニアが必要で、エンジン形式にもよるが燃費に換算した場合、90%脱硝の場合で10～20%のランニングコストアップに相当する。このためアンモニアの代わりに炭化水素系還元剤を用いた脱硝装置の研究もなされている。⁵⁾

図6は、MAN B&W Diesel A/Sが検討している機関搭載型脱硝装置の計画図、脱硝触媒の外観、並びにNO_xからN₂への転換率に対する相対的な触媒容

量、還元剤消費量の関係を示す。⁶⁾

3. 硫黄酸化物の排出実態と対策

硫黄酸化物については、その排出量が燃料中の硫黄分にはほぼ比例するためエンジンの燃焼段階での対応は不可能であり、必然的に低硫黄燃料油の使用、あるいは排気ガス浄化装置(排気ガスの脱硫、排気ガス洗浄等)に頼らざるを得ない。今回のIMO規則では、燃料中に含まれる硫黄分の上限值は4.5wt%と規定されているが、少なくとも日本船籍の船舶では、低質燃料によるトラブルを避ける目的で一般に3wt%以下程度の燃料を使用するように自主的に管理しているため、当面は特別な対策は必要としない。

しかし、バルト海や北海などの特別海域では1.5wt%に規制されることになっており、マリンディーゼルオイル(MDO, A重油相当)の使用、もしくは主機関および補機関からのSO_xの総排出量を6.0g/kWh以下に低減する性能を持つか、主官庁が承認した排ガススクラバーなど清浄装置の使用が要求されることになる。

図7は、1998年1月からスウェーデンで導入されたNO_x、SO_x規制強化の実例を示すものである。この制度では、燃料中の硫黄分とNO_x排出率を関連づけて航路税の額が決められている。すなわち、従来

図6 機関搭載型脱硝装置(計画図)、脱硝触媒、NO_x転換率

図7 スウェーデンにおける航路税 (Fairway Dues) の仕組

有されていることから、排ガスを海水スクラバーに通すことによって、SOxとPM (Soot)を同時除去するシステムも検討されており、ノルウェーやカナダではすでに実船試験もなされている。

図8は、脱硝塔も組合せた当該システムの概念図を示すが、SOxの海水中への吸収を効率的に行うために、陸上より持参したアルカリ成分や海水成分から分離したアルカリ成分を添加する方法なども検討されている。今後、SOxやPMに対する規制が強化された場合にはこれらの方法も有効な手段となり得る可能性がある。

4. 粒子状物質(PM)及び未燃炭化水素(HC)の排出実態と対策

のバンカー油(HFO, C重油相当)を使用するのに比べ、貨物船に対しては硫黄分1%以下、客船に対しては0.5%以下の燃料油を使用すると、0.9 SEK/GRTの減税が得られる仕組みになっている。

先にも述べたように、SOx削減には低硫黄燃料への転換が最も簡便で有効な方法であるが、燃料コストの上昇に加え、船舶で消費されなくなる高硫黄残渣油の処理方法等が大きな問題となる可能性もあり、全ての燃料が低硫黄燃料へ切替わるということはそれほど易くはない。

そこで、海水中にはもともと硫酸イオンが多量に含

今回のIMO規則には、ディーゼル機関排ガス中のPMについては特に規定はないが、近年船舶から排出される粒子状物質が人体や環境に与える影響を指摘する声もある。

一般にPMは無機炭素からなる固体粒子(Soot)、燃料や潤滑油に由来する未燃炭化水素(HC)、燃料中の硫黄分の燃焼により生成した硫酸及び金属硫酸塩とそれに吸着した水分からなるサルフェート、ならびに金属酸化物等から構成されと考えられている⁷⁾。

MAN B&W MC型機関では、先に述べた低NOxアトマイザーに加え、未燃HCやすす等のエミッション

図8 海水スクラバーによる脱硫, Soot除去システム(概念図)

図9 燃料弁の構造比較

を改善すると共に、燃費性能の改善も図るアトマイザーとしてミニサックアトマイザーやスライド弁が開発された。図9にこれら新しい燃料弁の構造を示す。

ミニサックアトマイザーでは、燃料弁ノズルのサックボリュームを従来型に比べかなり小さくして、燃料噴射後サックボリューム内に残される燃料の膨張行程における後漏れを減少させ、HCやすす等のエミッションを削減するとともに、性能改善も図るものである。さらに、スライド弁では、サックボリューム内にスラ

イド弁設け、実質的にそのボリュームをゼロにしたもので理想的な構造と言える。大型機関に対してはこの燃料弁を現在の標準としている。

図10及び図11にこれら2種類のアトマイザーと従来型のアトマイザーを、K90MC機関に適用した場合の、PM排出量と未燃HC(メタン換算)排出量の比較を示す。

サックボリュームの減少に伴い、PMや未燃HCの排出量には顕著な効果が現れており、特に低負荷では極めて大きな効果が得られていることが分かる。これは、毎サイクルの燃料噴射量に対するサックボリュームの割合が、低負荷では高負荷よりかなり大きくなることから容易に理解できる。

また、スライド弁ではNO_x削減についても効果があり、従来型の燃料噴霧分布パターンでもIMO規則をクリアすることが確認されている。現在、本燃料弁で就航している船があり、就航実績により今後PMやHCの排出量削減だけでなく、有力なNO_x削減手段としても期待される。

なお、これらのテストでは、燃料油としてA重油(MDO)を用いて試験しており、実際の運航時には重質燃料(HFO)を使用するので、排出量の絶対値に

図10 燃料弁タイプによるPM排出量の比較

図11 燃料弁タイプによる未燃HC排出量の比較

については実稼動時のものとは異なる。特にPMの排出量は、その計測手法によって大きな差異をもたらすのみならず、使用する燃料油の性状、シリンダ注油量、ピストンリングバックなどの影響も強く受けるので、同一機関であっても一定の排出特性にはならないことに注意しておく必要がある。

5. クリーン燃料使用によるNO_x, SO_x, PM, CO₂の削減

これまでの、主として重質燃料を使用する2ストローク低速機関について述べてきた。しかし、特定の船舶、例えばLNG船やシャトルタンカーにおいては、積荷から放出(排出)されるクリーン燃料を使用することにより、NO_x, SO_x, PM, CO₂の排出量を大幅に削減し、同時に運航経済性も改善させることが可能になる。

5.1 LNG船でのボイルオフガスの利用 1995年、三井造船(株)とMAN B&W Diesel A/Sでは、天然ガスを高圧に圧縮し、直接シリンダ内に噴射させることにより、従来の油焚きディーゼル機関と同等の熱効率、出力率を持ったガスインジェクションディーゼル機関(GIDE)を共同開発し、三井造船千葉事業所に軸端出力40,680kWの超大型機関12K80MC-GISの実証試験装置を設置した⁸⁾。この機関では、主燃料として天然ガス(都市ガス13A)を使用し、着火用として熱量換算で約8%のA重油を使用している。この機関の大気汚染物質の排出量は表2に示すとおりであり、通常的大型2ストローク低速ディーゼル機関と比べると格段にクリーンな排気エミッションとなっている。

当該機関を、LNG船に搭載しボイルオフガスを燃

料として使用すれば、排気エミッションは上記と同等となり、NO_xについてはスチームタービンに比べれば劣るが、重油焚きディーゼル機関と比べると格段に改善されたものとなる。MAN B&W Diesel A/Sの試算によれば、スペインとカリブ海を結ぶ135,000m³のLNG船に当該機関を適用した場合、燃料、メンテナンス、潤滑油、その他を含めた総運航費用はスチームタービン船に比べ約35%減少し、イニシャルコスト、運航費用、インフレ(2%/年)、金利(5%/年)を加味したライフタイムコストでも約30%減少すると言う結果が出ており⁹⁾、CO₂の大幅削減と共に、輸送経費の優位性から実船への適用が待ち望まれる。

なお、先の12K80MC-GIS機関は、平成13年3月末までに約17,000時間運転され、機関の信頼性等もすでに確立されている。

5.2 シャトルタンカーでのVOCの利用 さらに、MAN B&W Diesel A/Sでは、上記の技術成果をシャトルタンカーや一般の原油タンカーの主機関に応用して、原油タンクから放出される揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOC)を燃料として有効に活用し、タンカーからのVOCの放出削減にも貢献しようと実証試験を進めている。

図12にVOC燃料の利用システムの概略を示す。原油タンクから不活性ガスと共に放出されるVOCガスは、まずクリーニングシステムを通して凝縮システムに送られ、そこで加圧液化されて貯蔵タンクに蓄えられる。ここで液化できない不活性ガス(窒素)と一部メタンガスは大気へ放出される。次に、この液化ガスを高圧ポンプで約40MPaまで圧縮してプレヒーティングシステム(高圧VOCパイプの氷結防止の為に加熱する。)に送り、その後液体燃料と同様にシリンダ内に噴射して燃焼させる。このシステムでも、先のGIDE

表2 ガスインジェクションディーゼル機関の排気エミッション

大気汚染物質	GIDE 燃料: 13A(92%) + A重油 (8%)	12K80MC-GI-S	参考値 10K60MC(typical) 燃料: C重油 (硫黄分2.25%)
NO _x (g/kWh)		12.3	16.7
SO _x (g/kWh)		0.06	12.2
CO ₂ (g/kWh)		440	600
ばいじん (g/kWh)		0.03 (JISZ8808)	1.2 (ISO8178)

図12 VOC利用システムの原理¹¹⁾

と同様、着火安定化のため液体燃料は少量噴射される。

例えば、本システムを北海油田とオランダを結ぶシャトルタンカーに適用した場合には、この燃料によって航海や積荷の上げ下げに必要なエネルギーのほとんど全てを賄うことが可能である。また排気ガスは、燃料の組成がエタン、プロパン、ブタンが主成分であることから若干CO₂が多くなるが、天然ガス焼きGIDEとほぼ同様の組成のものが得られる。なお、機関の構造、性能等についてはここでは割愛するので参考文献¹⁰⁾を参照されたい。

6. ま と め

以上、MAN B&W MC型機関を中心に、大気汚染物質の排出実態と対策について述べてきた。これら排気エミッションの特徴と対策方法をまとめてみると表3のようである。

2ストローク低速ディーゼル機関は、その高い熱効率により、CO₂削減には大きく貢献しているが、その反面NO_xやSO_xの排出量は陸上機関に比べると相当多い。1999年度のシップ・アンド・オーシャン財団の調査によれば、国内大気汚染物質の発生量（沿岸

表3 大型2ストローク低速ディーゼル機関の排気エミッションとその制御法

NO _x : ピーク燃焼温度と酸素濃度に関連して変化する。	
削減法 : 燃焼過程における削減 (Primary method) / SCR (Secondary method)	
SO _x : 燃料中のSulfur 含有量に関連して変化する。	
削減法 : 低硫黄燃料を使用するのが最も効果的 / FGD, 海水スクラバー (Secondary method)	
CO : 空気過剰率、燃焼温度、空気/燃料混合状態に関連して変化する。	
: 2サイクルエンジンでは一般に極低レベルである。	
HC : 燃料のタイプにより変化する。	
: 2サイクルエンジンでは燃焼過程で微量（高々300ppm）のHCが未燃となるのみ。	
PM : 燃料微粒化、空気/燃料混合状態、燃料油・潤滑油中の灰分含有量等に関連して変化する。	
削減法 : 燃焼過程における削減 (Primary method) / DPF, 海水スクラバー (Secondary method)	

200海里以内)に対する船舶の寄与度は、CO₂は3%であるのに対しNO_xは37%、SO_xは23%という結果である¹²⁾。これらの数値からも、船用ディーゼル機関においてはNO_x、SO_xの排出削減がまず優先されるべき課題である。

NO_x削減は燃費増加(CO₂増加)とのトレードオフという側面があるが、2.1項に示したようにNO_x削減の潜在的余裕は十分あり、また表1にも示したように、研究開発の段階ではあるが、NO_x削減と燃費低減が両立する技術あるいはそれに近い技術もある。また、5.項で述べたように、船舶の種類によってはこれまで大気に放出されていた有害物質(VOC)を燃料として有効活用することにより、環境への負荷を軽減することも可能である。現在サハリン沖では海底油田の開発が進められているが、日本への原油輸送にはVOC燃焼ディーゼル機関が有効であろう。

さらには、近年、運航経済性と環境負荷の調和を計るべく、大型船用エンジンの世界にも電子制御技術の導入が始まった¹³⁾。これらは、燃料噴射時期の可変変化や排気弁系の可変変化をコモンレール方式や増圧ピストン方式で実現することにより、種々の運転モードにあわせて燃料経済と排気エミッションを高度にコントロールしようとするものである。

地球環境の保全に対し、出力当りのCO₂排出量は各種熱機関の中で最も少ないが、逆にNO_xやSO_xの排出量は最も多い2ストローク低速ディーゼル機関が、今後とも船用機関の主流であり続けるためには、熱効率はさらに高効率へと改善してゆく一方で、NO_xやSO_xの問題は速やかに改善、克服してゆかねばならない。このような状況を背景にして、高熱効率、低エミッション、高信頼性を目指したインテリジェント機関の開発が21世紀の新しい技術開発の流れとして動きはじめている。

参考文献

- 1) 「燃焼に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法」日本機化学会
- 2) 遠藤「ディーゼル機関の省エネルギー、低公害化技術の現状と将来の技術的可能性」日本機械学会関西支部第71回定時総会講演論文集 平成8年3月
- 3) 坂根「中速・低速ディーゼル機関のNO_x低減技術」三井造船技報 第172号 平成13年3月
- 4) H. Miyano 他 “The Ship Test for Low NO_x by Stratified Fuel-Water Injection System” CIMAC 1995 D15
- 5) 神社、他「炭化水素還元剤を用いた脱硝システムによる排ガスの後処理技術の現状」日本船用機関学会誌 Vo.34 No.2 1999
- 6) “Selective Catalytic Reduction for Maximising NO_x Emission Control” MAN B&W Diesel A/S Reg.No.;39661314 P.373-10.2000
- 7) S. Henningsen “Air Pollution from Large Two-stroke Diesel Engines and Technologies to Control It” Academic Press. 1998
- 8) 製品解説「40MW ガスインジェクションディーゼル発電プラント」三井造船技報 第155号 平成7年6月
- 9) “Comparative Study of Propulsion Alternatives for LNG Carriers” MAN B&W Diesel A/S Reg.No.; 242 31 P.359-99.09
- 10) P. S. Pedersen 「船用ディーゼル機関用燃料としてのVOC(揮発性有機化合物)の利用」日本船用機関学会誌 Vo.34 No.2 1999
- 11) “Utilisation of VOC in Shuttle Tankers” MAN B&W Diesel A/S Reg.No.;24231 P.342-98.11
- 12) 「平成10年度 船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査報告書」財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団 平成11年3月
- 13) “The Intelligent Engine: Development Status and Prospects” MAN B&W Diesel A/S Reg.No.; 39661314 P.375-00.11