

船舶における排ガス規制への対応  
— 船用機関からのブラックカーボン排出削減の検討 —

高橋 千織\*

**Compliance with Emission Regulations for Ships**  
— **Control Measures to Reduce Black Carbon Emissions from Marine Engines** —

by

TAKAHASHI Chiori\*

Abstract

Regulations for ship safety and environmental protection have been strengthened by the International Maritime Organization (IMO). Air quality regulations have also been gradually become more stringent over the past few decades with the aim of reducing nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), sulfur oxides (SO<sub>x</sub>), particulate matter (PM), and other harmful emissions.

We prioritized research on the development of new power systems for ships using various energy sources from 2016 to 2022. In this study, we aimed to establish various energy usage technologies for the shipping sector and investigated ways to keep ships in compliance with IMO requirements. We evaluated the reduction of environmentally hazardous substances resulting from the use of low-carbon fuels, as well as emission reduction technologies, including after-treatment technologies. This report introduces some of our research focused on reducing black carbon emissions from ships.

---

\* 環境・動力系

原稿受付 令和6年2月1日

審査日 令和6年2月28日

## 目 次

1. まえがき	2
2. 海事分野における排ガス規制	2
3. 北極域におけるブラックカーボン排出に関する議論	3
3.1 ブラックカーボン規制の検討状況	3
3.2 ブラックカーボン削減技術の検討	4
4. まとめ	9
謝 辞	9
References	10

## 1. まえがき

船舶における安全や環境保護のための規制は、国際海事機関（International Maritime Organization, IMO）を国際的な議論の場として強化されてきた。これは、国際海運では、輸出国や輸入国、船籍国、船主、運航者、船員、荷主、燃料生産国、燃料供給国など関係国が多岐にわたり、国ごとの枠組みで規制に取り組むことが難しいためである。このため、海洋環境保護を目的とした排ガス規制は、IMO の定める国際条約である海洋汚染防止条約（MARPOL 条約）附属書VIで規定されている。一方、国内では海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（国交省・環境省共管）が同条約に基づいて規制を実施しており、内航、外航に関わらず、海運全体で取り組む仕組みになっている。

現在、地球温暖化問題に対する全球的な取り組みの必要性が叫ばれており、温室効果ガス（Greenhouse gas, GHG）削減のための議論が IMO においても活発に行われている。一方で、GHG 以外の排ガスに関する大気環境規制の強化は、この数十年にわたって、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）、粒子状物質（PM）などの削減を目指して段階的に実施されてきた。海上技術安全研究所（以下、海技研という）では、2016～2022 年度に実施した重点研究「多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究」（以下、本重点研究という）において、これら排ガス規制の強化が進むなか精力的に規制対策技術に関する研究を実施した。船舶分野における多様なエネルギーの利用技術の確立を目指し、IMO における環境規制への対応と、低・脱炭素燃料の利用に伴う環境負荷の評価、後処理技術も含めた削減技術に関する研究を進めてきた。

本報告では、本重点研究で実施した研究の一部を、現在、新たな排ガス規制の導入として議論されている、船舶からのブラックカーボン排出削減の問題と関連させて紹介する。

## 2. 海事分野における排ガス規制

物質が燃焼することにより発生する NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、PM 等は、GHG とは異なり、光化学スモッグや酸性雨など、人体の健康や土壌に直接悪影響を与え、特に排出源の周囲で生態系への被害が大きくなる。船舶におけるこれらの大気汚染物質排出の影響は、極めて近傍に人が存在する自動車などの陸上輸送機関とは大きく異なっている。このため、効果的に規制を行うために、地域規制が導入されている点の特徴である。すなわち、陸域への影響が少ない一般海域と、指定海域（Emission Control Area, ECA）では規制値が異なる（図 1、図 2 参照）。ECA の設定には、環境アセスメントを行い、IMO において規制導入が認められることが必要であり、航行する船舶は各海域において規制に適合するよう要求される。

また、SO<sub>x</sub> 及び PM については、エンジンからの排出率を直接規制する NO<sub>x</sub> とは異なり、燃料油中の硫黄分含有量を規制することを基本としており、2015 年 1 月 1 日から ECA 内では、燃料油中の硫黄分含有量が 0.10 % を上限値として引き下げられ、さらに 2020 年からは一般海域においても、硫黄分含有量は 0.50 % 以下となった。

本重点研究における GHG 削減の取り組みについては、他の報告において紹介されるので、本報告では GHG 以外の排ガス規制について取り上げる。

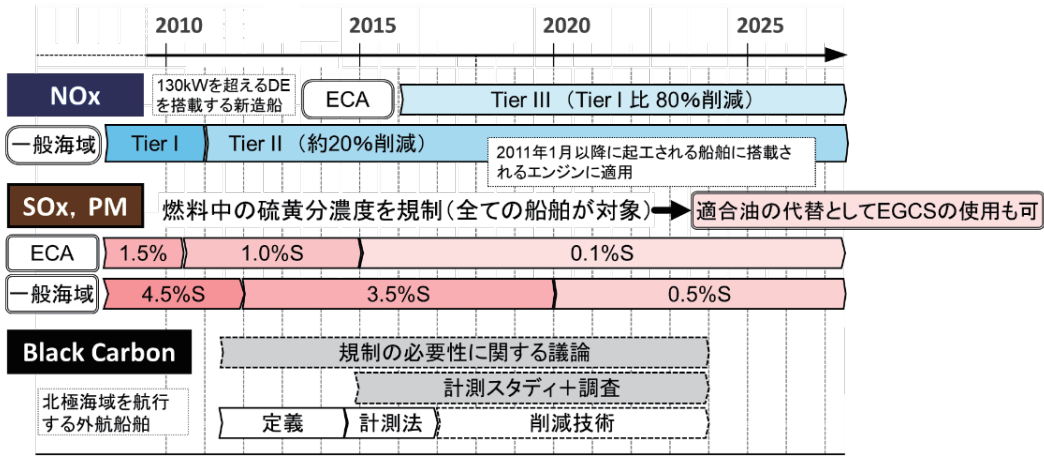


図1 MARPOL Annex VI による排ガス規制の導入状況

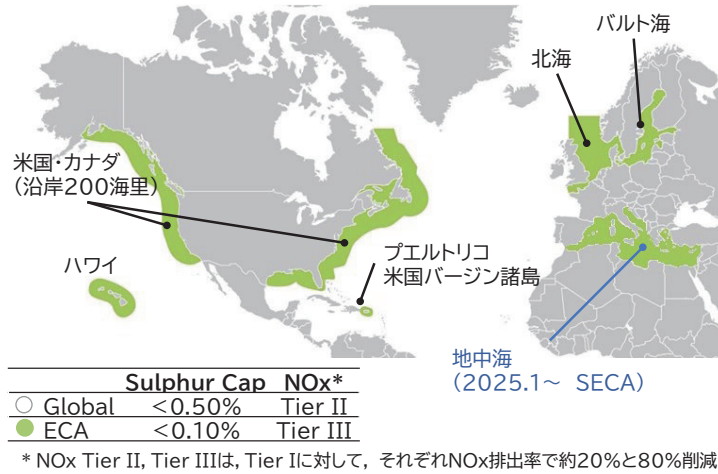


図2 MARPOL 条約による Emission Control Area (ECA, 指定海域)

以下では、IMO で現在行われているブラックカーボン (BC) 削減の議論をベースに、燃料と規制対策について実施してきた研究の概要について述べる。

### 3. 北極域におけるブラックカーボン排出に関する議論

前述のように、NOx, SOx 規制については、現在すでに導入されており、今後はこれらの規制を前提条件として、将来的な GHG 及び BC 削減技術について、検討することになると考えられる。CO<sub>2</sub> と NOx, PM, BC は、一般的にはトレードオフ関係にあると言われている。ここでは汚染防止・対応小委員会で現在行われている BC 削減技術の議論をもとに、燃料と規制対策について考える。

#### 3.1 ブラックカーボン規制の検討状況

前述の排ガス規制のほかに、現在 IMO では、北極海域での BC 排出に対する規制の在り方について検討されている。2010年3月に行われた MEPC 60 において、ノルウェー、スウェーデン、米国から共同提案された「北

極圏における船舶からのブラックカーボン排出削減」に関する問題提起は、MEPC 62 (2011年7月)において、「国際海運からのBC排出が北極海域に及ぼす影響とその規制の必要性」として検討することが合意された。その結果、当時のばら積み液体・気体物質小委員会 (Bulk Liquids and Gasses, BLG)、現在の汚染防止・対応小委員会 (Pollution Prevention and Response, PPR) に、以下の作業が委託された。

- ① BCの定義を提案する
- ② 最も適切な計測法を特定する
- ③ 適切なBC規制措置の調査を行う

その後、通信部会 (CG) を利用した議論等を経て、①のBCの定義については、MEPC 68 (2015年5月)において、以下のように基本合意している。この定義は、Bondらの定義<sup>1)</sup>をもとに、国際海運用にリバイスしたものである。

#### 【国際海運におけるBCの定義】

BCは炭素燃料を燃焼したときの炎の中でのみ形成される炭素状物質で、以下のような物理的性質を持つ。

- ① 非常に強く可視光を吸収し、波長550 nmにおける質量吸収係数 (MAC) が5 m<sup>2</sup>/g以上。
- ② 熱的に非常に安定で、高温でももとの形態を保つ。気化温度は4000 Kに近い。
- ③ 水および有機溶媒に不溶。大気中の他のエアロゾル成分にも不溶。
- ④ 微小球状の炭素粒子の集合体として存在。

上記の定義は、すなわち、BCがグラファイト構造を持つ元素状炭素 (Elemental Carbon, EC) であることを示唆している。

定義が決まったことを受け、ボランティアベースの計測スタディをさらに進めつつ、適切なBC計測法についても検討されたが、一つの計測方法に限定することはできず、フィルタスモークナンバー (FSN) 法、光音響 (PAS) 法、レーザー誘起白熱 (LII) 法の3つの手法が計測法として残った。今後は、これらの計測法によりデータ収集と検証がさらに進められることになる。BC削減方法の調査についても、引き続き意見及び情報が集約され、実効性も含め報告することとなっている。

### 3.2 ブラックカーボン削減技術の検討

以下に、燃料に係る削減技術を中心に、海技研で実施した研究結果とPPRで集められた報告をもとに、候補技術の有効性、課題についてまとめる。

#### ① 留出油の利用

2020年からの燃料油の硫黄分規制により、従来の高硫黄残渣燃料油 (HFO) は、スクラバーを搭載しない限り、利用できなくなった。低硫黄原油の供給量は限られているため、HFOの代替はDMBグレードの留出油か、直脱ボトムや間脱ボトムを利用した低硫黄燃料油 (LSFO) になり、従来のHFO燃料油に比べ、動粘度は低下した。

そこで、2020年以降の低硫黄化に伴う排ガス性状への影響を検討するため、特に硫黄分、動粘度、着火性の異なる燃料について比較した結果を図3に示す。実験に使用したエンジンは、当所所有の4ストロークの中速エンジン (257 kW/420 rpm) である。また、図中×印で示したデータは、PPR 5に提出された国際石油産業環境保全連盟 (IPIECA) の技術文書<sup>2)</sup>から引用した。IPIECAのレポートで使用されたエンジンも4ストロークの中速エンジン (450 kW/1000 rpm) である。

これより、高負荷ではHFOと留出油 (MDO, 国内A重油相当) の違いによってBC濃度はほとんど変わらないが、低負荷では差が顕著になり、留出油転換による削減効果のあることがわかる。一方で、図3中の凡例をみるとわかるように、使用燃料油の硫黄分、着火性、動粘度は様々であるが、少なくともこの二つの中速エンジンでは、定常状態でこれらの性状とBC排出量の間に明確な相関関係は見いだせなかった (動粘度に関しては、適切に温度コントロールされていることが前提である)。低負荷でHFOとMDOに違いが生じるのは、良くない燃焼条件下で、特に燃料中の高沸点の炭化水素成分が、後燃え等の燃焼性に影響を及ぼすためと推察される。留出油への燃料転換は、適切なエンジン側のセッティングさえおこなわれれば、エンジンへの影響はほとんどないと考えられ、燃料コストは上がるものの、供給量についても大きな心配はないと思われることから、即時にBC削減の対応を考えるとすれば、留出油への転換は候補となりうる。

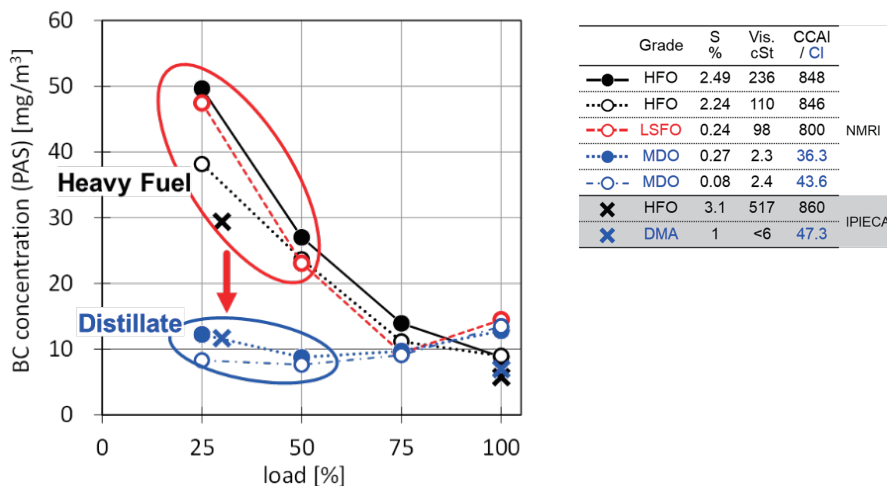


図3 異なるグレードの燃料油を使用した時の船用エンジンからのBC排出特性

留出油への転換については、PPRでも、燃料バルブやフィルターのメッシュを細かくするなどの比較的軽微な調整さえすれば、すべてのエンジンに適用可能であるとされている。引用された複数の文献より、削減効果は最大で85%程度であるが、エンジン、運転条件によって効果は異なることが指摘され、最新の電子制御エンジンでは、燃料による差はほとんどないとも報告されている<sup>3)5)</sup>。一方で、燃料組成によるBC排出への影響が懸念されることから、2020年以降の「留出油」の定義を明確化することが必要という指摘もある。

## ② LNGの利用 (ガスエンジン)

LNG燃料船は近年欧州沿岸を中心に就航数が増えているが、燃料および燃焼方式の特性により、BCだけでなく、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、PMの排出が少ないことが知られている。(ただし、低速2ストローク機関で採用例のある高圧ガス噴射(GI)タイプは、NO<sub>x</sub>排出量が比較的多く、3次規制クリアのためにはSCRやEGRの利用が必要)CO<sub>2</sub>も20%強の削減率があることから、短中期的にはGHG削減戦略において重要な役割を担うと考えられる。一方で、LNG燃料船の問題点としては、供給インフラの整備が不十分であること、CAPEX(初期コスト)が非常に高いこと、燃料タンクによるスペースロス、冷却のために必要となるエネルギー消費、LNGの組成はコントロールできないため、地域ごとの組成の差がそのまま供給されること(すなわち、メタン価が地域によって異なる)、メタンスリップ(リーンバーンエンジン)の問題などが挙げられる。最近では、これらの問題の一部を解決できる策として、LPGを船用燃料として利用する動きも出てきている。

図4に、海技研のガスエンジンでおこなったPM計測とその組成分析の結果を示す<sup>6)</sup>。実験は発電特性で行った。ガス機関とディーゼル機関(仕様は表1に示す)のPM排出率および組成を比較すると、ガス機関の方がPMおよびECの排出は少ない。特にBCの排出は極めて少なく、BC削減効果が高い。一方で有機炭素(Organic Carbon, OC)排出率に大きな差はなかった。これは、潤滑油由来のOCに起因すると考えられた。

PPRでの議論では、複数の文献<sup>3)</sup>より、BC削減効果は90%以上、CO<sub>2</sub>削減率20%程度、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、PMも低減できる技術であると期待される一方、インフラ整備、メタンスリップに課題があること、レトロフィットより新造船に適していることが指摘されている。



表 1 試験機関の仕様比較

機関	ガス機関	ディーゼル機関
型式	4ストローク 高速	4ストローク 中速
定格出力	400 kW	750 kW
定格回転数	1800 rpm	1000 rpm
燃料噴射方式	ポート噴射	電子制御
燃焼方式	希薄燃焼 副室火花点火	-

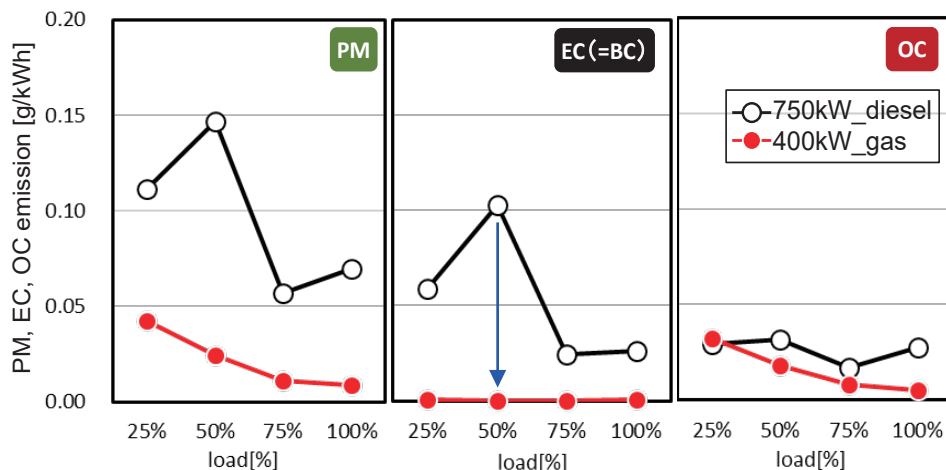


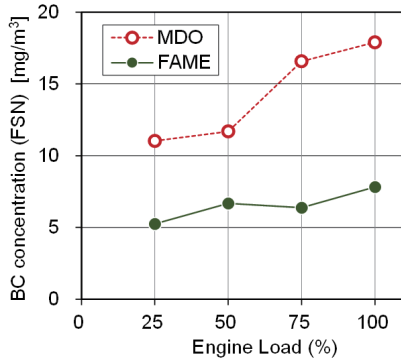
図 4 ガス機関およびディーゼル機関から排出される PM, EC, OC 排出率の比較

### ③ バイオ燃料の利用

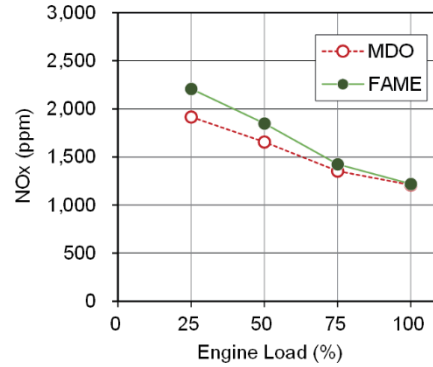
バイオ燃料は、カーボンニュートラルな燃料として既に商業化が進んでいる。その一方で、原料に食料となる植物を利用する第一世代バイオ燃料では、原料生産のための農地拡大が環境破壊を助長する可能性があること、その穀物の値段が高騰してしまうなどといった問題が懸念され、食料と競合しない非食用のバイオマス为原料とする第二世代バイオ燃料の開発が進められている。また、含酸素燃料であることから、燃焼性は良好なことが知られているが、バイオディーゼル燃料 (BDF) では、エステル化された場合 (脂肪酸メチルエステル: FAME) でも二重結合が残っているため、酸化安定性が良くなく長期貯蔵に課題があり、軽油と同様の安定性確保にはさらに水素化処理が必要になる。現状では、生産量は十分ではなく、生産コストもかかるため、船用燃料として一般に広く実用化されるためにはまだ多くの課題が残っている。

図 5 に、海技研の船用ディーゼル機関 (257kW) でおこなった A 重油 (MDO) とバイオ燃料 (100%FAME) の実験結果を示す<sup>7)</sup>。A 重油から 100%FAME への転換により、BC は全負荷にわたって 50%程度削減され、NO<sub>x</sub> は低負荷でやや増加することが分かる。

PPR への報告でも、SO<sub>x</sub>, PM は減るが、一般に NO<sub>x</sub> は増えるという指摘がされ、BC の削減率は、50-75% (100%BDF の場合)、50%程度 (30%ブレンド)、10-30% (20%ブレンド) と報告されている。また、どのタイプのエンジンでも使用可能だが、供給量に課題があることが指摘されている。



(a) BC



(b) NOx.

図5 A重油 (MDO) 及びバイオ燃料 (FAME) 使用時のBCとNOx排出の比較

④ 水エマルジョン燃料の利用

水エマルジョン燃料は、水の気化熱の影響で機関内の燃焼温度が比較的低温となることから、NOx削減を主目的として研究が進められてきた。燃費改善によりPMやCO<sub>2</sub>削減にも寄与する。その一方で、水エマルジョン燃料は、条件によっては着火遅れを引き起こし、期待するほどの効果が得られない場合もあることが知られている。

図6は、西尾ら<sup>8)</sup>が中速船用ディーゼル機関 (257 kW) に対し、A重油及びエマルジョン燃料 (EF30 : A重油70%+水30%) を使って、NOxとBC排出への影響を検討した結果を示したものである。BCは、フィルタスモークメータ (415S, AVL社製) にて計測された (図中ではSmokeと表記されている)。さらに、図中でEGRと書かれているのは、ガス機関の排ガスをディーゼル機関のEGR用の排ガスに利用した実験を行った結果である。

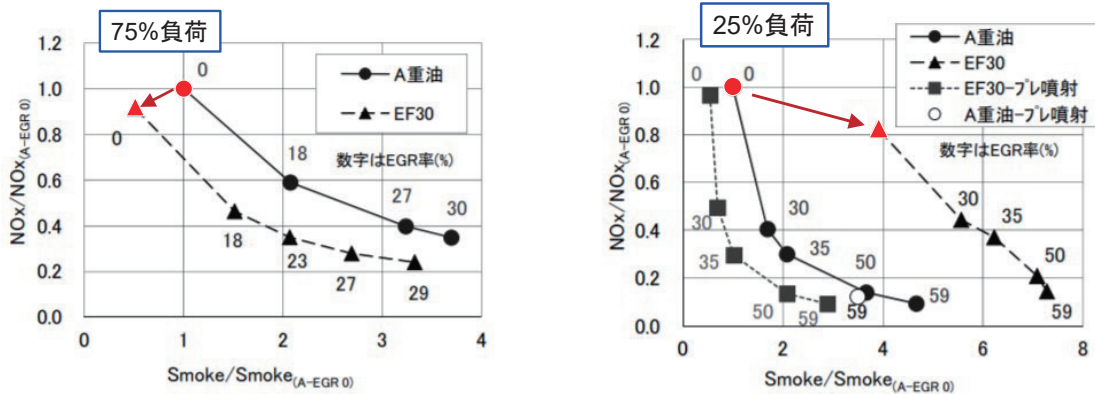


図6 A重油とエマルジョン燃料を使用した場合のNOxとBC排出の関係。75%および25%負荷時 (図中のSmokeの表記はBCと同じ)

これより、通常の運転条件 (EGRなしの場合、EGR=0と表記) では、75%負荷の時は、エマルジョン燃料の利用によって、NOx及びBCの同時削減が達成されているものの、25%負荷ではNOxは低減できているが、BCは大幅に増加していることがわかる。またEGRを利用した場合は、いずれの負荷でもNOxは低減するが、EGR率が高くなるにつれて、BC排出は多くなる。これらを改善するため、西尾らは、自動車用コモンレールを利用した燃料噴射制御 (プレ噴射) をおこなって、NOx削減率をほとんど変えずに、BCの大幅な低減を達成している。以上より、一般にエマルジョン燃料はNOxとPMの削減に有効と考えられているが、エンジンの運転条件によっては、BCが増加する場合があります。燃料噴射制御など他のエンジン技術の組合せにより、NOx, PM, BC, 燃費の最適化を得られると考えられる。PPRへの報告では、BC削減効果は45-90%程度、NOx低減効果が

きく、CO<sub>2</sub>削減率は18%以下と見積もられている<sup>3),4)</sup>。ただし、BC削減効果についての報告は多くなく（あってもPMの場合が多い）、より多くの実験データを集める必要がある。

#### ⑤ スクラバーの利用

舶用スクラバーは、2020年からのSO<sub>x</sub>規制強化において、硫黄分規制の同等手段として認められている技術であり、現在、最も経済的で実用的な方法と考えられている。スクラバーは、その装置原理により、SO<sub>x</sub>だけでなく、PM・BCも洗浄水中に取り込まれるため、洗浄水の船外排水については、規制が設けられている<sup>9),10)</sup>。このため、現状ではSO<sub>x</sub>のみを除去し、PM・BCは排ガス中からなるべく除去しない方が、運用上有利であり、スクラバーメーカーも積極的なPM・BC除去をおこなっていないものと思われる。実際、PM・BC削減率に関して、スクラバー搭載船での実船計測結果では、ほとんど削減効果がなかったという報告もある<sup>5)</sup>。これは、エンジンとスクラバーの形状（U型とインライン型など）による影響が大きいと考えられる。

図7に、海技研で行ったスクラバー前後でのBC計測結果の一例を示す。BC削減率は、40~60%程度であった。低負荷率では比較的削減率が高いものの、高負荷率では下がっていく傾向がみられた。スクラバーによるPMあるいはBCの捕集率は、粒子の粒径に大きく影響を受けることが知られている。海技研の設備では、エンジンからスクラバーまでの排気経路が複雑で比較的長いことから、スクラバー前でのPM・BCの粒径は、実用エンジンより大きくなっていることが推定され、比較的捕集率が高いものと考えられる。

PPRへの報告では、BC削減率は0~70%とレポートによって削減率の差が大きいですが、前述のように、実船での計測実験の結果は概して削減率が低い傾向がみられた<sup>5)</sup>。SO<sub>x</sub>、PMの低減効果がある一方、装置の運転にエネルギーが必要（=CO<sub>2</sub>増）であること、排水、スラッジ処分などに注意が必要である。

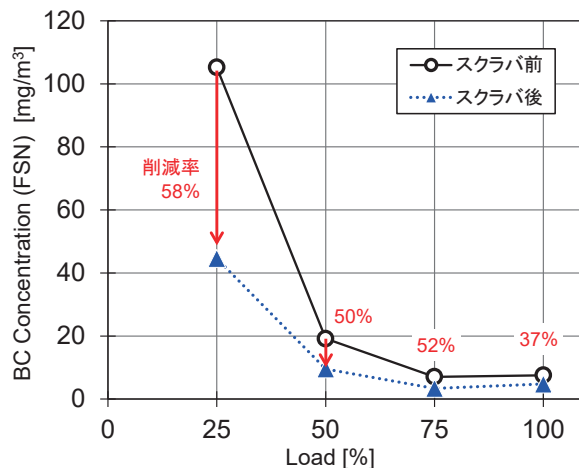


図7 スクラバーによるBC削減効果

装置の運転にエネルギーが必要という点は、スクラバーだけでなく、DPFや電気集塵機（ESP）などの後処理装置全般に共通する課題である。PPRでは、燃料油の留出油転換を前提としたDPFの利用を期待する意見がある一方、エンジンへのダメージを懸念する意見も出された。日本では実船への複数の搭載実績（発電機用）があり<sup>11)</sup>、BC除去率も95%以上と非常に高いことが陸上試験で明らかとなっている<sup>12)</sup>が、主機関への適用にはさらにフィルターの低圧損化などが必要となるだろう。ESPについては、実船実験が実施されており<sup>13)</sup>、実船への搭載が期待される。



## 4. まとめ

本報告では、2016～2022年度に実施された重点研究「多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究」において実施した研究成果の一部をIMOにおける環境規制の動向とともに紹介した。

環境規制にともなう燃料の多様化は、規制対策技術にも影響を与える。本報告では、PPRで議論の始まっているBC削減技術の調査動向をもとに燃料を中心として紹介した。一部の意見として、燃費向上=BC削減と考えられているが、一般的には燃費改善(BC, CO<sub>2</sub>量)とNO<sub>x</sub>はトレードオフ関係にあるので注意が必要である。また、BC削減技術の導入にともなう、逆にその他の大気汚染物質、有害物質等の排出が著しく増加するようであれば、それらについても評価の対象とすべきである。適切な削減技術の評価を行うためには、複数の指標をもとにデータに基づいた評価が必要である。最後に今回取り上げたBC削減技術の評価マトリックスを表2に示す。

表2 BC削減技術の評価マトリックス

	削減効果	船用への適用 <sup>注1)</sup> (課題)	製品実績 <sup>注2)</sup> (課題)	その他の排ガス, 副産物
Distillate	中以下	◎	◎	↓ SO <sub>x</sub> , PM
LNG	高	N◎, R△ (大きさ・船種)	◎ (供給インフラ)	↓ CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , PM <sup>注3)</sup> ↑ CH <sub>4</sub> , ホルムアルデヒド?
Biodiesel	中	◎ (酸化安定性)	◎ (供給量)	↓ SO <sub>x</sub> , PM ↑ NO <sub>x</sub>
Methanol	中～高?	N◎, RO (法整備)	◎ (供給量)	↓ NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , PM ↑ ホルムアルデヒド
Water-in-fuel Emulsions	?	○ (?)	○	↓ NO <sub>x</sub> , PM (?)
SO <sub>x</sub> scrubbers	中以下 条件に依存	◎ (大きさ)	◎	↓ SO <sub>x</sub> , PM ↑ CO <sub>2</sub> , 洗浄水の処理
DPF	高	NO, R△ (大きさ, 再生処理)	◎	↑ CO <sub>2</sub> , 廃棄物処理
ESP	中～高	NO, R△ (大きさ, 排ガス温度)	○	↓ PM ↑ CO <sub>2</sub> , 廃棄物処理

注1) N:新造船, R:レトロフィット/◎:問題なく適用可, ○:利用可, △:利用には課題あり

注2) ◎実船での実績あり, ○船舶用としては実績がないor少ないが, 陸用で実績あり

注3) リーンバーンタイプの特徴。GIタイプでは、NO<sub>x</sub>排出量は比較的多く、3次規制クリアのためには他の技術が必要だが、メタンスリップは少ない。

2023年度から始まった第2期中長期計画の重点研究「GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究」においては、これまでの研究成果をベースに、カーボンニュートラル燃料等を利用した場合の船用エンジンからの排気エミッションの実態把握のため、計測法、削減技術について調査を進め、将来のGHG削減目標達成に貢献する技術の構築を目指している。2050年目標であるカーボンニュートラルの実現に向けて、技術的なサポートをしていきたいと考えている。

## 謝 辞

本報告の一部は、日本財団の助成事業である(一財)日本船舶技術研究協会の「2017年度大気汚染防止基準整備のための調査研究(大気汚染防止基準整備プロジェクト)」で実施されました。ここに厚く御礼申し上げます。

## References

- 1) T.C.Bond et al., J. of Geophysical Research: Atmospheres, 118 (2013), 5380-5552
- 2) PPR 5/INF.13 (IPIECA)
- 3) PPR 5/INF.7 (Canada)
- 4) <https://www.theicct.org/publications/black-carbon-emissions-global-shipping-2015>
- 5) <https://www.vtt.fi/sites/sea-effects>
- 6) 中村真由子, 大橋厚人, 市川泰久, 仁木洋一, 船用ガス機関および船用ディーゼル機関から排出される粒子状物質の比較, 2018 海技研発表会予稿集, PS-15.
- 7) S.Nishio, et al, ISME 2017 Tokyo, AS1-104
- 8) 西尾澄人, 柳東勲, 新田好古, 市川泰久, ガス機関の排ガスによる EGR, エマルジョン燃料及び燃料噴射制御が船用ディーゼル機関の排気特性に及ぼす影響, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52-5 (2017), 666-674.
- 9) 高橋千織, 益田晶子, IMO 排ガス洗浄システム (EGCS) ガイドラインにおける排水規制とモニタリング, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 50-3 (2015), 354-359.
- 10) MEPC.340(77) 2021 Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems
- 11) <https://www.ngk-insulators.com/en/product/industrial/dustcollector/ship/index.html>
- 12) [http://report.classnkrx.com/researchresult.nsf/0/75EC1EEF9C242CB0492580DE00257636/\\$File/14-19\\_1.pdf?OpenElement](http://report.classnkrx.com/researchresult.nsf/0/75EC1EEF9C242CB0492580DE00257636/$File/14-19_1.pdf?OpenElement)
- 13) Sasaki, et al, ISME 2011, Kobe, Proc. No. C4-4.