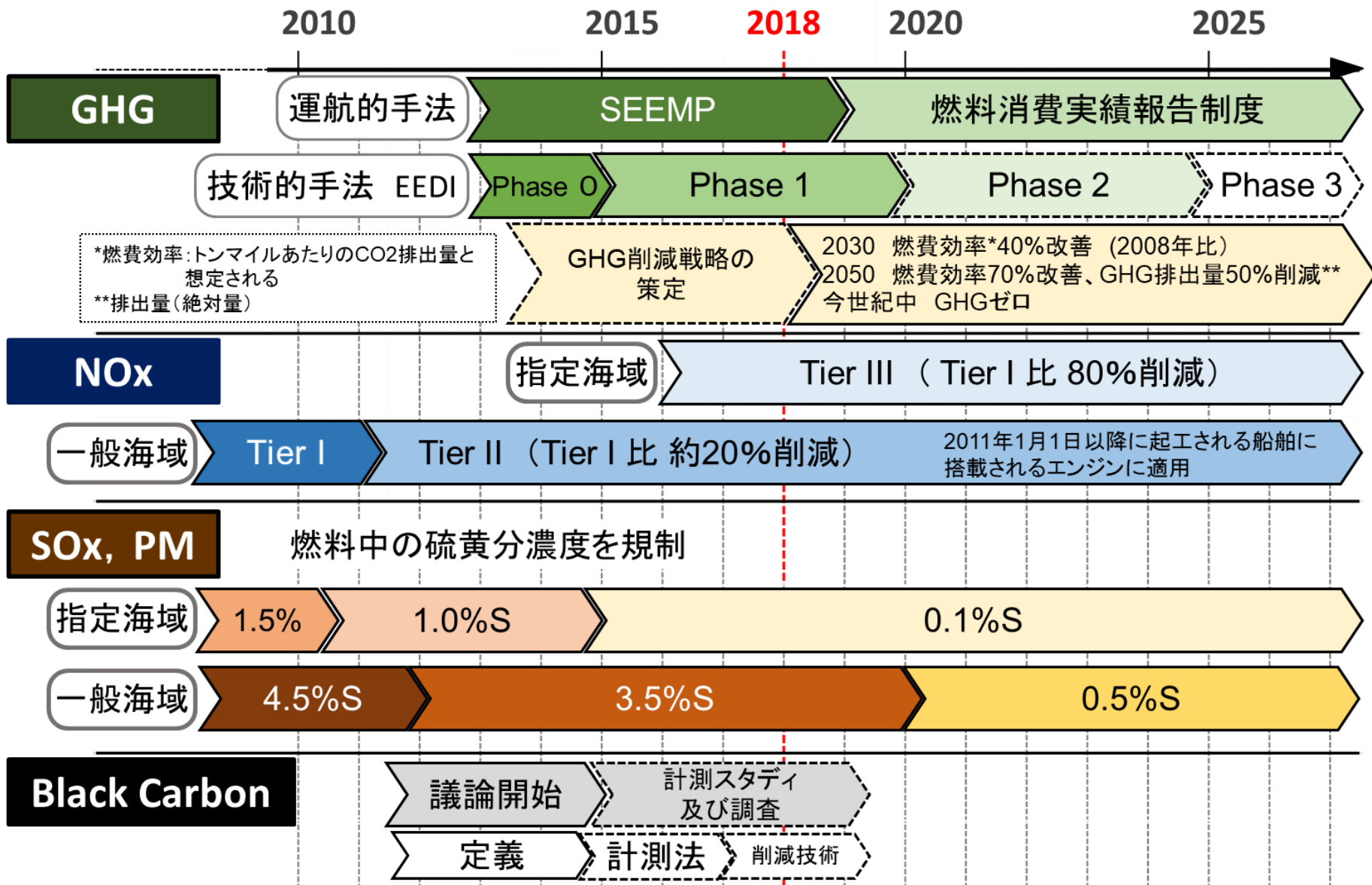


ブラックカーボン削減技術に 関するレビュー

環境・動力系

環境分析研究グループ

高橋千織、益田晶子、中村真由子



海技研における大気環境規制関連研究のうち、ブラックカーボン(BC)対策として、IMOで議論となっている環境規制対策技術についてレビューを行う。

Black Carbon規制の必要性についての検討状況

1. BC規制検討の経緯と削減技術調査
2. 海技研における今までの実験結果についても紹介する

Black Carbon規制の必要性 についての検討状況

IMOにおける議論の経緯

BC計測法と計測スタディ

◎IMOへの問題提起

MEPC60(第60回海洋環境保護委員会、2010年3月)



「北極圏における船舶からのブラックカーボン排出削減」
ノルウェー、スウェーデン、米国の共同提案

MEPC62(2011年7月)

「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」について検討することで合意

◎ BLG(現PPR)小委員会への検討作業委託

- 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 BC排出を削減する適切な方法の調査を行う

●BCの定義: MEPC68(2015年5月)にて基本合意

Bondらの定義をもとにした定義とする

T.C.Bond et al., J. of Geophysical Research: Atmospheres, 118 (2013), 5380-5552

➤ 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が $5\text{m}^2/\text{g}$ 以上
光吸収特性
- (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
熱的安定性
- (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。
化学的安定性
- (4) 微小球状の炭素粒子の集合体として存在
存在形態

Black Carbon(BC) = Elemental Carbon(EC)

IMOにおけるBCに関する議論の経緯(3)

● 計測法:

PPR5(2018年2月)にて合意(現時点で一つに特定しない)

- フィルタスモークメータ法(FSN)
- 光音響(PAS)法
- レーザー誘起白熱(LII)法

● 各国での計測スタディ実施:継続中

→計測スタディのための報告プロトコル作成(PPR5)

EUROMOTのHPからエクセル版をダウンロード可

<https://www.euromot.eu/how-we-work/marine-seagoing-engines/>

● 削減技術の調査:

PPR6(2019年)にて検討予定


→現在、CGにおいて意見及び情報を集約中

feasibility, safety, availability and effectiveness

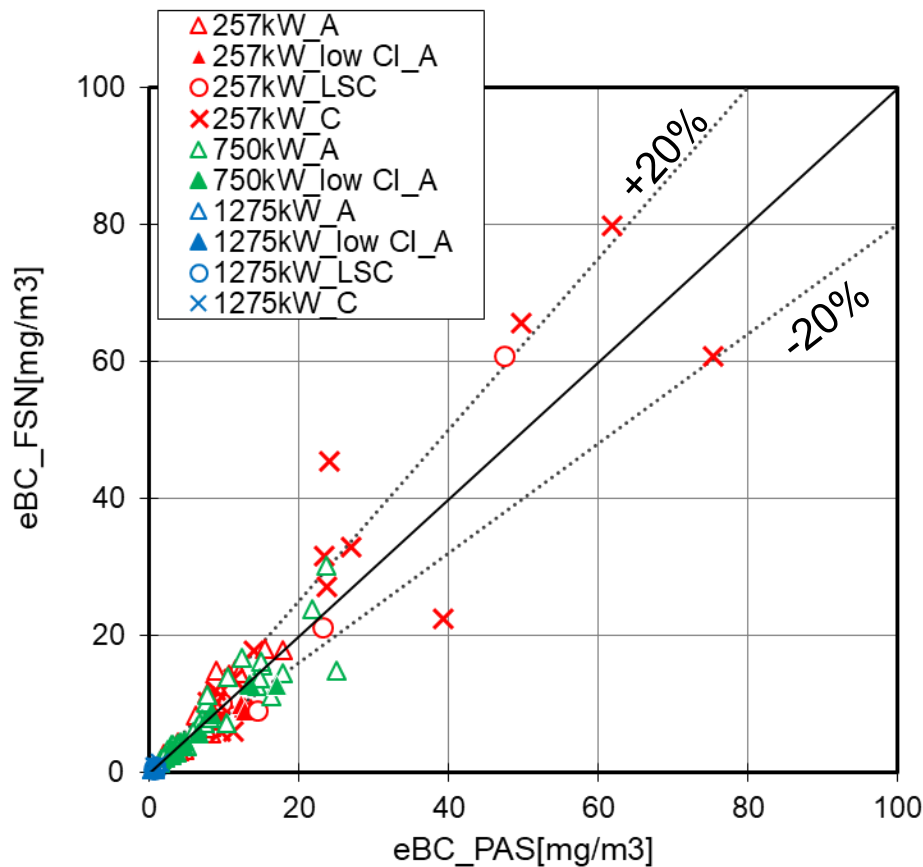
Black Carbon規制の必要性 についての検討状況

削減技術の調査

1. 燃料転換

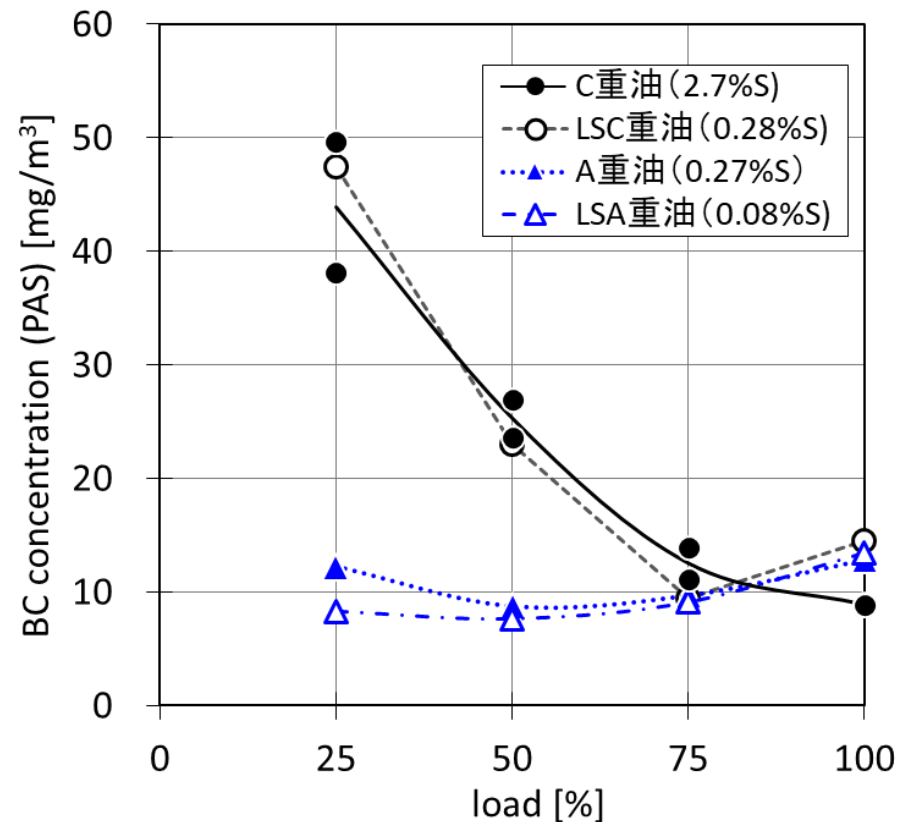
	期待されるBC削減率	Note	
燃料油転換	HFOからMDOの場合 ~85%(複数の文献より) 33% ¹⁾ 60%(30%負荷) ²⁾	2ストロークと4ストロークエンジン、負荷で異なる。 最新の電子制御エンジンでは効果なしとの報告も。 燃料グレードを考慮した評価、ハイブリッドタイプの 燃料油では更なる評価が必要	○
水利用技術	50-90%(エマルジョン燃料) ¹⁾ 45-50% ³⁾ 高負荷で効果あり(海技研)	CO ₂ 削減18%以下	○
LNG	90%以上、93.5% ¹⁾	CO ₂ 削減20%強	○
LPG			
バイオ燃料	50-75%(100%の場合) ¹⁾ 10-30%(20%ブレンド) ¹⁾ 50%程度(30%ブレンド) ³⁾	再生可能エネルギー BCは減るが、NOxは増える	○
メタノール	97%(DME) ¹⁾	常温常圧で液体、再生可能エネルギー	
電池	100%		○
燃料電池	100%	NOx、SOx、PMはほぼゼロ	○
水素			○
核燃料	95%以上		

中速4-stroke エンジンの計測例



様々な燃料を使用した時のFSN法とPAS法の計測値比較(2014年～2017年のデータ)

中速4-stroke エンジン(257kW/420rpm)



S分とグレードの異なる燃料を使用した時のPAS計測結果

◆ 水エマルジョン

◆ 水噴射 (Direct Water Injection)

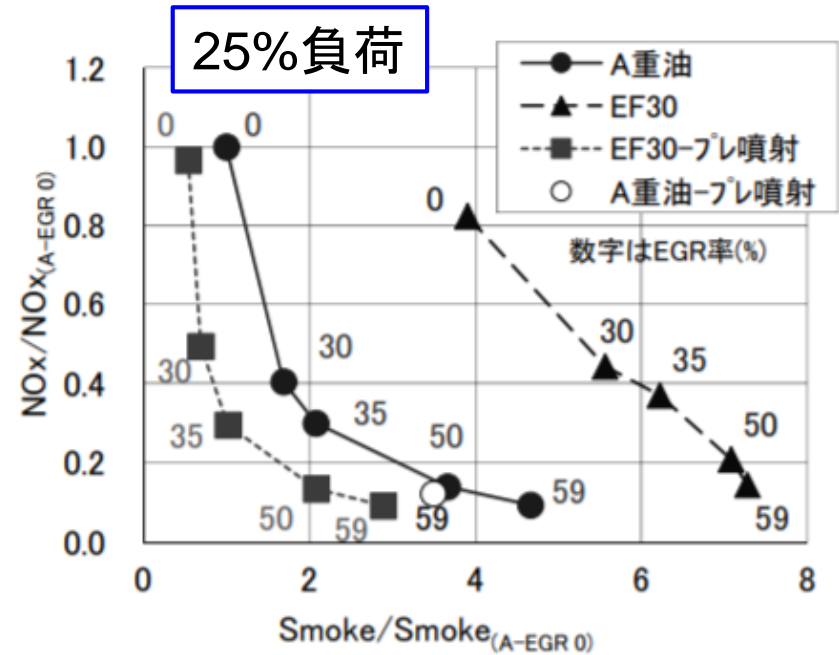
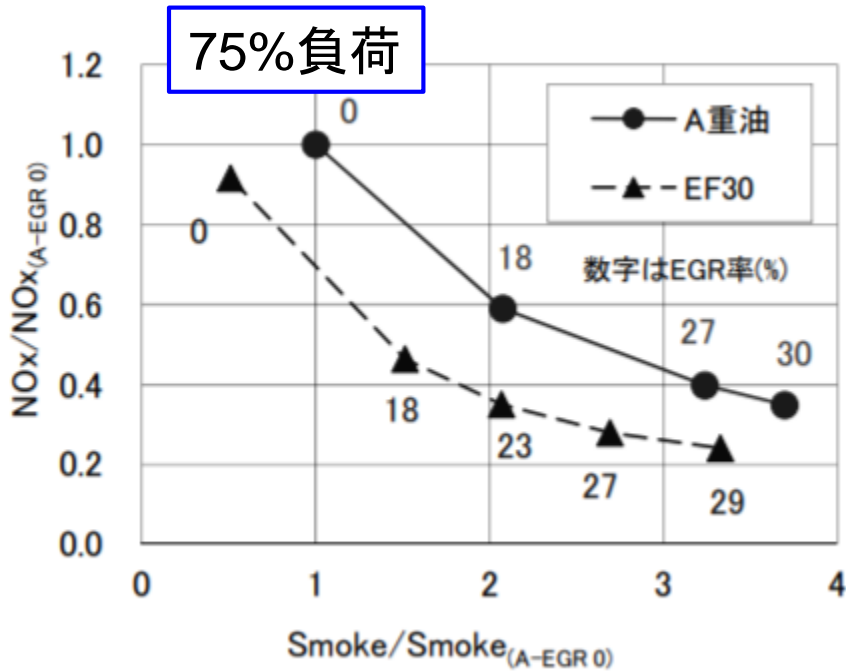
◆ 給気加湿

実験条件:

257kWエンジン使用

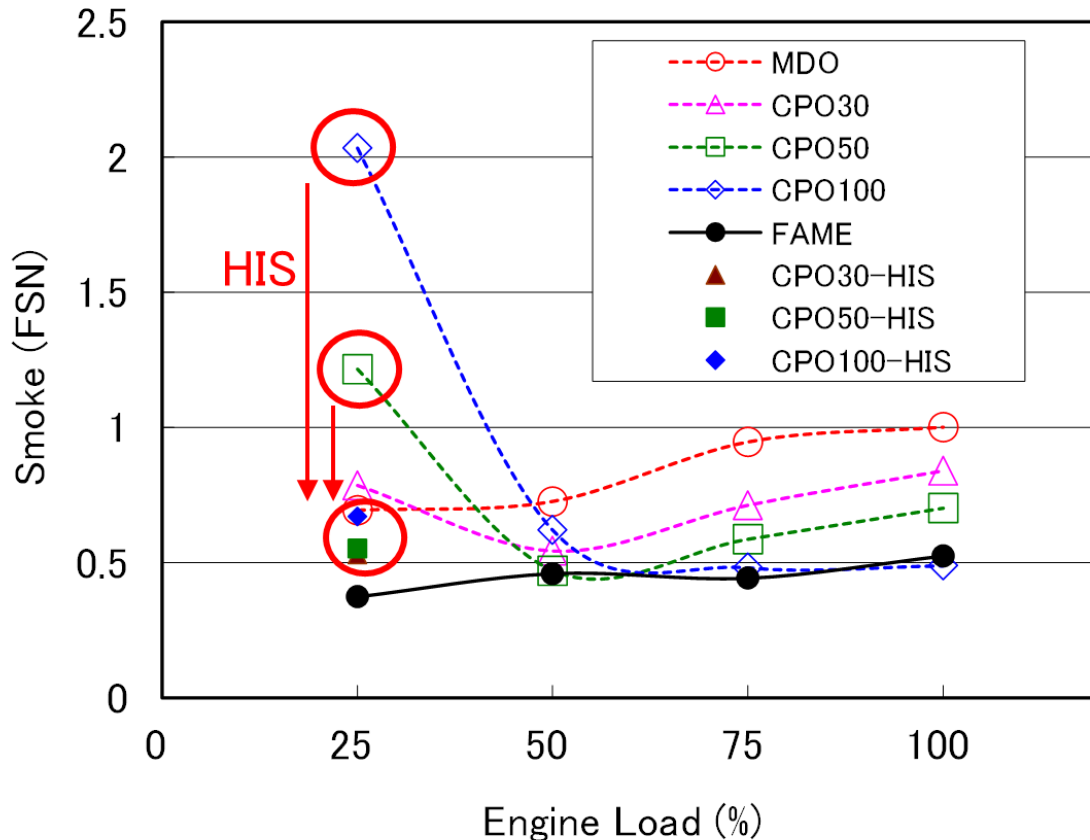
A重油、エマルジョン燃料 (A重油70%+水30%)

ガスエンジンの排気をEGRとして利用



- スモークについては、高負荷運転(75%負荷率)でのエマルジョン燃料の使用は、スモーク低減効果があるが、低負荷運転(25%負荷率)でのエマルジョン燃料の使用は逆にスモークを増加させる。

◆ FAMEはBC削減効果があるが、CPOは工夫が必要



使用燃料

A重油 (MDO)

FAME (100%)

Crude Palm Oil (CPO)

CPO30
(MDO:CPO=70:30)

CPO50
(MDO:CPO=50:50)

CPO100 (CPO100%)

*HIS: Hybrid Injection System
 機械式の燃料噴射装置に自動車用のコモンレールを適用して、電子燃料噴射装置を後付け

バイオ燃料の課題: 酸化による劣化などを改善するには、水素化処理などが必要だが、さらに生産コスト増になる。

◆ ガスエンジンでのBC削減効果は99%以上、PM削減は限界がある

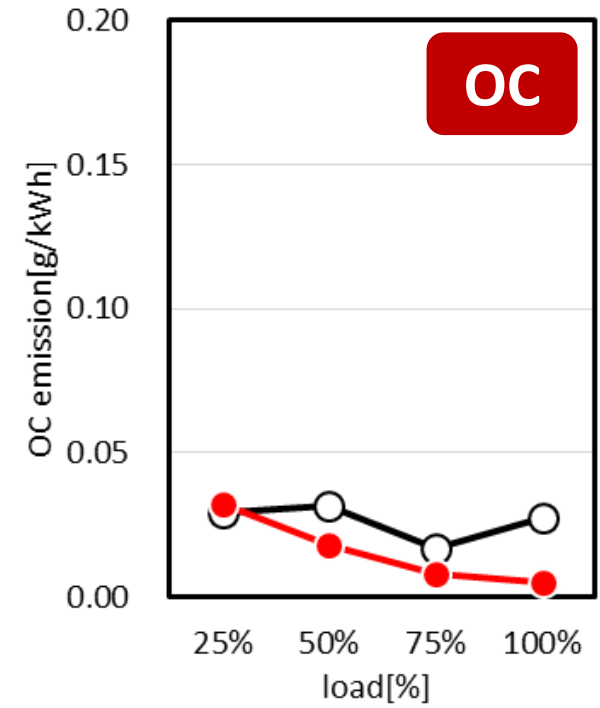
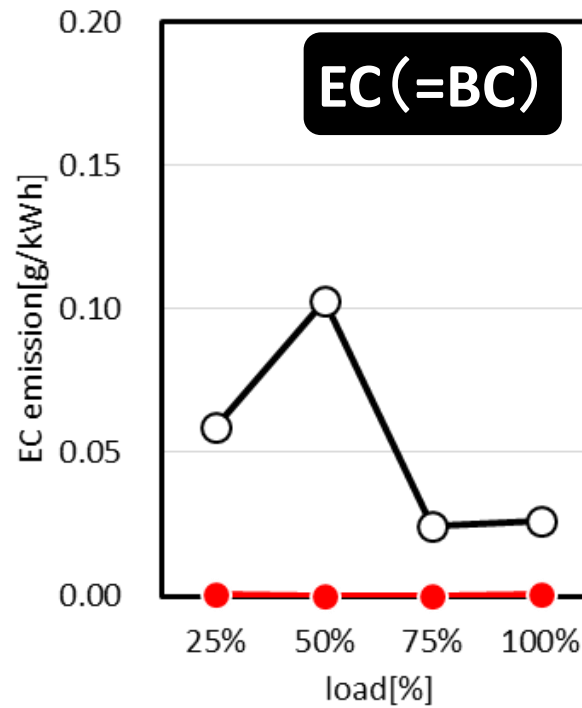
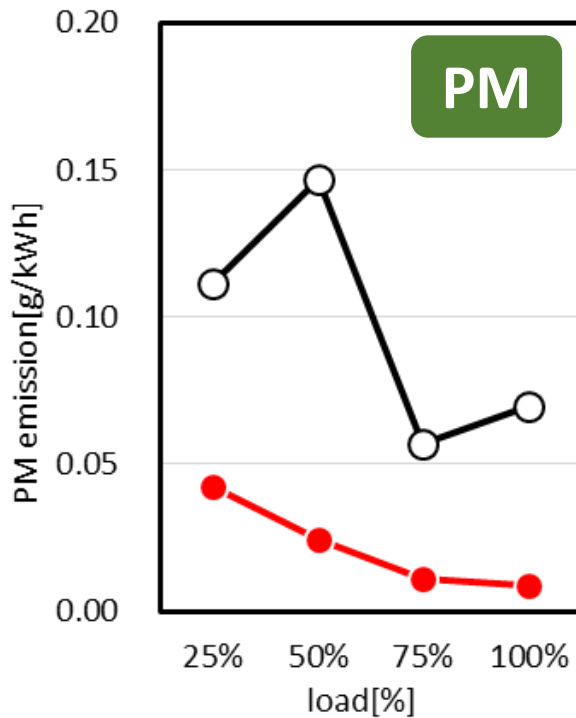
運転条件: 発電特性

使用燃料:

ディーゼルエンジン: 低硫黄A重油(硫黄分0.08%)

ガスエンジン: 都市ガス(13A)

○750kW_diesel engine
○400kW_gas engine




PS-15 中村真由子ら

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

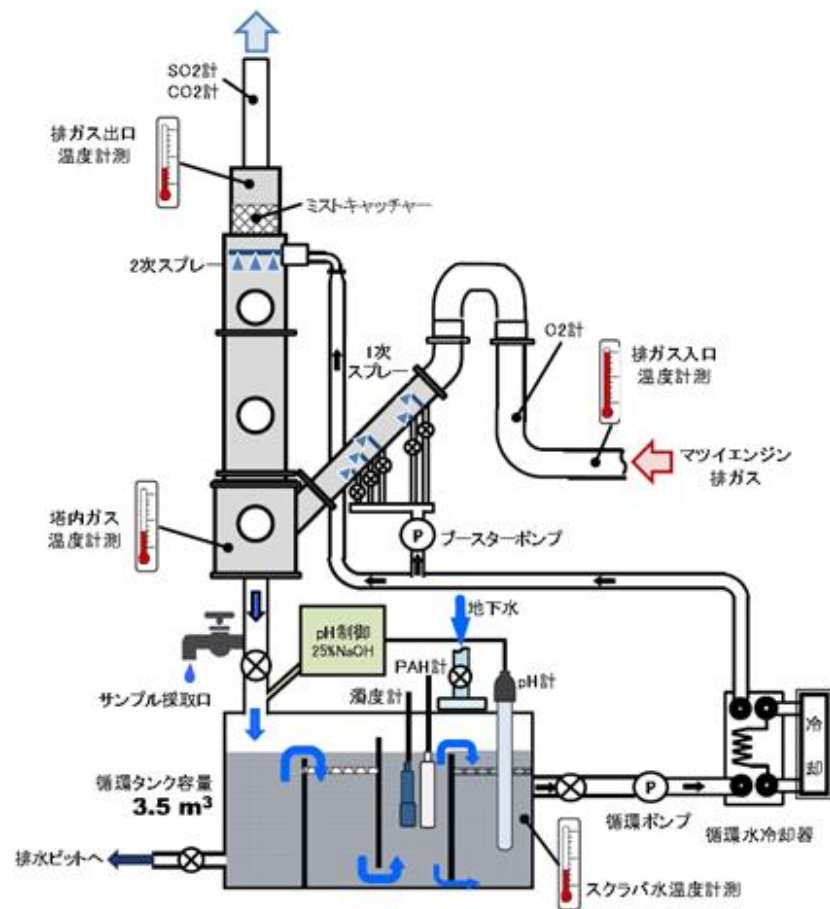
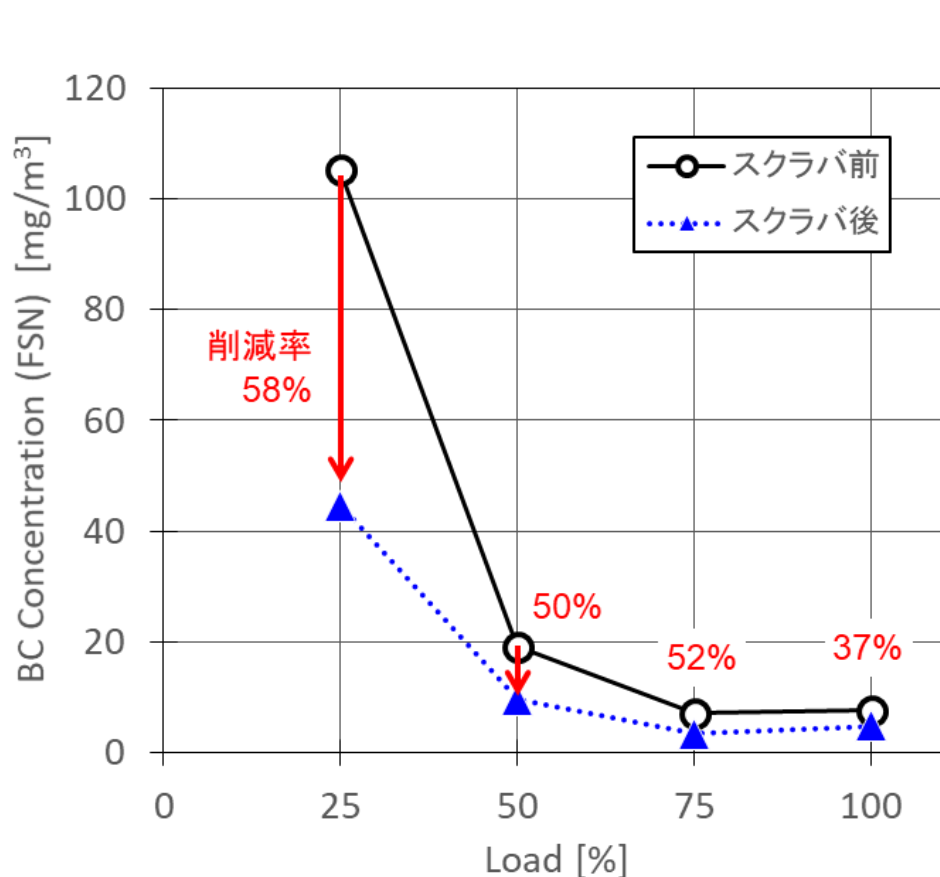
2.エンジン技術

	期待されるBC削減率	Note	
エンジンタイプ	2ストは4ストの1/2-1/10	Man Diesel & Turbo資料	○
	大きさと負荷によって、PM排出率は3桁近く異なり、一般にエンジンが大きくなるとBC排出率は小さくなる		
エンジン負荷率		エンジン負荷率を上げるとBC排出率減	○
電子制御化		新しい電子制御エンジンほど燃焼が良く、BC排出率減	○
	低負荷で80%以上	三菱重工資料(7UEC33LSII)	
	最大70%程度	海技研の実験結果	
エンジンオプション(燃費改善=BC削減)			
スライドバルブ	10-50% ¹⁾		
機関チューニング/ De-rating	1-12% ¹⁾		

3.排ガス後処理装置


	期待されるBC削減率	Note	
SOxスクラバ	45%(高硫黄燃料) ¹⁾ 37.5%(低硫黄燃料) ¹⁾ ≈0%(Finlandの実船計測) ⁴⁾ 25-70% ³⁾ 35-60%程度(海技研)	レポートによって値に差があるのは、エンジンとスクラバタイプの組合せによる と考えられる	○
DPF ディーゼルパーティクルフィルタ	99%以上(低硫黄燃料) ¹⁾ 85%(高硫黄燃料) ¹⁾ 70-90% ³⁾	複数の報告から引用 燃料条件などによって異なるとの報告も	○
電気集塵機(ESP)	10-90% ¹⁾	陸上では実用化されているが、船用市販品の実績は少ない。 水を使用するタイプもある。	○
SCR (選択的触媒還元)	0-30% ^{1), 3)} Tier IIIエンジンよりSCRを搭載したTier Iエンジンの方がBC少(MAN Diesel & Turbo)	基本的にはSCRに削減効果はないが、SCRを利用することで、NOxを気にせず、燃焼改善が行えることからBC削減	○

◆スクラバーによるBC削減効果は35~60%程度にとどまる



- U型タイプのスクラバと257kW中速4ストロークエンジンの組み合わせ
C重油使用

4.燃費改善や政策他¹⁾

	期待されるBC削減率	Note	
船デザイン(新造船) EEDI	10-30%	燃費改善と同等のBC削減効果 2020年までに20%、2025年までに 30%の燃費改善	○
船デザイン (レトロフィット)SEEMP	1-20%	プロペラ最適化、空気潤滑、船底塗料、 クリーニングなど	○
モニタリングオプション	0.5-10%	ウェザールーティングや自動航行システムの アップグレード	○
減速運航 De-Rating	0-30%	燃費は良くなるが、低負荷ではBCが発 生しやすいことに注意	
ECAの拡大 (残渣油の使用禁止)	35-80%		
BC排出基準値の制定			

- ◆IMOでのBCに関する議論は、計測方法の議論が決着するのを待たずに、削減技術の調査も並行して行うことになった。
- ◆計測法については、当所で行った実験結果のみでなく、海外の研究グループの結果も、燃料やエンジンの種類によって、FSNとPAS法の結果のばらつき方に違いがある。現在の“計測法に中立なBC定義”を用いるのであれば、さらに検討が必要と思われる。最終的に計測法を一つにするのであれば、その計測法によってBCを定義するのが妥当。
- ◆削減技術の調査が始まっているが、最終的に何で評価するのかはまだ決まっていない(排出率なのか、燃料消費量あたりの排出量なのかなど)。
- ◆議論を待たず、BCとは別に、油流出の環境影響を懸念して北極海域でのHFO使用を禁止しようとする議論もされており、今後のBCの議論がどうなるのかは不明。

ご静聴ありがとうございました。

参考文献

- 1) PPR 5/INF.7 (Canada)
- 2) PPR 5/INF.13 (IPIECA)
- 3) <https://www.theicct.org/publications/black-carbon-emissions-global-shipping-2015>
- 4) <https://www.vtt.fi/sites/sea-effects>



謝辞:

本研究の一部は、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)」、及び国土交通省からの受託研究である、平成29年度「船舶からの排ガス常時監視・統合処理システムに関する調査研究業務」によって実施されました。ここに厚く御礼申し上げます。

海上技術安全研究所 環境・動力系

高橋千織

chiori@nmri.go.jp