

# 国際海事機関における ブラックカーボン規制に 関する議論の進捗状況

【関連発表:PS-16,17】

環境・動力系

高橋 千織、益田 晶子、大橋 厚人、  
中村真由子、西尾 澄人

## ◎地球温暖化・気候変動問題に対する国際的な 調査・対策強化等の取り組み

{ 大気中の温室効果ガス  
 { 短寿命気候汚染物質

### Short-Lived Climate Pollutants, SLCPs

比較的寿命が短い(概ね数ヶ月以内)

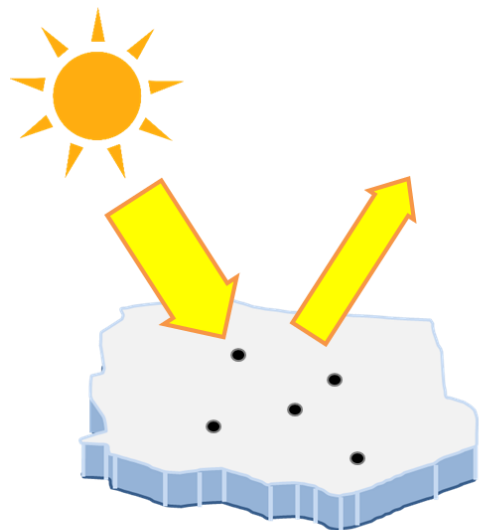
発生源地域に局在化

対流圏・成層圏オゾン

黒色炭素(ブラックカーボン, BC)

微粒子(エアロゾル)

有機エアロゾル、硫酸塩・硝酸塩



BCによる地表面アルベド  
(反射率)の低下

## ◎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

## ➤ MEPC68(2015年5月)において基本合意

### ✓ 国際海運におけるBCの定義

Bond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

### ✓ 計測法

定義にあう計測法を今後検討

A.Petzold et al., Chem. Phys. Discuss. , 13(2013-4), 9485-9517

### ✓ 各国での計測スタディ実施を提案

→計測スタディのためのプロトコルの作成が必要

## < General definition >

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、以下のような性質を持つ。

## < Physical property definitions >

- (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)

## ◆計測法候補

BCの光吸収特性を用いて計測し、質量濃度へ変換:eBC

- フィルタスモークメータ FSN
- 多角度吸光光度法 MAAP
- 光音響法 PAS

BCの耐熱性を利用して計測し、質量濃度へ変換:rBC

- レーザー誘起発光法 LII

---

PM中のOC/EC組成を熱分離して定量:EC

- サーマルオプティカル法 TOA  
(OC/EC分析)

➤ PPR3(2016年2月)における議論

✓ 計測スタディのためのプロトコル案

EUROMOT(欧州内燃機関協会)による提案

→ 計測報告用プロトコルとして合意  
(Measurement Reporting Protocol)

✓ 計測法を選ぶにあたって、最も重視すべきことは何か。

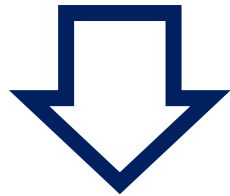
Accuracy, Repeatability, ...

日本、カナダの報告 → BC計測の難しさが明らかに

✓ 関心国での計測スタディ実施

→ まだ研究者らが計測を実施する段階

- ◆ 計測法の検討と国際的な計測スタディの実施
  - 計測法(装置)間の比較や信頼できるBC排出データを得るには、適切な計測プロトコルが必要。
  - 規制をする場合には、計測法の実施可能性を確認することも必要。



- IMOで候補に挙げられているBC計測法を原理とする計測装置を集めて同時計測実験を実施。
- 計測法の違いによる計測値の違いやその要因、計測や装置のメンテナンスの簡易さ、計測環境での耐久性・適用性(テストベッド、実船など)を検討。



➤ 使用機関:

機関	A	B	C
型式	4ストローク / 中速		2ストローク / 低速
	MU323DGSC	6L19HX	3UEC33LSII-Eco
シリンダ数	3	6	3
シリンダ径	230 mm	190 mm	330 mm
ストローク	380 mm	260 mm	1050 mm
定格出力	257.4 kW	750 kW	1275 kW
定格回転数	420 rpm	1000 rpm	162 rpm
燃料噴射方式	機械式	電子制御(改造)	電子制御
燃料	LSA重油(0.08%S) A重油(0.6%S) C重油(2.6%S)	LSA重油(0.08%S) A重油(0.6%S)	LSA重油(0.085%S)
	海技研		東京海洋大

➤ 使用計測装置：市販の計測器として入手可能なもの

分類	表記	計測手法	計測器 メーカー	計測条件	
				希釈	加熱オプションなど
eBC	FSN	フィルタ法 反射法	415S AVL	—	サンプリングライン: 70°C 計測部: 70°C
eBC	PAS	光音響法	MSS 483 AVL	内蔵希釈器 4:1 ~ 8:1	希釈セル: 120°C サンプリングライン: 65°C 計測部: 52°C
eBC	MAAP	フィルタ法 反射・透過法	MAAP 5012 Thermo Scientific	外部希釈器 MD-19E, 1000:1 ~ 3000:1	希釈部: 150°C
rBC	LII	レーザ誘起 白熱法	ZFX 富士電機		
	LSM	透過・散乱法	LEX-635S 司測研	—	サンプリングライン: 120°C 計測部: 120°C
EC OC	TOT	サーマル オプティカル法	Model 5 Sunset Laboratory	—	IMPROVEプロトコル トランスミッタンス法
PM	PM	フィルタ重量法	ISO 8178-1:1996準拠	希釈トンネル 7:1 ~ 26:1	

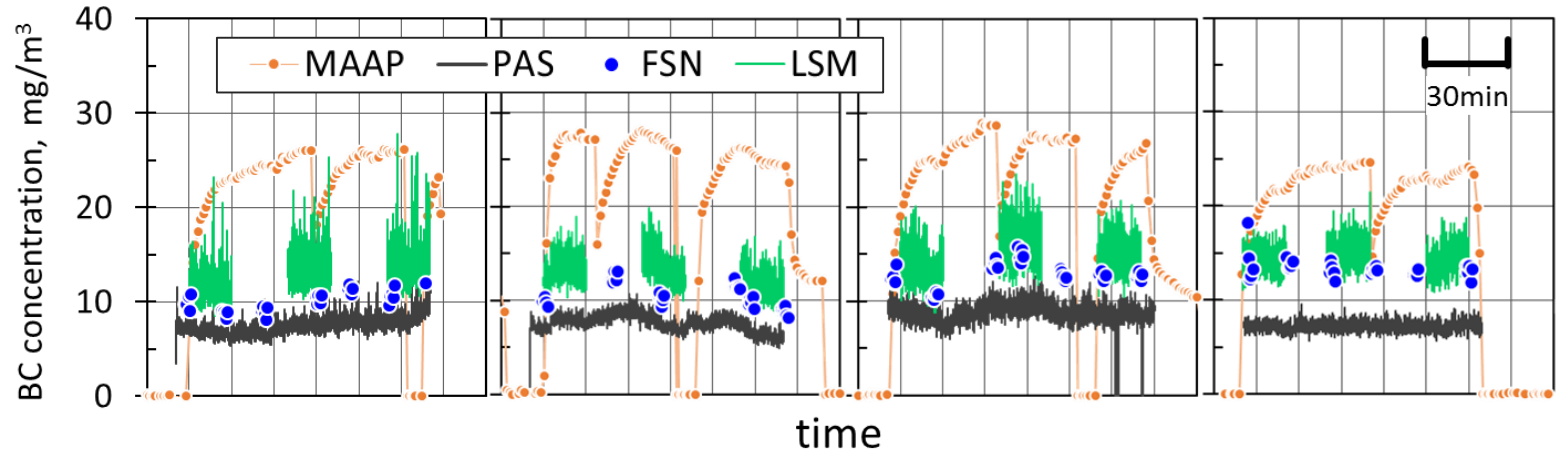
## 負荷率

25%

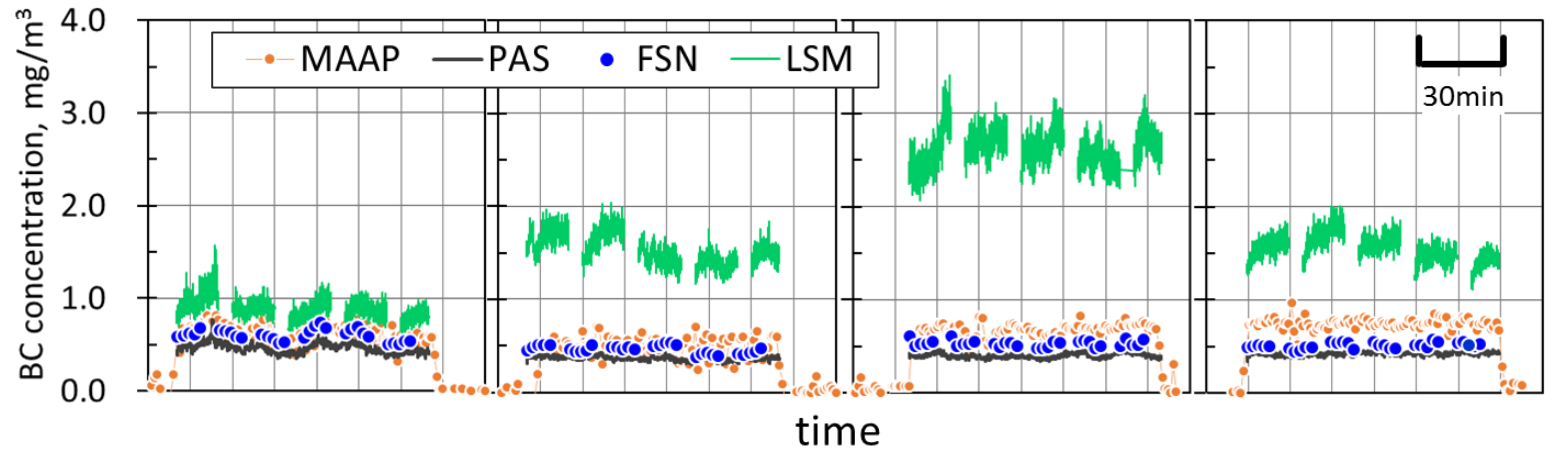
50%

75%

100%



A  
海技研  
4 ストローク  
A重油

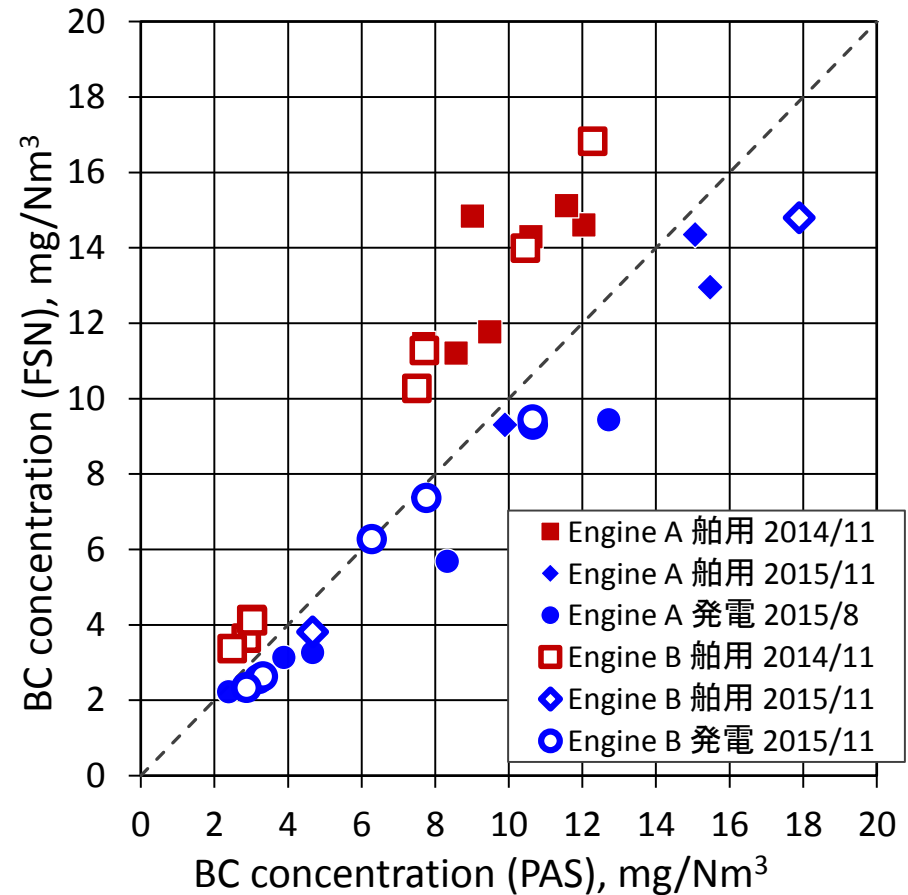
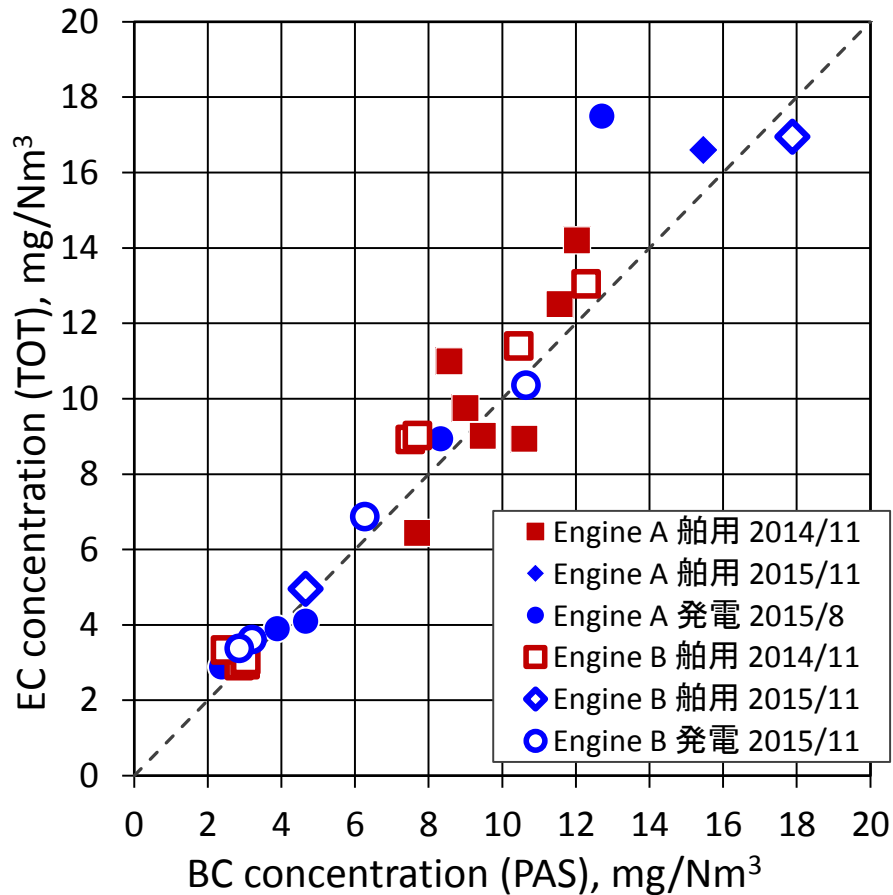


C  
海洋大  
2 ストローク  
LSA重油

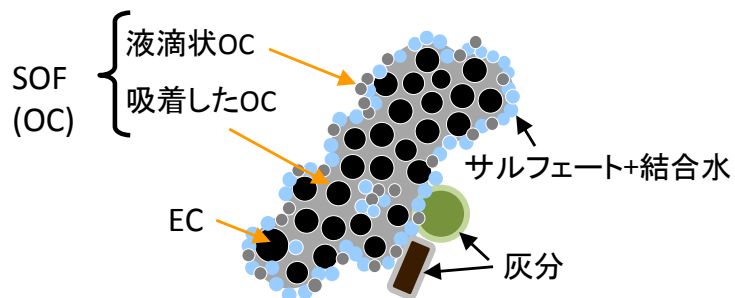
注:計測値は、温度補正などを行っておらず、装置に表示されたままの値を示している。

# TOTによるECとFSN, PASによるBC値の比較 12/16

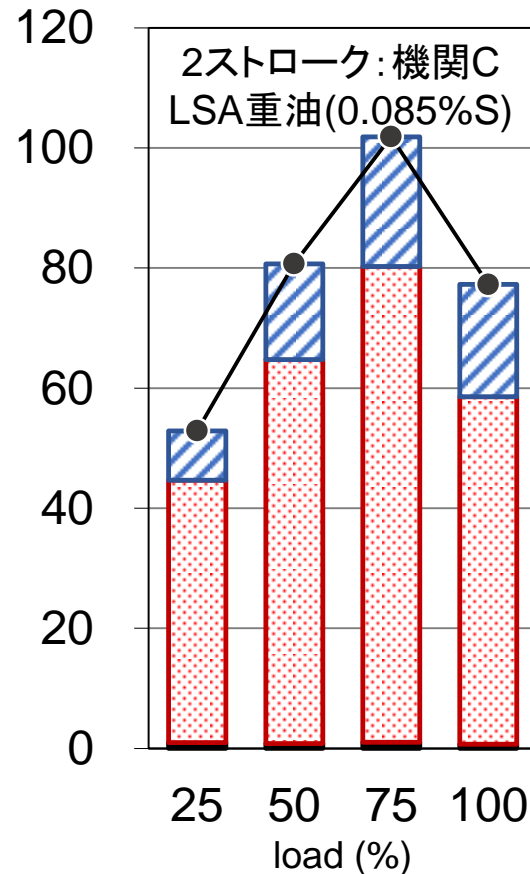
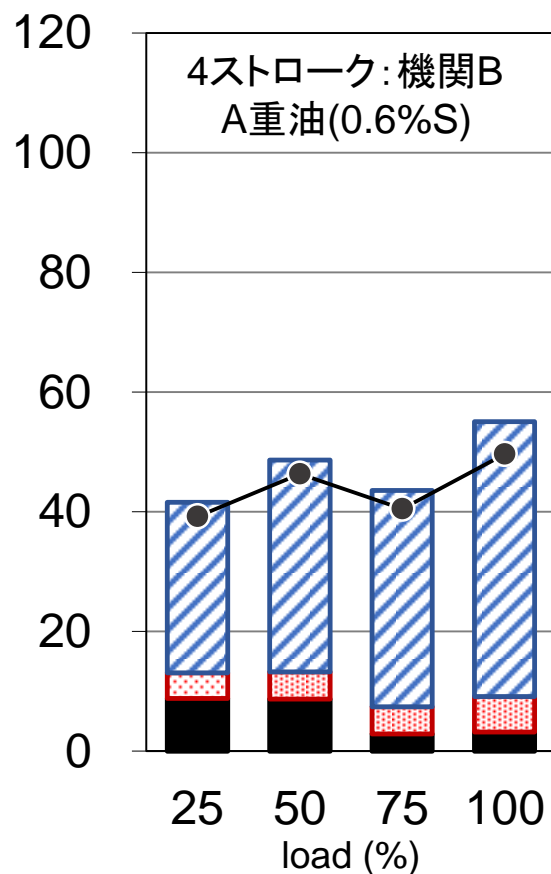
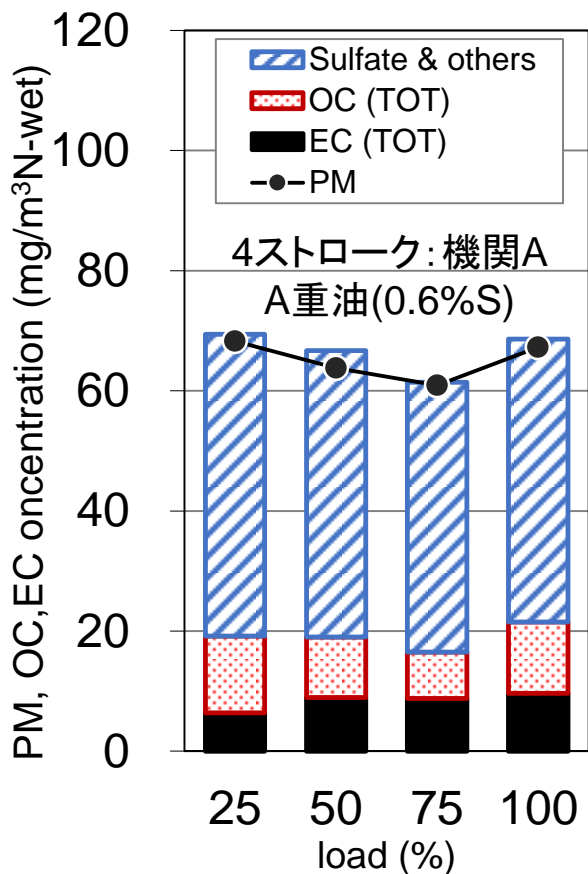
Engine A, B (4ストロークエンジン) A重油使用時  
船用特性、発電特性の影響  
データの再現性



## 粒子状物質 Particulate Matter (PM)



- 元素状炭素 (EC : Elemental Carbon)
- 有機炭化水素(OC : Organic Carbon)  
= 有機可溶成分(SOF : Soluble Organic Fraction)
- サルフェート(硫酸塩)+結合水
- 灰分(燃料由来重金属、潤滑油由来)  
エンジン内摩耗粉など



- ◆ 複数年にわたる複数回の計測からは、エンジンのメンテナンス状況や季節、燃料の違い、計測装置のコンディションなど計測結果に影響を与えることが示唆された。
- ◆ カナダ/米国(UCR)のグループは、データの再現性を向上させるため、サンプリングの段階でOCやサルフェートを除去する前処理について検討している。
- ◆ 当所でも、一部の実験において前処理、希釈方法の変更などについて検討しているが、サンプリングの複雑化は、計測結果に影響を与える不確定因子を増やすことになり、データの精度にプラスにならないと考えている。

- ◆ IMOでのBCに関する議論は、計測スタディの段階に移ったが、計測のプロトコルが十分でないため、まだ研究者レベルで議論すべき段階とみなされている。
- ◆ 当所で行った実験結果から、現段階の計測スタディでは複数の計測装置による同時計測が必須であり、できれば3種以上の計測装置が利用されるべきである。
- ◆ BCの定義を“科学的な定義”、“計測法に中立な定義”、“他の分野にも共通の定義”であるBondの定義としたことが、議論を長引かせることになっている。

今後の議論は、計測データの収集・解析によってデータの精度、妥当性を検討する学術的な議論とともに、規制の実効性に関わる計測の再現性、実施可能性とのバランスを取るようになると思われる。

- ◆ 現在、削減技術の評価についても評価を始めているが、今後、削減目標が設定された上で、適切な対策技術を選択することになる。

### 謝 辞

本研究の一部は国土交通省からの受託研究「船舶から排出されるブラックカーボン排出状況調査研究業務」および日本財団の助成事業である(一財)日本船舶技術研究所協会の「2015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)」により実施された。また本研究の実施においては、東京海洋大学塚本達郎教授、佐々木秀次助手、エイヴィエルジャパン株式会社、東京ダイレック株式会社、株式会社司測研の方々にご協力頂いた。