

# 船用ディーゼル機関からの ブラックカーボン排出削減 技術の検討

環境・動力系

\*益田晶子、高橋千織、中村真由子、  
大橋厚人、西尾澄人、仁木洋一

## 1. 背景

- ・ブラックカーボン(BC)と粒子状物質(PM)との関係
- ・BCが環境に与える影響

## 2. IMOにおける議論の動向

## 3. 海技研におけるBC計測実験

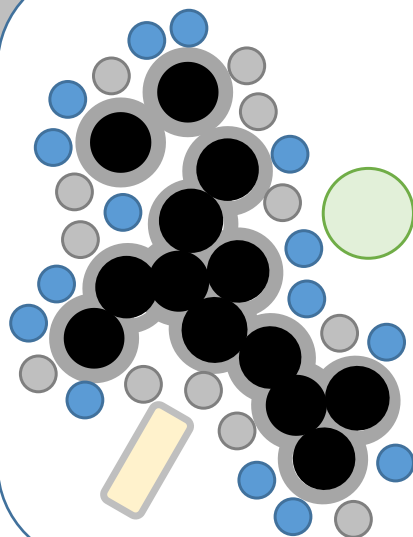
## 4. BC削減技術の検討

## 5. まとめ

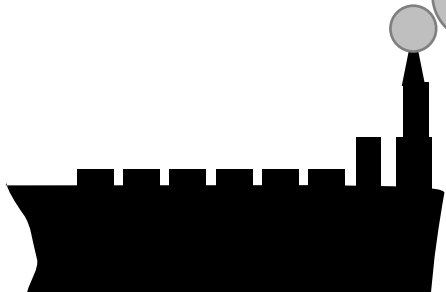
## ガス状成分

NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOC(揮発性有機化合物)など  
→ PM<sub>2.5</sub>前駆物質：大気中で2次生成

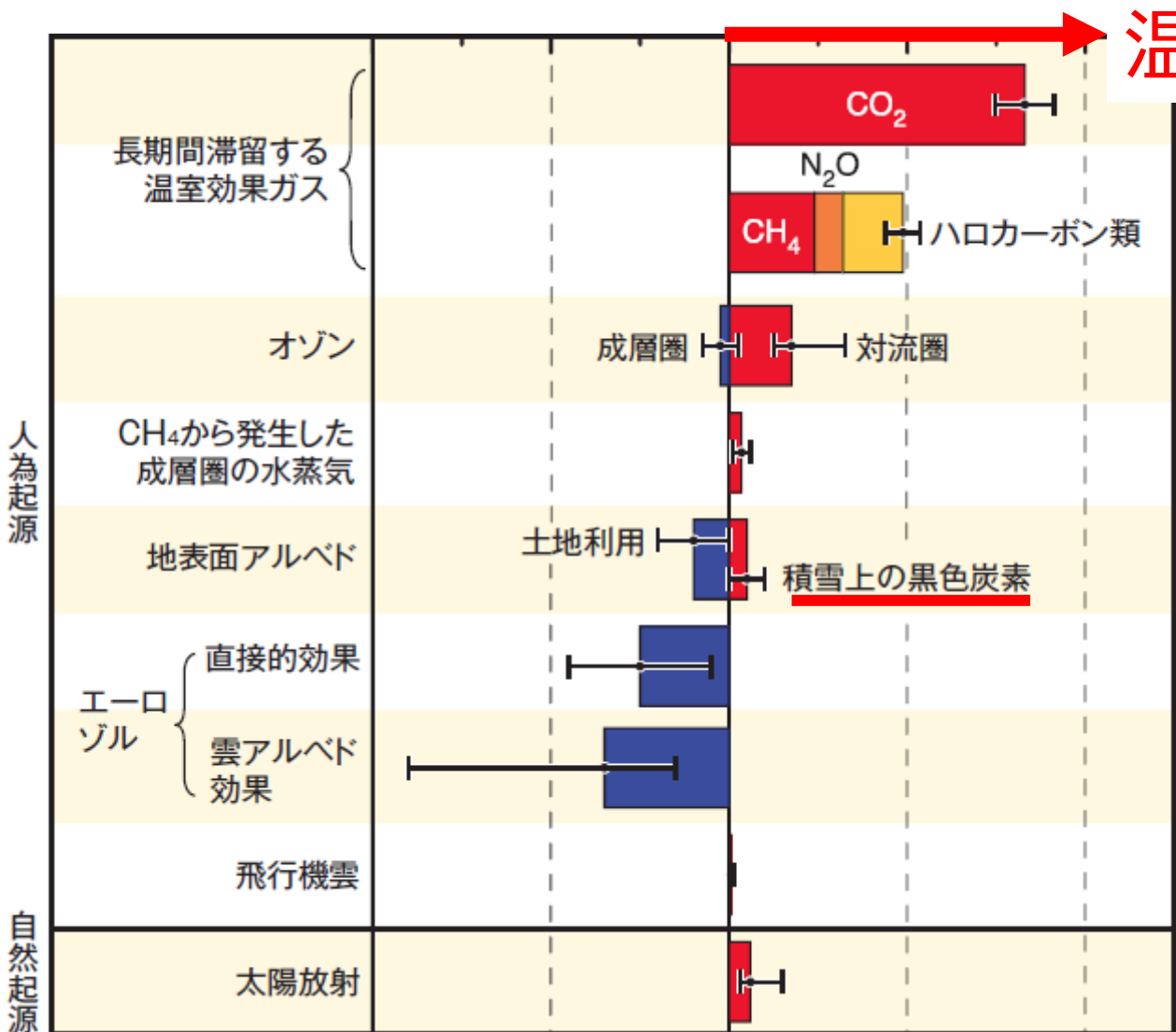
## Particulate Matter (PM)



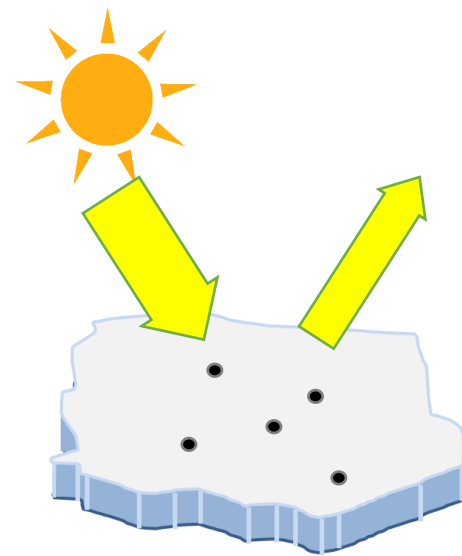
- 元素状炭素 EC=BC
- } 有機炭素 (炭化水素)
- サルフェート
- ▭ 重金属類
- 硫酸カルシウムなど



気候変動に関する政府間パネルIPCC第4次評価報告書 2007



温暖化促進



BCによる地表面アルベド (反射率) の低下

# IMOにおけるBCに関する議論の経緯 5

MEPC : 海洋環境保護委員会

PPR: 汚染防止・対応小委員会

年	会議名	内容
2010年3月	MEPC 60	北極圏へのBC影響についての <b>問題提起</b>
2011年7月	MEPC 62	国際海運からのBC排出が北極海域に及ぼす影響に関する <b>Work Plan</b> 合意 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 国際海運からの排出されるBCの<b>定義</b>をつくる</li> <li>2. BCの<b>計測法</b>を検討し、最適な方法を決定する</li> <li>3. BC排出を削減するための適切な<b>規制措置</b>を検討する</li> </ol>
2015年8月	MEPC 68	<b>BCの定義</b> 承認
2016年2月	PPR 3	BC計測結果報告（日本，カナダ） BC計測報告プロトコル提案 （EUROMOT，ドイツ）
2017年1月	PPR 4	BC計測結果報告（日本，カナダ&ドイツ，フィンランド，EUROMOT）

複数の船用ディーゼルエンジン

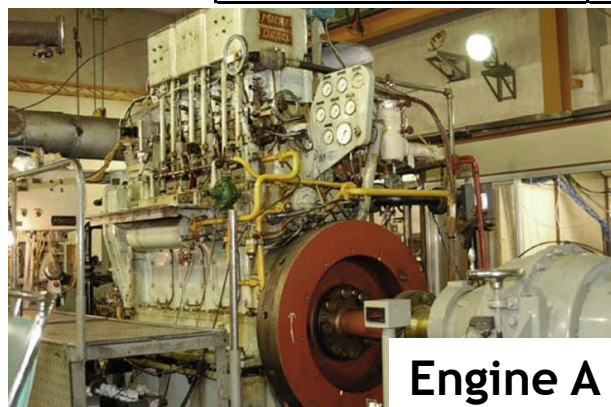
燃料油（残渣油・留出油）

→BC排出量に影響を与えるパラメーターは何か？

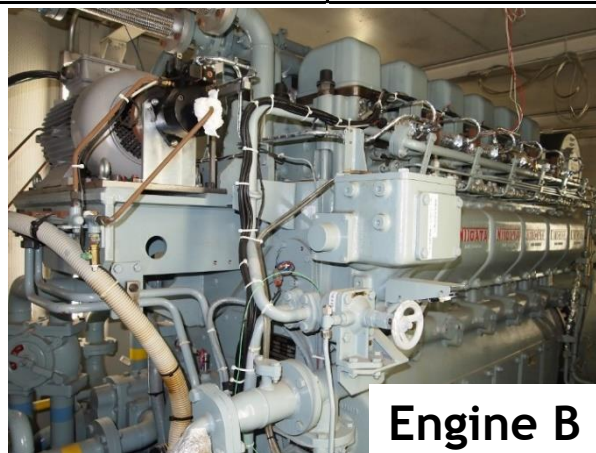
複数の計測器による同時計測

→船用ディーゼルエンジンから排出されるBCを計測する適切な計測装置は？

	A	B	C
試験条件	海技研		東京海洋大学
エンジン形式	4-ストローク、中速		2-ストローク、 低速
シリンダ数	3	6	3
シリンダ径	230 mm	190 mm	330 mm
シリンダ長	380 mm	260 mm	1050 mm
定格出力	257 kW	750 kW	1275 kW
回転数	420 rpm	1000 rpm	162 rpm
燃料噴射制御	機械式	電子制御	電子制御
運転モード	船用、発電	船用、発電	船用
使用燃料種	A重油、C重油	A重油	A重油、C重油



Engine A



Engine B



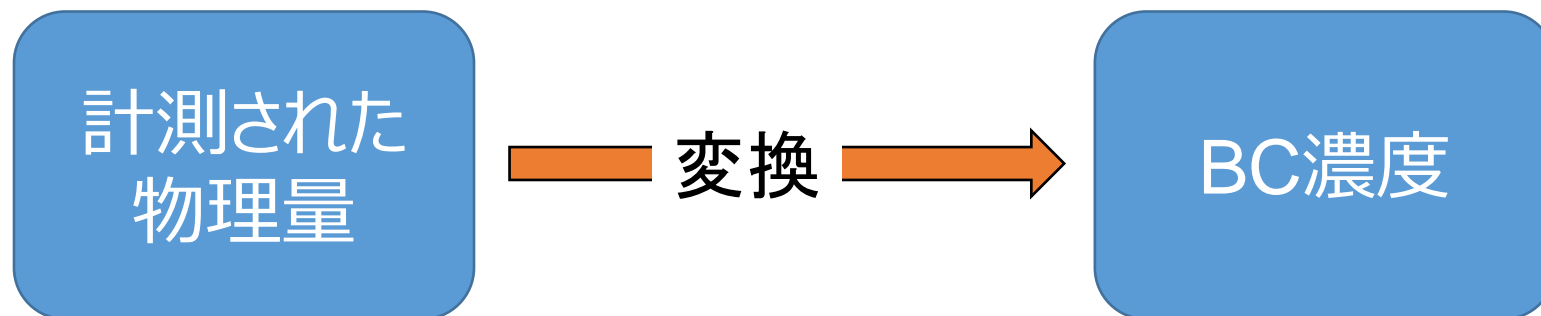
Engine C

<General definition>

炭素燃料の燃焼から生じる炭素状物質

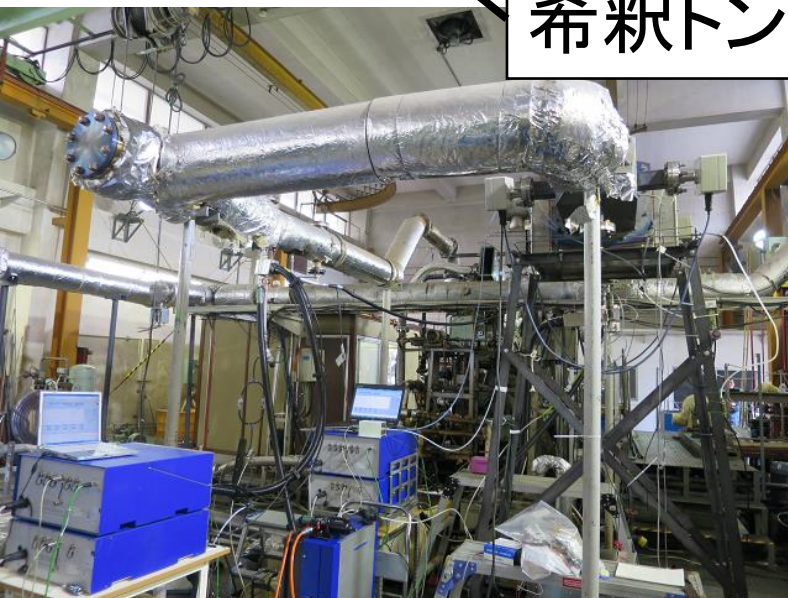
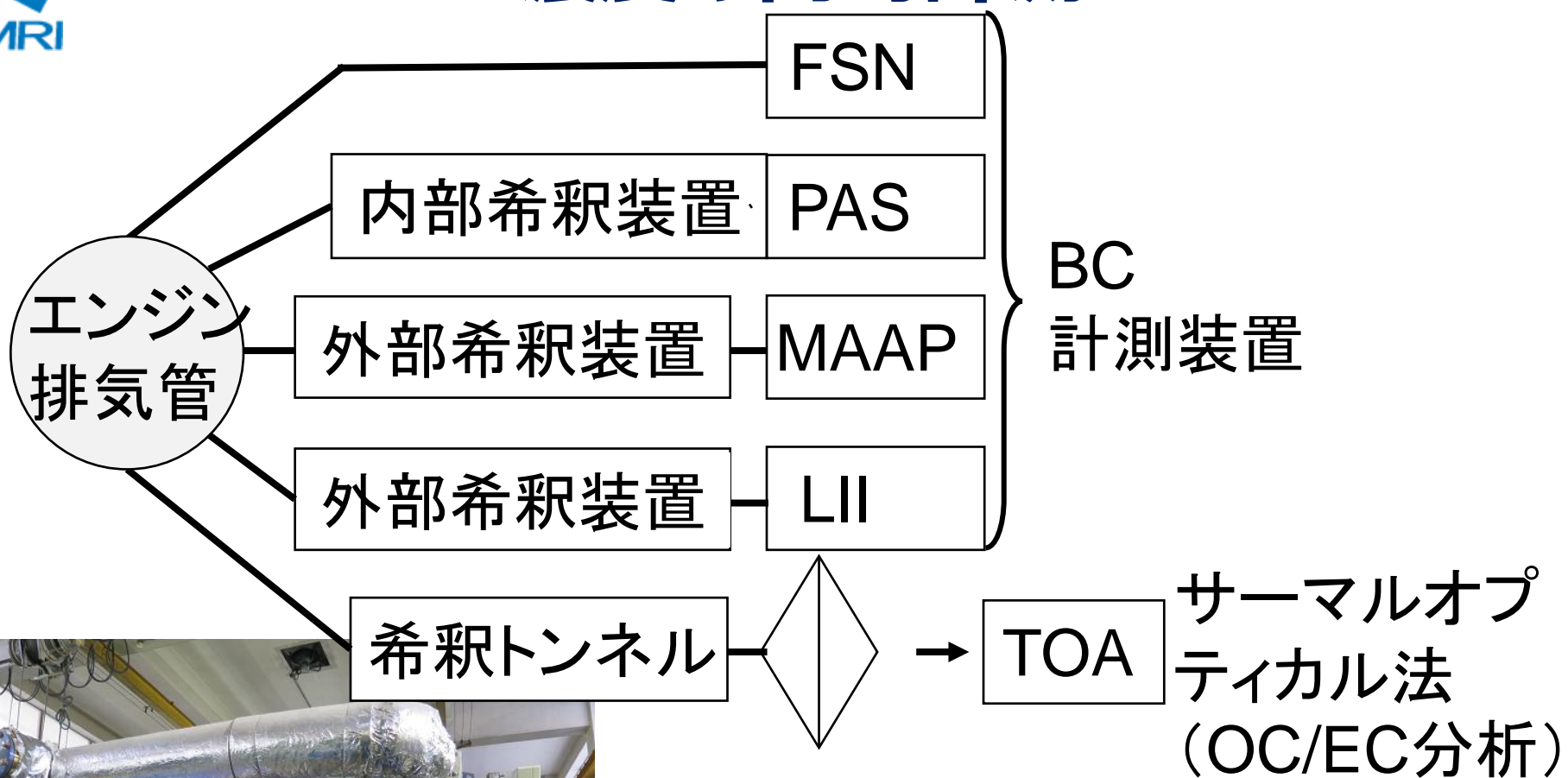
<Physical property definitions>

1. 強い光吸収 (吸光度  $5 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  以上 @550 nm)
2. 高温での安定性 (気化温度 $\sim$ 4000K)
3. 水・有機溶媒への不溶性
4. 微小球状の炭素粒子の集合体として存在

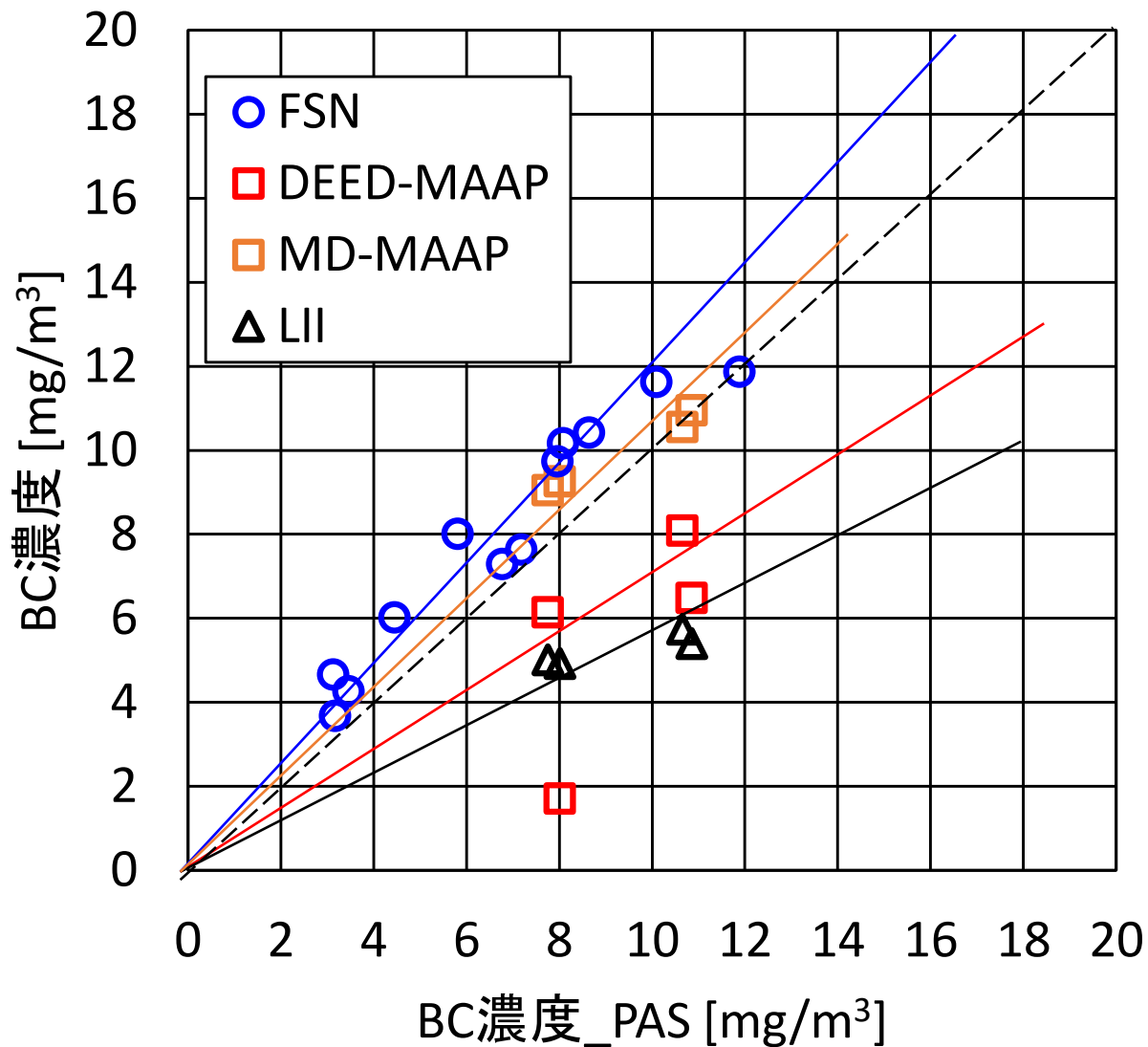




BCの性質	計測方法	略称	原理	装置例	BC濃度換算方法
光吸収	光音響法	PAS	排ガス中にパルス光を照射し、BCからの <b>圧力波</b> を計測	MSS483 (AVL)	<b>スート発生装置</b> + TOA (NIOSH)
	フィルタスモークメータ	FSN	フィルタにBCを捕集し <b>反射光</b> を計測	415S (AVL)	<b>自動車排ガス</b> + 溶媒抽出・フィルタ重量法
	多角度吸光光度法	MAAP	フィルタにBCを捕集し <b>透過光</b> と複数の <b>反射光</b> を同時計測	Model5012 (Thermo scientific)	<b>大気エアロゾル</b> + 溶媒抽出・TOA
高耐熱性	レーザー誘起白熱法	LII	排ガス中に連続光を照射し、BCからの <b>白熱光</b> を計測	ZSF (富士電機)	<b>フラーレン</b> + TOA (IMPROVE)
	サーマルオプティカル法	TOA	PMを捕集し炭素成分を熱分析する	Model 5 (Sunset laboratory)	<b>直接BC定量</b> するため換算不要

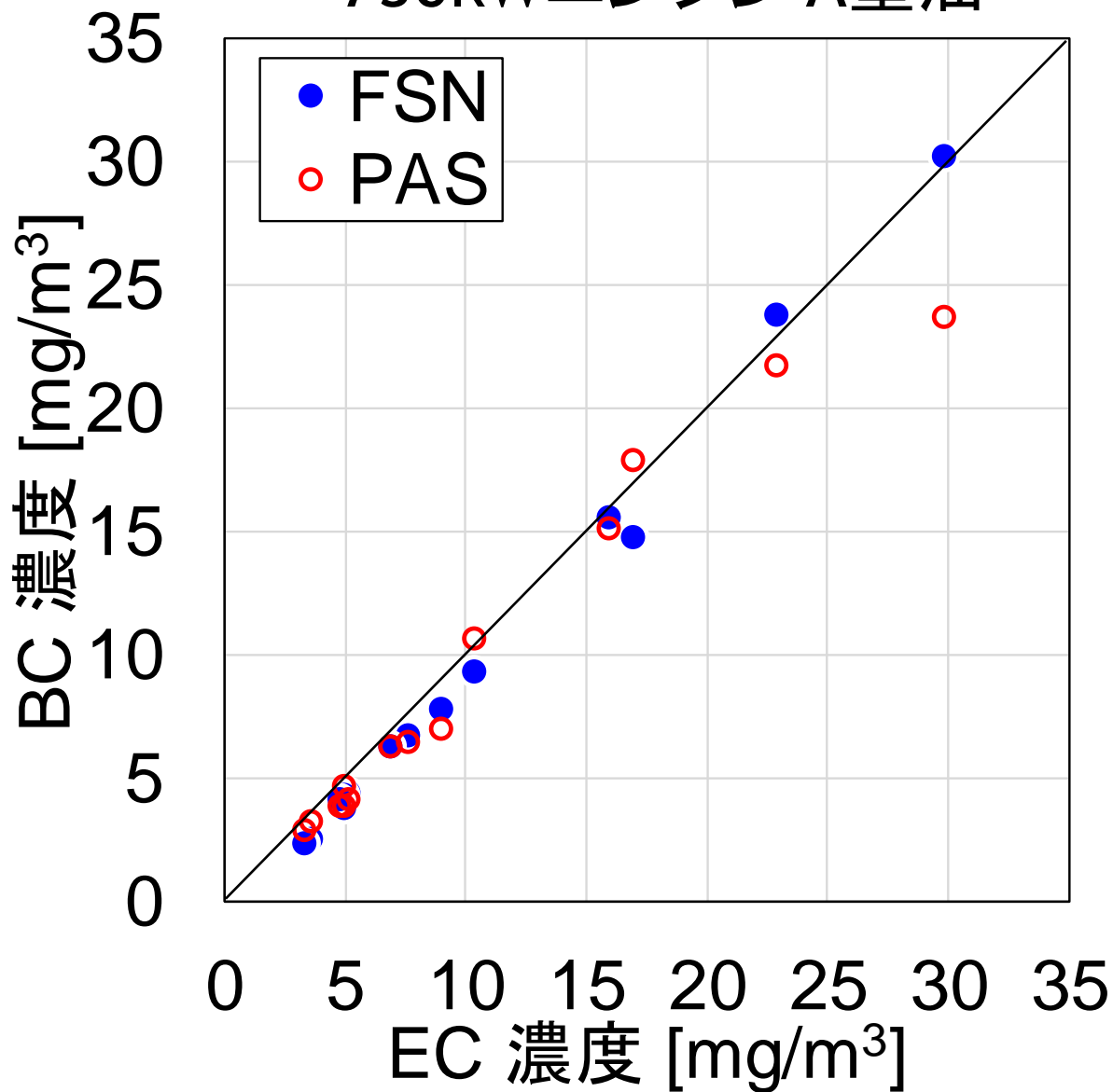


## 257kWエンジン A重油

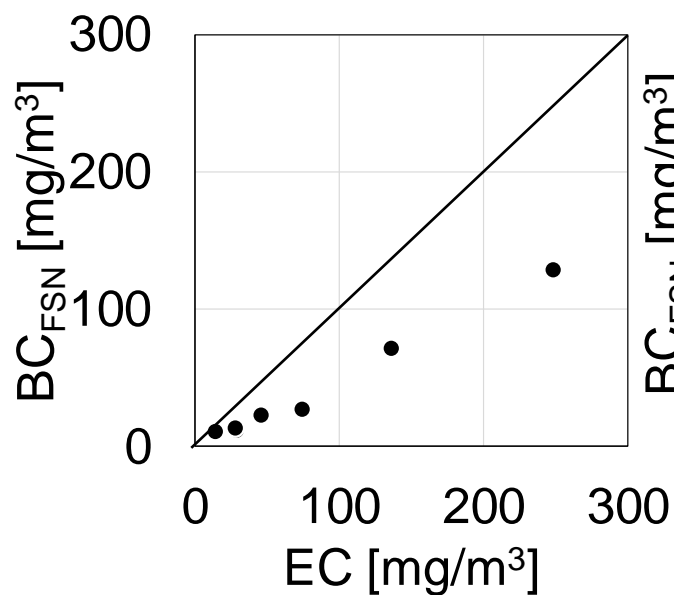


# BC濃度とEC濃度

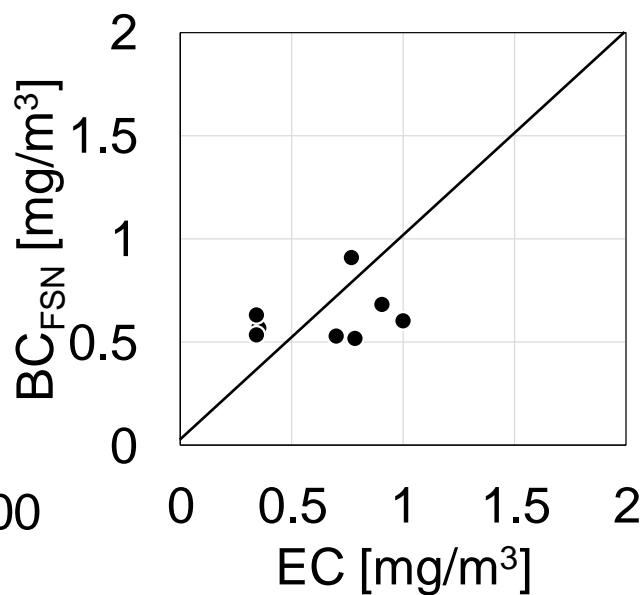
750kWエンジン A重油



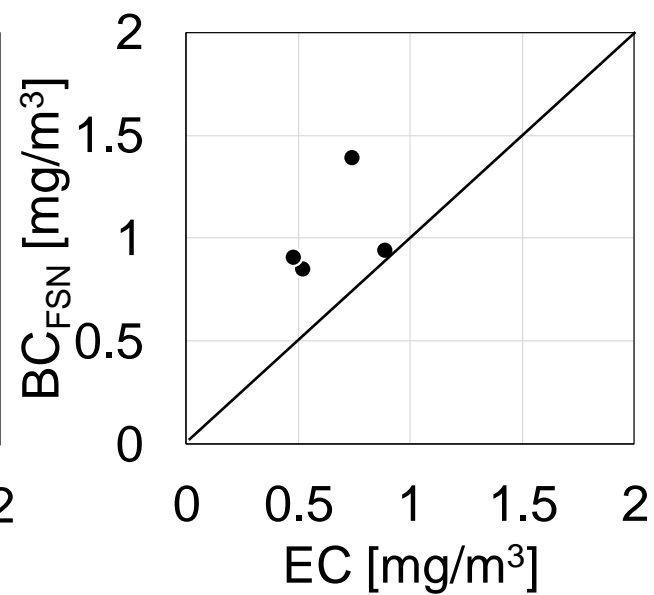
4-stroke, C重油



2-stroke, A重油



2-stroke, C重油



カナダ & ドイツ (Rostock大学) (2016~)

使用エンジン: 76kW 4-ストローク中速エンジン

使用燃料:  $6.3 \times 10^{-4}\%$ S、0.087%S、2.3%S

TOA法によるECと、各BC計測装置によるBC濃度の比例係数は装置や燃料油成分によって異なる  
( $\pm 30\% \sim 41\%$ )

PAS, FSN, LII, TOA使用

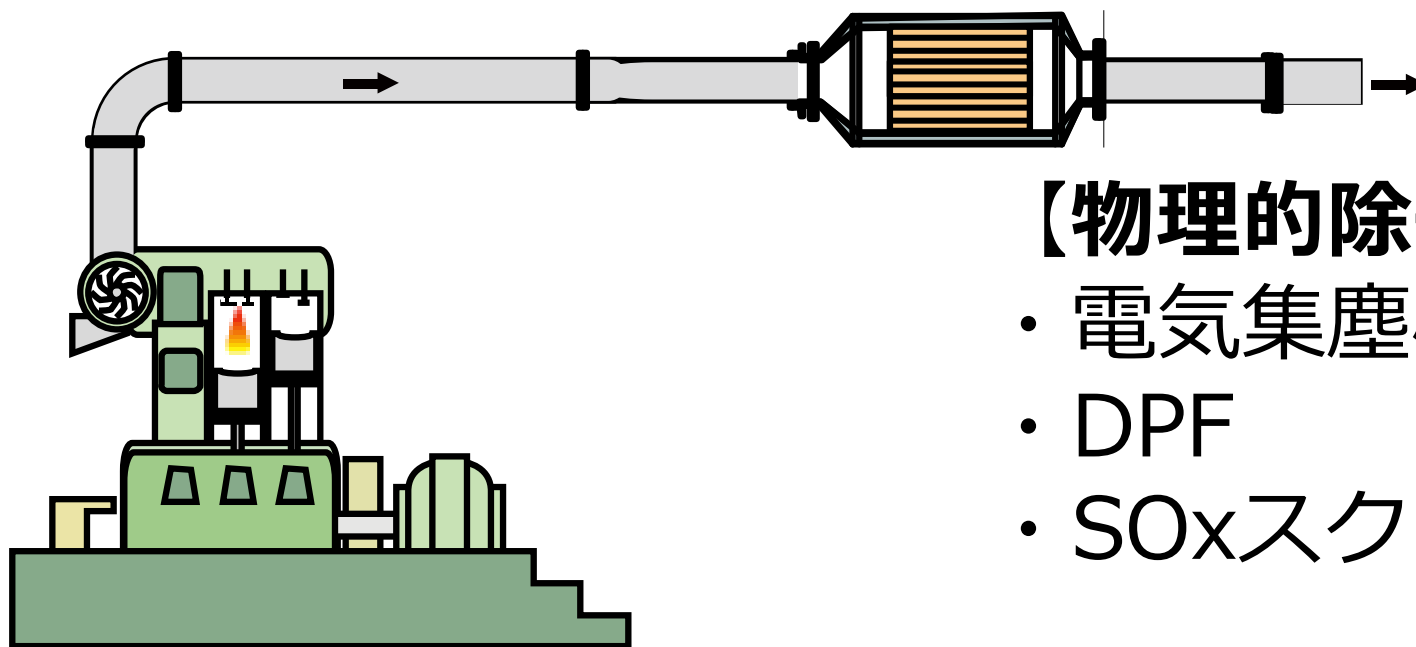
フィンランドVTT: SEA-EFFECTS BCプロジェクト(2015~)

使用エンジン: Wärtsilä 1600 kW 4-ストローク中速エンジン

使用燃料: 0.1%S、0.5%S、2.5%S、30%バイオ燃料

異なるBC計測装置による値は、ほぼ一致  
BC濃度は燃料油の硫黄分に依存

PAS, FSN, MAAP, TOA使用



## 【物理的除去】

- 電気集塵機
- DPF
- SO<sub>x</sub>スクラバ

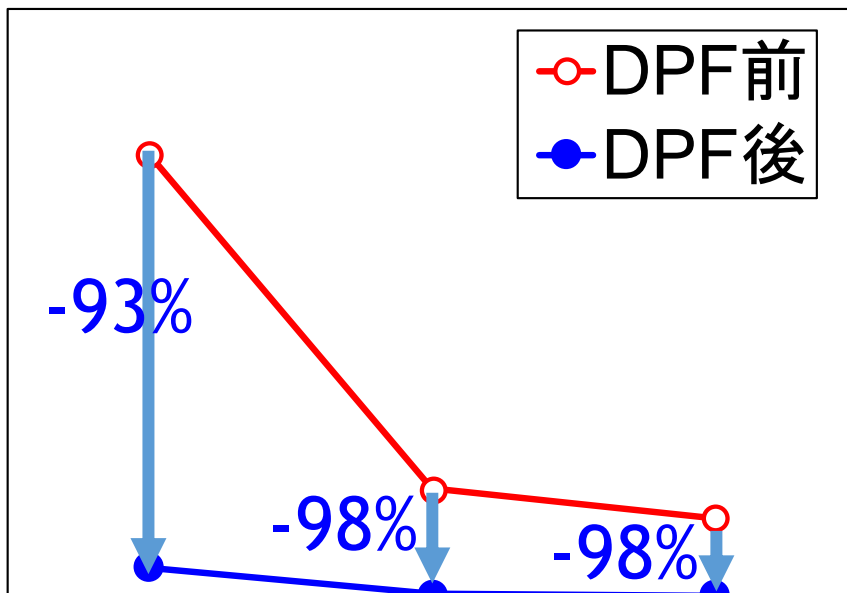
船用ディーゼル  
エンジン

## 【燃焼改善】

- 噴射圧
- 負荷率
- 燃料油

257kW ディーゼルエンジン、C重油使用  
DPF(ディーゼルパーティクルフィルタ)

BC濃度 [mg/m<sup>3</sup>]

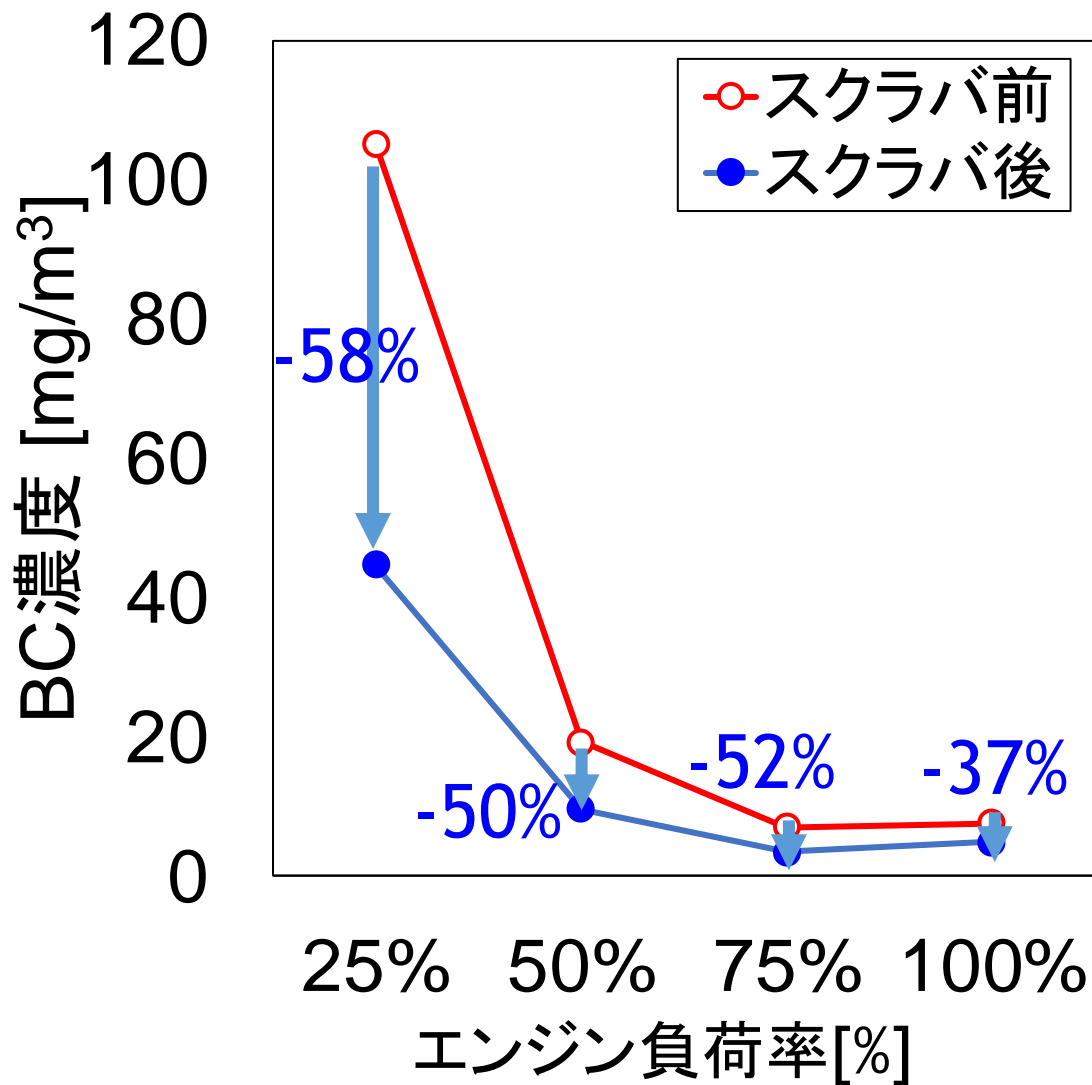


25% 50% 75%  
エンジン負荷率 [%]

BC削減率は93-98%  
圧力損失の低減と  
フィルタ再生のための  
設備を要し大型化の傾  
向あり



257kW ディーゼルエンジン、C重油使用  
SOxスクラバ

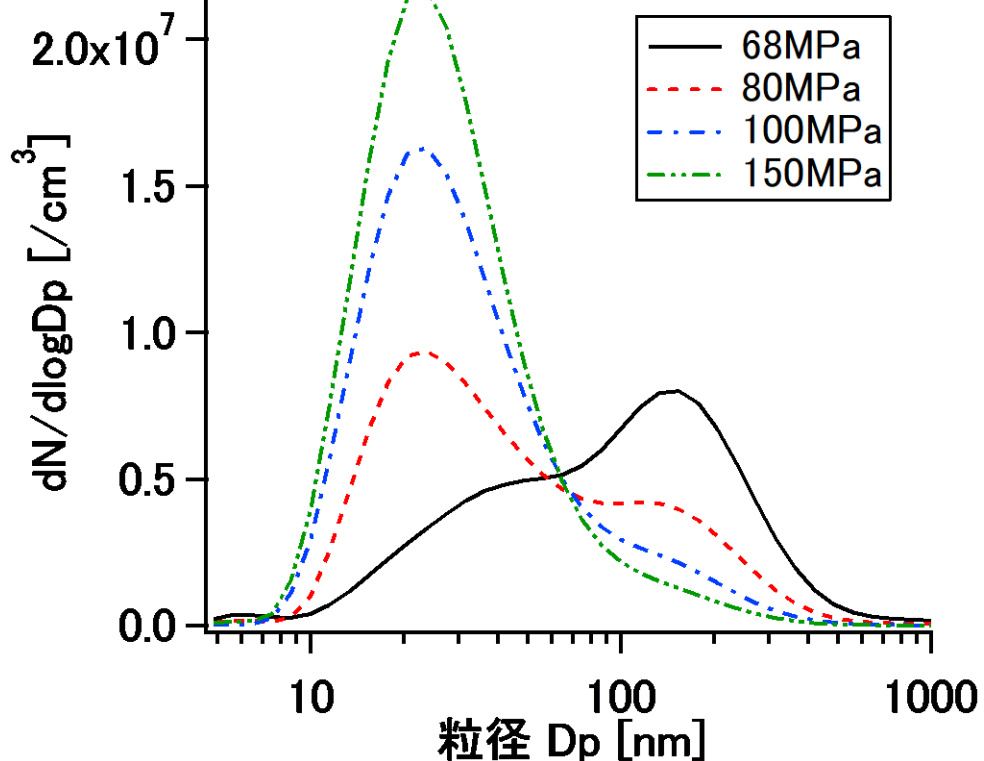
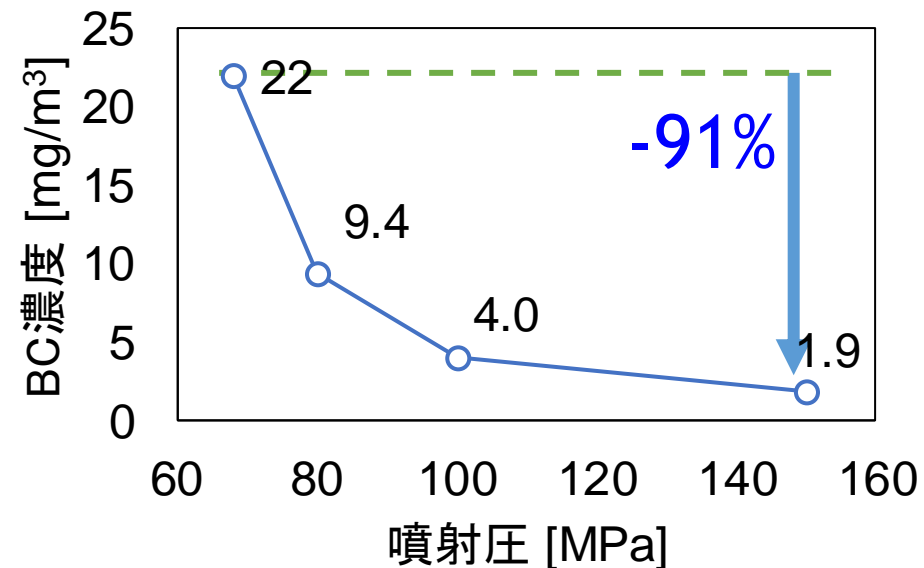


BC削減率は40-60%  
BCの粒子径や洗浄水の  
ノズル設計に大きく依存

cf. カリフォルニア大  
リバーサイド校  
主機三井B&W:16600kW  
補機バルチラ:2000kW 2台  
→20-40%削減

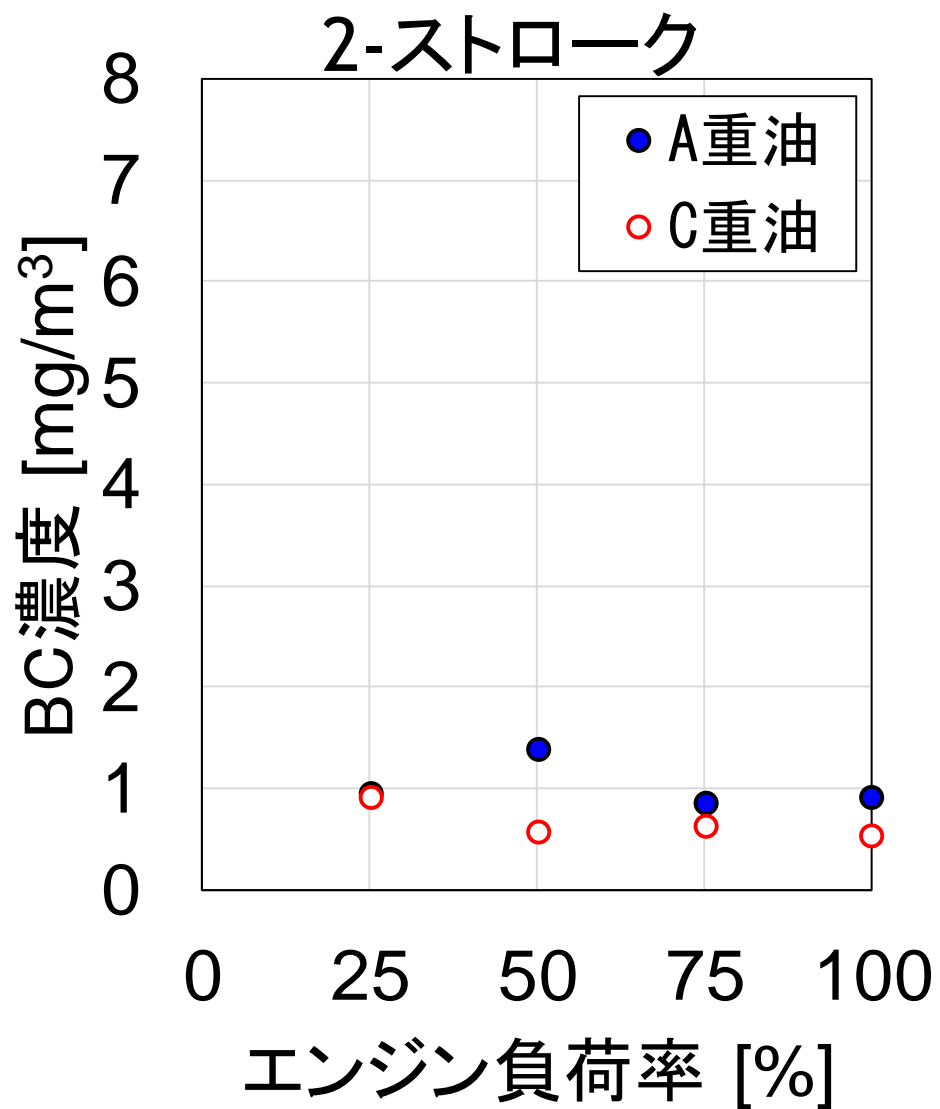
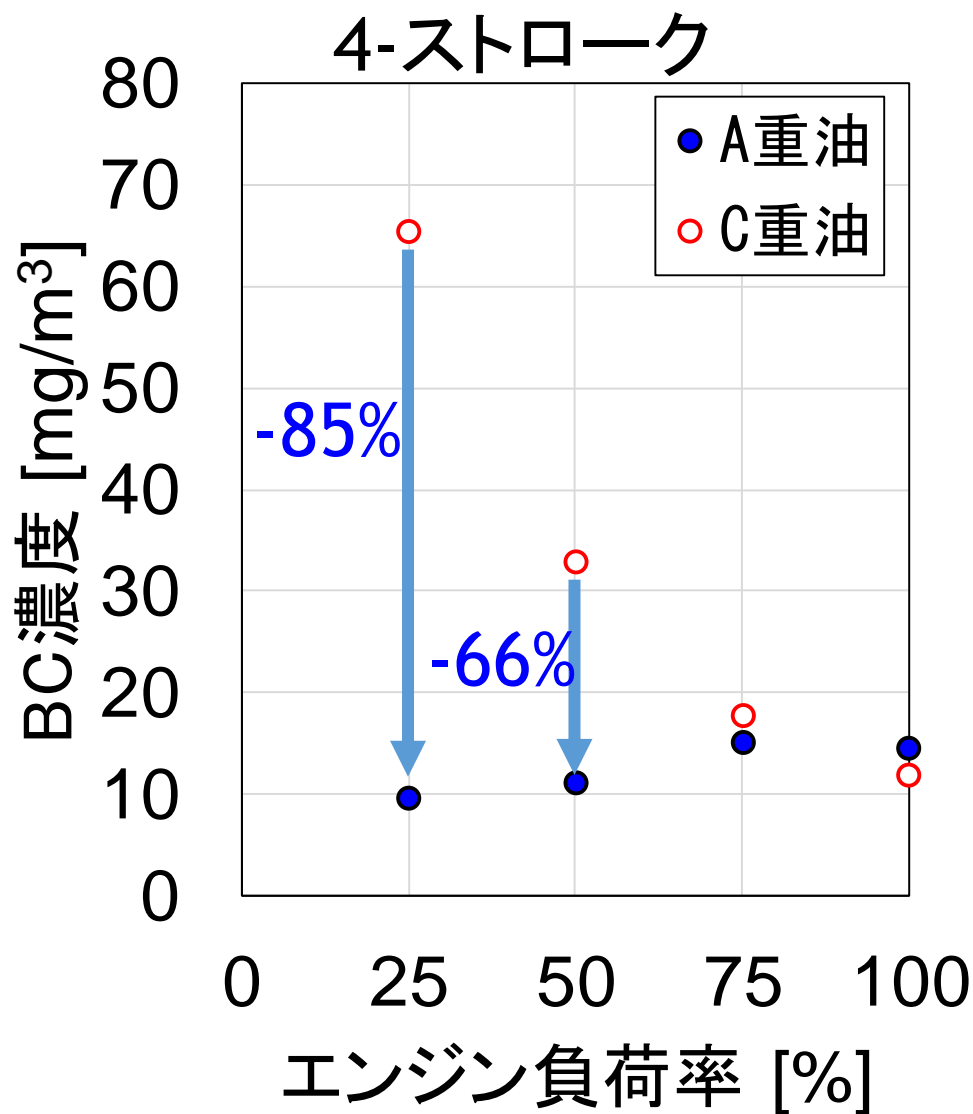
## 750kW ディーゼルエンジン、A重油、 25%負荷率 燃料噴射圧変更

核生成モード  $\leq 50$  nm  
凝集モード  $\geq 100$  nm



BC粒径分布

## 燃料油転換効果について



## 1. IMOにおける議論の動向

- ・BCの定義が決まり、計測法の選定を行っている
- ・計測報告プロトコルの改訂→2018年2月に最終案決定  
→2019年のPPR 6までに適切なBC削減方法を提案

## 2. 海技研におけるBC計測実験

- ・異なる計測器間のBC値は一致しなかったが、比例関係あり
- ・高倍率希釈を必要とする大気用計測器は、船用ディーゼルエンジンから排出されるBCの計測には不適當

## 3. BC削減技術の検討

- ・燃焼改善および物理的除去による削減技術を調査中

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及び対策技術に関する調査研究業務」、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「2016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)」により実施されました。ここに感謝いたします。