

船用エンジンから排出される ブラックカーボン（BC）の計測

—PM組成分析と光吸収計測による 計測法の評価—

環境・動力系

岸武行, 大橋厚人, 柳東勲, 高橋千織, 安藤裕友

本報告の概要



1. 背景

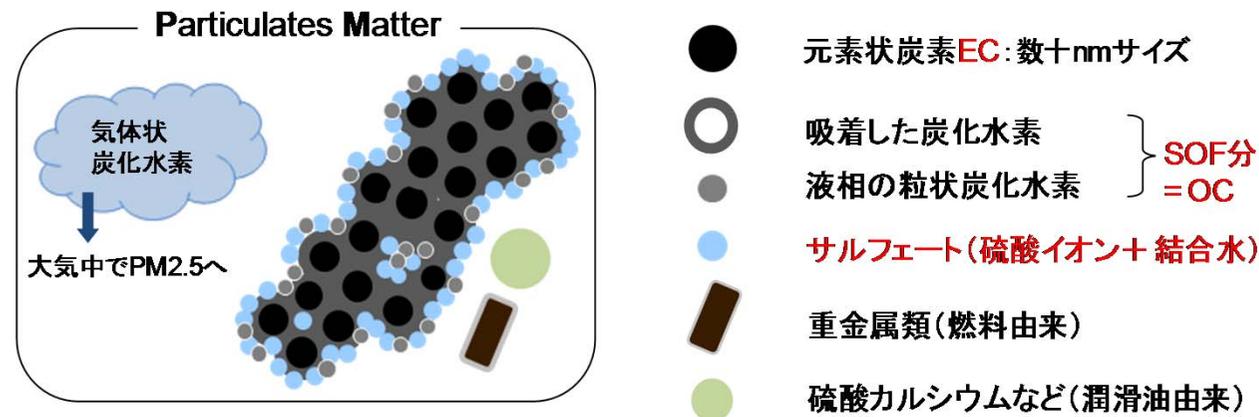
- (1) IMOにおけるBCに関する議論
- (2) IMO下の汚染防止・対応小委員会 (Sub-Committee on Pollution Prevention and Response, PPR) における検討状況

2. 本報告

- (1) 前報概要及び本報告の目的
- (2) 計測・分析方法
- (3) 計測・分析結果
- (4) まとめ

IMOにおけるBCに関する議論

- 2011年7月のIMO第62回海洋環境保護委員会 (MEPC62) において, 「国際海運から排出されるBCが北極圏に及ぼす影響」について調査を行い, 規制の必要性について検討すべきことが合意された.
- IMO汚染防止・対応小委員会 (PPR) において, 具体的にBCに関することが検討されている.



PPRにおける検討状況



1. 国際海運から排出されるBCの定義

「光を吸収する炭素成分（Light Absorbing Carbonaceous Components, LAC）」をベースとして定義を定める方向で検討.

2. 船舶から排出されるBCの計測方法

フィルタ式スモークメータ（Filter Smoke Number, FSN）が有力視されながらも、レーザ誘導発光法、マルチアングル吸光法、光音響法、温度化学種法（熱光学法）も含め引き続き検討.

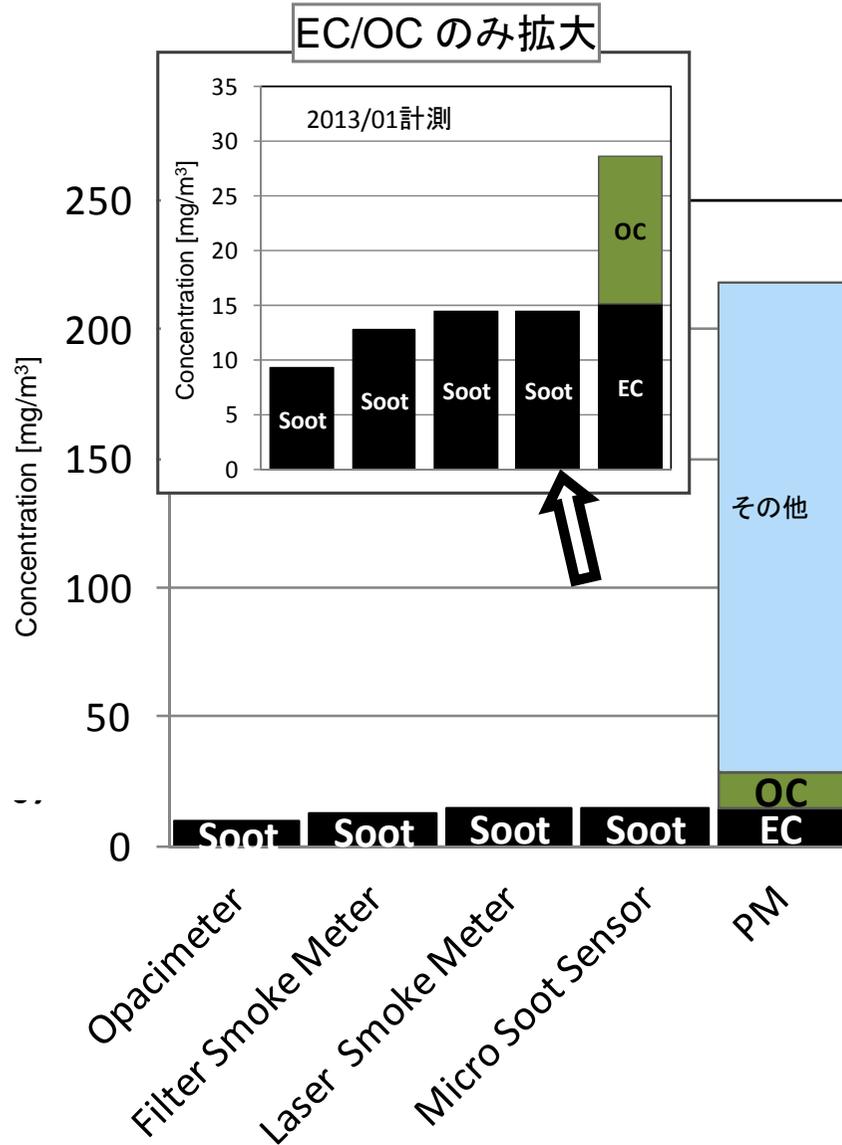
⇒本報告では主としてFSNについて検討.

3. BC排出を削減するための適切な制御方法についても今後検討.

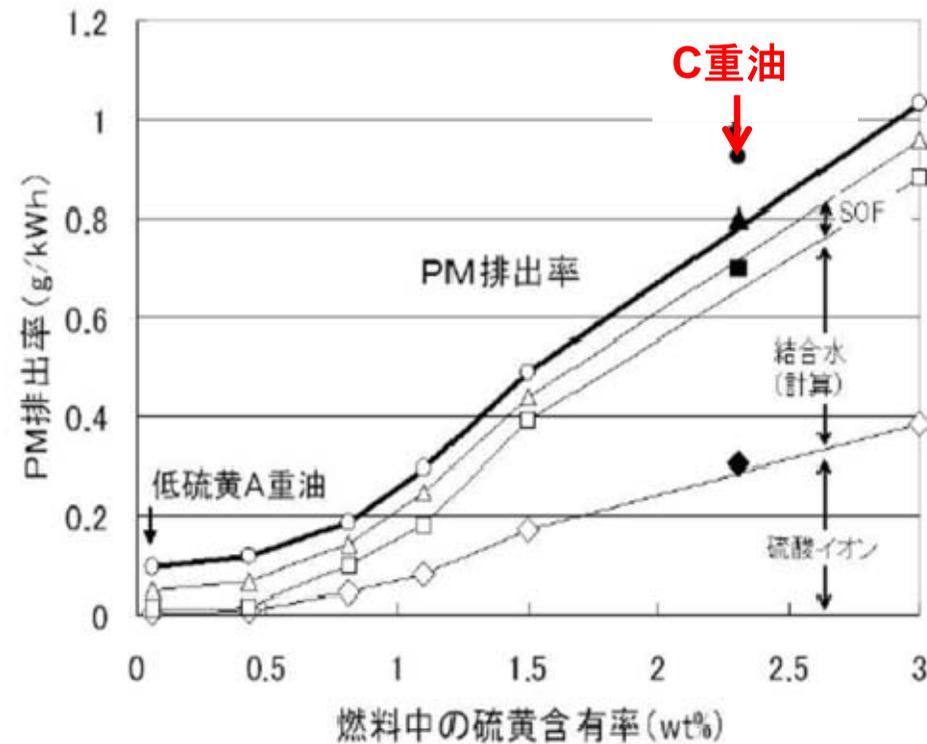
2014年2月3-7日開催のPPR 1での検討状況:

前報概要

C重油、船用特性75%負荷



- ・ 各種BC計測装置の測定結果からそれぞれの装置メーカーの換算式によりスート濃度に換算。
⇒スート濃度はPM中のEC濃度に相当。
- ・ 硫酸塩エアロゾルは光をほとんど吸収しないため¹⁾，BCの光吸収の影響を考える場合，
⇒PM濃度は指標としては不適切。



硫黄濃度とPM排出率との関係

1) 中山, エアロゾル研究, Vol.27, No.1(2012), p13-23.

本報告の目的



BC計測方法の計測結果がPM中のEC濃度に相当していたことを踏まえ、

「PM中のEC濃度が光吸収上昇（増加）の適切な指標である」であるかどうかを確認するため、

- ・ PM計測及びPM組成分析（温度化学種法（熱光学法）によるEC・OC分析）
- ・ BC計測方法による測定

を再度実施し、追加計測として、

- ・ 光吸収計測

を実施して、BC計測－光吸収の相関を調べる。

その結果より、今後のPPRにおけるBC計測方法の議論に資することを目的としている。

供試機関：(株)松井鉄工所製 MU323DGSC, 3気筒4サイクル, 定格出力 257kW (420rpm)

PM計測及びPM組成分析

- P M 計 測 : JIS B 8008-1:2000準拠のエフテクノ社製
MIT-2000CT
- PM組成分析 : 温度化学種法 (熱光学法) によるEC・OC分析.
IMPROVE Protocol準拠のSunset Laboratory社
製 Model-4

分析条件は以下の表の通り. なお, フィルタ試料は石英フィルターを用い, PM計測手順に沿って捕集.

温度化学種法(熱光学法)分析条件

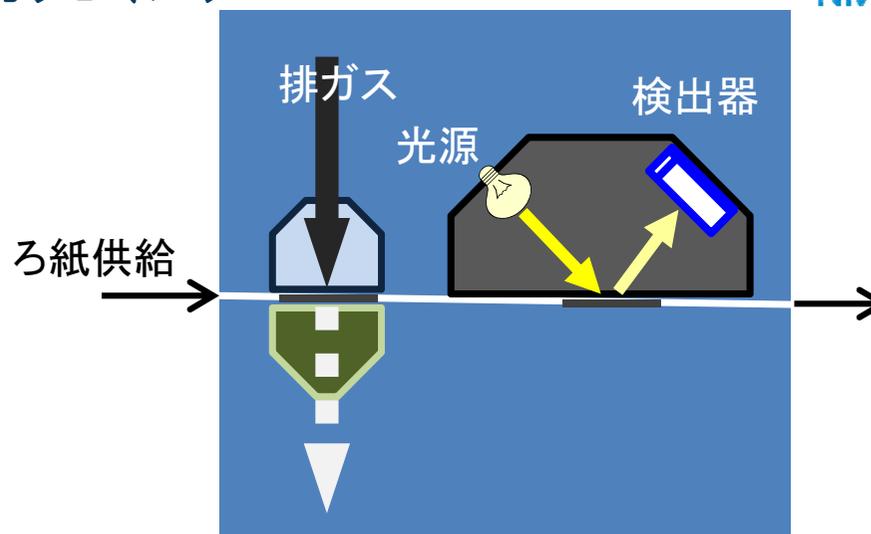
炭素フラクション	分析温度(°C)	分析雰囲気
OC1	120	He
OC2	250	He
OC3	450	He
OC4	550	He
EC1	550	5%O₂+95%He 2%O ₂ +98%He
EC2	700	5%O₂+95%He 2%O ₂ +98%He
EC3	800	5%O₂+95%He 2%O ₂ +98%He

(炭素フラクションの定義: 各測定条件の分析雰囲気により発生する炭素)

BC計測方法

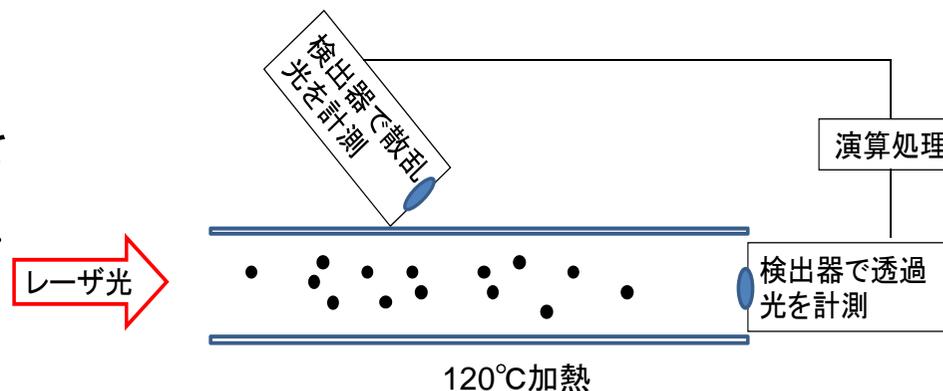
- フィルタ式スモークメータ
(AVL社製415S)

排ガスをフィルタに捕集してそのフィルタ試料に可視光を入射し、反射率を計測。



- レーザスモークメータ
(司測研社製LEX-635S)

排ガス中に赤色光(650nm)を入射し、光の減衰及び散乱(粒径により使い分ける)を計測。



なお、計測結果は、それぞれの装置メーカーの換算式により排気中ス
ト濃度に換算

スートによる光吸収量の算出①

●サンプルの作製

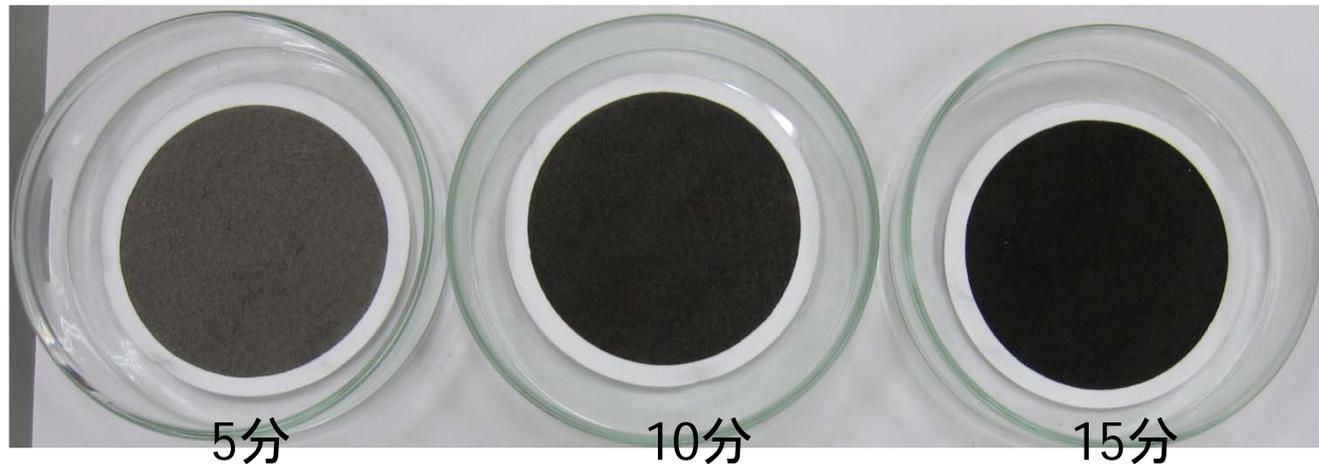
PM計測時に、別途、時間を変えて石英フィルタ上に試料を捕集

A重油

発電特性

25%

捕集時間



●サンプルの光吸収測定

紫外可視近赤外分光光度計 V-670 (日本分光)

シングルモノクロメータ・ダブルビーム方式

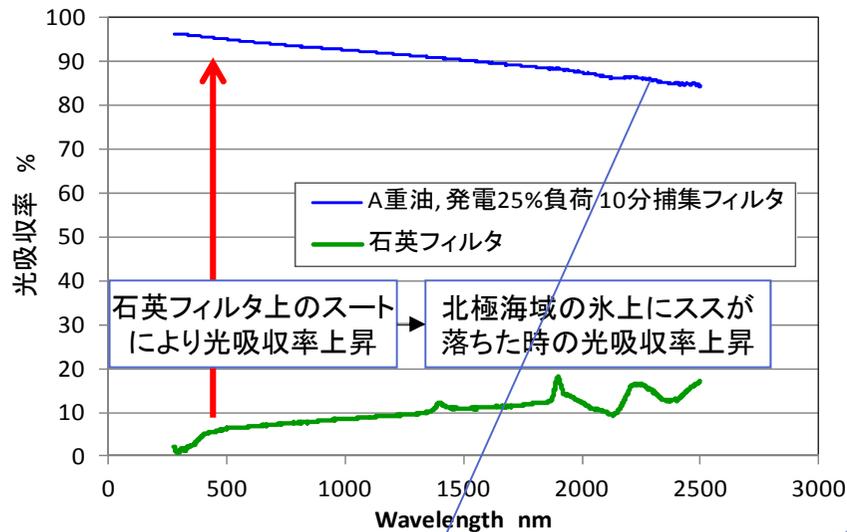
+

積分球ユニット ISN-723 (日本分光)

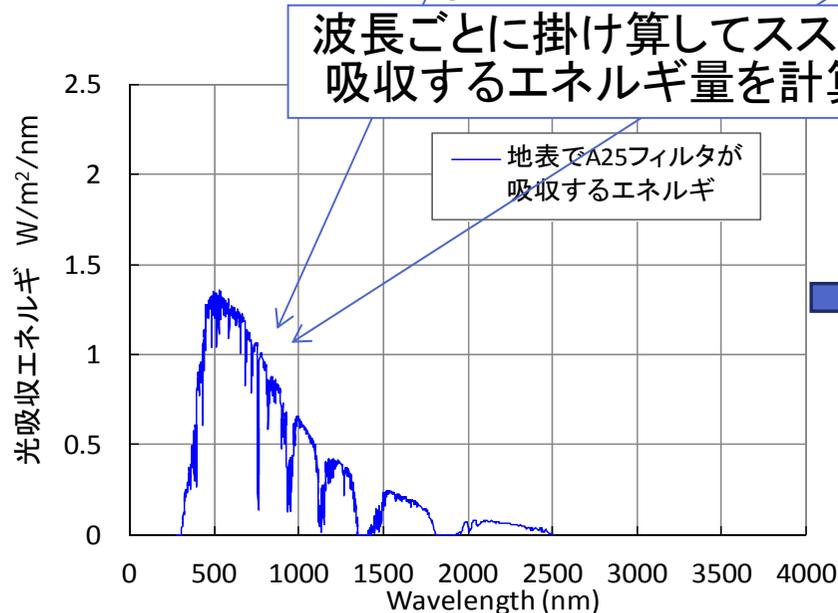
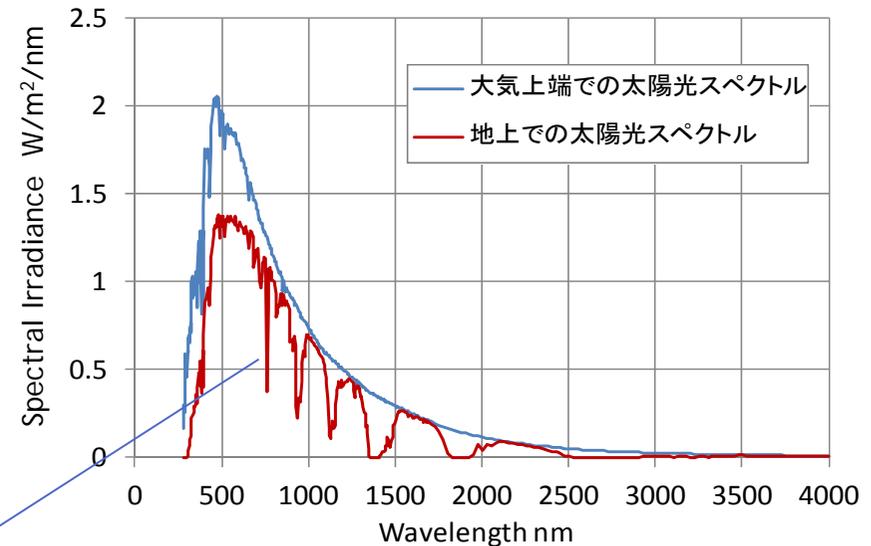
計測波長範囲: 275 ~ 2500 nm

スートによる光吸収量の算出②

フィルタ上に捕集された試料について
全波長範囲で光吸収特性を測定



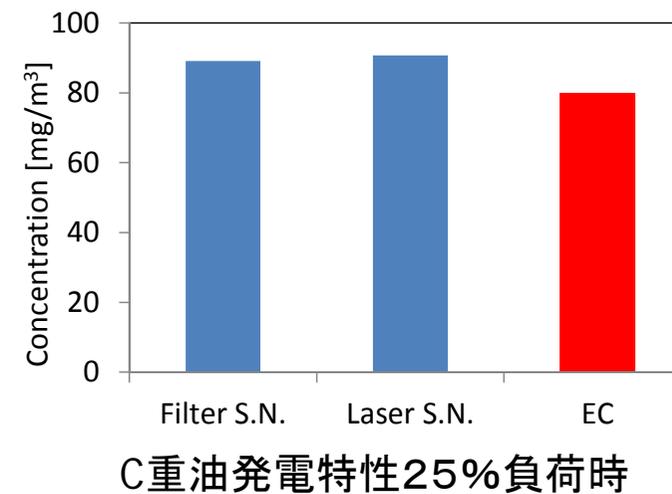
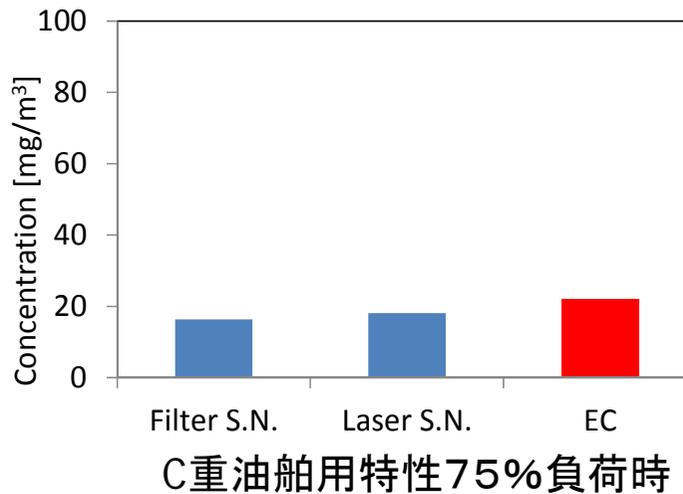
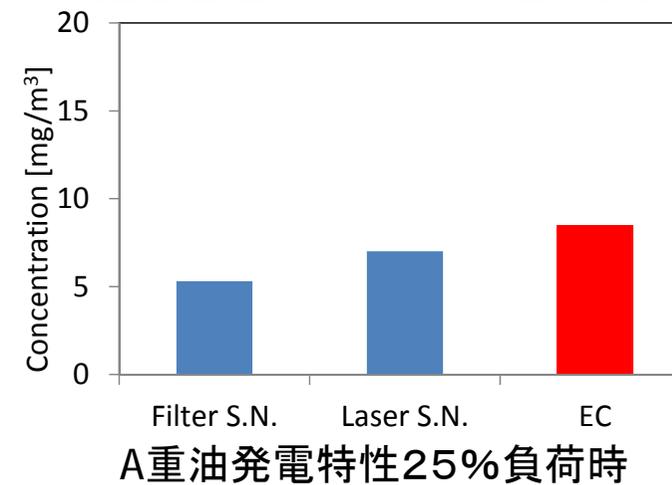
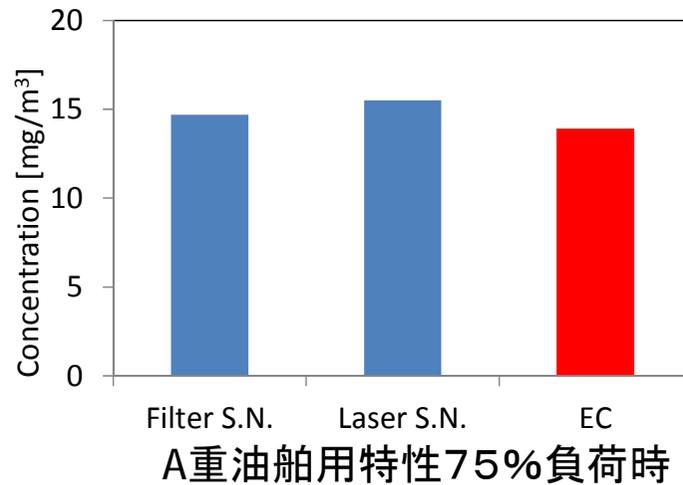
地上に届く太陽光の
エネルギースペクトル



波長ごとに掛け算してススが吸収するエネルギー量を計算

波長²⁷⁵250nm~2500nm
の範囲で積分
→吸収エネルギー量を計算
→PM, EC量との関係を検討

BC計測方法とEC濃度との比較

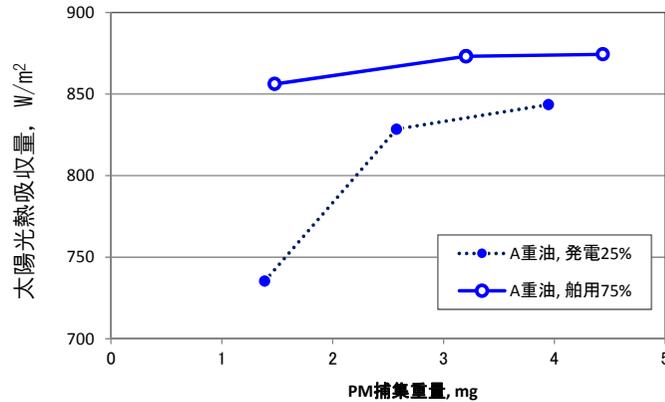
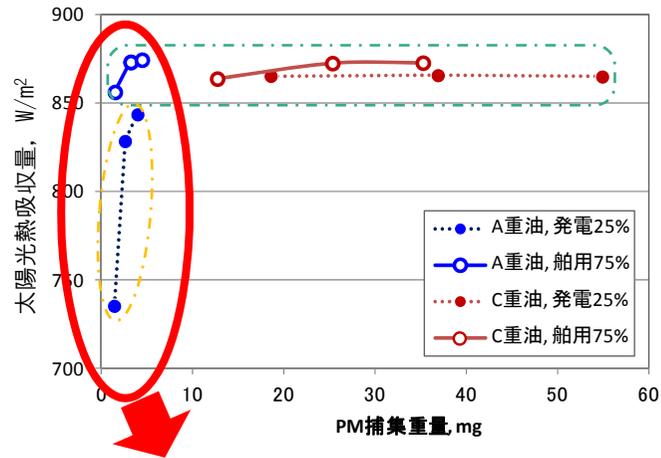


BC計測方法とEC濃度との比較

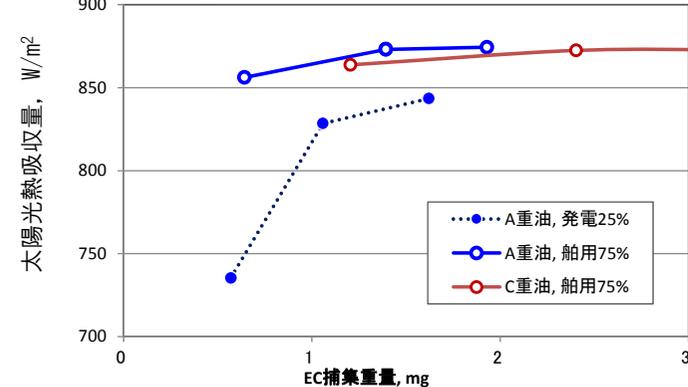
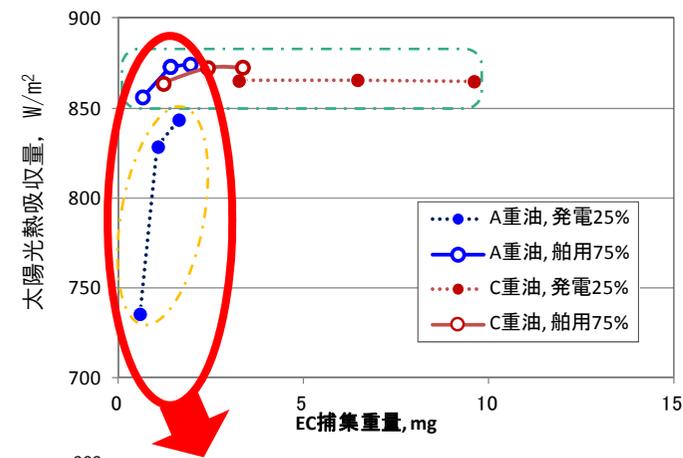
- A重油発電特性25%負荷時の測定結果を除き，前報と同様，おおよそではあるが，スート=ECの傾向。
- A重油発電特性25%負荷時の測定結果のみ，BC計測方法によるスート換算値はEC濃度よりも低い傾向。

光吸収の実験条件による比較

PM及びEC捕集重量は、サンプリング時間を変えることでフィルタ捕集量を調整



PM捕集重量と光吸収との関係



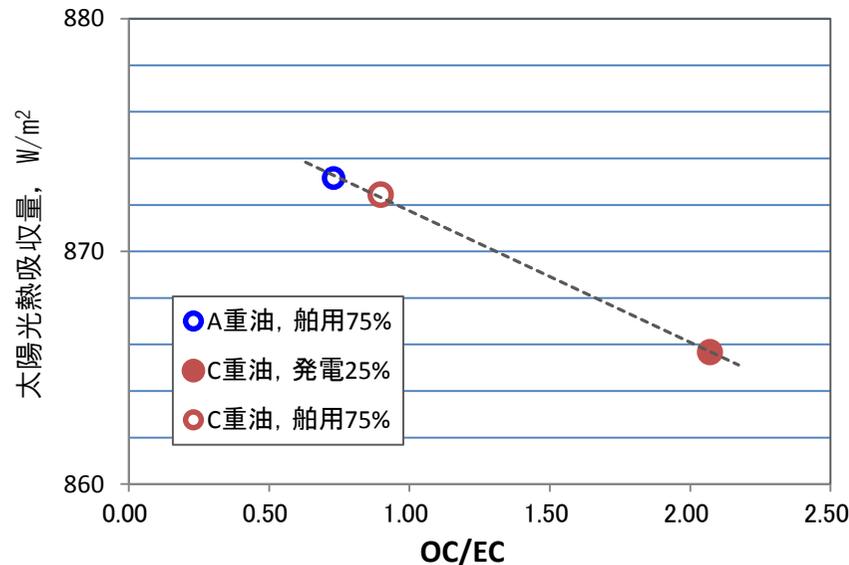
EC捕集重量と光吸収との関係

- A重油発電特性25%負荷時のみ、PM及びEC捕集重量が増加すると光吸収が増加する傾向。
- その他の条件についてはA重油発電特性25%負荷時と比較して、PM及びEC捕集重量による光吸収特性への影響は小さい傾向。

OCのECに対する比率と光吸収の関係



A重油発電特性25%負荷時以外の条件において、OC成分のEC成分に対する比率と光吸収との関係を整理した。

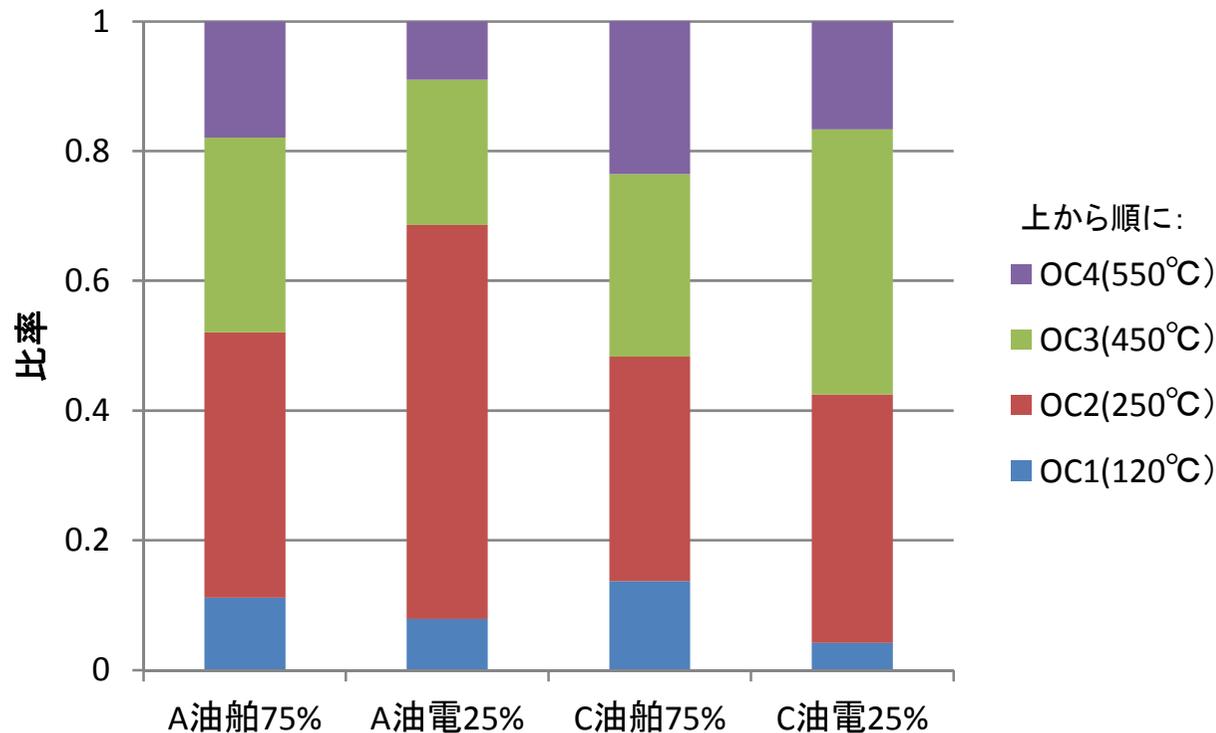


OC成分のEC成分に対する比率と光吸収との関係

- A重油発電特性25%負荷時以外の条件においては：
- 燃料油に関係なく，OC成分のEC成分に対する比率によって太陽光熱吸収量は決定。
 - OC成分のEC成分に対する比率が大きいほど光吸収が低くなる傾向。

OCフラクションの実験条件による比較

実験条件毎の炭素フラクション中の，OCフラクション（OC1，OC2，OC3，OC4）について整理．



各実験条件でのOCフラクションの比率

- A重油発電特性25%負荷時のみ，OCフラクションが他の実験条件と異なる傾向．（OC2フラクションがとりわけ多い）
- よって，OCフラクション特性の影響によって光吸収低下があることが示唆．

まとめ1



- BC計測方法によるスート換算値は，主としてEC成分に相当する．
- OC成分が多いと，光吸収は低くなる傾向がある．
- 特にOCフラクシオン特性による光吸収低下への影響が大きいと考えられる．
- EC成分と光吸収特性との相関はあるが，OCフラクシオン特性によっては，光吸収特性を適切に捉えることが出来ない場合がある．

まとめ2



- フィルタ式スモークメータ，レーザスモークメータともに，OCフラクシオン特性の影響により実際のEC成分よりも低い計測値を示している。（A重油発電特性25%負荷時）
- このことからフィルタ式スモークメータ及びレーザスモークメータともに，EC成分だけでなく光吸収特性を反映していることからBCを測定するには適切と考えられる。

謝辞

本研究の一部は，AVL Japan株式会社，株式会社司測研及び東京ダイレック株式会社の多大なるご協力の下で行われた。ここに謝意を表します。