

PS-16 船用ディーゼル実験機関から排出される元素状炭素 (EC) と有機炭素 (OC) の計測事例

環境・動力系 *大橋 厚人、高橋 千織、益田 晶子、城田 英之

1. はじめに

ディーゼル機関排気中の粒子状物質 (PM) は人体に有害であるとされ、自動車では既に規制されている。船舶に対しては、燃料中の硫黄分削減で PM 排出量の削減を担保する IMO の規制が、一般海域と指定海域内に分けて、段階的に強化されてきている。当所では、PM 計測法について研究を進めるとともに¹⁾、船用ディーゼル機関の PM 排出特性を求め、その成分を可溶性有機化合物 (SOF) やサルフェートに着目して分析してきた²⁾。このような発生源が住環境に及ぼす影響を評価するため、広域大気質予測モデルが使用され、例えば、米国 EPA のモデル CMAQ (Community Multiscale Air Quality) においては、一次粒子について、EC、OC、サルフェート、ナイトレート、その他の合計 5 成分について考慮することとなっている³⁾。しかし、船用ディーゼル機関において、これらについて分析した事例はきわめて少ない⁴⁾。そこで、本研究では、船用ディーゼル実験機関から排出される PM について、規格に準拠したフィルタと、OC/EC 分析に使用する石英フィルタを交互に使用して捕集し、両者の計測結果に大きな差が生じないことを確認し、石英フィルタについて OC/EC 分析を行った結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法

表 1 に供試機関の主要目を示す。供試機関として、船用中速 4 ストローク過給器インタークーラ付ディーゼル機関 2 台を使用した。供試機関 1 は、NO_x 規制前のエンジンであり、また、供試機関 2 は、NO_x 1 次規制対応エンジンに、コモンレール燃料噴射系を用いるための改造を施している⁵⁾。コモンレール燃料噴射系の設定を表 2 に示す。供試機関 1 の運転には 2 種の A 重油 (硫黄分 0.08、0.61 wt%) と C 重油 (硫黄分 2.49 wt%) を使用し、船用特性・4 負荷率にて実験した。供試機関 2 の運転には A 重油 (硫黄分 0.61 wt%) を使用し、船用特性・4 負荷率にて実験した。

試料の捕集には、図 1 に示す分流希釈システム (エフテクノ製 MIT-2000CT、JIS B 8008-1:2000 準拠) を使用した。本装置は、排気管の内部から希釈トンネルまでの排気導入部を直管の二重管構造とし、ガ

イドライン⁶⁾に記述されている構造を取り入れている。規格に準拠したフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタ (TX、型番: TX40HI20-WW、70φ) と、石英フィルタ (QA、型番: 2500 QAT-UP、70φ) を交互に 3 回ずつ使用し、捕集した。なお、TX フィルタにより捕集された試料については、PM として評価される。

OC/EC 分析には、サーマルオプティカル法を使用した。図 2 に模式的に計測データを示す。本方法では、石英フィルタ上に採取した試料を、異なる温度と雰囲気中で、OC と EC を別々に分離させる。分離した OC/EC を二酸化炭素に酸化後、メタンに還元し、炭素量を水素炎イオン化検出法で定量する。さらに、OC の中には He 雰囲気中昇温中にフィルタから分離せず炭化する成分があり、OC は過小評価、EC は過大評価となってしまうため、別途レーザー光をフィルタに照射し、その反射率または透過率を計測し補正を行う。前者をサーマルオプティカルリフレクタンス (TOR) 法、後者をサーマルオプティカルトランスミッタンス (TOT) 法と呼ぶ。環境省の大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分測定マニュアルでは TOR を推奨している⁷⁾。本報告では、TOR 法に加え TOT 法も採用した。なお、OC/EC 分析は、東京ダイレック株式会社に依頼した (Sunset Laboratory 社製 OC-EC Aerosol Analyzer (Model-5) を使用、IMPROVE 法)。

3. 実験結果および考察

図 3 に供試機関 1 (A 重油 硫黄分 0.61wt%) の結果を、図 4 に供試機関 2 (A 重油 硫黄分 0.61wt%) の結果を示す。図中の縦棒は、標準偏差 ($\pm\sigma$) を示した。QA と TX の差は、ほぼ同じか QA のほうが最大 1 割大きい事例があった。これまでの報告によれば、フィルタを構成する繊維には、OC を吸着する特性があり²⁾、吸着特性の違いが計測結果の違いに現れた可能性がある。

各負荷率において QA による捕集試料 1 例について、OC/EC 分析を 2 回行った。その結果を図 3、4 に示す。成分測定マニュアル⁷⁾によると、2 回実施した OC/EC 分析結果が 30% 以内でないものは欠損扱いとすることになっている。また、TOR 法による補正値がマイナス (図 2 において分岐点が He 雰囲気の影響で現れる) となった事例があり、図 4 において、

負荷率 50%と 100%の TOR 法の結果については、欠損点とした。これまでの報告によれば、TOT 法の方が OC の炭化による補正值が多くなるため、OC の比率が多くなる⁷⁾。本報告では、OC と EC の比率について TOR 法と TOT 法を比較すると、逆の事例も存在した。

図 3 の供試機関 1 の排出率に関してこれまでの報告²⁾と比較した。SOF と OC とは別の分析の結果であるため、本来異なる性状を持つものである。しかし、両者の排出率は、近い値を示した。また、OC と EC の和と PM 排出率との差の主要成分は、サルフェートとそれの結合水と考えられる。

4. まとめ

2 台の船用ディーゼル実験機関から排出される PM について、2 種の捕集フィルタで計測結果を比較した。その結果、QA と TX の差は、ほぼ同じか QA のほうが最大 1 割大きい事例があった。さらに、QA による捕集試料を OC/EC 分析した結果を示した。TOR 法において、欠損点とする事例があった。

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」において実施した。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 大橋他 3 名、日マリ学誌、49(1)、126-131(2014)。
- 2) 井亀他 9 名、海技研報告、11(2)、21-40(2011)。
- 3) 森川、エアロゾル研究、23(3)、181-186(2008)。
- 4) 横井、城田、日マリ学誌、49(6)、762-769(2014)。
- 5) 高木他 5 名、海技研報告、13(3)、35-54(2013)。
- 6) 船用ディーゼル機関起源の PM 計測に関するガイドライン、公益社団法人 日本マリンエンジニアリング学会、JIME-PM-01-0001-2010(2011)。
- 7) 炭素成分測定方法(サーマルオプティカル・リフレクタンス法) 第 2 版、<https://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual/manual-4.pdf>。

表 1 供試機関の主要目

	供試機関 1	供試機関 2
型式	MU323DGSC	6L19HX
シリンダ径 (mm)	230	190
シリンダ数	3	6
ピストン行程 (mm)	380	260
出力 (kW)	257	750
回転速度 (rpm)	420	1000

表 2 コモンレール燃料噴射系の設定(供試機関 2)

負荷率 (%)	25	50	75	100
噴射圧力 (MPa)	68	118	131	149
噴射タイミング (deg. BTDC)	6.0	7.7	8.4	8.4

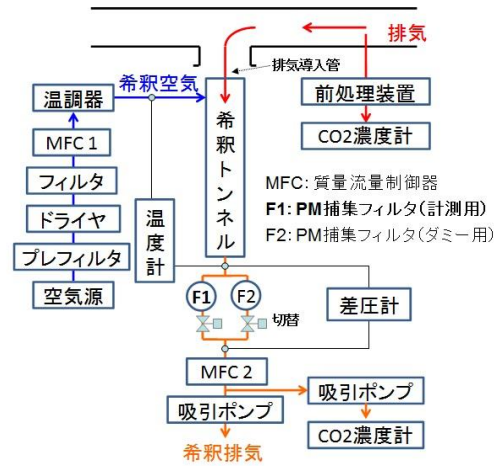


図 1 分流希釈システム

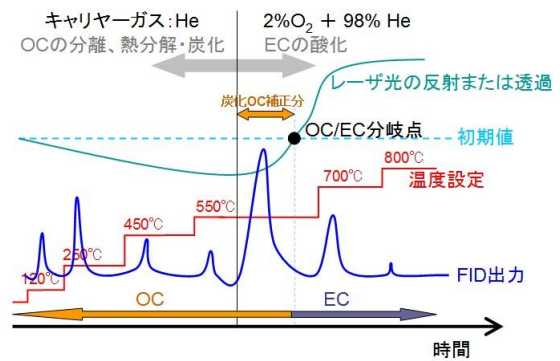


図 2 サーマルオプティカル法の計測模式図

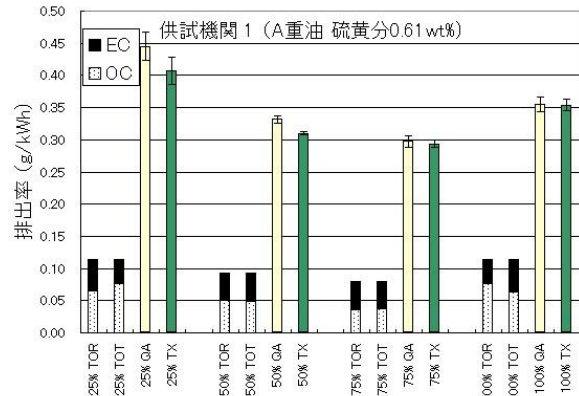


図 3 供試機関 1 の排出率

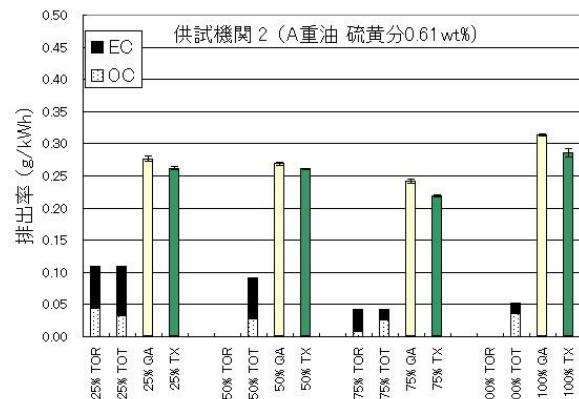


図 4 供試機関 2 の排出率