

# PS-19 PM 捕集フィルタを通過した炭化水素等に関する計測事例

環境・動力系 \* 大橋 厚人

## 1. はじめに

ディーゼル機関排気中の粒子状物質（以下 PM と略す）は有害であるとされ、自動車ではすでに規制されている。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 IM0 の規制が、2010 年 7 月に強化された。当所では、PM 計測法について研究を進めるとともに<sup>1)</sup>、船用ディーゼル機関の PM 排出特性<sup>2)</sup>を求めてきた。一方、大気汚染物質としての PM を議論する場合、発生源で PM として排出される物質と、排出後大気中での反応により PM となる物質に分けられる。後者については、規制が進展している窒素酸化物や硫酸酸化物以外に炭化水素（以下 HC と略す）等も排出されていると考えられるが、どのような成分がどの程度排出されているかについては、明確ではない。

本報告では、PM 捕集フィルタでろ過した希釈排気に含まれる HC 等を計測するための実験装置を構築し、これを C 重油使用時の船用ディーゼル実験機関に適用し、排出率を示すとともに考察する。

## 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。供試機関は、船用中速 4 ストロークディーゼル機関 (MU323DGSC) である。なお、供試機関の運転には C 重油（硫黄分 2.60 wt%）を使用した。

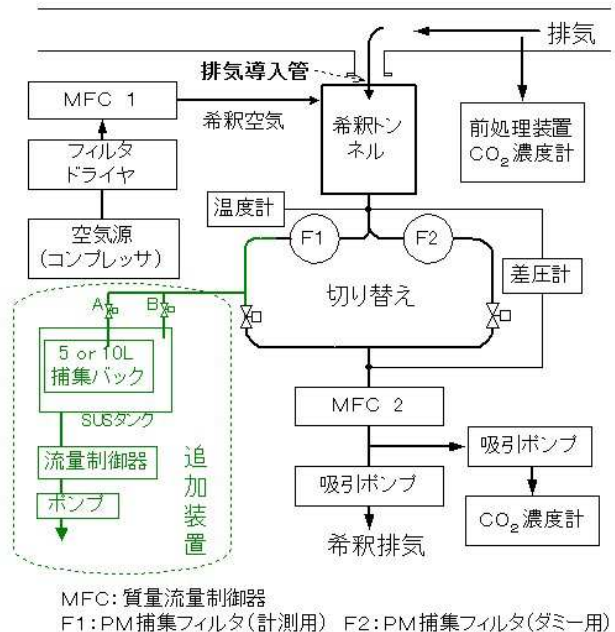
HC 等を計測するために使用する希釈排気を捕集するシステムを、図 1 に示す。PM を計測するための JIS B 8008-1:2000 に準拠した分流希釈システム（エフテクノ製 MIT-2000CT）を、改造して使用した。PM を捕集するフィルタ（図 1 の F1）を通過後の希釈排気を追加装置に分岐して、捕集バッグ（ジーエルサイエンス製 スマートバッグ PA）に試料を採取した。捕集バッグには、バックからの湧き出し物質を減らすため、前処理を施した。前処理として、バッグに窒素を封入し、80℃で 30 分間加熱後、窒素を排出する作業を、3 回繰り返した。F1 から分岐部まではフッ素樹脂系のチューブを用い、外側を保温した。分岐後は SUS 管を使用し、52℃以上に加温した。試料の採取は、F1 に流路を切り替えて、コック A を閉・コック B を開にして、追加装置のポンプを一定流量で起動し、SUS タンク内圧力が F1 下流と平衡になるとともに、希釈排気の CO<sub>2</sub> 濃度が一定になった後、コック A を開・コック B を閉に切り替えて採取した。希釈比や F1 のフィルタ前温度などは、JIS B 8008-1:2000 に準拠した PM 捕集条件の範囲内に制御した。採取中は、CO<sub>2</sub> 濃度計（島津製作所製 CGT-7000）

により希釈排気中の CO<sub>2</sub> 濃度を計測し、捕集後、この CO<sub>2</sub> 濃度と捕集バッグ内の CO<sub>2</sub> 濃度が計測器の精度内で一致することを確認した。排出率を求めるための希釈比や排気流量は、JIS B 8008-1:2000 に準拠して求めた。

希釈排気中の HC 等の計測に使用した 2 台のガスクロマトグラフを表 2 に示す。炭素数 2 までの HC の計測には装置 1 を使用し、炭素数 3 以上の HC 等については装置 2 を使用した。使用した 4 種の標準ガスを表 3 に示す。クロマトグラム上のピークの保持時間の比較から炭化水素等の種類を特定し、ピーク面積の比較から希釈排気中の濃度を求めた。なお、ピーク近辺のノイズ幅の 3 倍を検出下限<sup>3)</sup>とし、さらにその 3 倍をここでは定量下限として採用し、これを越えたピークについて排出率を求めた。

表 1 供試機関の主要目

名称	MU323DGSC
	船用中速 4 ストローク ディーゼル機関
シリンダ径 (mm)	230
シリンダ数	3
ピストン行程 (mm)	380
出力 (kW)	257
回転速度 (rpm)	420



MFC: 質量流量制御器  
F1: PM 捕集フィルタ(計測用) F2: PM 捕集フィルタ(ダミー用)

図 1 希釈排気捕集システム

表2 ガスクロマトグラフの設定

	装置 1	装置 2
計測範囲	炭素数 1 と 2	炭素数 3 以上
装置名	島津製作所製 GC-8AIF	島津製作所製 GC-2014ATF/SPL
カラム	Porapak-N 3 mmI.D. * 2 or 3 m	Rtx-1 0.53 mm I.D. * 60 m df = 5.0 μm
試料	4.5 or 5 ml、 全量注入	5 ml、全量注入 保温ガスサンプラ使用 島津製作所製 HGS-2
キャリア	窒素 150kPa	ヘリウム 30 ml/分
オープン	60 °C	-45 °C 2.5 分 → -10 °C @ 10 °C/分 → 140 °C @ 5 °C/分 → 140 °C 3 分
検出器	FID 120 °C	FID 180 °C

表3 標準ガス

CH4 5 ppm 窒素ベース、高千穂商事
C2H4 10 ppm air ベース、大陽日酸
CH3CHO 100 ppm 窒素ベース、大陽日酸
PAMs-J-56 窒素ベース(炭素数 2 から 9 の炭化水素 55 成分とアセトン)を各々 1 ppm 含有)、大陽日酸

### 3. 実験結果および考察

供試機関を定常運転している時の HC の変動の程度を調べるため、装置 1 により炭素数 2 までの炭化水素を対象として排気中濃度の変動を求めた。図 2 に 100% 負荷率の結果を示す。実験は同じ燃料で 2 回実施し、それぞれの実験で 2 回試料を捕集した。各捕集試料について 3 回計測し、図中の縦棒は標準偏差の幅(±1σ)を示した。図に示していないエタンについては、検出下限を超えなかった。エチレンについては、ピークにテーリングが観察された。全平均に対し、4 回の計測は±2 割で一致した。エチレンとアセチレンの濃度は、計測の精度に比べて変動幅が小さく、本装置の計測精度からは変動があるとは判断できなかった。一方、メタンについては、実験 1 の 2 回の捕集で計測精度を超える変動があったが、実験 2 では見られなかった。本事例では、排気中のメタン濃度は大気中のメタン濃度より低くなった。また、排気を希釈する希釈空気中にメタンが存在するため、メタンの排気中濃度を求めるためにはこの寄与を差し引いており、計測精度を超える変動の原因となった可能性がある。

図 3 に定量下限を超えたピークについて、エンジン負荷ごとの排出率を求めた結果を示す。装置 2 では、カラム起源と考えられるピークが 2 本あり、これらは考察から除外した。定量下限を超えた未知ピークが、図 3 に示す以外に 3 本存在した。この中の 1 本は、25%

負荷率でのみ観察され、炭素数 9 を越える保持時間を示した。本計測では、PM 捕集フィルタを通過した試料を用いているため、炭素数が多い HC は PM として捕集され、本装置では計測されにくいと考える。成分別に見ると o-キシレン、エチレンの順に排出率が多かった。エチレンは、燃料の熱分解により発生すると考えられる。一方、o-キシレンの排出率が多いのに対し、m,p-キシレンは少ないため、o-キシレンは熱分解された炭化水素から合成されると考えられる<sup>4)</sup>。

C 重油使用時の PM 排出率は、75%負荷率でおよそ 1 g/kWh<sup>2)</sup>、25%負荷率では燃焼が悪くなるため、4 負荷の中で PM 排出率が一番多く、数倍になる。これと比較して、成分別の HC 等の排出率は 1 桁以上小さい結果となった。負荷率別では、PM 排出率と同様に、25%負荷率で、排出率が多くなった。

### 参考文献

- 1) 大橋他 3 名、日マリ学誌第 49 巻第 1 号(2014)、126-131。
- 2) 井亀他 9 名、海技研報告第 11 巻第 2 号(2011)、21-40。
- 3) 役に立つガスクロ分析、編集：(社)日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会、監修：代島茂樹、保母敏行、前田恒昭、みみずく舎、2010。
- 4) 戸野倉、エアロゾル研究、29(1)、5-9(2014)。

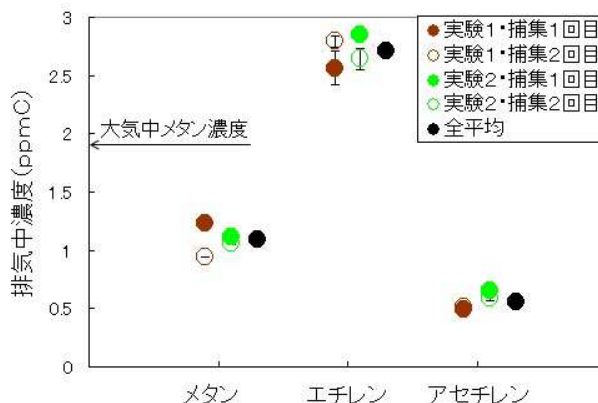


図2 炭素数 2 までの炭化水素濃度 (100%負荷率)

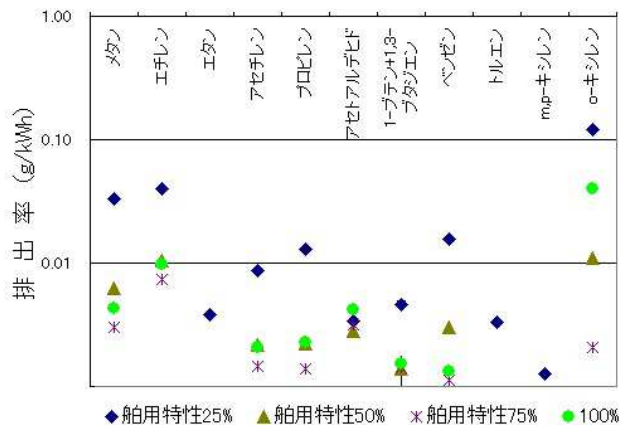


図3 エンジン負荷ごとの排出率