

フィルター重量法と β 線吸収法によるPM測定と比較

環境・エネルギー研究領域 大気環境保全研究グループ
航海訓練所

大橋 厚人、*高杉 喜雄、石村 恵以子、張 潔
橋野 稔

1. はじめに

ディーゼル機関から排出される粒子状物質(PM)は、人体に甚大な影響を与える恐れがあると認識されている。一方、船用ディーゼル機関では国内法による規制がなく、また、実船における排出実態の報告例も少ない。前田ら¹⁾は部分希釈トンネルを用いたフィルター重量法により実船測定をおこなった。フィルター重量法は測定装置が大がかりとなるため、運搬・設置場所など実船の測定には支障が大きく、測定例の蓄積は難しい。我々は、実船測定の蓄積を目標として、可搬可能な測定系の確立を目指してきた^{2,3,4,5)}。以前おこなったフィルター振動法(R&P社製TEOM-1400a)による測定系では、時間分解能が速いという利点がある一方、船体動揺の影響を受ける、希釈器の吸引ノズル周りにPMの沈着が多いなどの問題点があった。

今回、動揺対策として β 線吸収法による測定器を採用し、さらに、エアーガンを用いた希釈器を開発し⁶⁾、部分希釈トンネル(ISO規定準拠⁷⁾)を用いたフィルター重量法と比較するとともに、「銀河丸」停泊中に発電機原動機において実船測定を行ったので報告する。

2. 使用した機関および燃料

今回の報告に関係したディーゼル機関の概要と使用燃料について表1、2に示した。機関の内径、行程は類似しているが、最大回転数については、補助発電機用ディーゼル機関の方が大きくなっている。2台のディーゼル機関ともA重油を使用している。両者に性状に違いがあるが、硫黄分についてはどちらもA重油としては少ないものであった。

表2. 使用した燃料の性状

	中型中速 ディーゼル機関	補助発電機用 ディーゼル機関
油種	A重油	A重油
密度@15℃ (gr/cm ³)	0.8553	0.859
動粘度@50℃ (mm ² /s)	2.532	2.402
引火点(℃)	82	75
流動点(℃)	-25	-22.5
残炭(mass%)	0.65	0.28
水分(vol%)	0	0.01
灰分(mass%)	0	0.001
硫黄(mass%)	0.08	0.13

表1. 使用した機関主要目

形式	中型中速ディーゼル機関 立形4サイクル 3シリンダ 過給機、空気冷却器付き	銀河丸補助発電機用ディーゼル機関 立形4サイクル 6シリンダ 過給機、空気冷却器付き
燃料油	A重油	A重油
内径(mm)	230	220
行程(mm)	380	300
定格(kw(PS))	257 (350)	(840)
発電出力kw		560
最大回転数(rpm)	420	720

3. β 線吸収法PM計測システム

図1に β 線吸収法PM計測システム(新測定系)を示す。この系の排ガスサンプリングには、内径4mmのステンレス管を用い、排ガスの流れに沿わせるために曲げ、先端をノズル状に削った。このステンレス管をボールバルブ経由でエアータンの吸気口に接続し、ドライクリーンエアユニットからの清浄空気を給気口に接続する。すると、清浄空気は管壁に螺旋状に設けられたノズルから噴出され、陰圧を作り排ガスを吸引しながら管壁にそって噴射口へと向

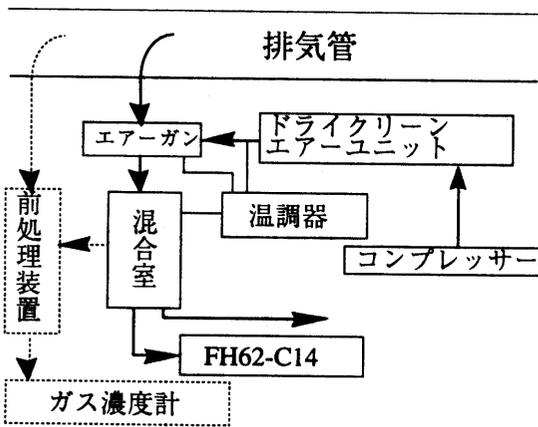


図1. 実船実験での測定系

かう。噴射口から出た両者は、混合室で混合された後、その一部が β 線吸収法による測定器(ESM社製FH62-C14)へ送られる。以前使用していた市販の希釈器の排ガス吸引ノズルは、内径が2mmまで狭められ、この部分に多くの沈着が見られた。一方、今回開発したエアータンを用いた希釈器は、排ガス吸引側は狭められることがなく、内壁への沈着は改善されたと考えている。

β 線吸収法は、放射線源から放出される β 線が透過する質量に応じて減少する現象を利用して、フィルター上に捕集されたPM質量を測定するものである。図2にFH62-C14の機能構成図を示す。PMはフィルター上に捕集され、フィルター下に設置された放射線源(^{14}C)からの β 線を上側の比例計数管で検出する。捕集流量は、16.7 (l/min) になるようにポンプがコントロールされるとともに、基準状態(0°C、1気圧)換算の流量も表示される。そしてフィルター上に蓄積された質量と捕集流量から希釈排ガス中のPM濃度を求める。

図1の破線で示した部分は、排ガスおよび希釈排ガスの O_2 と CO_2 の濃度測定系である。これらのガスは前処理装置(島津製作所製CFP-301)を経由し、 O_2

Dust Monitor FH62C14

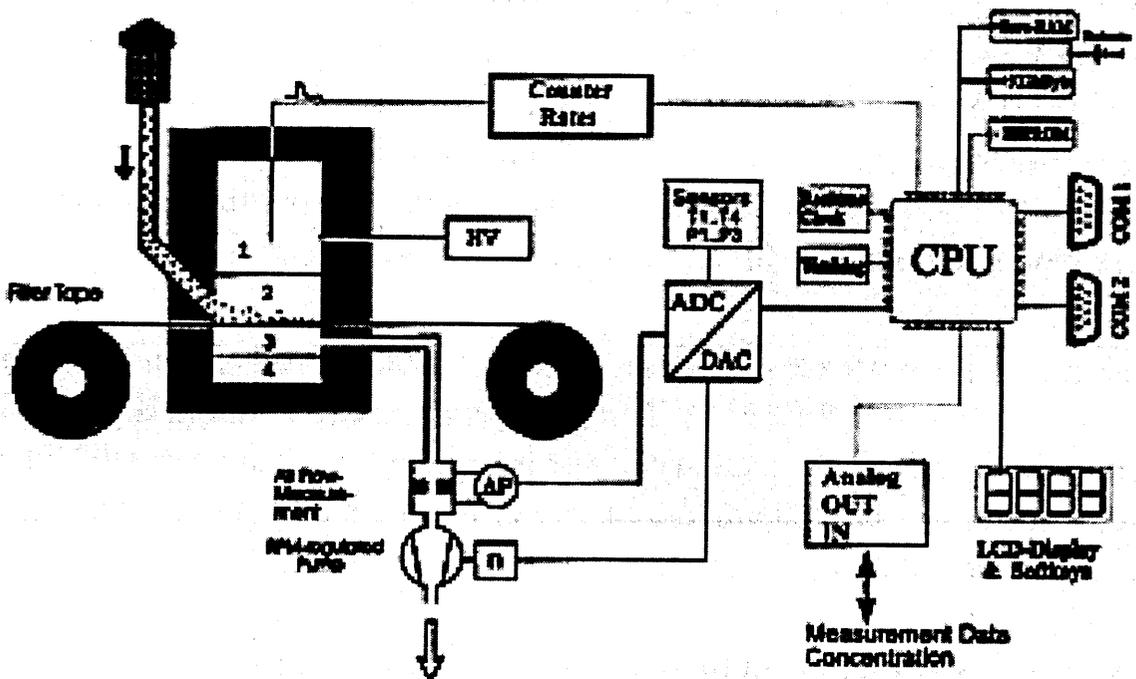


図2. FH62-C14の機能構成図

濃度測定器あるいはCO₂濃度測定器にいたる。O₂濃度の測定には(株)テスター製GSV-350を用い、CO₂濃度には、島津製作所製CGT-10-2A(0-15%)と扶桑理化学品株式会社製CD-602B(0-5%)を用いた。CO₂濃度レベルに応じて2種の測定器を使い分けた。また、サンプリング空気の温度・湿度は神栄株式会社製TRH-3Aで測定した。これらの濃度を文献7より引用した計算式に当てはめ、希釈係数と空気過剰率を求めた。希釈係数については排ガス、希釈空気、希釈排ガスのO₂あるいはCO₂濃度(wet条件)から計算を行ったが、O₂とCO₂濃度の2種の希釈係数はよく一致した。また、排ガス流量は燃料が完全燃焼することを仮定して、排ガスのCO₂濃度から空気過剰率を求め、さらに、燃料成分から理論所用空気量を計算した。

4. 実験結果および考察

4-1. 比較実験

フィルター重量法によるPM測定はダブルダイリユーシオントンネル方式(ファームテック社製MIT-1000)を用いた。この装置のフィルター(PALLFLEX PRODUCTS CORP. 製TX40HI-20-WW)上にPMをサンプリングし、恒温槽にて温度25(°C)、湿度50(%)で24時間放置後、PM重量を秤量して求めた⁸⁾。MIT-1000のフィルターはマルチフィルター法を採用し、FH62-C14の方式と異なる。従って、PMの捕集効率が異なる可能性があるので、FH62-C14の使用されるテープフィルターの形を整え、MIT-1000で使用し、捕集効率の比較を行った。このとき、FH62-C14での測定条件(面速度:捕集流量を捕集面積で割った値)と同じになるように、捕集面積を調整した。さらに、新測定システムのサンプ

リング管をMIT-1000のサンプリング部と同じ位置にするとともに同時に測定をおこなった。

表3に比較測定の結果を示した。MIT-1000で従来から使っているフィルターで2回、FH62-C14のフィルターで3回測定し平均値を示した。1枚目のフィルターの捕集量は後者の方が少なく、フィルター自体の捕集効率が異なることがわかった。一方、2枚の合計では、良い一致を示した。これから判断すると新測定系ではMIT-1000の86(%)程度の値となることが望まれるが、結果は69(%)となった。両者の違いについては、以下の点に関して検討中である。

- ・新測定系のエアガン内の沈着
- ・部分希釈トンネルの希釈空気の清浄度

4-2. 実船発電機での測定

実船発電機での測定では、過給機の下流にあるドレイン抜き管を取り外して新測定系のサンプリング管を取り付けた。以前観測された変動周期200秒を考慮してこの整数倍の測定時間(400秒か600秒)のPM積算重量を使い、PM濃度を求めた。

測定結果を表4に測定順にまとめた。この表の中の軸出力は、発電出力から換算して求めた。約25(%)で4回、約45(%)で2回、約60(%)で2回測定を行った。排ガスのサンプリング流量は等速サンプリングの1.5-2倍となり、希釈係数は4程度となった。単位出力あたりのPM排出量は0.19-0.36(g/kWh)となり、約25(%)の4点で大きくばらついた。一方、同じ25(%)のデータでも排ガス中のPM濃度では、17-22(mg/m³N, wet条件)と変動は小さくなった。これは、排出量が最も少ない最後の測定(整理番号12/18-7)では、単位出力あたりのPM排出量は大きく下がる一方、燃料流量の減少に伴う排ガス流量

表3. 部分希釈トンネルとの比較(測定日:2001年11月6日)

	部分希釈トンネル				新測定系
	オリジナルフィルタ		FH62-C14 フィルタ		
希釈係数	8.0		7.9		5.9
捕集量 (g/kWh)	1枚目	0.111	1枚目	0.107 (86%)	0.085 (69%)
	2枚目	0.013	2枚目	0.019	
	合計	0.124	合計	0.126 (102%)	

() 内はオリジナルフィルタ2枚の捕集量に対する%を示す。

の減少により、排ガス中のPM濃度としては余り変化がないことに起因している。排ガス中のPM濃度としては、出力上昇とともに濃度が増加した。今後、考察を進めるとともに、測定データの蓄積を進めていきたい。

表4. 実船測定結果 (測定期日: 2001年12/17,18)

整理番号	軸出力 (%)	希釈係数	PM排出量 (g/kWh)	PM濃度 (mg/m ³ N)
12/17	28	4.4	0.35	22
12/18-1	24	4.2	0.26	18
12/18-2	23	4.2	0.36	19
12/18-3	60	4.2	0.25	33
12/18-4	61	3.8	0.34	43
12/18-5	44	4.4	0.27	30
12/18-6	43	4.3	0.25	30
12/18-7	24	4.4	0.19	17

5. おわりに

可搬可能なPM測定システムを目指して、β線吸収法による測定器の採用、エアガンを用いた希釈器の開発を行った。

ISO規定に準拠したフィルター重量法と比較すると、およそ7割の値を示し、このうち半分はフィルターの捕集効率に関わる問題であることがわかった。今後は、残りの約15(%)について検討を重ねる予定である。

「銀河丸」停泊中に発電機原動機において実船測定を行った。軸出力23-61(%)において測定を行い、0.19-0.36(g/kWh)となった。上の相違を検討後、測定例の蓄積を進めていきたい。

参考文献

- 1) 前田ほか3名、船舶におけるPMの排出特性評価、第63回(平成11年秋季)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、平成11年10月13日・14日、神戸商船大学、社団法人日本船用機関学会。
- 2) 松崎ほか4名、フィルタ振動法による実船でのPM計測について、第64回(平成12年春季)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、平成12年5月16日・17日、東京商船大学、社団法人日本船用機

関学会。

- 3) 大橋ほか4名、フィルター振動法による船用ディーゼル機関のPM測定に関する基礎研究、平成12年度(第74回)船舶技術研究所研究発表会講演集、2000年6月22~23日、37-40頁。

- 4) 大橋ほか4名、フィルタ振動法による実船でのPM計測について(第2報)、第65回(平成13年春季)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、平成13年5月15日・16日、東京商船大学、社団法人日本船用機関学会。

- 5) 大橋ほか4名、実船でのPM測定に関する基礎研究、平成13年度(第1回)独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集、2001年6月28,29日、319-322頁。

- 6) 特願2001-273331、特願2001-273332(船舶用浮遊性微粒子状物質測定システム及びガス希釈器)

- 7) ISO/DIS 8178, Reciprocating internal combustion engines -Exhaust emission measurements-

- 8) 中島ほか7名、船用ディーゼル機関から排出される粒子状物質の計測、平成11年度(第73回)船舶技術研究所研究発表会講演集、1999.6.24-25。