船用2サイクルディーゼル機関の 微粒子排出特性

—シリンダ注油率の影響—*

塚 本 達 郎** 愛 甲 豊 治***
大 江 賢 二** 岡 田 博**

Characteristics of Particulate Emission from Two-stroke Marine Diesel Engine
—Effect of Cylinder Oil Feed Rate—

By Tatsuro Tsukamoto, Toyoharu Aikou, Kenji Ohe, Hiroshi Okada

The carbonaceous particulate or soot emission from diesel engines has become one of serious environmental problems in the world. There is no regulation on particulate emission from marine diesel engine at present. In the present report, experimental investigation was conducted with a two-stroke marine diesel engine to know the characteristics of particulate emission. Concentration of particulate emission was measured by three kinds of method, such as direct sampling method, partial-flow dilution tunnel method and Bosch type smoke meter method. The effects of engine load ratio and cylinder oil feed rate have been examined. The experimental results show that the particulate concentration measured by the dilution tunnel method increases with an increase in cylinder oil feed rate. The data points obtained by the direct sampling method and the smoke meter are somewhat scattered and the general tendency is not evident within the limits of this experiment.

1. ま え が き

今日環境問題のために、陸上の工業用設備、自動車、船用機関等からの排出ガス規制はますます厳しくなっている。今後さらに船舶から排出される粒子状物質（微粒子）の規制も行われると考えられる。船用ディーゼル機関の燃料油はますます高粘度化しており、残炭分、灰分などが増すことにより排出される微粒子は増加すると考えられ、その低減は重要である。排出ガスの微粒子濃度あるいはスモーク濃度の測定には、スモークメータ、直接法、希釈法などが用いられている。スモークメータは、簡便

であるため自動車用ディーゼル機関の排気煙濃度の測定用として用いられてきたが、比較的高濃度の排気煙の測定に適しており、低濃度では精度の良い測定は困難である。直接法は、排気ガスを高温のままでフィルタを通過させて微粒子を捕集する方法で、固定発生源からの排気ガスの微粒子濃度の測定に用いられている。この方法では、ディーゼル機関から排出される微粒子のうち有機不溶解成分のみが捕集され、有機可溶成分（SOF）は捕集されないと考えられる。希釈法は、大量の空気中で排気ガスを希釈冷却した後にフィルタを通過させて微粒子を捕集する方法で、有機可溶成分も捕集できるため、自動車用ディーゼル機関の微粒子濃度の測定に用いられている。また、ISO（国際標準化機構）では、往復動内燃機関全般に希釈法を採用することを提案してい

*原稿受付 平成6年11月21日

**正会員 東京商船大学(東京都江東区越中島2-1-6)

***学生会員 東京商船大学大学院(東京都江東区越中島2-1-6)

表1 供試機関の主要目

名 称	3 U E C 3 7 L A	
シリンダ内径	mm	3 7 0
ピストン行程	mm	8 8 0
出 力	k W	1 1 0 5
回転数	r p m	1 8 8
正味平均有効圧力	kg/cm ²	1 . 2 4
平均ピストン速度	m / s	5 . 5 1
機関重量	t o n	4 4

表2 使用燃料油の性状

密度 (288K)	g/cm ³	0 . 8 7 2 7
反 応		中 性
セタン指数		4 6
引火点	K	3 4 1
流動点	K	2 6 0
動粘度 (323K)	mm ² /s	2 . 8 9 4
硫黄分	質量%	0 . 6 9
窒素分	質量%	0 . 0 3
残炭分	質量%	0 . 5 7
灰 分	質量%	0 . 0 0 5 (—)
水 分	容量%	0 . 0 5 (—)
総発熱量(推定)	MJ/kg	4 5 . 0

る。ここでは、船用2サイクルディーゼル機関（3 UEC37LA）の微粒子排出特性を調べるために、機関負荷率およびシリンダ注油量を変化させて、直接法、希釈法およびスモークメータの3種類の方法で微粒子濃度の計測を行った。

2. 実験装置および実験方法

供試機関は、単流掃気、クロスヘッド型の船用2サイクルディーゼル機関で、静圧過給方式の排気タービン過給機を備えている。その主要目を表1に示す。また、実験に使用した燃料油はA重油で、性状を表2に示す。直接法の計測には煙道排ガス自動等速吸引装置（ダスタックサンプラーESA-302 CT-20N、岡野製作所）を用いた。排気ガスの採取には内径4mmのノズルを用い、微粒子の捕集にはI型ろ紙ホルダ（排気管中にろ紙ホルダを設置する方法）および円筒ろ紙フィルタを使用した。ろ紙の秤量は、捕集前後とも約500Kで2時間過熱した後

表3 使用シリンダ油の性状

密度(288K)	g/cm ³	0 . 9 0
引火点	K	5 2 7
動粘度(313K) (373K)	mm ² /s mm ² /s	2 0 0 1 8
粘度指数		9 8
流動点		2 6 5
全塩基価 過塩素酸法 塩酸法	mgKOH/g mgKOH/g	1 3 1 0
S A E 粘度番号		5 0

に行った。希釈法は小型希釈トンネル（内径70mm、全長1400mm）を用いて、部分希釈法で計測した。ただし、機関排気量に比べて希釈トンネルが小型であるために分流量は4000分の1程度と小さくなっている。希釈率は希釈前後の排気ガスのNO_x濃度比から求めた。ろ紙の秤量は、恒温恒湿（298±1K、50±5%）の室内に8時間静置した後に行った。スモーク濃度は、ボッシュ式スモークメータ（DSM-10B、ゼクセル）を用いて測定した。

微粒子濃度の計測は、船用特性で機関負荷率を25、50、75、85、100%と変化させて行った。このとき、機関一回転当たりのシリンダ注油量を一定にしたので、単位出力単位時間当たりの注油量（注油率）は、高負荷ほど小さくなっている。さらに、負荷率を一定にし、シリンダ注油量を変化させて計測を行った。表3に使用したシリンダ油の性状を示す。

3. 実験結果

機関負荷率と微粒子濃度との関係を図1～3に示す。図1に、直接法および希釈法による計測結果を示す。図中、2種類のシリンダ注油量（機関1回転当たり、0.17ccおよび0.21cc）の計測結果が示されている。直接法では、微粒子濃度は負荷率が大きくなると減少しており、シリンダ注油量の違いによる差は見られない。希釈法では、微粒子濃度は負荷率の増加とともに増加しており、また、注油量が大きいほうが濃度が高くなっている。ただし、注油量0.17cc/回転と0.21cc/回転の実験は、別の日に行われたもので、掃気圧、排気温度等に多少の違いがあるため単純に比較はできないと考えられる。また、

図1 機関負荷率と微粒子濃度の関係

図4 フィルタ平均通過速度と微粒子濃度の関係

図2 機関負荷率と微粒子排出量の関係

図3 機関負荷率とスモーク濃度の関係

直接法では希釈法に比べてSOF分が捕集されないために、微粒子濃度の値は小さくなると考えられるが、ここでは、逆の結果となっている。図2には、図1に示したものと同一データを縦軸に燃料1kg当たりの微粒子排出量をとって示した。燃料油1kg当たりの微粒子排出量は、希釈法では0.5から4g程度、直接法では5から11g程度となっている。図3にスモークメータによる計測結果(5回引き)を示す。スモークメータの結果は値がかなりばらついており、負荷率およびシリンダ注油量による明確な傾向は見られない。

直接法では、排気ガスの吸引ノズルの内径を4mmから6mmおよび2mmに変えた計測および円形ろ紙フィルタを用いた計測も行った。ノズル径が異なると、等速吸引を行っているため単位時間当たりにフィルタを通過する排気ガスの体積が変化し、排気ガスのフィルタ通過速度が変化する。また、ここで用いた円形ろ紙フィルタは円筒ろ紙フィルタに比べて面積が小さいため、フィルタ通過速度が大きくなる。計測結果を図4に、横軸にフィルタ平均通過速度(単位時間当たりにフィルタを通過した排気ガスの体積をフィルタの面積で除した値)をとって示す。この図から、同じ負荷率でもフィルタ通過速度が減少すると測定値が大きくなっていることがわかる。上述の負荷率を変化させた実験において、すべての負荷率で同じ吸入ノズルを用いたので低負荷では排

図5 シリンダ注油率と微粒子濃度の関係 (50%負荷)

図6 シリンダ注油率と微粒子濃度の関係 (85%負荷)

気流量の減少により排気管のガス流速が小さくなっており、高負荷に比べてフィルタ通過速度は減少している。今回の計測では、フィルタ通過速度は、100%負荷の8.4 cm/s に対して25%負荷では2.3 cm/s となっており、この速度の減少が、低負荷ほど微粒子濃度が増加している一因と考えられる。

図5～7にシリンダ注油率と微粒子濃度の関係を示す。このとき、機関を一定負荷で運転し、順次注

図7 シリンダ注油率とスモーク濃度の関係

図8 シリンダ注油率とNOx濃度の関係

油量を変化させて計測を行った。図5および図6から、50%、85%いずれの負荷率においても、微粒子濃度は希釈法による計測結果より直接法のほうがかなり値が大きくなっていることがわかる。また、いずれの負荷率においても希釈法による計測値は、シリンダ注油率の増加とともに増加しているが、直接法による計測値は、データがばらついており明確な傾向を見いだすことはできなかった。図7のスモークメータによる計測結果(1回引き)からも、シリンダ注油率によるスモーク濃度の傾向は見いだせなかった。シリンダ注油率を変化させたときのNOx濃度(13%O₂換算値)を図8に示す。シリンダ注油率を変えてもNOx濃度には特に変化はなかった。また、図9にシリンダライナ温度および温度計測位置を示す。約6時間機関を運転し、その間にシリンダ注油率を変化させながらシリンダライナ温度を計

シリンダライナ温度計測位置

図9 シリンダ注油率とシリンダライナ温度の関係

測した。図中のbの位置が上死点におけるトップリング位置である。図からシリンダ注油率を変化させてもシリンダライナ温度には影響がないことがわかる。

4. ま と め

船用2サイクルディーゼル機関を用いて、直接法、希釈法およびスモークメータで排出微粒子濃度の計測を行った。希釈法では機関負荷率の増加とともに微粒子濃度も増加した。また、シリンダ注油率が増加すると、微粒子濃度が増加した。直接法の計測結果では、機関負荷率が増加すると微粒子濃度は減少し、シリンダ注油率の影響はなかった。また、排気ガスのフィルター通過速度が、計測値に大きく影響することがわかった。スモークメータの計測は値がばらつき、機関負荷率およびシリンダ注油率に対する傾向は見られなかった。