

ディーゼル排気微粒子中のSOF排出特性

横田 久司 田原 茂樹 佐野 藤治 坂西 丕昌

要 旨

ディーゼル排出ガス低減対策を進めるためには、発がん性等との関連が指摘されているディーゼル排気微粒子について、その性状を明らかにすることが重要である。

ここでは、ディーゼル排気微粒子中の有機成分(SOF)について、平成6年規制適合の大型ディーゼル車11台を用いて、実走行条件におけるSOFの排出実態及び排出割合等の検討を行った。

その結果、次のことが明らかになった。

- (1) SOFは、粒子状物質(PM)同様に、平均車速の低下に従い、排出量は増加した。中型車の排出量が、大型車より約2.6倍多くなっている。
- (2) SOFの全PM排出量に対する割合は、8.9%~69.1%(平均34.4%)の範囲にあった。
- (3) SOF排出割合は、パワーウェイト比(車両重量/最大出力の比率)が大きくなるに従い、低下している。
- (4) 低酸化力の酸化触媒の適用により、PMが9~26%低減する可能性がある。

キーワード: 有機可溶成分、ディーゼル排気微粒子、排出量、粒子状物質、大型ディーゼル車

1 はじめに

浮遊粒子状物質(SPM)及び二酸化窒素の環境基準が長期間にわたり達成されないなど、自動車排出ガスによる深刻な大気汚染が持続している。さらに、最近では、気管支ぜん息や発がん性との関連が指摘されるディーゼル排気微粒子が注目を浴びており、対策が急がれている。

ディーゼル排気微粒子は、固体炭素(すす:Soot)と灰分からなる粒子を核とし、それらに凝縮し、吸着した有機成分等が含まれる。燃料、潤滑油等の一部が燃焼せずに、揮発性あるいは可溶性の有機成分(一般に、有機可溶成分、SOFと記述される。以下「SOF」と記す。)として排出される。SOFは、エンジンの運転状態(エンジン負荷、排気温度)や、エンジン設計により変化することが知られており、排気対策を進めるためには、ディーゼル車から排出される粒子の性状を把握する必要がある。

一方、ディーゼル車の排出ガス対策として、酸化触媒が実用化されつつある。現在の軽油中の硫黄含有率は0.05%と高く、硫黄分が硫酸塩として排出され、PM

が増加すること等のため、強力な酸化力を有する触媒は使用されていない。そのため、現時点では、酸化触媒は、排出ガス中のTHC、COと、PM中の主にSOF分だけを酸化するものとして使用されている。

また、実用化が急速に進められているディーゼル排気微粒子除去装置(DPF)に関する研究から、筆者ら¹⁾は、DPFによるSOFの捕集効率が低いこと等を確認し、DPFと酸化触媒の併用の必要性を指摘した。

種々の車種や走行条件において、PM中のSOF排出割合を把握することは、酸化触媒によるPMの低減効果を推定する上でも重要である。しかし、実走行条件におけるSOFの排出実態についての報告例²⁾は少ない。

本稿では、PMをCO₂に変換し、全炭素成分と揮発性成分を分離して測定する方法を用いて、SOFの排出実態、及び排出割合について検討し、さらに酸化触媒によるPM低減効果を推定した。

1 実験

(1) 車両諸元

試験車両諸元を表1に示す。いずれも、平成6年規

制適合の直接噴射式ディーゼルエンジンを搭載した使用過程車である。ここでは、等価慣性質量 (EIW) 10,000kg以下をMDD、10,000kg超をHDDと表した。

表1 車両諸元

試験車両	規制年次	EIW (kg)	エンジン諸元		
			燃焼方式	型式	排気量 (cc) 最大出力 (PS) 給気方式
1		15,030		RG8	17,990 350 NA
2		14,150		RG8	17,990 350 NA
3		17,900		6WA1	12,060 390 TC・IC
4		5,990		6HH1	8,226 210 NA
5		5,085		15B	4,104 125 NA
6	6年	17,990	直噴	K13C	12,880 360 TC・IC
7		10,530		6D17	8,201 220 NA
8		15,380		6D24	11,945 300 TC・IC
9		3,220		TF	4,021 115 NA・EGR
10		17,740		PF6	12,503 390 TC・IC
11		6,025		6HH1	8,226 210 NA

注)EIW:等価慣性質量

(2) 測定条件

測定は、環境科学研究所の大型自動車排出ガス実験システム (以下、「大型C/D」という。)を用いた。大型C/Dは、大型シャシーダイナモメータ及び排出ガス計測システムで構成されている。排出ガス計測システムは、自動車排出ガス分析装置 (MEXA-9400F, (株)堀場製作所製)、CVS装置 (Constant Volume Sampler: CVS-120T, 同)、全量希釈トンネル (内径609.6mm, 有効長6,503.3mm、CFV (臨海流量ベンチュリー: 流量120m³/min)、ロウポリウムサンプラー等を備えている。エンジン吸入空気及び希釈空気は、空気清浄機から温度25℃±5℃、湿度50%の浄化空気を供給した。

ロウポリウムサンプラーでのPMの捕集には、70mm径の炭化フッ素被膜ガラス繊維フィルター (Pallflex TX40HI20-WW)を用いた。

(3) 運転条件

以下の試験走行パターン等により、測定を実施した。なお、等価慣性質量は、1/2積載条件とした。

①東京都実走行パターン

No.1~No.10の10本

②定速走行

アイドリング, 20km/h, 40km/h, 60km/h, 80km/hの5本

(4) SOF等の分析

ディーゼル排気微粒子の成分分析には、通常、ジクロロメタン溶媒によるソックスレー抽出法が用いられ

ており、このうち、溶媒に溶出した成分をSOF (Soluble Organic Fraction)としている。ここでは、計測の簡便さのために、ディーゼル排出粒子測定装置 (R&P MODEL-5100, 司測研製)により求めた揮発性成分をSOFとして定義している。この方法の概要は、以下のとおりである。

- ①50℃に保たれた石英繊維フィルターに、一定流量のサンプルガスを通過させ、PMを捕集する。PMの質量濃度 (mg/m³)によって、吸引流量は6ℓ/min~20ℓ/minに変化させた。
- ②サンプリング終了後、流路を切り替え、閉回路としてガス体を循環させる。
- ③フィルターを350℃まで加熱し、捕集したPMの揮発性成分を気相に溶出する。
- ④揮発された成分を600℃に昇温された触媒燃焼炉で酸化し、CO₂に変換する。
- ⑤このCO₂濃度をNDIR (非分散赤外線吸収法)で測定し、揮発性成分として換算する。
- ⑥フィルターをさらに750℃まで加熱し、残存成分をCO₂に変換して、⑤と合わせて全CO₂濃度を全炭素成分として換算する。
- ⑦全炭素成分-揮発性成分=すす (Soot)として換算する。

サンプリング終了後から、全炭素成分の測定が終了するまでに要する時間は約15分程度であり、ロウポリウムサンプラーでのフィルターを用いる方法と比較して短時間に測定結果が得られることが特徴である (以下、CO₂変換法と略す)。

柳原ら³⁾は、この方法によりPM中のSOFに近い成分濃度を測定できるとしている。また、筆者ら¹⁾は、CO₂変換法による全炭素成分測定値とロウポリウムサンプラーによるPM測定値の比較を行い、良好な相関関係にあることを確認している。

3 結果及び考察

(1) 実走行時のSOF排出特性

1台当たりのSOF排出量を等価慣性質量で除して、規格化した排出量 (g/トン・km)と平均車速の関係を図1に示した。よく知られているPMの排出傾向と同様に、平均車速の低下に従い、排出量は増加した。中型車 (MDD)の排出量が、大型車 (HDD)より約2.6倍多くなっている。

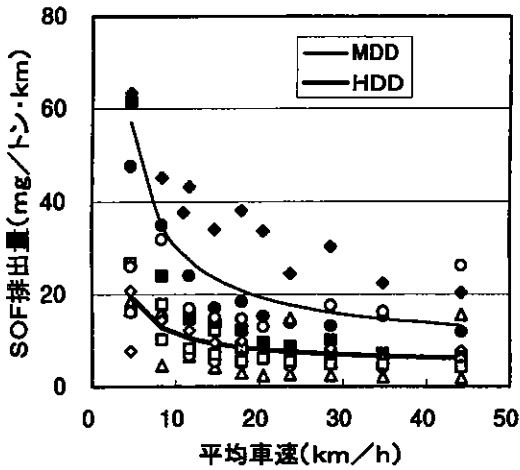


図1 SOFの排出特性

(2)SOF排出割合

SOFの全PM排出量に対する割合は、8.9%～69.1% (平均34.4%) の範囲にあった。Japan Clean Air Program(2000)⁴⁾で行われた大型エンジンによる試験(ディーゼル13モード)結果から計算すると、同じ平成6年規制適合エンジンで、SOFはPMの15%～45% (平均24%) の範囲にあり、概ね一致した結果である。SOF排出割合は、SOF排出量との直接的な相関関係はみられなかった(図2)。

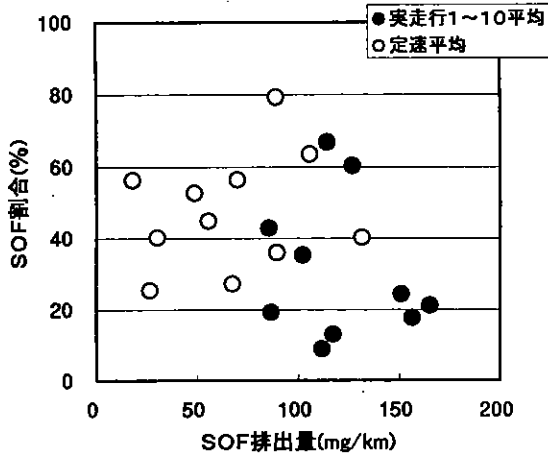


図2 SOFの排出量と排出割合の関係

平均的なエンジン負荷を示す指標として、パワーウェイト比(等価慣性質量(EIW)/最大出力(PS))をとり、PM中のSOF排出割合と比較した(図3)。SOFの排出は、パワーウェイト比が大きくなるに従い、低下している。

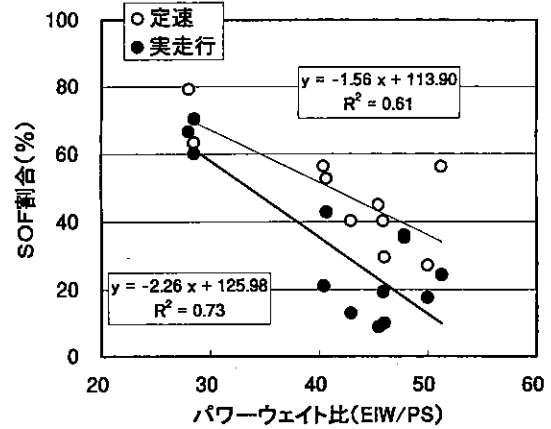


図3 SOF排出割合とパワーウェイト比の関係

筆者らは、平成元年規制適合車を用いて、SOF、Sootの排出特性を報告している。その結果、エンジン負荷が80%を超えると、PM排出量が大幅に増えるのとは逆に、SOF比率が10%程度に減少することを確認している(図4)。

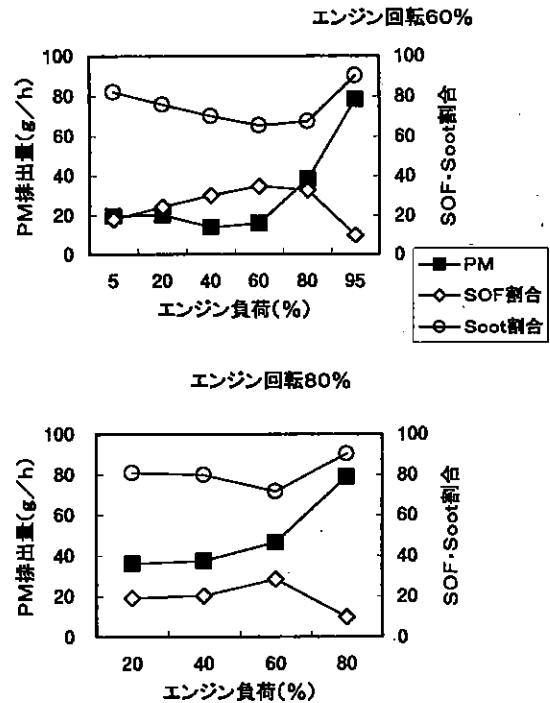


図4 エンジン負荷とSOF排出割合の関係

パワーウェイト比が大きい場合には、エンジン負荷が部分的に80%を超える場合も想定されることから、図3の傾向は妥当な結果といえる。SOFの割合は、実走行パターンでは、EIW/PS<30で平均66%、EIW/PS≥40で平均23%であった。

今回の結果は、少ないデータに基づく推定であり、今後は、規制年次・車種別等によるSOFの排出実態を把握する必要がある。

(3)酸化触媒によるPM低減効果推定

茂木ら⁵⁾は、高負荷で排気温度の高い自然給気 (Natural Aspirate: NA) エンジンと排気温度の比較的低いターボインタークーラー (TI) エンジンへの酸化触媒の効果を報告している。その結果、酸化力を抑えた非金属系酸化触媒をNAエンジンに適用した場合、サルフェートの増加無しに、SOFは40%低減している。また、TIエンジンにも、低酸化力の貴金属触媒によりPMが20%低減することを報告している。この場合のSOFの低減効果は文献⁵⁾から約50%程度と読みとれる。NA、TIエンジンともに酸化力の強い触媒を用いた場合には、PMが増加している。

ここでは、低酸化力タイプの酸化触媒を適用することを前提に、そのPM低減効果を推定した。(2)で求めたSOFの割合に、SOFの低減効果を40%とすると、実走行パターンでは、EIW/PS<30で平均26%、EIW/PS≥40で平均9%のPM低減効果が推定された。

4 まとめ

CO₂変換法により、ディーゼル排出ガス中のSOF排出特性について検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- ①SOFは、PM同様に、平均車速の低下に従い、排出量は増加した。中型車の排出量が、大型車より約2.6倍多くなっている。
- ②SOFの全PM排出量に対する割合は、8.9%~69.1% (平均34.4%) の範囲にあった。
- ③SOF排出割合は、パワーウエイト比が大きくなるに従い、低下している。
- ④低酸化力の酸化触媒の適用により、PMが9~26%低減する可能性がある。

今後は、規制年次、車種別等によるSOFの排出実態を把握する必要がある。

参考文献

- 1) 横田久司、小谷野真司、浅海靖男：DPFの大型ディーゼルトラックへの適用実験(2) -排出ガスへの影響-、大気環境学会誌、Vol.34(4) (1999)
- 2) Yanowitz, J; Graboski, MS; Ryan, LBA; et al. (1999a) Chassis dynamometer study of emissions from 21 in-use HD diesel vehicles. Environ Sci Technol 33:209-216.
- 3) 柳原茂、岡田道雄、成沢和幸：CO₂変換を利用したディーゼル排気粒状物質の測定、社団法人自動車技術会学術講演会前刷集943, 113~116, 1994-5 (1994)
- 4) JCAP技術報告書1-3-1：ディーゼル車(1)、ディーゼル車における既存車と既燃料が排出ガスに与える影響の研究、平成12年3月、(財)石油産業活性化センターJCAP推進室(2000)
- 5) 茂木浩伸、伴野靖幸、細谷満、下田正敏：ディーゼル自動車用酸化触媒の研究と展望、自動車技術、50(9), 72-77 (1996)