

大型トラックへのDPFシステムの適用性について

横田 久司 飯田 靖雄 小谷野 眞司 坂西 丕昌

要 旨

ディーゼルエンジンからの粒子状物質 (PM) を排気系において処理する「後処理対策」の一つとして、DPFシステムが有効とされている。

東京都では、浮遊粒子状物質削減対策の一環として、PM排出量の大部分を占める大型ディーゼルトラックに DPFの普及を進めることを検討している。本研究は、大型ディーゼルトラックに DPFを適用したときの技術的な課題を明らかにすることを目的としている。

これまでに開発されている DPFシステムの中から、耐熱性能の高い炭化珪素を素材とする DPFを選定し、最大積載量 8 トンの大型ディーゼルトラックに装着した。

初期性能の確認と予備的な走行試験を行った結果、次のことが明らかになった。

①PMについては 86%以上、黒煙は 100%除去されることが確認された。PM低減のための要素技術の一つとして十分実用化の可能性があると考えられる。

②路線バスに比べ、再生間隔が短くなっており、再生開始時のPM捕集量も少なくなっていることが確認された。

今後は、DPFシステムを大型トラックの使用条件に適した設定に変更することが必要であることが示唆された。

キーワード：大型トラック、ディーゼル・パーティキュレート・フィルタ、粒子状物質、炭化珪素、走行試験、再生

Application of DPF to Heavy Duty Diesel Trucks

Hisashi Yokota, Yasuo Iida, Shinji Koyano and Motomasa Sakanisi

Summary

The retrofit DPF is effective as PM reduction technology from diesel exhaust gas. Popularization of DPF for the heavy duty diesel trucks is being investigated as a countermeasure for SPM reduction. As such, the objective of the research was to clarify the technical problems when DPF was applied to heavy duty diesel trucks.

A filter made of high heat-resistant SiC was chosen among the available DPF systems which were developed for route bus, and was installed to a heavy duty diesel truck with a maximum carrying capacity of 8 tons.

The results of verification of early stage performance and preliminary run test were as follows.

①removal efficiency of PM was above 86 % and that of black smoke was 100 %.

② compared with route bus, regeneration frequency was higher and PM amount at regeneration start was smaller.

From the above mentioned results, there is a need to modify the system setting of DPF when used in heavy duty diesel trucks.

Future study is necessary on full-scale fleet test to determine the suitability of DPF system to heavy duty diesel trucks.

Keywords : heavy duty diesel truck, DPF, PM, SiC, run test, regeneration

1 はじめに

ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質 (Particulate Matter : 以下、「PM」という。) の低減手法として、排気系において処理する「後処理対策」が検討されており、その方法の一つとして、ディーゼルパーティキュレートフィルタ (Diesel Particulate Filter : 以下、「DPF」という。) システムが有効とされている。

東京都環境科学研究所でも、DPFについて以下のような調査研究を実施してきた。

- ①触媒付きDPF搭載のディーゼル乗用車の3万km路上走行試験等¹⁾
- ②ごみ収集車用の電気ヒータ着火方式のDPFのエンジンダイナモ実験²⁾
- ③デュアルタイプDPFの大型ディーゼルバス (副室式及び直噴式) への適用試験^{3,4)}

その結果、DPFによるPM、黒煙の除去効果は約90%以上と非常に高く、対策として有効であることを確認している。

しかし、いずれの結果においても、フィルタに捕集されたPMを燃焼・除去 (再生) する際に、フィルタの急激な温度上昇により、フィルタにクラックや溶損が発生することが問題となった。そのため、フィルタへのPM捕集量の正確な把握方法の確立、再生時の温度制御の高度化や耐熱性の高いDPFの開発が必要とされている。

環境庁等においてもDPFの実用可能性に関する調査研究を行ってきており、平成7年度からは、ディーゼル自動車メーカーの開発したDPFを搭載した営業用路線バスによる試験走行⁵⁾が開始された。この調査において路線バスが使用されているのは、現状のDPFシステムが前述したような理由のために、十分な耐久性や信頼性があるとはいえないことにある。路線バスは、走行経路が限られていること、車両の日常管理が確実に行われているため、PMの捕集量がある程度予測できる利点がある。

DPFに関するこれまでの研究は、路線バスを対象にしたものが多いが、最終的には、浮遊粒子状物質削減対策の一環として、PM排出量の大部分を占める大型トラックへの展開を推進する研究が必要である。

このような見地から、本研究は、DPFシステムを大型ディーゼルトラックに適用したときの技術的な課題を明らかにすることを目的としている。

これまでに開発されているDPFシステムの中から、耐熱性能の高い炭化珪素を素材とするフィルタを使用したDPFを選定し、最大積載量8トンの大型ディーゼルトラックに装着した。ここでは、初期性能の確認と予備的な走行試験を行った結果について報告する。

本研究は、平成8年度より、日産ディーゼル工業㈱との共同研究として実施している。

2 実験

(1) DPF実験車の諸元

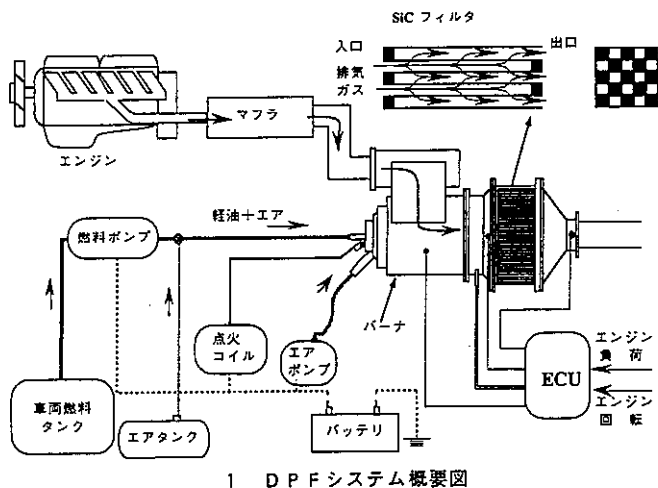
ア DPFシステム

(ア) DPFシステムの基本機能

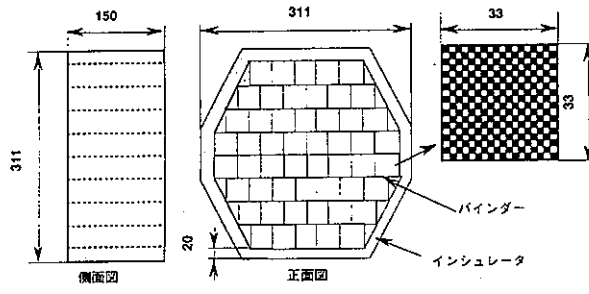
エンジン排気系に設けたフィルタにより、排出ガス中の粒子状物質を濾過・捕集する。一定時間の運転後、または、一定量のPMがフィルタに捕集されると、車両の稼

表1 フィルター諸元等

	項目	内容
フィルタ	形式	ウォールフロー・ハニカム
	容積	9.0l (55セグメント)
	材質	炭化珪素 (SiC)
	耐熱温度	2,300°C (昇華温度)
再生	再生開始判定	時間またはフィルター圧損
	再生方式	フルフローバーナー再生
	バーナー温度	720°C
	再生時間	約10分



1 DPFシステム概要図



2 フィルタ外観図

図1 DPFシステムの構造

働中にフルフロー軽油バーナによって、PMを自動的に燃焼・除去するフィルタ再生機能を有する。

PMの捕集量の検知には、次の二つの機能を有する。

①時間検知機能

累積運転時間が設定した時間に到達したことを判断する。初期段階の設定値として、路線バスと同じ3.5時間としている。

②圧力検知機能

フィルタの圧力損失により、PMの捕集量を検知し、再生が必要な時期を判断する。再生検知圧力は、路線バスと同じ値に設定している。

(イ) DPF諸元

フィルタ諸元及び特性を表1に、DPFシステムの構造を図1に示した。フィルタには、耐熱性の高い炭化珪素(SiC)製のセラミックを使用している。ディーゼルエンジンの排出ガスをフィルタに通すと、多孔質薄壁をガスが通過する際、PM及び黒煙が捕集される。このフィルタは、直方体(33mm×33mm×150mm)のセグメント55個分で構成されている。

バーナの燃焼に必要な燃料及び空気は、それぞれ車両燃料タンク、制御ボックス内のエアポンプから取り入れ、バーナ内のノズルから噴射する。着火は、バーナヘッド部のプラグで行い、その後、フィルタ前部の温度を約720℃を目標に燃焼を制御する。

イ DPF実験車

(ア) 諸元

実験車の諸元を表2に示した。本車両は、ダンプ・ト

ラックとして使用されていたものを平ボディに改造し、使用履歴のない同型エンジンに交換した。

(イ) 構造

DPFを搭載した実験車の構造を図2に示した。排出ガスは、マフラーを通過後、DPFを経由して排出される。DPFシステムに異常があった場合には、自動的に排気シャッターが閉じられ、バイパス側に排出される構造となっている。この切り替えは、運転席において容易に行える。DPF本体及びバーナ制御ボックスの容量は約150ℓ、重量は約145kgである。

ウ データ計測装置

路上走行試験において、DPFの作動状況、エンジン運

表2 実験車の諸元

車両型式	U-CK450END
初年度登録	平成6年8月
車両重量	6,700kg
車両総重量	14,810kg
最大積載量	8,000kg
エンジン型式	PF6(自然吸気)
総排気量	12,503cc
最高出力	235ps/2,100rpm
最大トルク	85kgm/1,300rpm

転状況等を把握するため、試験車にデータ計測装置を装着した。データ計測装置は、VARTS実走行試験装置(小野測器製)を使用し、0.2秒毎のサンプリング間隔で下記の測定項目のデータを採取した。

測定項目は、以下の通りである。

①DPFの作動状況

フィルタ前後の温度、フィルタ前圧力、再生信号

②エンジン運転条件

エンジン回転数

③燃料消費量

燃料流量、燃料温度、燃料圧力

④車両運転条件

車速、クラッチ信号、走行距離

(2) 排出ガス等の測定

DPF実験車の完成後、東京都環境科学研究所の大型自動車排出ガス実験システムにおいて、試験車の初期値としての排出ガス測定を行った。DPFシステムの作動状況、PM、黒煙の低減効果、NOX、燃費等への影響を検討した。

ア 測定項目

①排出ガス

PM、NOX、黒煙等

②エンジン条件

エンジン負荷、回転数、燃費、吸入空気量等

③DPFシステム関連

前述のデータ計測装置を利用した。

イ 測定条件

DPFシステムを作動した状態及びバイパス排気の両方の場合について、以下の測定を実施した。なお、排出ガス測定は、他の車両との比較をするため、等価慣性重量を1/2積載条件としている。

①法定モード

D6、D13、排気煙濃度試験、無負荷急加速試験

②東京都実走行パターン

No.1~No.12

③定常条件におけるエンジン排出特性

(3) 路上走行試験

DPF実験車については、道路運送車両法に基づく新規登録を行った後、予備的な路上走行試験を行った。DPFを装着した場合の安全性、耐久性及び運転性等への影響

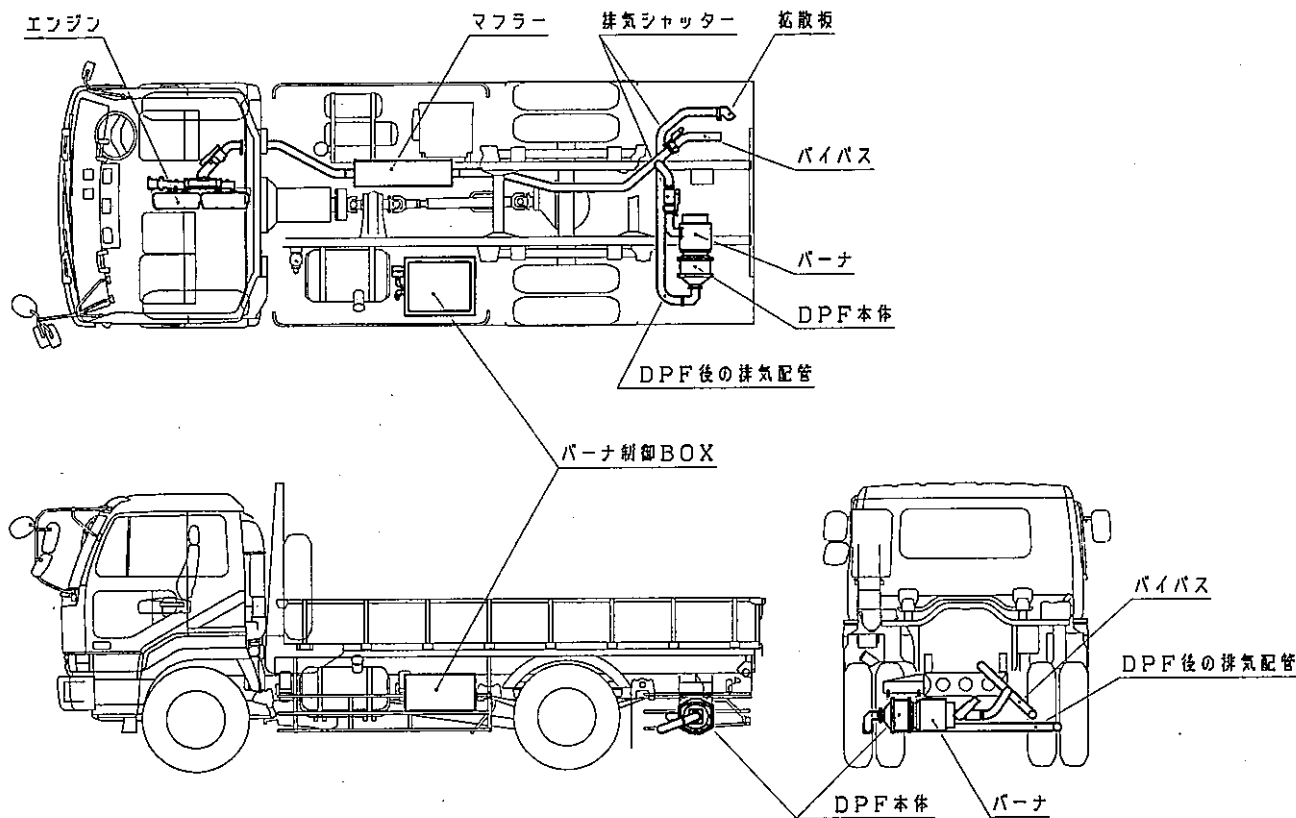


図2 DPF実験車の構造

等を調査し、DPFシステムの実用性について検討した。走行に関する諸条件は、以下の通りである。

ア 走行条件

(ア) 積載条件

走行は、定積載（積載量8トン）条件で行った。

(イ) 走行距離及び走行コース

一日当りの走行距離は、100 km～200 km程度とした。また、走行コースは、一般幹線道路及び高速道路を使用した。

イ 計測データ

データ計測装置により、前述した項目について記録した。

ウ 運行時の調査

日常運行のなかで、運転性能への影響、運行上の問題点、使い勝手等についても調査を行った。

3 結果及び考察

(1) 初期段階の排出ガス性状

ア PM及び黒煙の低減効果

バイパス排気の場合を実験車の基礎排出量とし、DPF側のデータは、再生の行われていない場合を比較データとした。排出ガス測定の結果（表3、4参照）は、以下の通りであった。

①PMは86%以上の低減、黒煙は全く排出されなかった。

②ディーゼル13モードではPMは0.10 g/kWhであり、現行規制値、長期規制値よりも大幅に低いレベルであった。

なお、バイパス側の測定結果をみると、平成元年規制適合の車両としては、若干高めめの排出ガスレベルであった。

イ NOx等の排出ガス

表3に示すように、測定運転中に再生が行われなかった場合には、NOx等の他の排出ガスへの影響は認められなかった。

(2) DPFの再生状況等

ア 圧力損失

SiCは、多くのDPFに使用されているコーセライト(2MgO・2Al₂O₃・5SiO₂)に比べて圧力損失が小さいため、フィルタ容量が小さくて済むことが特徴の一つ⁹⁾である。フィルタ容量と総排気量との比は、SiCでは0.72であるのに対し、コーセライトでは約1.13になっている。再生開始時の圧力損失は、概ね2～16 kPaの

範囲であった。

また、排気系の圧力損失の発生により、燃料消費量が増加する可能性がある。DPFへのPMの捕集状況によって異なるが、比較的再生直後のケースでは、燃料消費量の増加は、1～3%にとどまっていた。

イ 再生時の排気温度

シャシダイナモメータにおける定速(40 km/h、80 km/h)及び東京都実走行パターンNo.5の試験走行中において、DPFの再生が行われた事例について排気温度の変化を図3に示した。排気温度の上昇速度は1.6～1.7°C/sec、最高到達温度は560～600°Cで、排気系における冷却を考慮すれば、DPF内部の上昇速度2°C/sec及び目標温度720°Cの設定⁹⁾通りに制御されていることがわかる。また、再生時間も設定のとおり、約10分間であった。

PMは、主な成分が炭素であるため、高温で十分な酸素が供給されると自然に着火し、爆発的に燃焼を開始する。この時、バーナによる燃焼が重なると温度が急激に上昇し、フィルタの損壊を招く可能性がある。したがって、本システムのように、緩やかな燃焼制御を行う必要がある。

ウ 再生時の排出ガス等の増加

(ア)バーナによる燃料の消費等

イで述べた再生時の例では、バーナが消費した燃料使用量を計算すると、定速時(40km/h、80km/h)、実走行パターンNo.5で、それぞれ1.26ℓ、1.13ℓ、0.98ℓであり、平均で1.12ℓであった。

(イ)排出ガス排出量の増加

実走行パターンNo.5の場合について、再生の有無による排出ガスの排出状況の違いを図4に示した。図は、2回の実験事例を示したものであり、上段が実験開始から483秒後に再生が開始された場合、下段は再生の行われなかった場合である。再生開始と同時に、バーナからの軽油の未燃成分とみられるTHC、COが増加しているのがわかる。バイパス排気の場合と比較して、THCは約1.9倍、COは約6.5倍に増加した。また、PMも約1.6倍に増加している(表5参照)。再生時の排出ガスの増加の影響は、再生頻度を加味して総合的な評価をする必要がある。

(3) 路上走行試験

97年3月3日～28日の間の20日間にわたり、実験車に定

表3 排出ガス測定結果

試験条件		DPF有無	PM	NOx
法定モード	ディーゼル6モード	有	—	366 ppm
		無	—	375 ppm
		低減率	—	—
	ディーゼル13モード	有	0.10 g/kWh	7.6 g/kWh
		無	0.82 g/kWh	7.4 g/kWh
		低減率	88 %	—
東京都実走行パターン	No. 2 (平均車速 8.2 Km/h)	有	0.07 g/km	9.8 g/km
		無	1.36 g/km	10.0 g/km
		低減率	95 %	—
	No. 5 (平均車速 17.9 Km/h)	有	0.06 g/km	6.6 g/km
		無	0.79 g/km	6.7 g/km
		低減率	92 %	—
	No. 8 (平均車速 28.1 Km/h)	有	0.10 g/km	6.1 g/km
		無	0.73 g/km	6.0 g/km
		低減率	86 %	—
	No. 10 (平均車速 42.9 Km/h)	有	0.04 g/km	5.3 g/km
		無	0.84 g/km	5.2 g/km
		低減率	95 %	—

表4 黒煙濃度測定結果

試験条件		黒煙濃度		低減率	
		DPF有り	DPF無し		
法定モード	排気煙濃度試験	40%回転	0 %	48 %	100%
		60%回転	0 %	43 %	100%
		100%回転	0 %	40 %	100%
	無負荷急加速試験	0 %	39 %	100%	

積載の荷重を搭載し、一般道（総走行距離 3,050km）及び高速道路（総走行距離 1,350km）における路上走行試験を実施した。この間の総再生回数は、153回であった。

一般道（平均車速28.6km/h）では、1回当たりの再生間隔は27.5km（57.6min）、高速道路（平均車速64.3 km/h）では、1回当たりの再生間隔は46.8km（43.6min）であった。再生時間は、いずれも設定値の3.5時間を大幅に下回り、圧力損失を検知した再生であることが分かる。

このときのDPFへのPMの捕集量を推定してみる。一般道の平均車速に近い東京都実走行パターンNo. 8（平均車速28.1km/h）では、排出ガス測定の結果、エ

ンジンからのPM排出量は0.73g/km（バイパス側）であった（表3参照）。排出ガス測定時には等価慣性重量を1/2積載条件としており、一方、路上走行時には、定積載で走行している。平成元年規制適合車の実験結果⁷⁾から、1/2積載から定積載にしたときのPM排出量の平均的な増加率を27%として、フィルタの捕集量を推定すると、

$$0.73 \times 1.27 \times 27.5 = \text{約} 25 \text{ g}$$

になる。設定捕集量の50gに比較して、かなり小さい値である。

路線バスでは、捕集量が50gと設定され、再生時間間隔約3.5時間、走行距離約40km毎に再生が行われてい

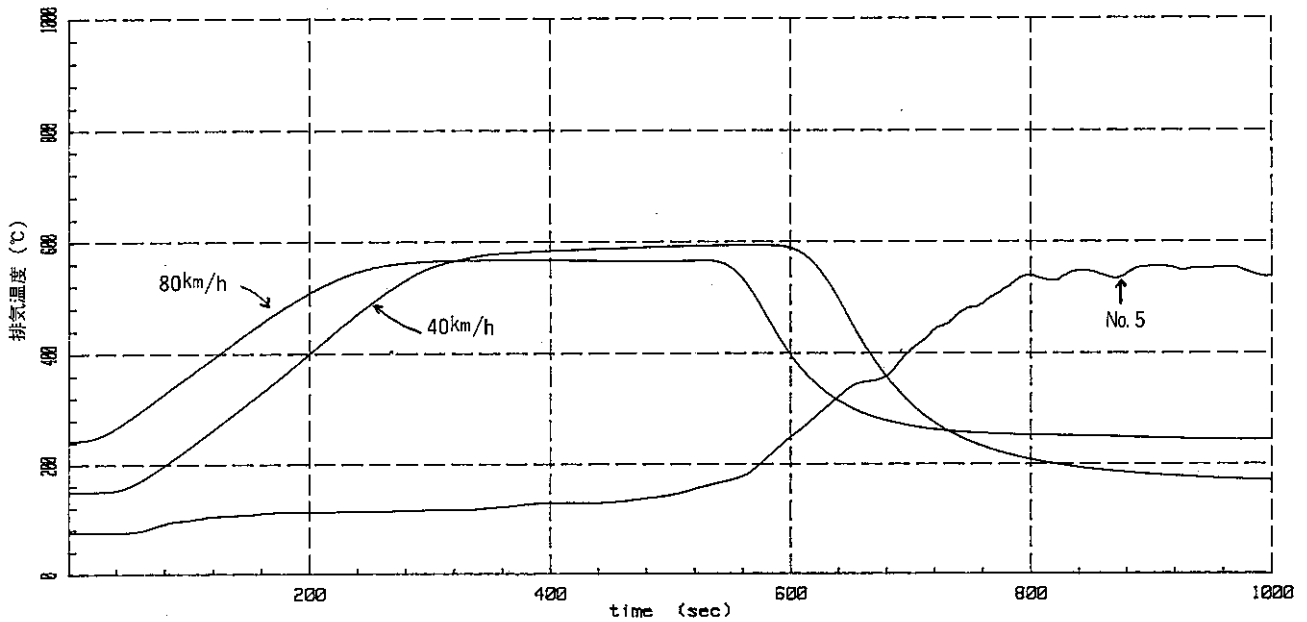


図3 再生中の排気温度変化の例
(定速40, 80km/h及び実走行パターンNo.5)

るのに比べ、上述のように、再生頻度が高くなっており、再生開始の捕集量も小さくなっている。

また、一般道における燃料消費量もPMと同様に推定してみる。

①一般道における燃費 = $3.90 \times (1 - 0.15) = 3.315 \text{ km} / \ell$

PMと同様に、平成元年規制適合車の実験結果⁷⁾より、1/2積載から定積載にしたときの燃費の平均的な減少率を15%とし、実走行パターンNo.8のバイパス側における燃費 (3.90km/ℓ) から計算した。

②再生 1回分に相当する走行にエンジンに必要な燃料
= $27.5 / 3.315 = 8.30 \ell$

③DPFの再生に必要な燃料 = 1.12 ℓ

④DPFによる燃料増加分 = $1.12 / (8.30 + 1.12)$
= 0.119

したがって、約12%の燃料消費量の増加となっている。

再生開始のPM捕集量の少ないこと及び燃料消費量の増加は、初期設定値として、路線バスの運行に適した設定にしてあるためである。今後は、DPFシステムを大型トラックの使用条件に適した設定に変更することが必要であることを示している。

4 まとめ

耐熱性能の高い炭化珪素を素材とするフィルタを使用した DPFを、最大積載量8トンの大型ディーゼルトラッ

クに装着した。初期の排出ガス調査を行った結果、PMについては86%以上、黒煙は 100%除去されることが確認された。しかし、DPFの再生が行われている走行中には、排出ガス等の増加があることも明らかになった。

また、予備的な走行試験を行った結果、路線バスに比べ、再生頻度が高くなっており、再生開始の捕集量も小さくなっている。

今後は、大型トラックの使用条件に適した DPFシステムの設定に変更することが必要であることが示唆された。

炭化珪素が、DPF用のフィルタ素材として使用できるようになったのは比較的最近⁸⁾である。高捕集効率、低圧力損失のため、コーゼライト製フィルタに比較し、DPFの小型化が図れるという有利な面がある。一方で、高熱膨張性があるため、クラックの発生を防止する目的で、フィルタを小さいセグメントに分割し、一体に組み立てる必要がある。

このような形状のフィルタについて、長期にわたる走行試験が大型トラックについて実施された例はなく、上述の結果を踏まえて、次のような課題の検討が必要である。

① DPFの制御技術の確立、特に、トラックの走行に適したPM捕集量の検出技術の確立

現在のところ、捕集量を推定する技術として、フィル

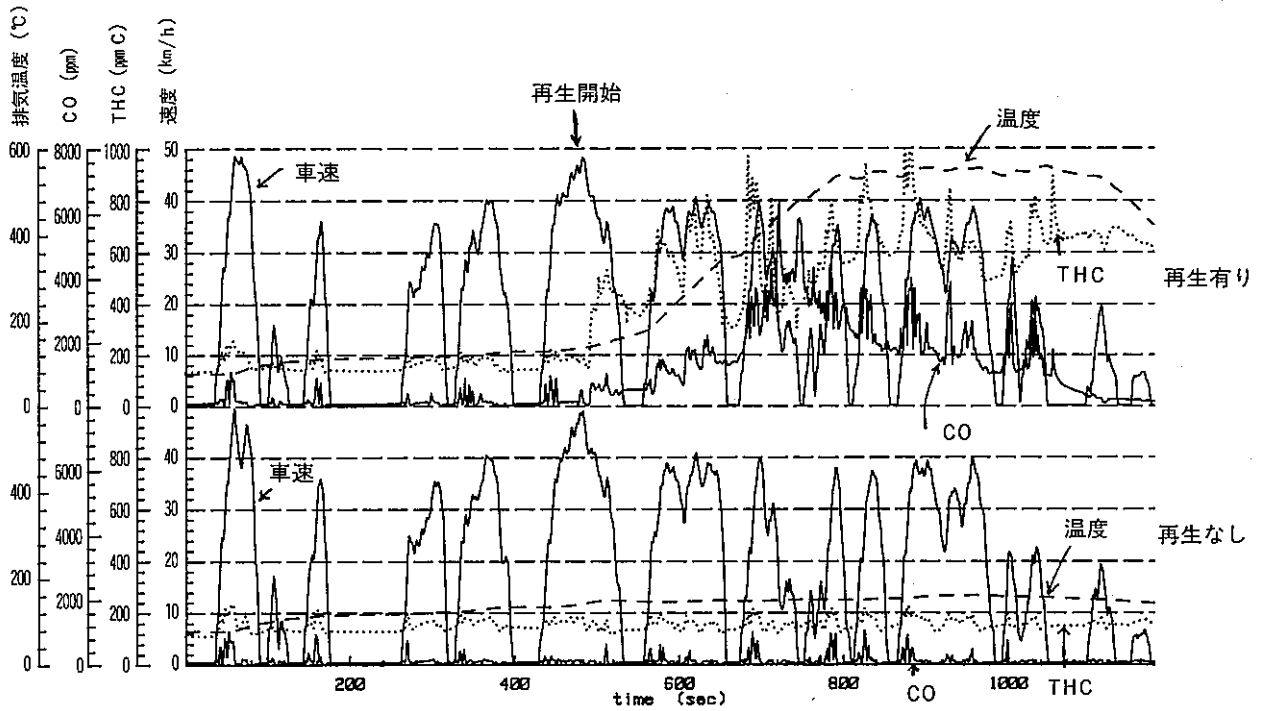


図4 再生による排出ガスの変化
(実走行パターンNo.5, 上段:再生有り, 下段:再生なし)

表5 再生時の排出ガス等の増加

項目	CO	HC	NOx	PM
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
ハイパス (A)	3.6	1.3	6.1	1.3
DPF再生有り (B)	23.7	2.4	6.8	2.0
比率 (B/A)	6.5	1.9	1.1	1.6

注) 実走行パターンNo. 5において、運転期間の中間において再生が発生した。
その時の排出ガス等をハイパスの場合と比較した。

タの目詰まりによる排気系統の圧力損失の上昇を検出することが必要となっている。しかし、圧力損失による捕集量推定は、確立されていない。特に、今回のフィルタ素材である炭化珪素は、圧力損失を小さくできるため、燃費面で有利な特性があり、これが逆に捕集量検出を困難にしている。様々な走行試験を行い、捕集量検出を中心にDPF制御技術を確認する必要がある。

② DPFの耐久性の確認

トラックでは、路線バスよりも、大幅に再生頻度が高くなっている。生涯走行距離の長いトラックへのDPF

の普及を図るためには、炭化珪素フィルタの寿命、軽油バーナの耐久性、灰分による目詰まりの可能性の有無等について十分に検討する必要がある。

③ DPF装着によるデメリットの改善

既に述べたように、DPF装着による燃費の悪化抑制、再生時の排出ガスの増加抑制等の改善が必要である。

平成9年度は、引き続き、本格的な走行試験を行い、DPFシステムの耐久性等の技術的な課題を明らかにしていくとともに、実用化の可能性について検討を進

めていく予定である。

本研究に携わってきた飯田靖雄主任研究員が、志半ばにして逝去されました。

深く哀悼の意を捧げ、ご冥福をお祈りいたします。

引用文献

- 1) 中村健ら：ベンツ社製T Oの再生実験について、東京都環境科学研究所年報1991、p.10-16(1991)
- 2) 飯田靖雄ら：ディーゼル黒煙除去フィルターの性能、東京都環境科学研究所年報1991-2、p.32-38(1992)
- 3) 福岡三郎ら：黒煙除去装置(DPF)の大型ディーゼル車への適用、東京都環境科学研究所年報1993、p.143-147(1993)
- 4) 竹永祐二ら：路上走行時におけるDPFの挙動について、東京都環境科学研究所年報1994、p.116-120(1994)
- 5) 須藤英夫：ディーゼル黒煙除去装置を搭載した路線バス、自動車研究、17,11,p.22-27(1995)
- 6) 岡添弘ら：SiCハニカムを用いたフルフロー再生式DPFの開発、日産ディーゼル技報、第58号、p.75-80(1993)
- 7) 横田久司ら：平成元年規制適合の大型ディーゼル車の汚染物質排出実態について、東京都環境科学研究所年報1995、p.168-175(1995)
- 8) A.Itoh：Study of Sic Application to Diesel Particulate Filter (Part 1)：Material Development,SAE-930360(1993)