

# DPF再生時における粒子排出挙動について

環境研究領域

後藤 雄一

## 1. はじめに

ディーゼル自動車の規制は、年を追って強化されており、2005年10月から新長期規制が開始された。また、2005年4月には中央環境審議会から第8次答申<sup>1)</sup>が出され、2009年における排出ガス規制の規制値(ポスト新長期規制値)が決められた。ポスト新長期の粒子規制値を達成するには、エンジン改良や後処理触媒のみでは不足でありディーゼル車にDPFを取付けることは不可避であると言われている。今後、ポスト新長期規制に向けてディーゼル自動車にはDPFを取付けた開発が一層進められ、主流になると考えられる。したがって、DPFを装着したディーゼル自動車における粒子排出挙動について現段階で調べることは重要であると考えられる。

ディーゼル車にウォールフロー型のDPFを取付けると粒子状物質(PM)の排出は1/100~1/1000まで重量でも粒子数でも低減し、PMの低減にDPFは有効である。しかしながら、PMを捕集したDPFを再生するために、ある時間間隔でDPFの再生処理が行われる。DPF中の捕集PMを燃焼させて再生処理

表1 供試エンジン仕様

シリンダー配置	直列4気筒・ターボインタークーラー
内径×行程(mm)	104×118
総排気量(cc)	4,009
圧縮比	18
最高出力<ネット>	110kW(150PS) / 3,000rpm
最高トルク<ネット>	392N・m(40.0kg・m) / 1,600rpm
燃料噴射装置	コモンレール式
排出ガス低減装置	クールEGR + DPF
使用燃料	低硫黄軽油(S 50ppm軽油)

を行うが、その際に新たにDPFから粒子が発生すると予想され、また一部にその問題が指摘されている。

本研究では、現段階で最新のDPFシステムを装備するディーゼルエンジンにおける再生処理中の粒子排出挙動がどの様であるかを明らかにし、その原因について考察する。

## 2. 実験装置および条件

### 2.1. 実験装置

現段階の最新のDPFシステムを装備するディーゼルエンジンを使用し、DPFシステムの入口側(エンジン側)と出口側(テールパイプ側)の両側において粒子の排出挙動を過渡応答計測が可能な粒径計測装置2台を用いて実時間計測を行う実験方法をとった。図1に実験装置配置図を示す。エンジンからの排気はDPFを通過後、ダイリュショントネルの導入される。供試エンジンの仕様を表1に示す。排気量4Lの直列4気筒TIエンジンである。図2にDPFの測定状況を示す。DPFはコーディライト製のDPFである。粒子計測に利用した高速粒径分布測定器(Engine Exhaust Particle Sizer, EEPS)の仕様を表2に示す。図3に高速粒径分布測定装置の写真を示す。実験に先立って2台を使用し、同じ粒径分布のエアロゾルに対して同一の粒径分布を測定することを確認した。

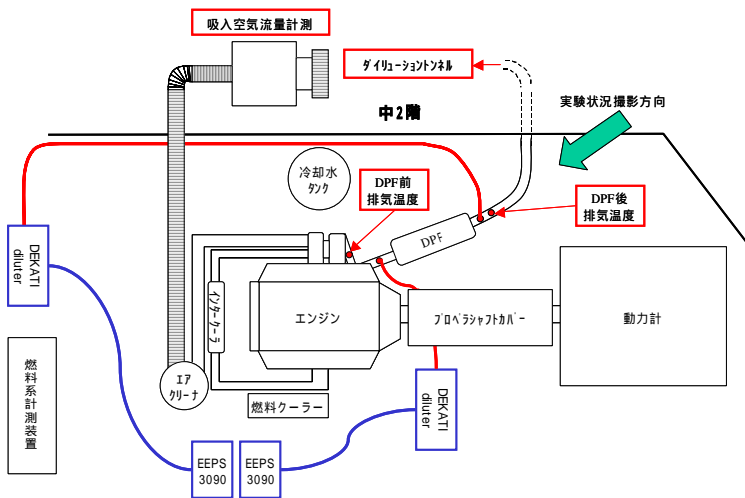


図1 実験装置配置図



図2 DPF測定状況



図3 高速粒径分布測定装置

表2 高速粒径分布測定装置仕様

粒径種類	Mobility径
粒子径範囲	5.6 ~ 560 nm
分解能	32ch
時間分解能	0.1秒
Charger	拡散Charger
Aerosol温度	10 ~ 52
湿度範囲	0 ~ 95%

アイドル、D13モード、排気系の焼き出し後にDPFを出口側では粒子数濃度が大幅に異なること、また、排気温度が粒径分布測定装置のサンプル許容温度52より高いことから、DEKATI製のイジェクタータイプの希釈装置により入口側は50倍、出口側は8倍の希釈を行った。実験中の実験室の温度は26で湿度は56%であった。

## 2.2. 実験条件

DPF前後の粒径分布を連続的に計測しながら、ア

## 3. 実験結果および考察

### 3.1. アイドル条件

図4に1760rpmからアイドル条件に変化させた時のDPF入口と出口における粒子濃度変化を3次元表示で示す。無負荷、1760rpm定常条件の約900秒間後、アイドル条件にした結果である。1760rpm定常条件では、 $10^4$ 個/cm<sup>3</sup>オーダーの粒子排出が認められる。一方、1760rpm定常条件のDPF入口では52nmのピーク粒径で約 $1.5 \times 10^7$ 個/cm<sup>3</sup>の濃度であるのに対し、出口では52nmのピーク粒径で約 $1.5 \times 10^4$ 個/cm<sup>3</sup>の濃度である。アイドル条件では、出口、入口側とも約 $1.5 \times 10^2$ 個/cm<sup>3</sup>の濃度である。通常、大気環境における粒子濃度は $1 \times 10^3 \sim 4$ 個/cm<sup>3</sup>であることから、DPFは粒子数濃度比較においても非常に高い捕集効率を示している。

### 3.2. D13モード条件

図5にD13モード試験を行った時のDPF入口と出口における粒子濃度分布変化を3次元表示で示す。DPF入口側では、52nmをピーク粒径とした粒径分布でピーク濃度が $3.0 \times 10^7$ 個/cm<sup>3</sup>であり、高トルク・高回転数モード(1000~1800秒)を中心としたD13モード後半部に高粒子数濃度が認められた。一方、DPF出口側では、52nmをピーク粒径とした粒径分布であることは変わらないが、ピーク濃度が $1.2 \times 10^5$ 個/cm<sup>3</sup>とDPFにより1/200に粒子数濃度が低減されている。また、高粒子数濃度の分布が、D13モード後

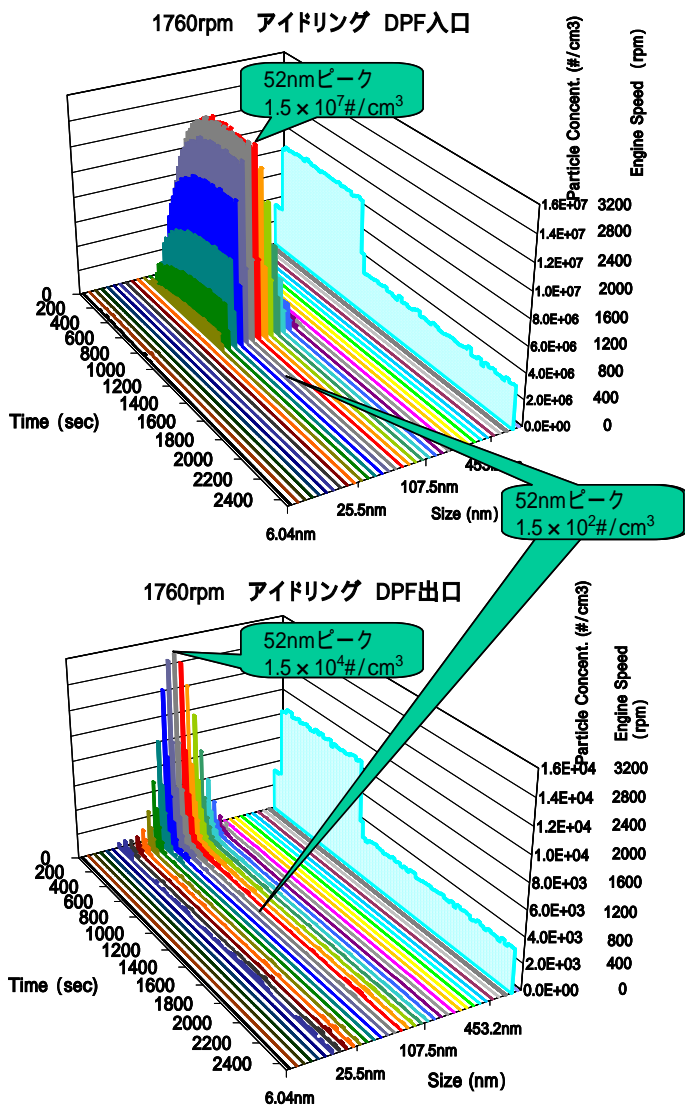


図4 1760rpm アイドリング条件におけるDPF入口・出口濃度

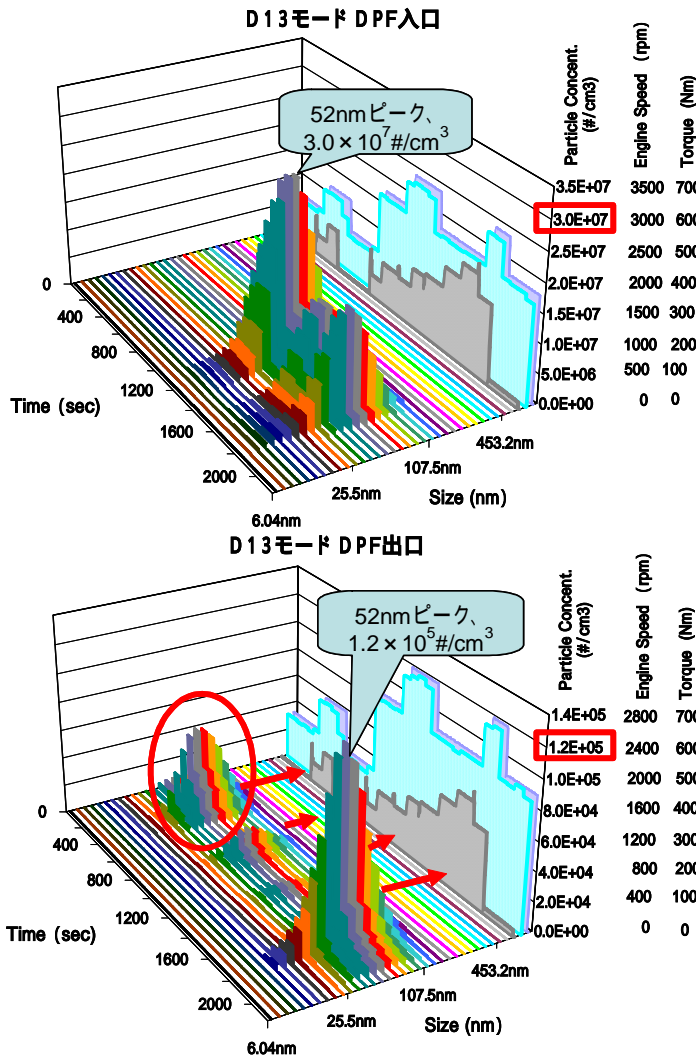


図5 D13モード条件におけるDPF入口・出口濃度  
半部だけでなく前半部にも見られた。これは、DPF出口の排出粒子は入口側の濃度に対応した粒子濃度で排出されるのではなく、むしろ排気ガス流速の増大変化に対応して排出粒子数濃度が変化している。50nm前後の粒子は、慣性衝突ではなくブラウン運動による捕集機構が主であるため、フィルタ内部の滞留時間が長いほど捕集される。DPF内の排気ガス流速増大によりフィルタ内部の滞留時間が短くなることによる捕集効率の低下が原因と考えられる。一般に、200nm以下の粒子は拡散現象による捕集機構が支配的であり、500nm以上の粒子は慣性衝突による捕集機構が支配的である。二つの捕集機構の重ね合わせで主な捕集効率は表現され、30nmから600nmの間の粒径は二つの捕集機構の捕集効率の低い部分の重ね合わせのため捕集効率が低くなる。<sup>2)</sup> 52nmをピークとする粒径範囲は、フィルタ捕集原理から捕集効率が低下する領域の一部にあるためDPFを抜けて排出され

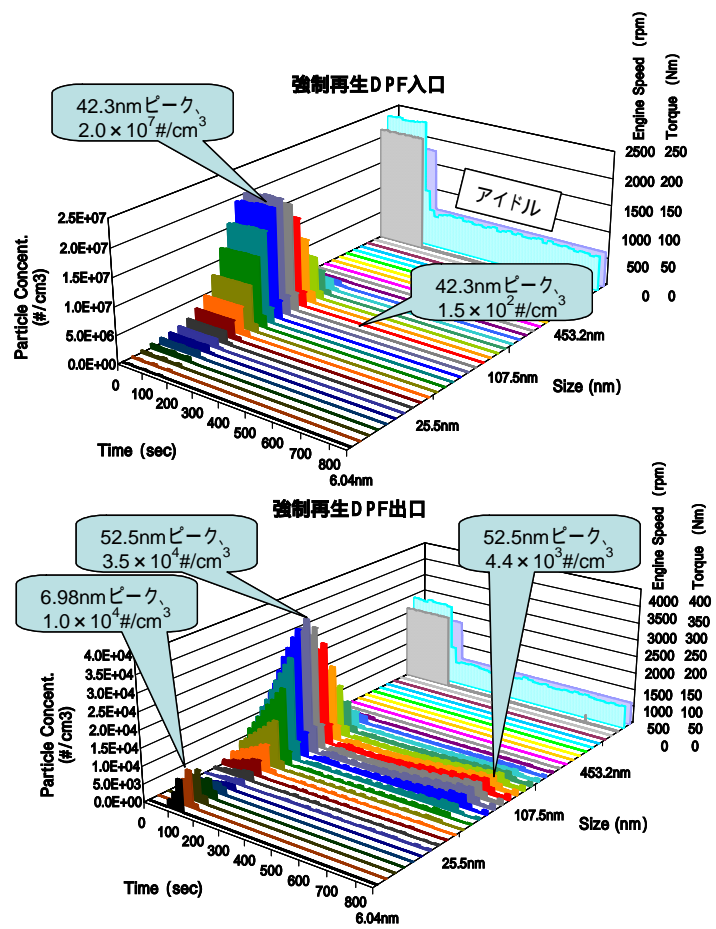


図6 強制再生時におけるDPF入口・出口濃度

たとえられる。

### 3.3. DPF再生(再燃焼)条件

図6に再燃焼によるDPF再生時のDPF入口と出口における粒子数濃度変化を3次元表示で示す。図7にDPF出口における排出ガス濃度変化を示す。200秒ま

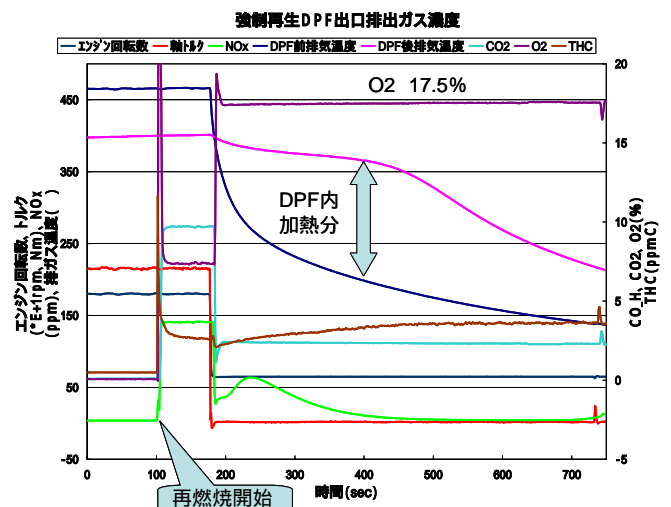


図7 再燃焼時のDPF出口排出ガス濃度変化

## 再燃焼による粒子排出への影響

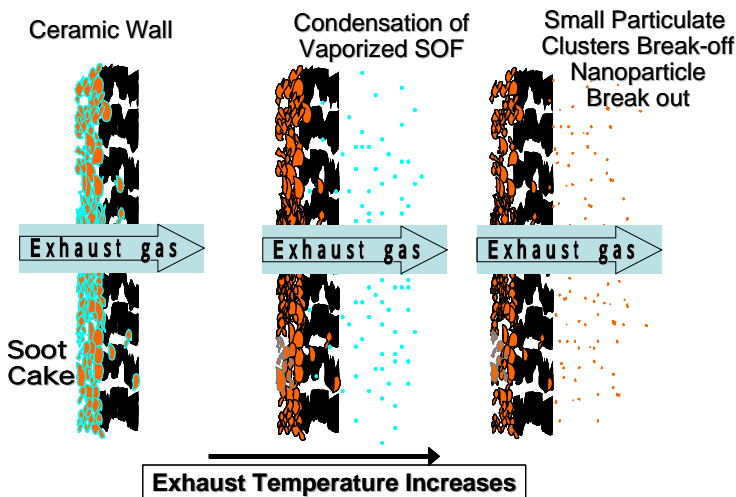


図8 再燃焼による粒子排出の概念図

で1800rpm、215Nmで運転した後、アイドル運転に移した。DPF出口側での酸素濃度は100秒から7.4%、200秒から17.5%に変化した。DPF入口側では、200秒まで42.3nmをピーク粒径とした粒径分布で粒子数濃度は $2.0 \times 10^7$ 個/cm<sup>3</sup>が続いた後、アイドル条件では約 $1.5 \times 10^2$ 個/cm<sup>3</sup>である。DPF出口側では、52.5nmをピークとした粒径分布で200秒まで増加した後、アイドル条件に入った。また、100秒からは酸素濃度の増加に伴い、6.98nmをピークとする粒径のナノ粒子の排出が認められた。ナノ粒子の排出は、再燃焼が開始されDPF内の温度上昇とともにPMに含まれる蒸発性成分がDPFから排出され出口側の経路中で凝縮して生成されたナノ粒子と考えられる。アイドル条件になってからは、排気ガス流速が大幅に低下し再燃焼が進むに伴いNO<sub>x</sub>濃度が上昇した。さらに、52.5nmをピークとした粒径分布の粒子が時間とともに $4.4 \times 10^3$ 個/cm<sup>3</sup>まで増加し、800秒後に再燃焼が終了して粒子数濃度が減少した。200秒～800秒に至るDPFからの粒子の排出は、捕集されたPM中の固体成分を主とした凝集粒子が再飛散したものとする。これは、図8に示すモデル<sup>3)</sup>が考えられる。図8のようにPMはSoot成分とSOF成分からなり、Ceramic Wallに捕集される。雰囲気温度が上昇するにつれて蒸発成分であるSOF分が蒸発してDPFから排出され、温度が低下した段階で凝縮ナノ粒子として計測される。図6で観測されたナノ粒子がこれに当たる。さらに雰囲気温度が上昇するとCeramic Filter表

面に吸着していた固体粒子の一部が脱離して特に捕集効率が低い粒径範囲の粒子がDPFから排出される。同様の理由により、硫黄濃度の高い軽油の場合に触媒DPFを使用すれば、Sulfateが排出され、添加剤入り軽油の場合にはAsh分が再燃焼時に排出される。

重要な点は、排出粒子濃度がそれほど高くないものの、これらの粒子が再燃焼時にはDPF出口から排出されることである。今後は、再燃焼時の排出粒子濃度を極力低減する方策が必要であり、蒸発性のナノ粒子は、DPF出口に酸化触媒を装着することにより低減できる。

## 4. まとめ

最新のDPFシステムを装備するディーゼルエンジンにおける再生処理中の粒子排出挙動を調べた。高速粒径分布測定装置によるDPF入口と出口における粒子挙動を明らかにした。その結果、PMを捕集したDPFの再生処理(再燃焼)を行う際に、最初に蒸発成分からなる核モード粒子が生成し、その後凝縮粒子がDPFから排出されることを示した。

今後は、詳細な排出機構を明らかにするとともに再燃焼時の排出粒子濃度を低減する方策を検討する必要がある。

## 5. 参考文献

- 1) 中央環境審議会、今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について、平成17年4月8日
- 2) W.C.Hinds, Aerosol Technology, 1999, p.198
- 3) Shi-wai Steve Cheng, CRC, CEC, JAMA, Workshop on Vehicle Exhaust Particulate Emission Measurement Paris, France, June 19, 2000