

DPF によるナノ粒子の捕集機構に関する基礎的研究

- DPF を通過するガス流量とナノ粒子の捕集率との関係 -

環境エネルギー部 ※李 津夏, 河合 英直, 後藤 雄一, 小高 松男

1.はじめに

現在, ディーゼルエンジンの粒子状物質 (PM) の規制は世界的に急速に厳しくなりつつある。そのディーゼル排出微粒子 (Diesel Exhaust Particle: DEP) の確実な低減のために微粒子除去装置 (DPF: Diesel Particle Filter) の使用が提案されている。しかし, 極微小粒子いわゆるナノ粒子(nano-Particles)が DPF をすり抜けることが指摘されており¹⁾, 捕集率向上と DPF 装着によるエンジン背圧増加の抑制が次世代 DPF の重要課題とされている。

しかしながら, 実際の過渡的運転条件などにおいて DPF 後の PM 排出量や粒径分布がどのようになっているかは, ほとんど調べられていない。特に, ナノ粒子が DPF からすり抜ける機構の把握は全くと言ってよいほど明らかにされていない。

そこで本研究では, ナノ粒子の捕集機構を把握するためにHoneycomb型の連続再生式DPFを対象に一定の粒径分布の発生が可能な標準炭素粒子発生装置から発生された微小粒子を DPF に投入した。また, 実際のエンジンではなく, 送風機を使用して DPF 内を流すガスの風速を調節した。さらに ELPI²⁾ (Electric Low Pressure Impactor) 2台を使用して DPF 前後の粒径個数分布の同時測定を行い DPF 内のガス風速の変化とナノ粒子の捕集の関係を調査した結果をここに報告する。

2.実験装置および方法

本研究で用いた実験装置の概要を図1に示す。また, 実験に用いたハニカム型の連続再生式 DPF の単面と主要諸元を図2と表1に示す。DPF の入口側が触媒で出口側がフィルターになって, 触媒

及びフィルターの大きさは両方とも 118.4×152.4mm である。

本研究では, エンジンの排出ガスの代わりに送風機を使用し, HEPA フィルターを通過した純粋な空気と一定量の炭素を発生させるのが可能な炭素発生装置から発生させた一定量の微小粒子の混合気を DPF に投入した。混合気の風量は 200, 400, 600, 800, 1000, 1200l/min とした。

ELPI2 台を使用して DPF の前後の同時測定を行った。図3は ELPI2 台の補正測定結果である。図から2台の ELIP はほとんど同じ測定性能を持っているため同時測定が有効である。

また, 本研究で使用した標準炭素粒子発生装置 (PALAS 社 GFG-1000) の仕様を表2に示す。標準炭素粒子発生装置は向き合った二つの高純度の黒鉛棒を電極として 3000V の電圧で放電させ凝集炭素粒子を発生させる。発生炭素粒子の中位径は 20nm~150nm であり, ディーゼルエンジンと粒径範囲が極めてよく似ている。発生粒子量は最大発生周波数 999Hz で 7mg/h である。今回の実験では発生周波数500Hzで約3.9mg/h 一定の炭素粒子を発生させた。図4は電子顕微鏡で撮影した ELPI で捕集した粒子の写真である。

本研究では, 投入空気の温度を 25℃±1, 湿度を 55%±1.5 で一定にした。

Table.1 Test DPF specification

Filter Type		Honeycomb
Filter Size	Catalyst	Φ118.4×152.4
	Filter	Φ118.4×152.4
Mean Pore Size		15 μm
Regeneration System		Continuously Regenerating Trap

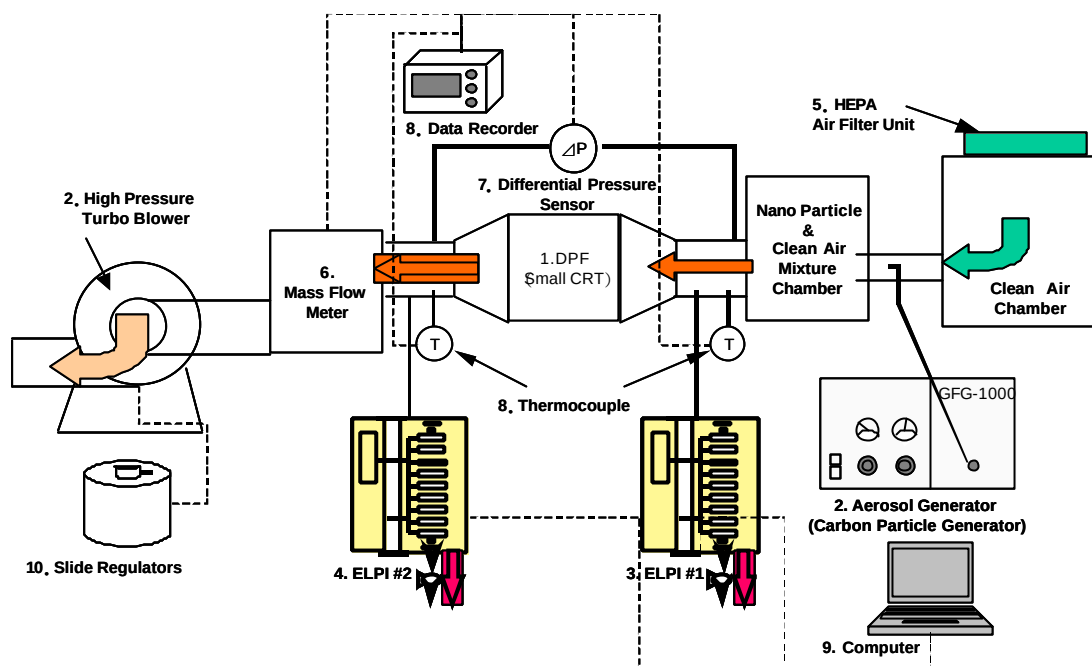


Fig.1 Experimental system

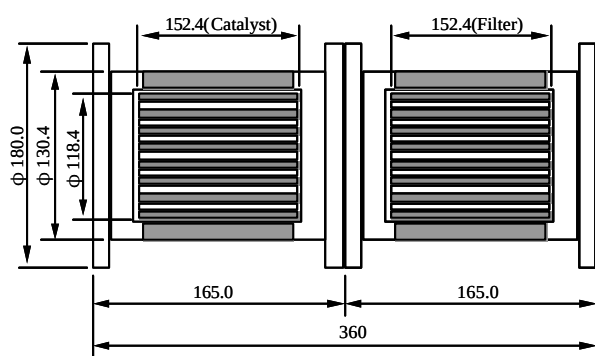


Fig.2 Structure of DPF

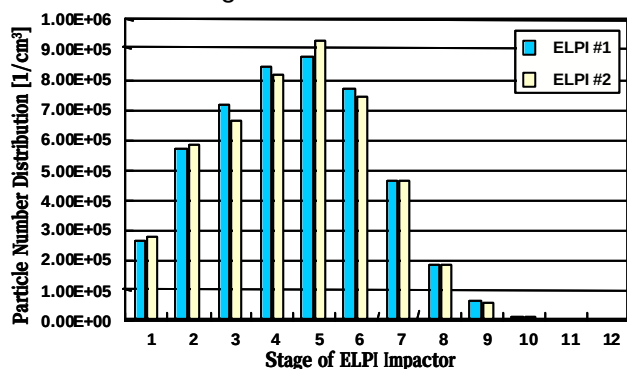


Fig.3 Comparison of a measurement result between ELPI #1 and ELPI #2

3.結果および考察

3.1. 風量の変化におけるDPF前後の粒径個数分布の測定

図5と図6に標準炭素粒子と空気混合気の流量が400l/minおよび1000l/minした場合、DPF

Table 2 Specification of Aerosol Generator

Particle Material	Carbon
Carrier Gas	Argon (99.99%)
Particle Size	Element Particle 10nm~30nm Cohesion Particle 30nm~150nm
Number Concentration	$>10^7/\text{cm}^3$
Mass Concentration	$0.1\text{mg}/\text{m}^3 \sim 25\text{mg}/\text{m}^3$
Electric Power for Heating	2.8 kW
Regeneration Duration	15 min

前後の粒径個数分布を2台のELPIを用いて同時測定した結果を示す。凡例はELPIの各ステージごとの粒径の中央値である。ELPI #1はDPF入口から前150mmの位置での測定値であり、ELPI #2はDPF出口から後ろ150mmの位置での測定値である。図5及び図6のELPI #1の測定結果から標準炭素粒子発生装置から発生された炭素粒子の粒径個数分布はHEPAフィルターを通過した清浄な空気の風量によってそれぞれ変化することが分かる。しかし、いずれの風量を変化させた条件においても一番微細粒子である28nmが多く、次に56nm, 93nm, 154nm, 261nmの順番の分布が表れた。261nmの場合ほぼ0に近く誤差範囲内であり、381nm以上の粒径は測定されなかった。

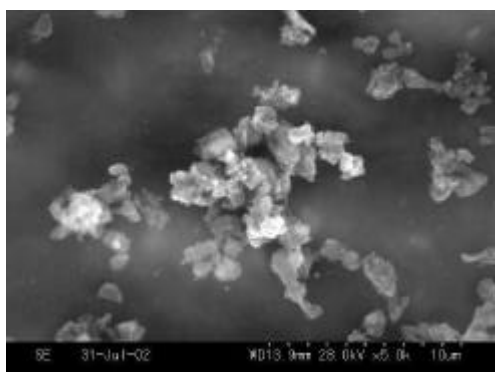


Fig.4 A SAM photograph of a particle of aerosol generator trapped by ELPI

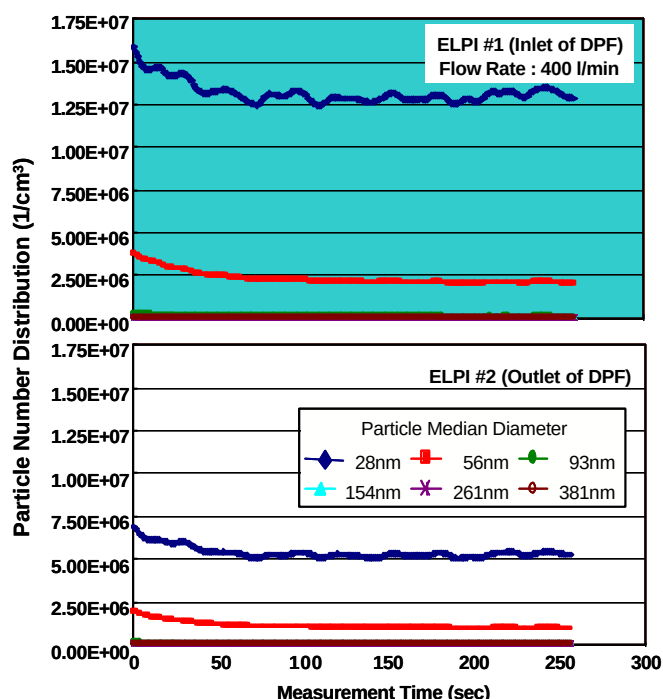


Fig.5 Particle number distribution of a DPF inlet and outlet by the simultaneous measurement

図5の空気混合気の風量が400l/minの場合、DPFに投入された標準炭素粒子のパターンとDPFをすり抜けた粒子のパターンは時間経過に関係なくほとんど同じである。

図6の空気混合気の風量が1000l/minの場合もDPFに投入された標準炭素粒子とDPFをすり抜けた粒子のパターンは時間経過に関係なくほとんど同じである。

図7に標準粒子空気混合気の風量が400l/min, 800l/min, 1200l/minの場合の測定開始から150秒付近の測定結果で5回の平均値である。

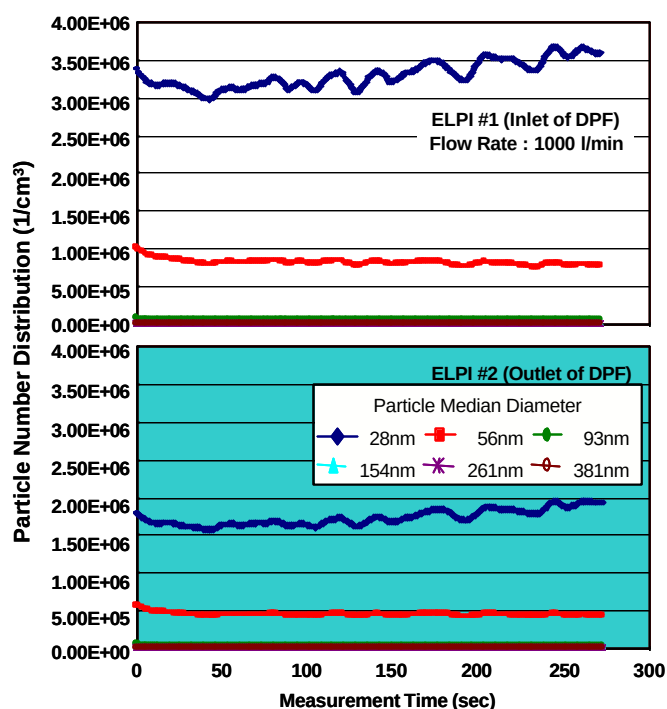


Fig.6 Particle number distribution of a DPF inlet and outlet by the simultaneous measurement

混合空気の風量の増加によって DPF 入口側の ELPI #1 での標準炭素粒子の粒径個数分布は低減している。しかし、いずれの風量条件においても標準炭素発生装置から発生された粒子の個数分布の傾向はほぼ一致している。一方、ELPI #2 により DPF 出口側から測定された粒径個数分布は風量増加のため低減率が低い。

混合気の風量が400l/minの場合、ELPIにより測定された粒子の中央粒径が93nm以下の粒子個数は平均的に約55%以上低減している。一方、粒子の中央粒径が154nm以上は約95%以上が低減した。しかし、混合気の風量が800l/min及び1200l/minの場合は、粒子の中央粒径が93nm以下は平均的に約47%程度で混合気の風量が400l/minの場合に比べて低減率が低減している。

一方、混合気の風量が400l/minから800l/minに増加した場合は粒子個数が低減したが、800l/minから1200l/minに増加した場合は粒子個数の低減率はほぼ同じである。

これは、標準粒子空気混合気の風量が増加しDPFを通過する混合気の水速の増加が微細粒子の捕集率低下に影響を与えたと推測される。

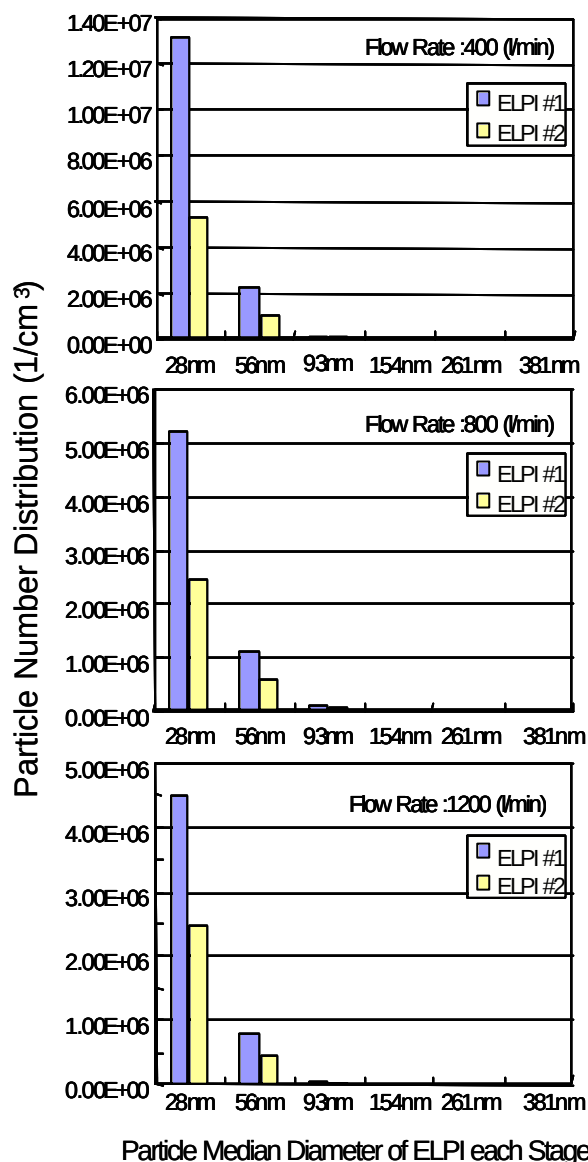


Fig.7 The simultaneous measurement of particle number distribution at a DPF inlet and outlet of the case for 150 seconds

3. 2. 風速が微細粒子の DPF 捕集率に及ぼす影響

図 8 に標準炭素粒子空気混合気の風量及び DPF 単面を基準に算出した風速と微細粒子がフィルターの通過率の関係を示した。

ELPI 各ステージことの粒径中央値が 93nm 以下の微細粒子が DPF をすり抜ける割合は混合気の風量の増加すなわち DPF を通過する混合気の風速の増加に伴い増加している。

特に風速が 0.303m/sec から 0.909m/sec までは粒径個数分布の中央値が 28nm, 56nm, 93nm, 154nm という粒径が小さい順から DPF をすり抜け

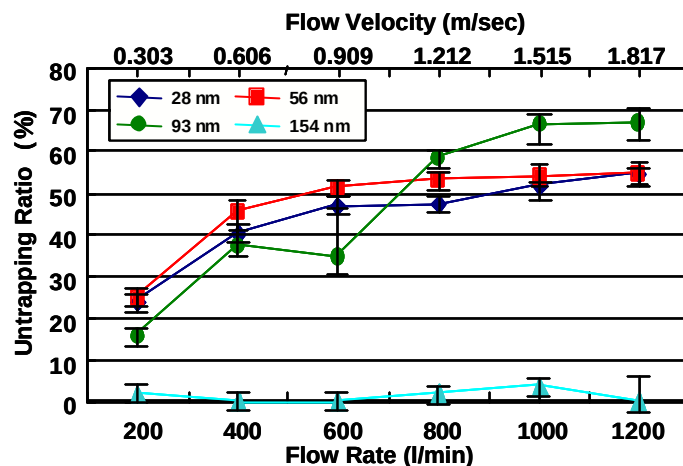


Fig.8 Relation with untrapping ratio and flow velocity (or flow rate)

る割合が高い。しかし、風速が 1.212m/sec 以上になると粒径が 93nm の方が 28nm, 56nm より DP をすり抜ける割合が高くなる。ただし、DPF をすり抜けた微細粒子の粒子個数の絶対値は粒径が小さい順から多くなる。

一方、粒径が 154nm 以上の場合は今回実験を行った風速最大条件の 1.817m/sec までほぼ DPF に捕集されている。

4. まとめ

本研究は実際のエンジン排出ガスの代わりに高純度な標準炭素粒子の発生が可能な炭素発生装置を用い発生させた標準ナノ粒子と HEPA フィルターを通過した温度 25°C、湿度 55%一定の空気の混合気を送風機によって風量を変化させながらハニカム型の DPF に投入した。また ELPI2 台を用いて DPF 前後の粒径個数分布を同時測定した。

その結果、DPF に投入された標準炭素粒子の粒径個数分布のパターンとフィルターをすり抜けた粒子の粒径個数分布の傾向はほぼ同じである。

また、DPF に投入されたナノ粒子は DPF を通過する流体の速度を増加させることによってフィルターをすり抜ける割合が高くなることが分かった。

5. 参考文献

- 1) Jin-ha Lee, et al., SAE Technical Paper, 2002-01-1005
- 2) Yujiro Tsukamoto et al., SAE Technical Papers, 2000-01-1138