

ディーゼル排出粒子の粒径特性について

秋山 薫 田原茂樹 佐野藤治 上野広行 坂西丕昌 横田久司

要 旨

最新規制適合の使用過程のディーゼル車及びガソリン車から排出される粒子状物質の個数濃度の粒径特性を、電子式低圧インパクターを用いて調査した。その結果、東京都実走行パターンでは、ディーゼル車の場合、粒径が小さくなると個数排出量は急激に増え、粒径が $0.1\mu\text{m}$ 前後にピークが認められた。また、エンジンの排気量が大きくなると、個数排出量は増える傾向であった。

次に、エンジン回転数及び負荷と個数濃度について検討すると、1車両であるが、概ね負荷が増すと個数濃度は高くなる傾向となり、これに排ガス再循環装置が稼働すると個数濃度は増え、それが停止すると減る傾向が認められた。

キーワード：ディーゼル排出粒子、粒子個数、粒径分布

1 はじめに

浮遊粒子状物質の年平均濃度は、東京都内にあっても低減の傾向が見られているが、環境基準達成率については2001年度時点において、ここ1、2年、必ずしも低下してはならず、道路沿道近くではなお低い状況が続いている。道路沿道近くでの主な発生源はディーゼル車と指摘されている¹⁾。ディーゼル車から排出される粒子は、発ガン性など²⁾人の健康への影響の面から注目されている。現在、このディーゼル車から排出される粒子状物質（Particulate matter、以下PMとする）については段階的に排出ガス規制が強化され、その排出量は低減されつつある。しかし、この規制強化に対応する、燃料噴射圧の高圧化をはじめとするエンジン等の燃焼技術の改良などに伴い、粒子状物質の粒径分布に変化を講じさせる可能性が考えられる。既に、このPMの主要な成分である炭素成分の重さについての粒径特性を調査し、長期規制適合の使用過程車はそれ以前の車両に比較して、微小な粒子の割合が高くなることを報告³⁾した。

ここでは、ディーゼル排出粒子の個数濃度に着目し、長期規制適合の大型の使用過程車を中心に、実走行時

に使用過程車から排出される微小な粒子の排出実態とマップ調査によって得られた、その特性について検討したので報告する。

2 調 査

(1) 調査車両

調査車両の諸元を表1に示した。長期規制適合（平成10、11年）の大型のディーゼル車4台（A車からD車）と平成10年規制適合のガソリン車1台（E車）である。A車は総排気量が約4200ccであり、B車は約7200ccで、共に排ガス再循環装置（Exhaust gas recirculation、以下EGRとする）を装着している。C車とD車は総排気量が13000ccクラスの大型の車両で、前者はEGRは付いていないがターボチャージャーを装着している。後者は両装置とも装着している。

(2) 調査方法

ア 東京都実走行パターン

ディーゼル車については当所の大型のシャシダイナモメータ及び自動車排出ガス計測システム⁴⁾を用いて、東京都実走行パターン、No.2、5、8、10で運転した。平均車速としては、それぞれ8.1km/h、18.2km/h、

表1 調査車両の諸元

	A車	B車	C車	D車	E車
燃料	軽油	軽油	軽油	軽油	ガソリン
用途	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物
車両型式	KK-FE51CBT	KK-FRD35L4	KL-FU54JUJZ	KL-CD48ZVH	GE-RZH112V
エンジン型式	4D33 NA	6HL1 NA	6M70 TCIC	GE13 TC	1RZ NA
EGR	あり	あり	なし	あり	なし
総排気量 (cc)	4,214	7,166	12,882	13,074	1,998
最高出力 (PS/rpm)	170/3200	205/2900	350/2200	370/1900	110/5200
等価慣性重量 (kg)	3,210	6,540	18,090	17,680	2,250
車両総重量 (kg)	4,265	7,990	24,990	24,930	2,995
排ガス規制年次	H10	H10	H11	H11	H10

注) NA:自然給気 TCIC:ターボチャージャーインタークーラー TC:ターボチャージャー
EGR:排ガス再循環装置

表2 実走行パターン調査時の平均希釈率

東京都実走行パターン	A車	B車	C車	D車	E車
No. 2	101	100	90.6	105	19.0
No. 5	82.3	78.3	69.2	76.0	14.4
No. 8	62.4	60.5	47.6	56.3	10.7
No. 10	45.3	43.0	35.4	38.8	7.8

28.8km/h、46.4km/hである。なお、等価慣性重量は1/2積載条件とした。ガソリン車の測定に用いた当所の小型のシャシダイナモメータなども同様の設備であり、同様の条件で行った。

粒子個数については希釈条件によって異なることが指摘されている⁵⁾ので、各実走行パターンでの平均希釈率を表2に示した。東京都実走行パターンNo.2の場合、ディーゼル車で100倍前後、ガソリン車で約20倍であり、平均車速が速くなると平均希釈率は低下する。調査結果は、これらの条件のもとで、それぞれ希釈トンネルから捕集した値である。ガソリン車については希釈トンネルは使用していない。

イ マップ調査

エンジンの回転数と負荷の組み合わせの測定ポイントを定めて調査した(以下マップ調査と言う)。エンジン回転率は、エンジン性能曲線に示された最高出力時回転数に対して、100%、80%、60%、及び40%の状態で行われるように、シャシダイナモメータ側から制御した。エンジン負荷率については、各回転数での最大駆動力実測値に対して、100%、80%、

60%、40%及び20%となるように車両運転を行った。各測定ポイントにおける車両毎の希釈ガス量は一定に保った。各測定ポイントにおける燃空比から求めた排ガスの希釈率は表3に示した。

(3) 測定方法

調査車両から排出されるガスは全量希釈後、微小な粒子の個数濃度が粒径別に把握できる電子式低圧インパクター (ELECTRICAL LOW PRESSURE IMPACTOR (ELPI)、型式10LPM、DEKATI社製)を用いて捕集し、粒径別の個数濃度を測定した。この装置では、装置内に導入された粒子は先ず荷電され、続いて多段多孔低圧型カスケードインパクターによって空気力学的粒径に従って分級され、各分級段の電荷量から粒径分布が求められる。ここでは12段に分級した。分級粒径範囲は表4に示した通りで、最小分級粒径が0.029μmであり、最大粒径は10.15μmである。この装置では、空気力学的粒径によって分級することから、粒子の粒径の把握は予め決まった分級範囲に限られる。なお、希釈排出ガスの採取点は、PMの採取点と同じ場所であり⁴⁾、図1に示した。大型の場合、

表3 マップ調査時の希釈率

A 車	エンジン回 転率 (%)	エンジン負荷率 (%)				
		20	40	60	80	100
	100	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7
	80	11.8	11.8	7.8	7.8	7.8
	60	17.5	14.7	11.0	10.3	10.4
	40	23.1	19.6	14.7	14.7	15.0

B 車	エンジン回 転率 (%)	エンジン負荷率 (%)				
		20	40	60	80	100
	100	6.5	6.4	6.4	6.4	6.4
	80	7.8	9.7	9.6	7.8	7.9
	60	13.7	12.9	12.1	10.2	10.4
	40	19.0	15.2	15.4	15.2	15.4

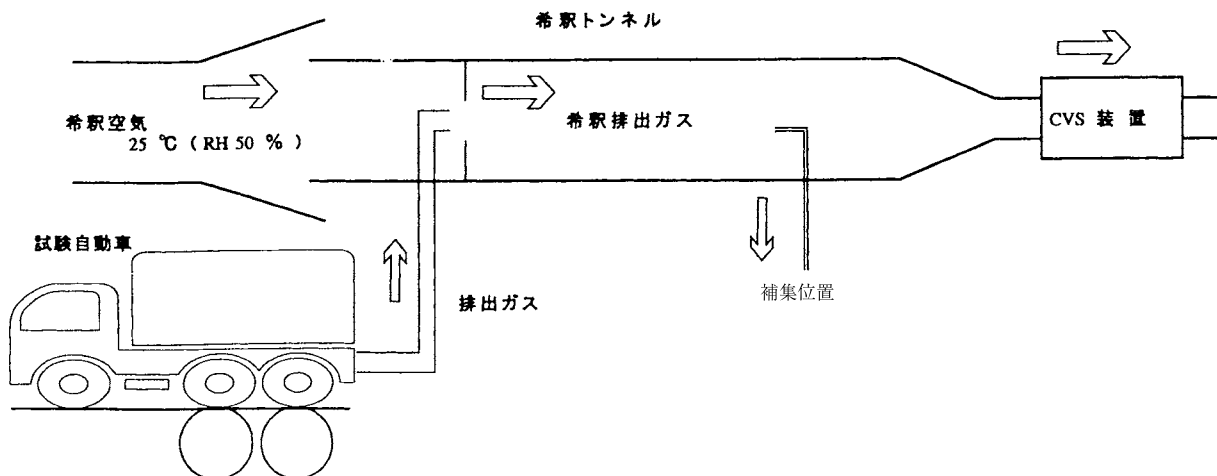


図1 希釈トンネルからの粒子状物質の捕集位置

シャシダイナモメータの希釈トンネルはトンネル直径609.6mmであり、PMは空気による希釈点から直径の10倍以上の約6500mmの所で採取している。本調査結果は、この地点の希釈トンネル内から捕集した値である。

3 結果と考察

(1) 測定方法の検討

B車について東京都実走行パターン、No.5で10回の繰り返し試験を行い、この装置での測定値のばらつき具合を調べた。調査結果を表4に示した。変動係数は10%前後が多くて、最大では20数%であった。これは、調査車両は異なるが、当所の同施設で行われた窒素酸

化物の排出量の測定例 (No.5の場合で2.3%)⁴⁾に比較して高い値であった。しかし、PMの排出量の測定例では5割近い例もあり⁶⁾、それに比較すれば低い値であった。

(2) 実走行パターンと粒径分布

調査した車両から排出される粒子の個数排出量の粒径分布を図2に示した。ディーゼル車を見ると、各走行パターンで似通った粒径分布であり、粒径が小さくなると個数排出量は著しく多くなり、粒径が0.1 μ m前後でピークが認められた。これは、長期規制車4台での炭素成分の調査例 (ピーク粒径が0.3 μ m前後)³⁾に比較して、ピーク粒径がより小さい傾向であった。また、希釈率は異なるが、表5に示したように、PM

表4 粒径範囲別の個数濃度の変動係数

粒径範囲(μm)	0.029 以下	0.029 ~ 0.058	0.058 ~ 0.103	0.103 ~ 0.165	0.165 ~ 0.253	0.253 ~ 0.392	0.392 ~ 0.636	0.636 ~ 0.99	0.99 ~ 1.61	1.61 ~ 2.45	2.45 ~ 3.97	3.97 ~ 10.15
変動係数 (%)	7.1	13.8	15.2	8.3	19.4	22.9	16.3	12.4	10.3	9.3	9.3	9.9

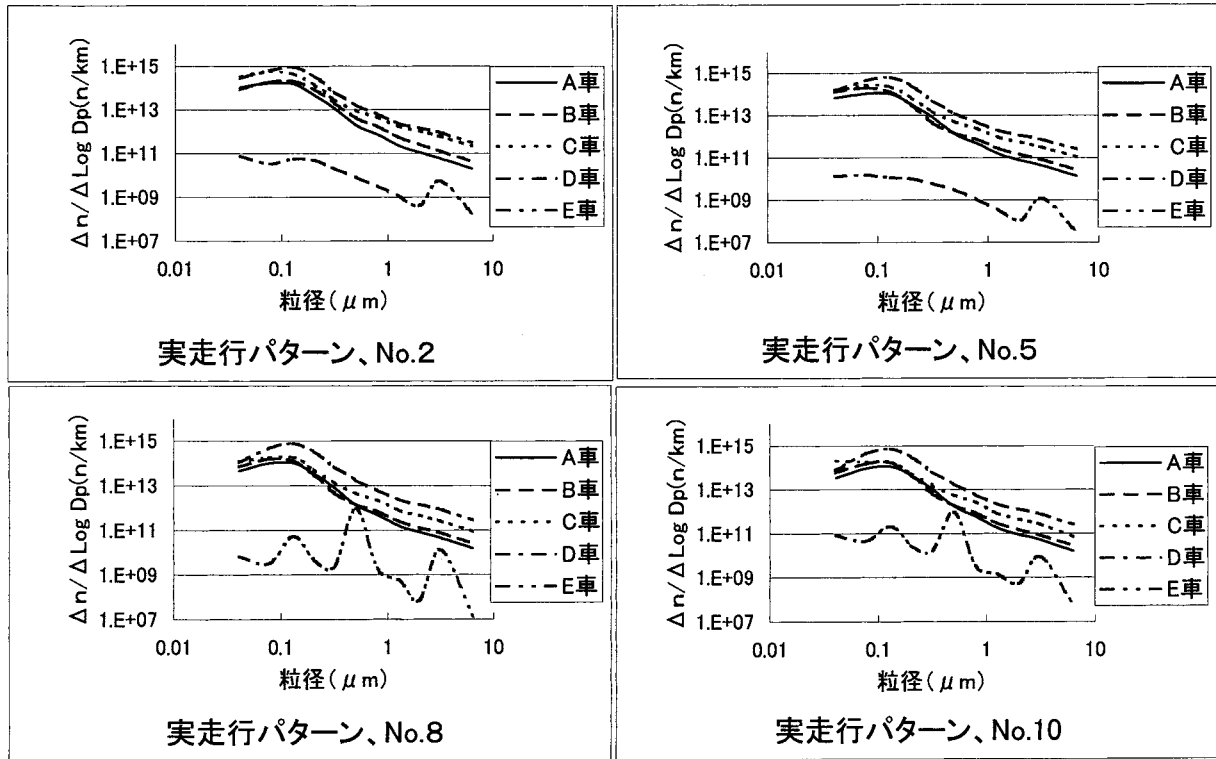


図2 調査車両の粒径分布

の排出量がエンジンの排気量の大きい車両ほど多くなる傾向にあるが、個数排出量についても、各粒径範囲、各実走行パターンで、その傾向が概ね認められた。

ガソリン車については1台の調査例であるが、粒径分布は実走行パターンNo.8、10のように幾つかのピークが現れるなど、ディーゼル車とは異なる分布が認められた。これについては、今後、更に調査する必要がある。

なお、このガソリン車からの粒子の個数排出量は希釈率を考慮しても、ディーゼル車の概ね1/10000から1/10の範囲の低い値であった。

次に、調査した使用過程車ごとの東京都実走行パターン別の個数排出量の粒径分布を図3に示した。ディーゼル車では、各粒径範囲とも平均速度の遅い、実走行パターン、No.2の排出量が多い傾向にあるが、それ以外のパターンでは、平均速度が速い実走行パターンほど少なくなる傾向とは限らなかった。この傾

向は表5に示した、これらの車両のPMの排出量と概ね同様であった。また、A車ではPM排出量の実走行パターンによる差が小さいように、個数排出量の差も小さかった。

(3) マップ調査

A車及びB車については、マップ調査を実施した。マップ調査の各測定ポイントで得られた粒径分布を図4、5に示した。粒径分布は、東京都実走行パターンで得られた粒径分布と同様に、粒径が0.1μm前後に分布のピークが認められた。

次に、エンジン回転数及び負荷の変化と個数濃度との関係を詳細に検討するために、個数濃度の粒径範囲を個数濃度のピーク粒径である0.1μm前後と既存の調査例³⁾の炭素成分の重量濃度のピーク粒径である0.3μm前後の2つの粒径範囲にまとめて、これらとの関係を図6、7に示した。なお、調査車両にはEGRが付いている。そこで、マップ調査時におけるこの装置の

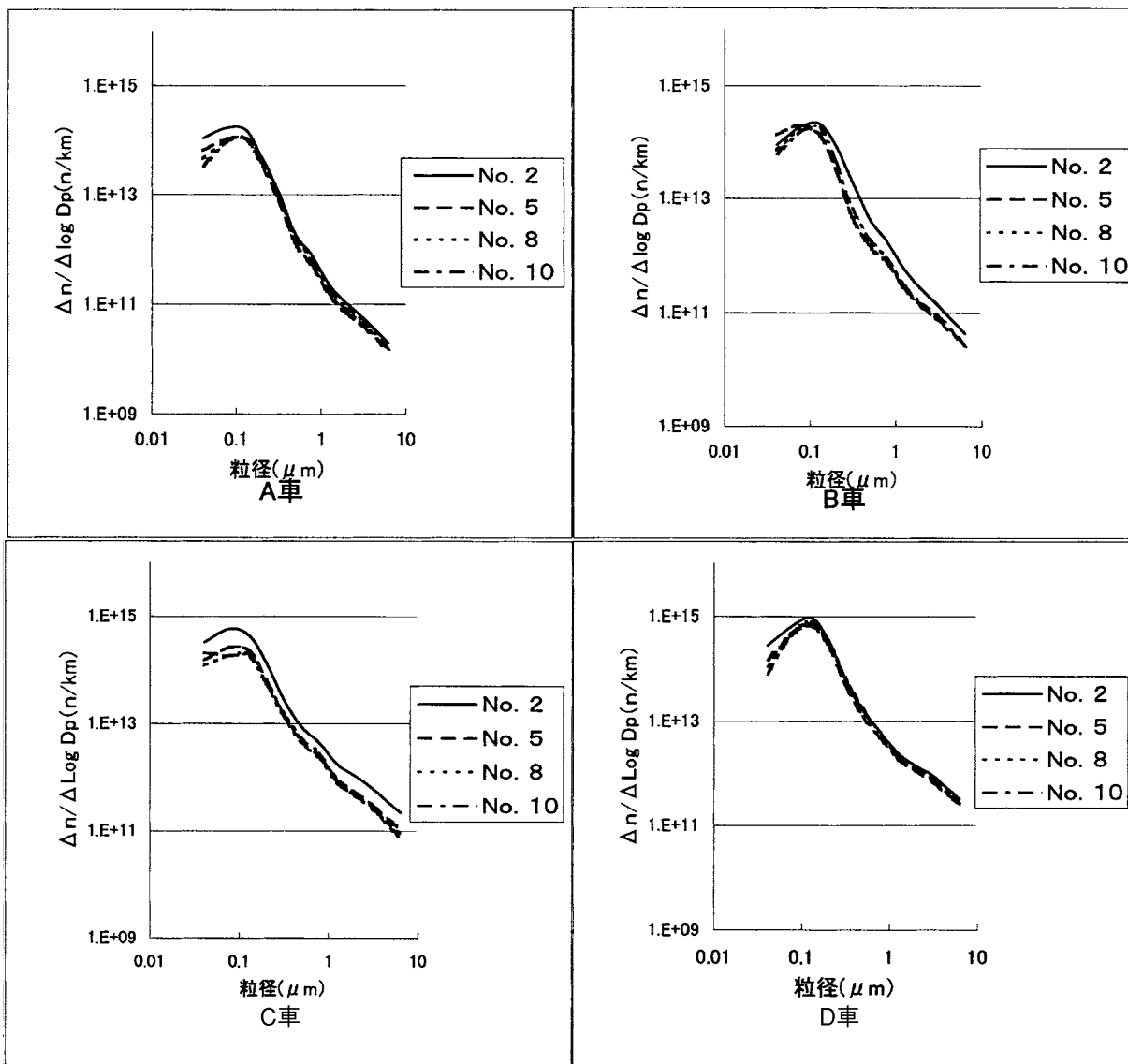


図3 東京都実走行パターンと粒径分布

表5 調査車両の粒子状物質排出量

東京都実走行パターン	A車	B車	C車	D車
No. 2	0.11	0.14	0.39	0.54
No. 5	0.07	0.08	0.17	0.45
No. 8	0.06	0.07	0.15	0.47
No. 10	0.07	0.08	0.18	0.45

単位：g/km

稼働状況を推定するために、各測定ポイントでのエンジン回転数と空気に加給量から大凡の排ガス再循環率を求めて同図に示した。計算式は以下の通りである。

$$\text{EGR率(\%)} = \{ |(D/1000 \times T \times 1/2/60 \times \eta) - Qa| /$$

$$(D/1000 \times T \times 1/2/60 \times \eta) \} \times 100$$

ここで、D：総排気量 (cc)

T：エンジン回転数 (rpm)

η：充填効率

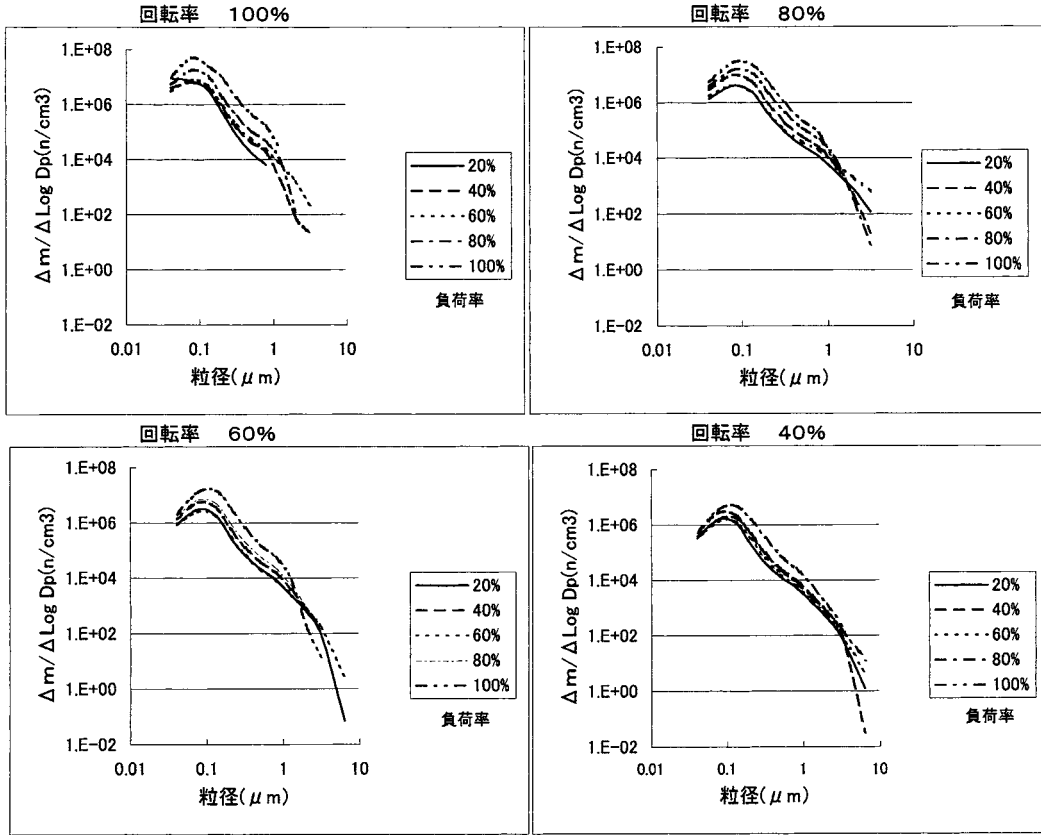


図4 エンジンの回転率及び負荷率の変化と粒径分布 (A車)

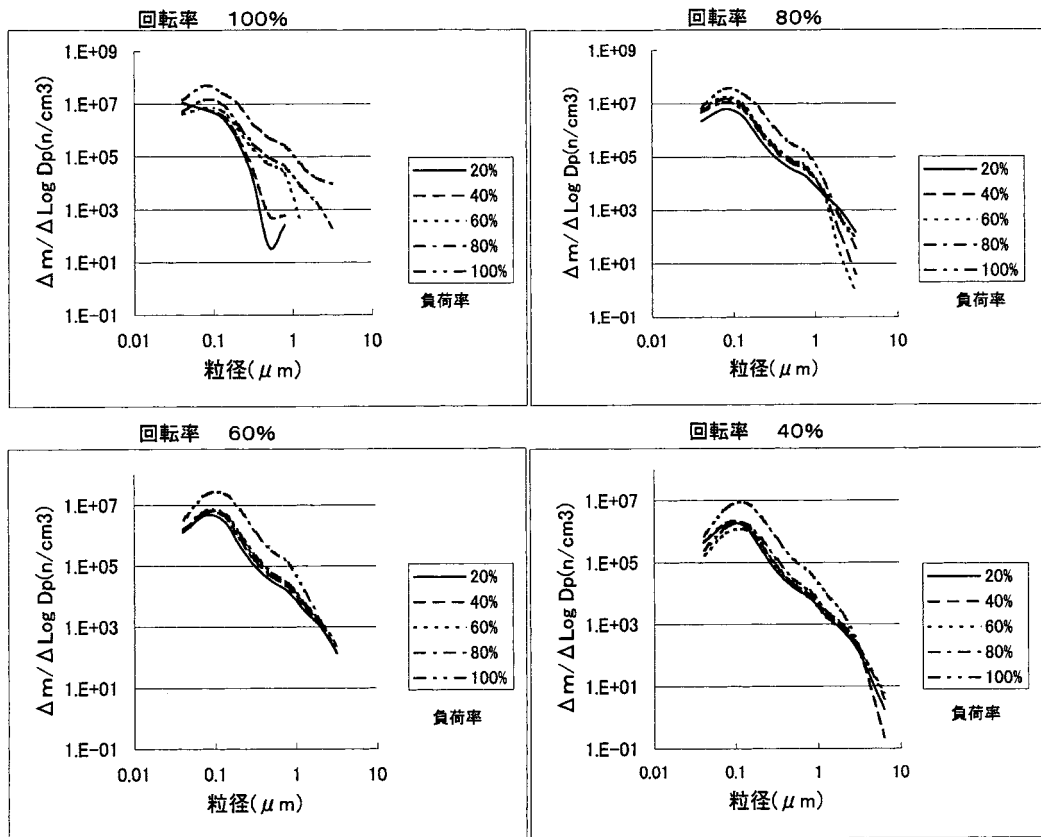


図5 エンジンの回転率及び負荷率の変化と粒径分布 (B車)

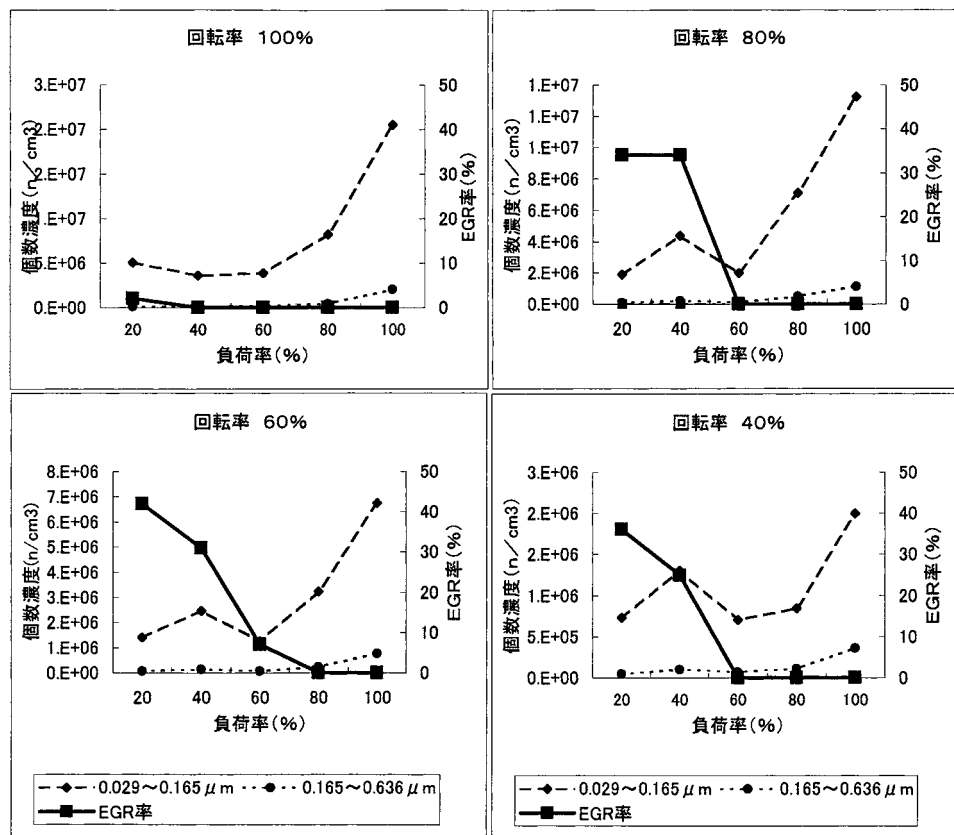


図6 エンジンの回転率及び負荷率の変化と粒径別個数濃度 (A車)

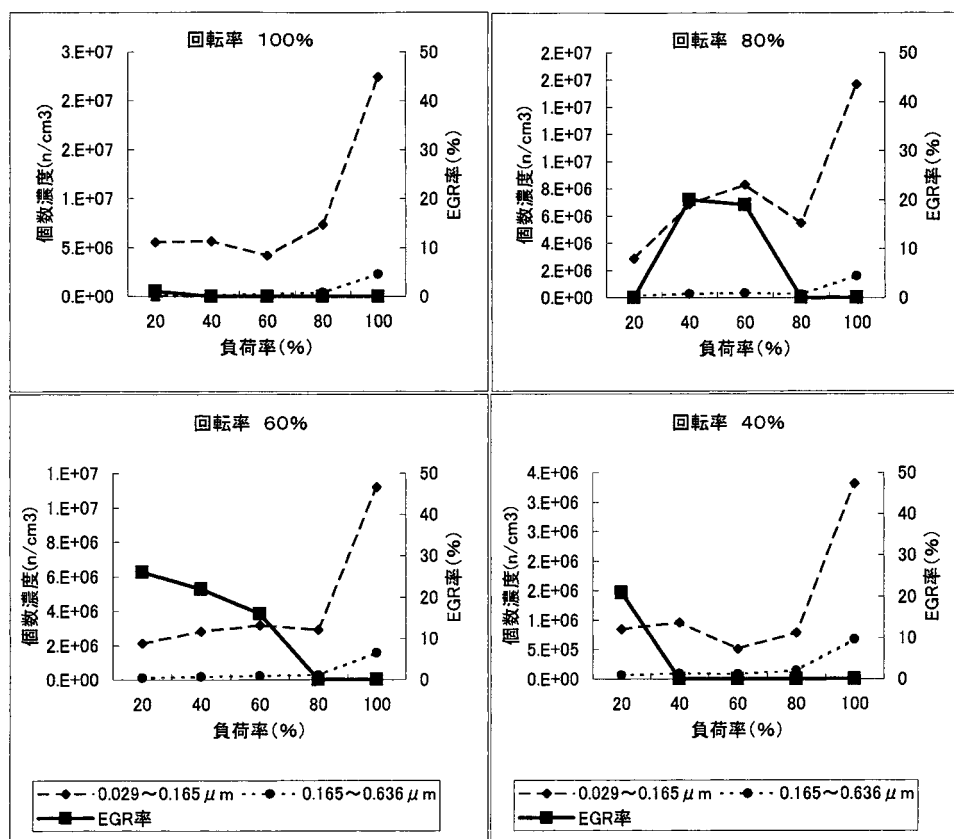


図7 エンジンの回転率及び負荷率の変化と粒径別個数濃度 (B車)

Qa：吸入空気量 (L/s)

粒径が $0.1\mu\text{m}$ 前後の粒径範囲では、A車では負荷が増すと個数濃度は高くなる傾向が認められた。これにEGRが稼働すると個数濃度は高くなり、EGRが停止すると個数濃度は低くなる傾向が認められた。粒径が $0.3\mu\text{m}$ 前後の粒径範囲でも概ね同様の傾向が認められた。B車についても負荷が増すと個数濃度は高くなる傾向であるが、負荷率が60～80%の範囲で個数濃度が低下する例も見られた。また、EGRについても稼働が停止しても、個数濃度が下がらない例も見られた。

このように、不明な部分は多々あり、今後、このマップ調査をはじめとして、個数濃度の粒径分布の調査を継続する必要がある。

引用文献

- 1) 秋山薫ら：東京都における浮遊粒子状物質中の炭素成分の粒径分布と発生源寄与の推定、東京都環境科学研究所年報1991、p. 71-77.
- 2) ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会：ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会、平成13年度報告、平成14年3月5日
- 3) 秋山薫ら：ディーゼル排出粒子中炭素成分の粒径分布、東京都環境科学研究所年報2001、p. 182-184.
- 4) 横田久司ら：大型自動車排出ガス実験システムについて、東京都環境科学研究所年報1991-2、p. 39-45
- 5) 中島徹ら：ディーゼルエンジンから排出される微小粒子の粒径分布、第42回大気環境学会年回講演要旨集(2001)、p. 597
- 6) 竹永裕二ら：大型ディーゼル車汚染物質排出実態について(2)、粒子状物質、東京都環境科学研究所年報1993、p. 158-161

Size Characteristics of Diesel Exhaust Particulates

Kaoru Akiyama, Shigeki Tahara, Fujiharu Sano, Hiroyuki Ueno,
Motomasa Sakanishi and Hisashi Yokota

Summary

We investigated size characteristics of the number of diesel and gasoline exhaust particulates of in-use vehicles which met the latest national emission standards by using of ELPI. In case of the actual-travel-pattern mode prepared by Tokyo Metropolitan Government, emission of the number of particles increased remarkably as size was becoming fine in diesel vehicles, and the size distribution was mono-modal peaking with about $0.1\mu\text{m}$. And it increased as the displacement was becoming large.

Nextly, according to the relation between engine revolutions and load and emission of the number of particles, in case of a diesel vehicle, a concentration of the number of particles became high as engine-load was increasing. It became high as the EGR operating, and it became low as the EGR stopping.

Keywords: diesel exhaust particulates, the number of particles, size distribution