

報 告

自動車から排出される粒子状物質測定方法の比較検討

舟 島 正 直 飯 田 靖 雄 福 岡 三 郎  
 横 田 久 司 竹 永 裕 二 梅 原 秀 夫  
 吉 村 睦 男(現東京都畜産試験場)

1 はじめに

大都市地域を中心とする大気汚染状況は、二酸化窒素、浮遊粒子状物質の環境基準の達成率が非常に低い。これらの物質の主な発生源は、自動車と考えられている。自動車の窒素酸化物規制は、数回にわたり強化されてきた。しかし、自動車(ディーゼル車)から排出される粒子状物質(以下PMと記す)の規制は、昭和47年よりボッシュ式による黒煙濃度規制で行ってきたが、平成元年12月の中公審の答申により平成5年規制(短期規制)から黒煙濃度規制に加えろ紙法(基準測定法:Low-vol法)による重量規制が導入された。更に長期規制の導入も考えられており規制の強化が図られることとなった。今回の実験では、自動車から排出されるPMの排出状況を種々の運転条件下で基準測定法のLow-vol法と5種類の原理の異なったPM測定器で積算濃度を測定し、その値を比較検討した。また、ディーゼル黒煙低減対策を行ううえでは、過渡運転(特に加速)時にPMの排出が多いため、過渡運転時にリアルタイムにPMの排出量が測定出来る測定器が必要となる。そのためにリアルタイムにPMの排出量が測定出来る測定器についても精度等の検討を行った。

2 実験装置及び実験条件

表1 実験車及びエンジン諸元

	ディーゼル乗用車	エンジン
排ガス規制	57年規制	元年規制
エンジン型式	副室	直噴
総排気量	2996 cc	7127 cc

(1) 実験装置: シャシーダイナモメータ(ディーゼル乗用車)、エンジンダイナモメータを用いて希釈トンネル(直径18インチ)よりPMを直接サンプリングした。実験車両及びエンジン諸元を表1に示す。

(2) 運転条件

ア、ディーゼル乗用車: 10モード、10・15モード、東京都実走行パターン(No.2, No.5, No.8, No.10)、定速(ID, 20Km/h, 40Km/h, 60Km/h)

イ、エンジンダイナモメータ: 1000rpm, 1500rpm, 2000rpmで負荷0、1/4, 2/4, 3/4

(3) PM測定器

ア、Low-vol法

イ、Hi-vol法

ウ、TEOM法(テーパー棒状振動マイクロバランス法)

エ、β線吸収法(以下β線法と記す)

オ、光散乱法

カ、音叉型共振子法(以下音叉型法と記す)

各測定法の原理・吸引量・長所・短所を表2に示す。

3 結果及び考察

基準測定法(Low-vol法)と各測定法の測定値の比較を表3に示す。

表3 基準測定法(Low-vol法)との比較

	ディーゼル乗用車		エンジンダイナモ		総 括	
	相関係数	比率	相関係数	比率	相関係数	比率
Hi-vol法	0.950	1.08	0.977	1.24	0.996	1.15
TEOM法	0.956	0.73	0.995	0.74	0.995	0.74
β線法	0.897	0.89	0.981	0.86	0.982	0.95
光散乱法	0.854	0.62	0.980	1.61	0.983	1.34
音叉型法	0.877	0.71	0.965	0.73	0.981	0.72

表2 PM測定法の原理・測定・長所・短所

	原 理	測 定	長 所	短 所
Low — vol 法	ろ紙による吸引ろ過	サンプリング: 75 ℓ/min ろ紙の大きさ: 直径 70mm ろ紙の秤量: 25℃ 50% 24時間以上放置	粒子状物質の重量測定として精度が、高く再現性がある。粒子状物質排出重量の基準測定である。	積算濃度のみ測定に時間がかかる。
Hi — vol 法	ろ紙による吸引ろ過	サンプリング: 1000 ℓ/min ろ紙の大きさ: 8 × 10 インチ ろ紙の秤量: 25℃ 50% 24時間以上放置	粒子状物質を捕集する容量が大きく、粒子状物質の内容成分 (Ba P、パラフィン類、炭素など) の分析に広く用いられている。	捕集する粒子状物質が多いことから、吸引におけるろ紙に対する差圧の不安定による流量の変動がある。
TEOM法	テーパ状の形をした中空の石英管 (テーパエレメント) の先端に粒子捕集のためのフィルターが取り付けられていて、固有振動数を計測して堆積した粒子の質量を計測する。	サンプリング: 3 ℓ/min ろ紙捕集部40℃に保温	過渡運転などによる粒子状物質の変動をリアルタイムに測定でき、積算濃度も測定可能	ろ紙に付着する微粒子の位置により多少の振動の差がある。流体の差圧や粘性などによって影響がある。粒子状物質中の揮発性成分の割合が大きくなると、テーパエレメントの振動に影響を与える。
β線吸収法	ろ紙に捕集した粒子状物質にβ線をあてて、β線減衰率の変化を計測し質量濃度を算出するもの	サンプリング: 3 ℓ/min 測定範囲: 0 ~ 10mg/ m <sup>3</sup>	測定操作が簡単で測定結果の算出もすぐに行える。	粒子状物質の捕集時のろ紙の変形や捕集された粒子状物質の空気密度の違いが誤差要因となる。
光散乱法	検出器内を通過する試料に光を横から照射すると、散乱光の一部が光電子増倍管に達する、この検出信号をコンデンサ積分して粒子状物質を測定するもの	サンプリング: 2 ℓ/min 検出感度: 1~10 μg/m <sup>3</sup>	自動測定が可能であり、時間経過による濃度変動をリアルタイムに測定でき、積算濃度も測定可能	粒径、比重、湿度などを考慮せず均一なものとして換算するため、粒径、比重、湿度の違いが誤差要因となる。
音叉型共振子法	音叉型共振子に装着したフィルターホルダーに堆積した粒子を固有周波数を利用して質量濃度を算出するもの	サンプリング: 3 ℓ/min ろ紙捕集部40℃に保温 総捕集量: 1000 μg	過渡運転などによる粒子状物質の排出量の変動をリアルタイムに測定でき、積算濃度も測定可能	吸引流量の少ないことにより、パイプなどに粒子状物質が付着したり、粒子状物質中の揮発性成分の割合が大きくなると、少なめの値になる。

(1) Low-vol法とHi-vol法の比較

相関係数は0.996でバラツキも少ない。特にエンジンダイナモによる定速運転時はバラツキがすくない。しかし、ディーゼル乗用車の過渡運転においては、同一走行パターンでのPM排出量はLow-vol法でも数%程度バラツキがあることが分かった。Hi-vol法は、吸引流量が大きいことによる捕集時のろ紙破損や流量変化等操作上多少問題があるが捕集したPMの内容成分分析ができる利点がある。Low-vol法、Hi-vol法ともろ紙法のためPM捕集前後にろ紙の秤量操作があるため時間がかかるのと積算濃度しか測定出来ない短所がある。

(2) Low-vol法とTEOM法の比較

TEOM法は、積算濃度がLow-vol法より約25%値が低いが相関性はよくバラツキも少ない。しかし、ディーゼル乗用車及びエンジンダイナモ実験において低回転・低負荷領域では、有機炭素の比率も高く、揮発性成分を多く含むため若干測定値が低くなることが分かった。PMの炭素成分を熱分析計で分析した測定結果を図1に示す。ただし、この結果は、PMを捕集するろ紙面を40℃に加熱しているため揮発性成分が蒸発しているものとも考え

られる。TEOM法は、サンプリング流量が少ない (3 ℓ/min) ためPMのサンプリング管への粒子の付着の影響も考えられるためサンプリング管は、極力短くする必要ある。ろ紙交換直後のゼロ点測定の安定に時間がかかるのと測定値に多少のバラツキがあるのが測定値の誤差要因とも考えられる。ディーゼル黒煙低減対策をするうえで、リアルタイムに排出量が測定出来る測定器として製品化されているTEOM法は、過渡運転時のPM排出量を把握するうえで、有効な測定方法と考えられる。

図1 エンジンダイナモ実験により排出されるPM中の有機炭素の割合

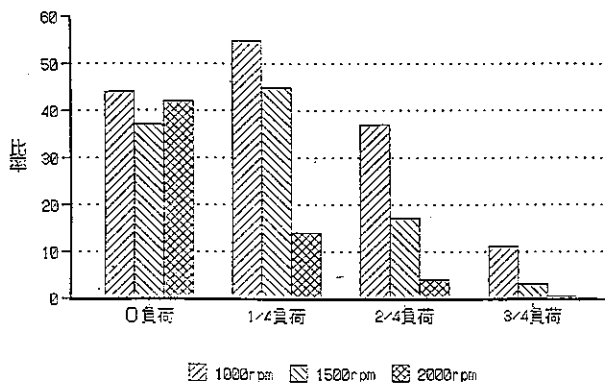
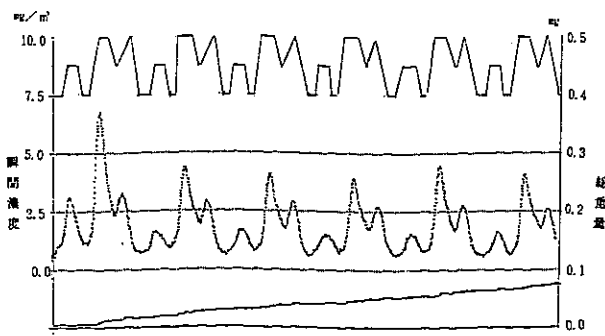


図2 TEOM法による10モード排出状況



10モード走行によるTEOM法でのPMの排出状況を図2に示す。

(3) Low-vol法とβ線法の比較

β線法は、ディーゼル乗用車の実験においてLow-vol法との相関係数は0.897と悪く積算濃度では、約10%低い測定値であった。しかし、エンジンダイナモ実験では、相関はよかった(相関係数 0.981)。今回使用したβ線法は、低濃度の1時間測定用の機器であり、測定範囲に合わせるため吸引流量等の調整を必要としたためバラツキが出たものと考えられる。しかし、測定流量と測定時間の設定等が調整できたものを用いれば短時間に積算濃度が精度良く得られる可能性がある。

(4) Low-vol法と光散乱法の比較

光散乱法は、エンジンダイナモ実験においては、相関はよかった。しかし、ディーゼル乗用車の実験において相関係数は0.854と悪く、Low-vol法との比較で約30%高い値であった。排出される粒子の形状、粒径の変化が誤差要因となるため定常運転における同一条件での比較はできるが、他の条件との比較や過渡運転による比較は、困難と考えられる。

(5) Low-vol法と音叉型法の比較

音叉型法は、TEOM法と同程度の値であった。音叉型法は、TEOM法と同様サンプリング管への粒子の付着、粒子の捕集面の温度や計算上の定数の変更等多少問題がある。今回使用した測定器は、完全に商品化されたものではないため他の測定器と比較しにくい、もうすこし完成度の高いものでないとPMの測定にはたえられないと考えられる。また、自動車から排出されるPMの排出状況をリアルタイムに粒子の測定をするには測定値のバラツキが多少大きく、精度の向上等にも検討が必要である。

(6) TEOM法と音叉型法の比較

ディーゼル黒煙低減対策をするうえでは、過渡運転時にリアルタイムにPMの排出量が測定できる測定器が必要となるため、この2機種について比較を行ったが、測定値の応答性、測定値時間の平均化について問題があり今後検討を加えたい。

4 まとめ

(1) Hi-vol法

PMの排出量が測定出来るうへ捕集したPMの内容成分分析ができる利点があるため利用価値が高い。

(2) TEOM法

積算濃度値は、Low-vol法より約25%値が低い値であるが、実験室内での過渡運転時にリアルタイムにPMの排出量が測定できる測定器としては、利用できる。

(3) β線法

測定流量と時間の設定等が調整できたものを用いれば短時間に積算濃度が得られる可能性がある。

(4) 光散乱法

排出される粒子の形状、粒径の変化が誤差要因となるため定常運転における同一条件での基準法(Low-vol法)との比較はできるが、他の条件での比較や過渡運転による比較は、困難と考えられる

(5) 音叉型法

今回使用した測定器は、完全に商品化されたものでないため、他の測定器と比較はしにくい、もうすこし完成度の高いものでないとPMの測定にはたえられないと考えられる。

参考文献

- 1) 中央公害対策審議会：  
今後自動車排出ガス低減対策のあり方について  
(答申) 平成元年12月22日
- 2) 柳原茂他ら：瞬時微粒子質量計測装置  
内燃機関 1991年2月号
- 3) 阿部次雄他ら：ディーゼル車の粒子状物質排出特性の把握法に関する研究交通安全公害研究所報告、第12号、平成2年8月