

車載型PM計による実走行時排出ガス計測と シャシーダイナモメータ測定値との比較

中川 智史 横田 久司

要 旨

2種類の車載型PM計について、大型ディーゼル車に使用した場合の性能実証試験を行い、次のことがわかった。光透過式スモークメータでは、公定法と比較して、エンジンが定常状態時の測定ではある程度良好な相関が認められたが、過渡走行運転時やDPF等を装着した低排出ガスの条件での感度は低かった。光散乱を利用した簡易型車載PM計では公定法との相関は光透過式スモークメータより若干低い程度であったが、低排出条件での感度が低かった。いずれの装置も、現時点で車載型PM計として実用化を図るためには、種々の課題を解決することが必要である。

キーワード：車載型、光透過式スモークメータ、簡易型車載PM計、ディーゼル車、PM

Comparison With Measurement Result On The On Board Type PM Measurement System And Chassis Dynamometer

NAKAGAWA Tomofumi, YOKOTA Hisashi

Summary

We performed the verification test about the applicability to heavy duty diesel vehicles about two kinds of on-board type PM meters. The results are as follows.

In the case of the light transmission type smoke meter, as compared with the regulating method, to some extent good correlation was observed in measurement of the stationary states. However, sensibility was low, the case of transient running, or when it was set to low exhaust level by DPF. In the case of the on-board PM meter using light scattering system, the correlation with the regulating method was a grade a little lower than a light transmission type smoke meter, but the sensibility in low exhaust conditions was low. It is necessary for both of apparatus to solve various subjects, in order to attain utilization as an on-board type PM meter at present.

Keyword : On Board Type, light transmission type smoke meter, On Board Type PM Meter, Diesel, PM

1 はじめに

これまで、自動車排ガスに含まれるPMの排出量は、主にシャシーダイナモメータ（以下、「C/D」という。）上で10・15モード¹⁾等の試験モード走行を行い測定されてきた。

この測定法は、代表的な走行モードによる平均的な排出量を測定する上では有用であるが、種々の走行条件を完全には再現できないこと、瞬時の運転状態を反映できないこと等の問題点があり、近年、車載型のPM計測機器（以下、車載PM計という。）を用いた測定法について検討されるようになった。

車載型PM計を用いた測定法が確立されれば、実走行中に測定を行うことができ、PMの排出実態をより正確に把握することが可能となる。実用化にあたっては、車載型PM計を用いて実走行による測定を行うとともに、同一条件を模した既存の自動車排出ガス計測システムによる測定値との相互検証が必要である。

そこで、本研究では、次のような検討を行った。

- (1) 大型自動車における車載型PM計とC/Dの測定比較
- (2) PM低排出車（DPF装着車等）への車載型PM計の適用可能性

なお、本研究は、独立行政法人国立環境研究所から当研究所に委託された「平成15年度車載型機器による実走行時自動車排ガス計測・管理システムの実証」において実施したものである。

2 実験

(1) 車載型PM計の概要

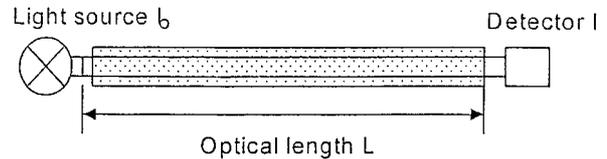
今回の実験では、計測方式の異なる次の2種類の車載型PM計について検証した。

ア 光透過式スモークメータ（オパシティ計）

光源からの光が、排ガス中の粒子やミストによって吸収・反射され、透過率が変化することを利用し、スモーク濃度を不透過率（オパシティ）（%）あるいは吸光係数（1/m）で表すものである。オパシティ計の検出部の概念図及び不透過率Nと吸光係数kの関係を図1に示す。

イ 簡易型車載PM計（簡易PM計）

流体中に浮遊する微小な粒子に光が当たって生じる散乱現象が、粒子の大きさ等により変化することを利用し、粒子濃度を散乱光強度で表すものである。本装



$$\frac{I}{I_0} = e^{-kL} = \left[1 - \frac{N}{100} \right] \dots \dots (1)$$

$$N = 100(1 - e^{-kL}), k = -\frac{1}{L} \ln \left[1 - \frac{N}{100} \right] \dots \dots (2)$$

ただし、 I_0 : スモークが無いときの光強度

I : スモークが流れているときの光強度

N : 不透過率（%）、 L : セル長

k : 吸光係数（1/m）

図1 オパシティ計の概念図

置では、発光部からの光は排気流を通過し、受光部は135°の角度に配置されている。平成14年度までの「車載装置に関する研究」²⁾より、発光部、受光部等に整流素子が付加され、外気をポンプで送ることによりレンズの汚れと温度上昇を防ぐ構造に改良された。簡易PM計の検出部の構造を図2に示す。

(2) 比較対照のPM計測装置

車載型PM計の比較対照として、電子式低圧インパクト（Electrical Low Pressure Impactor, 10LPM、DEKATI社：以下、「ELPI」という。）を使用した。本装置は、微小粒子を荷電させ、分級することにより、粒子の個数濃度を粒径別に把握することができるものである。瞬時の排出量を求めることができるため、車載型PM計の比較対照とした。詳細は既報³⁾の通りである。

本研究では、PM粒子の密度を1と仮定し、重量濃度を算出した。

(3) 実験条件

ア 試験設備

実験は、当研究所のC/Dを用いて行った。排出ガス中のPMは全量希釈トンネル・ロウボリュウムサンプラーによりろ紙に捕集し、精密天秤にて排出量を計測（以下、「ろ紙法」という。）した。詳細は既報⁴⁾の通りである。

イ 試験条件

実験は、以下の試験モードにより行った。

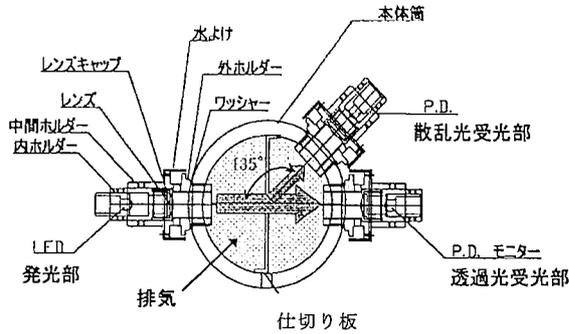


表 1 車両及びPM低減装置の諸元

試験車	試験車1 大型トラック	試験車2 路線バス	
型式	U-CK450END	KC-MP717K改	
エンジン型式	PF6	6D24	
総排気量	12503cc	11945cc	
最高出力	235ps/2100rpm	240ps/2200rpm	
低減装置 仕様	種類	DPF	酸化触媒
	方式	連続再生式	(短期規制車用)
	フィルター	コーゼライト	なし
	触媒	Pt	Pt

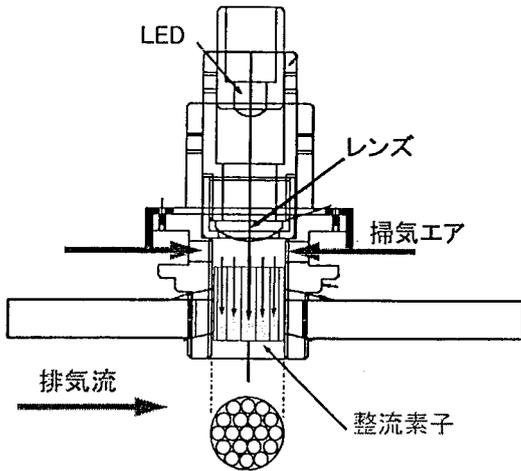


図 2 簡易PM計の検出部の構造

3 結果及び考察

(1) 試験車 1

試験車 1 では、オパシティ計についての検討を行った。

ア エンジンマップ試験における排出量の比較

定常運転におけるオパシティ計の性能を検証するため、前述の通り、計16ポイントでの測定を試みたが、サンプリング配管の溶損、サンプリング流量の制御不足により、DPF装着時では高負荷（80、100%負荷）の試験ができなかった。

オパシティ計の吸光係数 k と排気流量 Q_{ex} の積が PM の排出量に比例することから、「 $K \times Q_{ex}$ 」とろ紙法との比較を行った（図 3）。回帰式を以下に示す。

$$y = 154.08x \quad R^2 = 0.82 \quad (3)$$

ただし、 y ：瞬時排出量（mg/s）、

x ：吸光係数 k と排気流量 Q_{ex} の積（ m^2/s ）

決定係数は、0.82 と高かったが、回帰係数は 154.08 であり、慶応大学が前年度までに報告²⁾している値 314 より大幅に低いものであった。これは、分析計としての感度の変動していることを示しており、感度の安定性の向上が必要である。

イ 過渡走行モードにおける排出量の比較

① 瞬時排出量の比較

式(3)より、オパシティ計の瞬時排出量を求め、東京都実走行パターン No. 5 におけるオパシティ計と ELPI との比較を行った（図 4）。排出量の変化は、定性的には一致しているが、相関はあまり高くない結果であった。

① エンジンマップ試験

エンジン回転数と負荷の組合せが異なる複数のポイントを定め、定常条件における排出ガス測定等を行うものである。

本研究では、測定ポイントを次のように設定した。エンジン回転数は、最大出力時回転数の 40、60、80、100%、エンジン負荷は、各回転数における最大駆動力の 40、60、80、100%、合計 16 ポイントとした。

② 過渡走行モード試験

東京都実走行パターン No. 2、5、8、10
新長期排出ガス試験用の過渡運転モード（以下、「新長期モード」という。）

なお、等価慣性重量は、1/2 積載条件とした。

③ 試験車両及びPM減少装置諸元

実験には、PM減少装置を装着した車両を使用し、装置の有無についても測定を行った。試験車両及びPM減少装置の主な諸元を表 1 に示す。これらのPM減少装置は、いずれも首都圏八都府市の粒子状物質減少装置として、指定されている製品である。

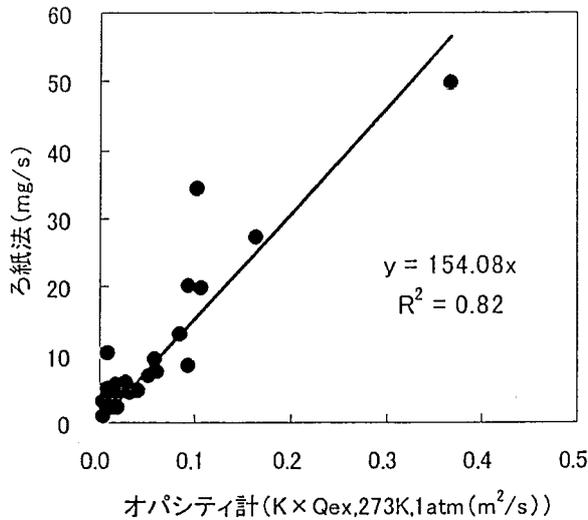


図3 エンジンマップ試験におけるオパシティ計とろ紙法の比較

② 積算排出量の比較

過渡走行モードにおける積算排出量について、オパシティ計とろ紙法との比較を行った(図5)。なお、オパシティ計の積算排出量は、式(3)による瞬時排出量を合計して求めた値である。オパシティ計は、ろ紙法と非常に高い相関を示した。しかし、ろ紙法を基準としているため、本来回帰式の勾配は1になるはずであるが、60%程度の感度しかでていないことになる。

ウ DPF装着時の比較

エンジンマップ試験の結果より、DPF装着前後のPM低減率を求め、オパシティ計とろ紙法との比較を行った。

エンジン回転率60%における比較結果を図6に示した。ろ紙法のPM低減率は、90~100%の範囲で変

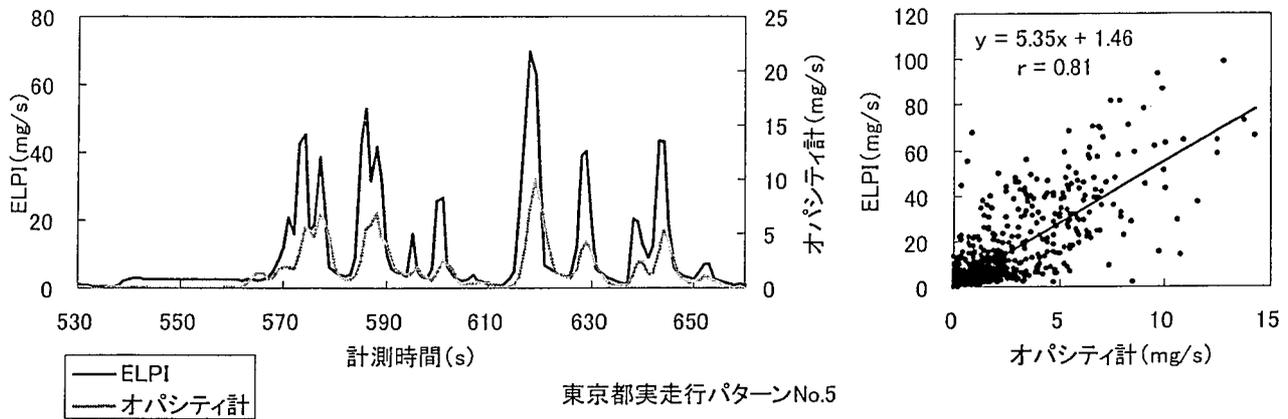


図4 オパシティ計とELPIの瞬時排出量の推移と相関

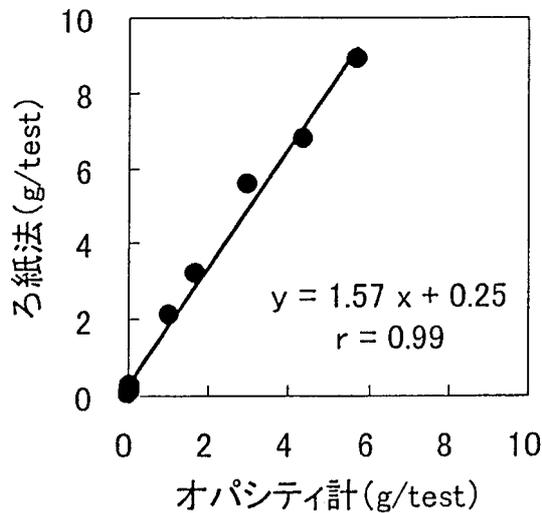


図5 積算排出量の比較

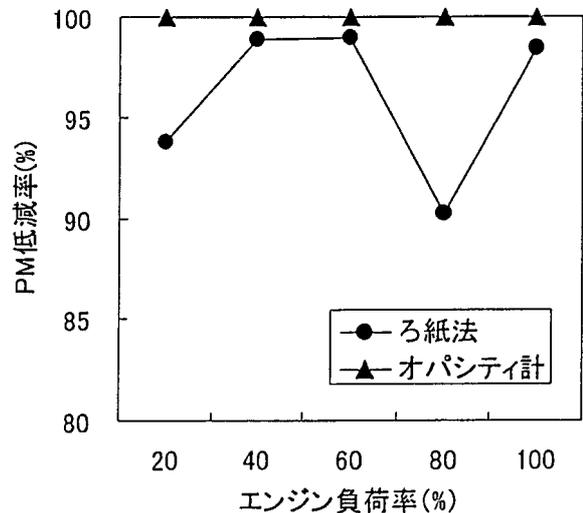


図6 オパシティ計及びろ紙法によるPM低減率の比較

動しているが、オパシティ計は、ほぼ100%であった。これは低濃度PMにおける感度が低いことを意味している。

(2) 試験車2

試験車2では、オパシティ計及び簡易PM計についての検証を行った。

なお、オパシティ計については、試験車1で発生したサンプリング配管の溶損や検出部の汚損を防ぐため、サンプリング配管の径を細くする等、若干の改良を施している。

ア エンジンマップ試験における排出量の比較

試験車1同様、エンジンマップ試験における排出量の比較を行った。簡易PM計の装置全体の温度耐性が低い(100℃程度が上限)ため、高回転数域(回転率80、100%)では高負荷(80、100%負荷)の試験ができなかった。

オパシティ計及び簡易PM計とろ紙法との比較を図7に示した。図7で得られた回帰式を以下に示す。

[オパシティ計]

$$y=284.22x \quad R^2=0.97 \quad (4)$$

ただし、y：瞬時排出量 (mg/s)、

x：吸光係数kと排気流量Qexの積 (m²/s)

[簡易PM計]

$$y=160.48x-5.02 \quad R^2=0.79 \quad (5)$$

ただし、y：瞬時排出量 (mg/s)、

x：散乱光強度

オパシティ計については、前述の改良を施したため、決定係数は試験車1の時より高く、0.97となった。また、回帰係数は、前述の慶応大学の報告値に近づき、10%程度低い値であった。簡易PM計については、決定係数は、0.8弱に留まった。

イ 過渡走行モードにおける排出量の比較

① 瞬時排出量の比較

式(4)、(5)からオパシティ計と簡易PM計の瞬時排出量を求め、東京都実走行パターンNo.5における比較を行った(図8)。

なお、簡易PM計のデータが一部欠落していたため、

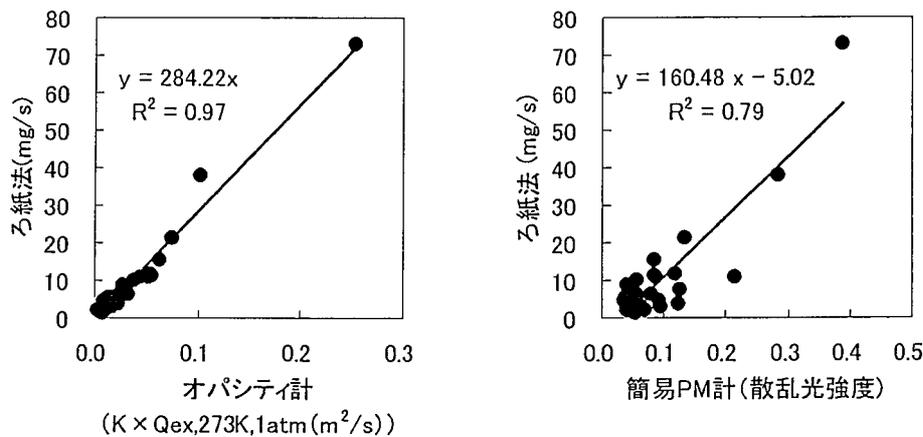


図7 エンジンマップ試験における排出量の比較

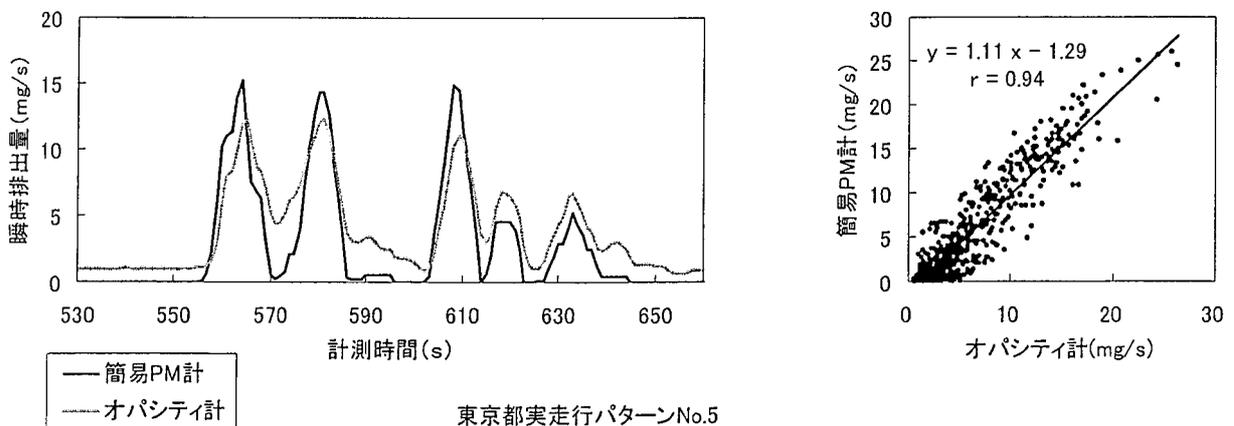


図8 簡易PM計とオパシティ計の瞬時排出量の推移と相関

5秒間の移動平均をとった。データ欠落の原因は不明である。移動平均をとっているため、両者の相関は高かったが、簡易PM計は、オパシティ計に比べ低排出域における検出が少なかった。これは簡易PM計については、オパシティ計以上に低濃度における感度が低いことを意味する。

② 積算排出量の比較

過渡走行モードにおける積算排出量について、オパシティ計及び簡易PM計とろ紙法との比較を行った(図9)。なお、試験車1同様、積算排出量は瞬時排出

量の合計である。

オパシティ計については、相関係数は非常に高かったが、回帰式の勾配が図5と比較して大幅に変化している。これは、式(3)と(4)の回帰係数の変化が反映しているものであるが、回帰式の勾配は1になるはずであるが、45%程度の過大に計測されていることになる。

簡易PM計については、相関係数は0.84であったが、回帰式の勾配が低く、この場合も60%以上過大に計測されていることになる。

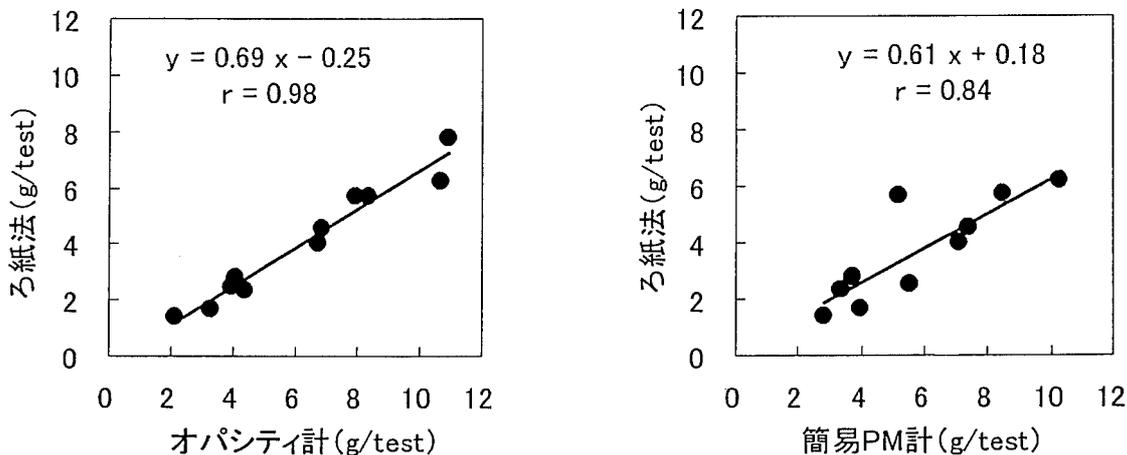


図9 オパシティ計と簡易PMによる積算排出量の比較

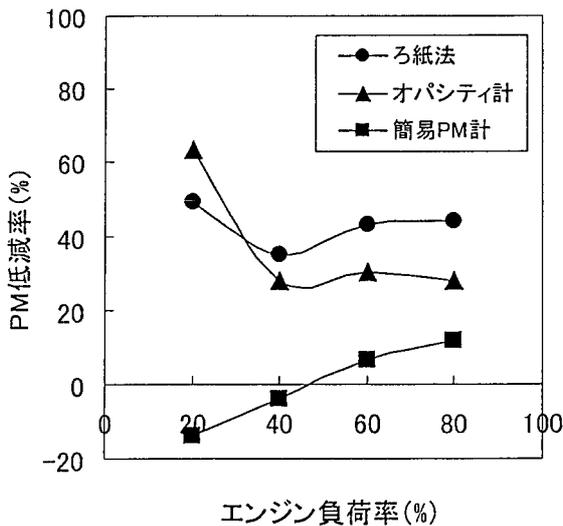


図10 オパシティ計、簡易PM計及びろ紙法によるPM低減率評価の比較

ウ 酸化触媒装着時の比較

エンジンマップ試験の結果より、酸化触媒装着前後のPM低減率を求め、エンジン回転率60%における各

計測装置の比較を示した(図10)。

ろ紙法の低減率に比べオパシティ計は、若干低めの値であったが、低減率の傾向は概ね一致していた。一方、簡易PM計では低減率はほとんど0%を示しており、低濃度における感度は低いことが明らかである。

4 まとめ

近年、開発が始められた2種類の車載PM計について、大型C/Dを用いて実証試験を行った。その結果は以下のとおりである。

光透過式スモークメータであるオパシティ計については、サンプリング配管等が若干改良された試験車2の場合には、ろ紙法との相関が高くなっている。しかし、慶応大学による報告の回帰係数に比較して、本研究では10%程度低くなっており、分析計としての感度の安定性は課題として挙げられる。また、瞬時値については、PMの排出状況と定性的には一致していたが、応答性はあまり高くない結果であった。さらに、

積算排出量の比較では、ろ紙法との計測値と45%程度の乖離があった。以上の結果から、オパシティ計については、ろ紙法との相関を担保しつつ、計器のメンテナンスを注意深く行うことを前提にすれば、高排出車の排出実態把握にはある程度使える可能性があると考えられる。

一方、散乱光の強度を観測する方式の簡易PM計については、オパシティ計同様に、瞬時値についてはPMの排出状況と定性的には一致していた。しかし、低濃度における感度不足、装置全体の温度耐性が低いこと等、オパシティ計と比較しても大幅な改良が必要である。

また、DPFや酸化触媒等の後処理装置を装着したPM低排出車の測定では、公定法であるろ紙法と比較して低減率の傾向が必ずしも一致していなかった。オパシティ計、簡易PM計ともに低濃度の感度が低いので、より一層の感度向上が必要である。

今後の課題として、両計測機とも、大型ディーゼル車を想定した機器の開発・改良が遅れている。特に、排気採取の流量制御がなく、高温排気への対策や、検出部付帯機器の軽量化、小型化が必要である。

引用文献

- 1) 国土交通省監修：新型自動車審査関係基準集、ディーゼル自動車10・15モード排出ガス試験方法、pp.1701-1717、交文社（2001）
- 2) 「車載型機器による実走行時自動車排ガス計測・管理システムの実証」（環境省平成13～15年度環境技術開発等推進費（実用化研究課題）研究課題代表者：独立行政法人国立環境研究所森口祐一）（2001～2003）
- 3) 秋山薫ら：ディーゼル排出粒子の粒径特性について、東京都環境科学研究所年報2002、pp.153-160
- 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、pp.39-45