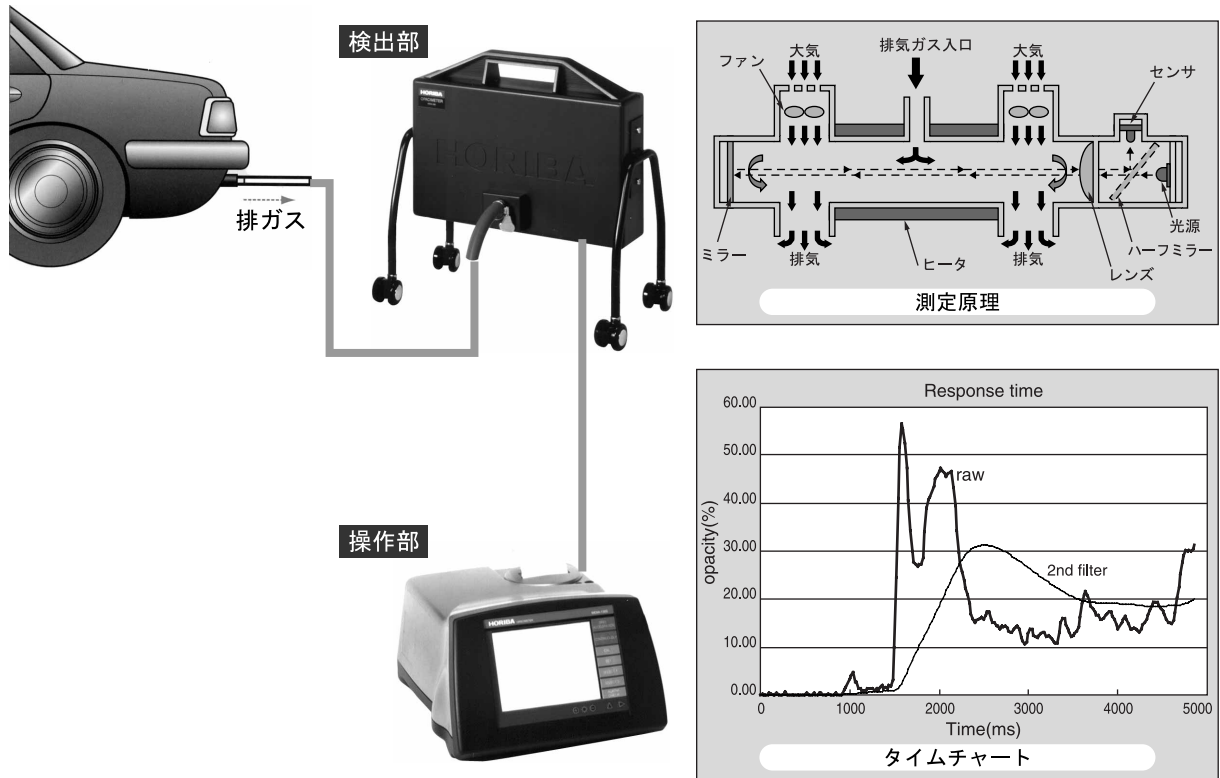


# 光透過式スモークメータ MEXA-130S

Opacimeter MEXA-130S

木原 信隆

## システム構成図



## 要旨

ディーゼル車から排出される粒子状物質 (PM) の削減が緊急課題となっている。現在、日本国内では、法規に基づく PM 評価法としてフィルタ重量法を除くと、反射式のスモークメータが使われている。しかしこの方式は、感度が不十分で、連続測定もできない欠点がある。ホリバは、黒煙だけでなく青・白煙を含む全てのスモーク成分を高感度に連続測定できる光透過式スモークメータ MEXA-130S を製品化した。本稿では、MEXA-130S の測定原理、特長、および、性能試験結果を紹介する。また、シャシダイナモメータ上で走らせ、フィルタ重量法との相関関係を検討した。さらに、MEXA-130S を搭載したディーゼル車を実際に市街地走行させ、排ガスのオンボード計測の可能性を検討した結果についても述べる。

## Abstract

Reduction of the particulate matter (PM) emitted by diesel vehicles is an urgent task. Reflecting smoke meters are currently the main PM evaluation method employed within Japan. This method however suffers from the drawbacks of having inadequate sensitivity for blue and white smoke and not permitting continuous measurement. Horiba has now developed as a commercial product the MEXA-130S Opacimeter, which is able to measure continuously and with high sensitivity all of the components of smoke, including blue and white fumes as well as black. This paper describes the measuring principles and features of the MEXA-130S and presents the results of performance tests conducted on it. Additionally, the MEXA-130S was used with an engine run on a chassis dynamometer to examine the correlation with PM measuring methods. Further, a diesel vehicle equipped with an MEXA-130S was driven through actual urban areas to examine the possibility of onboard measurement of exhaust gas.

## 1 はじめに

近年、ディーゼル車から排出されるにスモークの削減が求められている。道路運送車輛の保安基準の一部が改正され、1999年10月1日以降発売される新型車のスモーク規制値が40%から25%に変更された。

従来、自動車整備工場などでは、排ガス中のスモークをフィルタ上に補集し、その黒化度を光反射で測定する方式のスモークメータ(ボッシュ式)が使われてきた。

一般に、ディーゼルエンジンは、高負荷時には黒煙をおもに排出し、低負荷時には青・白煙が増えてくる。このことが、従来の反射式のスモークメータは、黒煙に対する感度が低く、感度不足や測定誤差の原因の一つとなっている。

そこで、ホリバは、高感度で再現性の高い光透過式スモークメータ MEXA-130S を開発、製品化した。

## 2 MEXA-130S の概要

### 2.1 測定原理

光を使ったスモークメータには、大別して、フィルタ上に補集したPMに光を照射して反射率の変化から煙濃度を測定する光反射式、直接排ガスに光を照射して、吸収・散乱される光の強度から煙濃度を測定する光透過式(オパシメータ)の2種類がある。MEXA-130Sでは、このうち青・白煙に対しても感度の高い光透過式を採用している。

図1にMEXA-130Sの測定原理を示す。測定セルに導かれる排ガス中に、燃料の高温燃焼により生じる黒煙、未燃オイル/未燃燃料・水分からなる青煙、白煙などが含まれると光源からの可視光はそれらにより吸収・散乱を受けて減衰する。この減衰量を Lambert-Beer の法則(式(1))に当てはめて煙濃度を算出する。

なお、結果はオパシテイ N(%) 式(2)、または吸光係数  $k(m^{-1})$  式(3)で表す。

$$I = I_0 \cdot e^{-kL} = I_0 \cdot (1 - N/100) \text{-----(1)}$$

$$N = (1 - I/I_0) \cdot 100 \text{-----(2)}$$

$$k = -1/L \cdot \ln(1 - N/100) \text{-----(3)}$$

$I_0$  : スモークがない時の光強度

$I$  : スモークが流れている時の光強度

$L$  : セル長 (m)

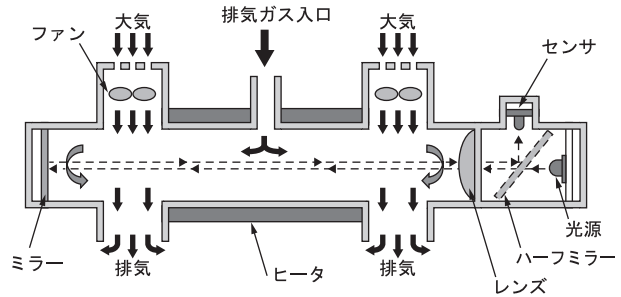


図1 MEXA-130Sの測定原理

### 2.2 サンプリング

MEXA-130Sでは排気圧力を利用した部分のサンプリング方法を採用している。この方式は、特別なサンプリングポンプが不要で、変動しやすい排ガスを安定に採取できる特長をもっている。

図2に代表的な測定方法であるフリーアクセル法のサイクルを示す。まずテールパイプにサンプリングプローブを挿入し、エンジンを無負荷で急加速させてスモークを発生させる。スモークは、排気圧力により、プローブを通して測定セルに導入される。空吹かしを所定回数くり返した後、得られる出力信号のピーク値から煙濃度を算出する。

光透過式スモークメータとフリーアクセル法との組み合わせは欧州の車検場でも採用されており<sup>1)</sup>、低濃度のスモーク測定に有効かつ簡便な方法として期待されている。

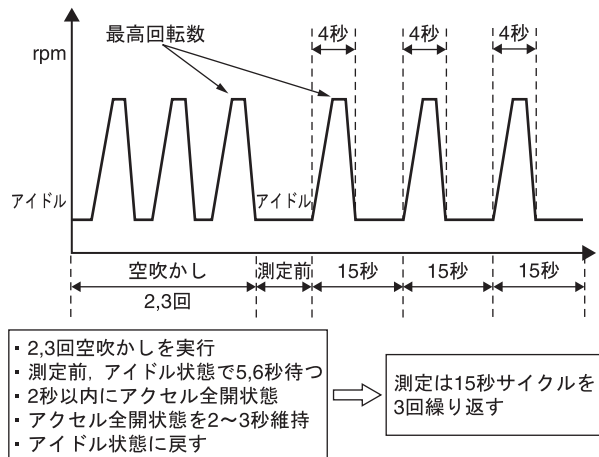


図2 フリーアクセル法の測定サイクル

## 2.3 特長とおもな仕様

MEXA-130S は、煙濃度をリアルタイムに測定できるという原理的な特長に加え、機能的にも使いやすさを徹底的に追求している。

検出部と表示部を分離し、作業員 1 人での計測が可能  
フリーアクセル測定に対応 (メッセージ表示によるアクセル操作、自動データ収集)

ユーザによる簡易メンテナンスを実現

図3にMEXA-130Sの外観を、表1におもな仕様を示す。



図3 光透過式スモークメータ MEXA-130S

型式	MEXA-130S
適合規格	ISO 11614
測定対象	ディーゼル車から排出されるスモーク
測定原理	光透過式 (光源: Green LED : 560nm, 検出器: フォトセンサ)
測定範囲	不透明度 (opacity): 0.00 ~ 100% 吸光度 (light absorption coefficient) : 0.000 ~ 10.00m <sup>-1</sup>
サンプリング方法	パーシャルフロー排圧式
サンプルガス取合い	専用プローブ付属 (内径 10mm)
表示 (分解能)	液晶画面表示 (不透明度: 0.1, 吸光度: 0.001m <sup>-1</sup> )
外部入出力	デジタル入出力 (RS-232C) アナログ出力 (オプション)
外形寸法	操作部: 240 (W) × 357 (D) × 156 (H) mm 検出部: 380 (W) × 90 (D) × 235 (H) mm 脚部は除く
重さ	操作部: 約 2kg, 検出部: 約 4.5kg

表1 MEXA-130S のおもな仕様

## 3 MEXA-130S の性能評価

### 3.1 測定感度の評価

実車をフリーアクセル法で運転したときの MEXA-130S 出力信号のタイムチャートを図4に示す。S/N が十分高かつ安定した信号が得られている。

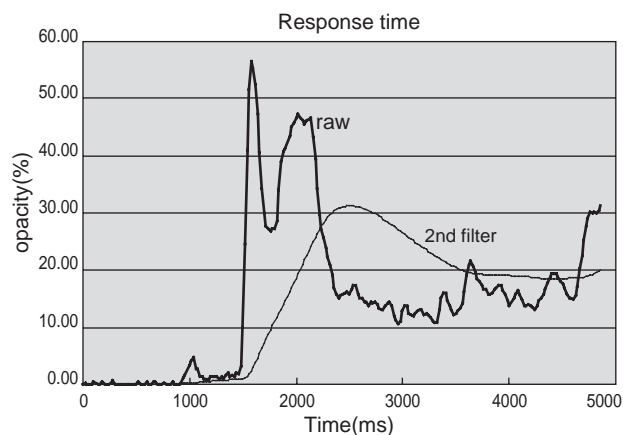


図4 フリーアクセル法によるスモーク測定のタイムチャート

### 3.2 スモーク濃度から PM 排出量の推定

光透過式スモークメータは、通常、光透過率が 0% および 100% で感度を校正し、既知のフィルタを使って直線性を確認している。つまり、スモークメータの指示値は直接 PM 重量では校正されていない。そこで筆者らは、スモークメータの指示から PM 排出量を推定する妥当性を検討するため、シャシダイナモメータ上の走行試験において、フィルタ重量法との比較を行った。なお、試験車は副室燃焼方式のディーゼルエンジンを搭載した RV 車である。おもな仕様を表2に示す。

Items	Specifications
Engine Type	IDI diesel; with inter-cooler and turbocharger
EGR	With
Gearshift	4 AT
Engine displacement	1.998[L]
Vehicle weight	1500[kg]
Product date	1994[year]
Running history	92,000[km]

表2 試験車のおもな仕様

まず、テスト車両をシャシダイナモメータ上で、40、60、70、80km/hと一定速度で走行させ、フィルタ重量法によってPM重量を測定する。同時にMEXA-130Sでもスモーク濃度を計測する。ここで、フィルタ重量法によって得られるPM重量( $M_{PM}$ )とMEXA-130Sから得られる吸光係数 $k$ との間には式(4)の関係が成り立つと推定される。

$$M_{PM} = \rho_{PM} \cdot C \cdot k \cdot Q_{ex} \quad (4)$$

$M_{PM}$  : PMの重量 [g/L]

$\rho_{PM}$  : PMの密度 [g/L]

$k$  : 吸光係数 [ $m^{-1}$ ]

$C$  : 変換係数 [m]

$Q_{ex}$  : 排ガスの流量 [L/s]

図5に試験結果を示す。スモーク濃度とPM重量の間には高い相関関係が認められる。

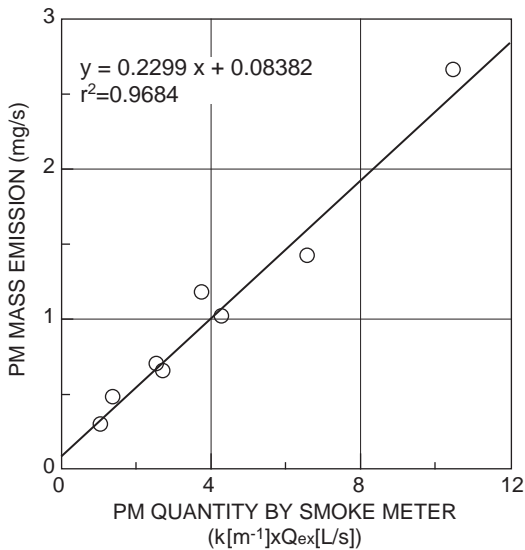


図5 スモーク濃度とPM排出重量の関係

### 3.3 10・15モード走行試験

スモークの排出量は走行状態によって大きく変動する。そこで、排ガス試験の標準的なモードである10・15モードを用いてスモーク濃度の変化を他の排ガス成分とともに測定した。

図6に車速、HC、COそしてPM排出量のタイムチャートを示す。PM排出量はスモーク濃度を図5の近似線により換算して求めた。PMの排出は車速変化に対応して増減しており、そのパターンは他成分ともよく似ている。このようにほぼ予想される排出パターンが観察されることにより、MEXA-130SがリアルタイムのPM評価装置として有効であることが裏付けられる。

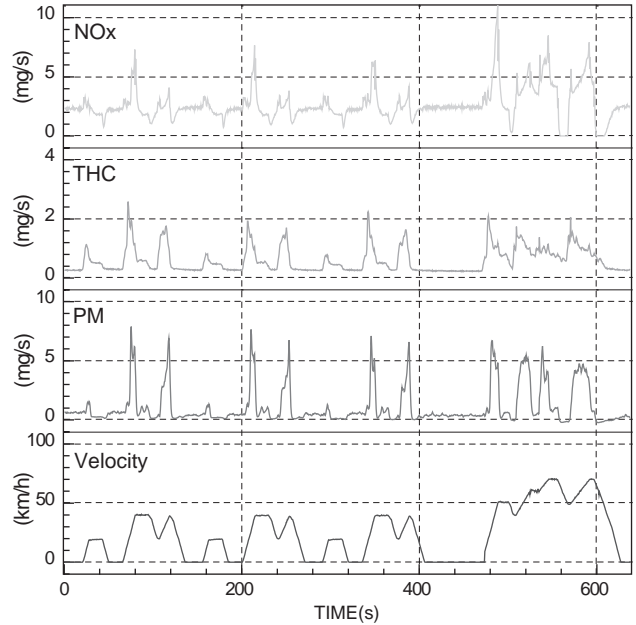


図6 10・15モード走行時の排出パターン

### 3.4 市街地走行試験

試験車に小型分析装置を搭載し、実際に市街地を走行しながら排ガスを測定・評価する方法(on-board measurement)が注目されている。筆者らは、HC、CO、NOxの試験<sup>2)</sup>に引き続き、MEXA-130Sを使ってPMのオンボード計測の可能性を検討した。

試験車両にMEXA-130Sと、ポータブルタイプの全炭化水素分析計(MEXA-1170HFID)、窒素酸化物分析計(MEXA-120NOx)を搭載し、京都市近郊を走行して排ガスを測定した。また、センサ、各種温度・湿度センサの出力も同時に記録した。

結果を、図7に示す。MEXA-130Sで求めたPM排出量はTHC、NOx、空気過剰率、燃料消費率と同様に急激な加速・減速に対応したパターンを描いて変化している。このように、MEXA-130Sを使ったPM計測はシャシダイナモのみではなく、オンボード計測においても可能性があることが示された。

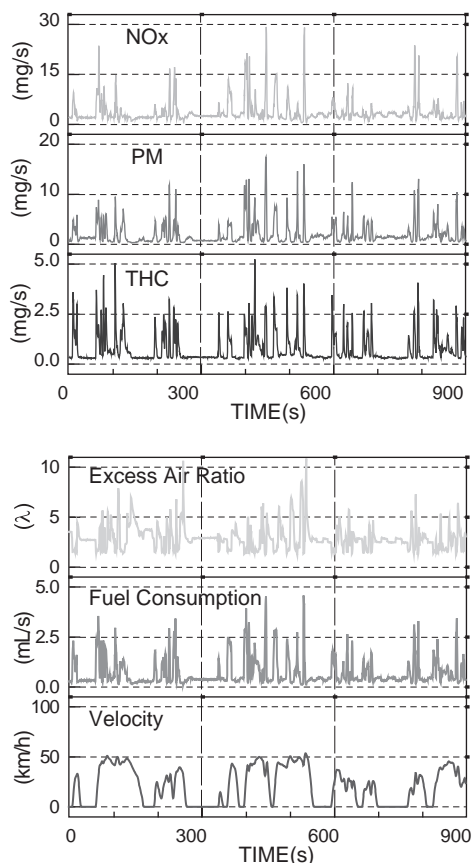


図7 市街地走行時の排出パターン

## 4 おわりに

よりクリーンで効率のよいディーゼルエンジンの研究開発が日夜続けられている。その一方で、使用過程車から排出されるスモークを正しく把握し、対策することもまた重要である。MEXA-130Sは、自動車整備工場や研究開発時の高感度かつ手軽なスモーク測定器として、また、将来は車検用としても使うことができる測定器として製品化した。本機はその任を十分果たすものであると確信している。

一方、複雑な挙動をもつスモークを正確、安定に測るためには、より広範なアプローチもまた重要である。排ガス計測機器の研究開発に永年の実績をもつホリバが、今回、光透過式のスモークメータを製品化したことにより、お客様のお役に立てる機会が一層広がったものと期待している。その一つが、フィルタ重量法との補完であり、さらにオンボード計測の可能性である。本稿を機会にお客様との交流を深め、さらなる計測機器の開発・製品化に努めていきたい。

## 参考文献

- 1) ECE NO.24, ISO/FDIS 11614:1999 (E) FINAL DRAFT INTERNATIONAL STANDARD
- 2) COMODIA 2001, July 1 ~ 4, 2001, Nagoya  
N.Kihara et.al., Real-time On-board measurement of Mass Emission of NOx, THC and particulate Matters from Diesel Vehicles
- 3) SAE technical paper series 2000-01-1141  
N.Kihara et.al., Real-time On-board measurement of Mass Emission of NOx, Fuel Consumption, Road Load, and Engine Output for Diesel Vehicles
- 4) 木原信隆 他, 車載型分析システムによるNOx排出量のリアルタイム計測, 社団法人自動車技術会 学術講演会前刷集 NO.23-00



木原 信隆

**Nobutaka KIHARA**

エンジン計測開発部  
チームリーダー