

# Feature Article

特集論文

## 50周年記念製品

# 車載型エンジン排ガス計測システム OBS-1000シリーズ

木原 信隆



【開発に携わったメンバー】

右上

Hans Stix (HORIBA EUROPE GmbH)

後列左から

恩田 義久, 中村 博司, 亦野 利彦, 渡部 功司

前列左から

田村 敦, 木原 信隆, 青木 伸太郎

環境問題の重要性への認識が高まる中、エンジン排ガスによる環境負荷も大きな関心を集めている。エンジン排ガス規制の強化はもちろん、従来の規制対応よりも一歩進んだ研究をという動きも出てきた。実路走行状態における自動車排ガスの実態調査がその一例として挙げられる。HORIBAでは、この分野への応用を目的として、車載型排ガス計測システムOBS-1000シリーズをリリースした。OBS-1000シリーズはガス分析計・流量計・各種センサ類とデータロガーから構成され、実路走行中のCO・CO<sub>2</sub>・HC・NOx濃度や空燃比の計測・記録、各成分の排出質量や燃料消費の演算などが可能である。本稿では、このシステムの概要を紹介する。

## はじめに

現在、エンジン排ガス計測は、専用設備のある実験室内で行うのが一般的である。条件を統一する必要のある新車認証試験などでは、このような試験設備は欠かせない。その一方、実際の路上走行時の条件を忠実に再現することは、実験室内では非常に困難である。そのため、主要道路周辺でみられるNOxの局所汚染の解析な

ど、実路上での排出状況評価には十分な情報を提供できていないのも事実である。このような事情から、最近、一般道路走行中の車両からの排ガス実態調査が注目を集めている<sup>[1][5]</sup>。HORIBA 50周年記念製品のひとつであるOBS-1000シリーズは、このような実路走行状態での排ガス評価を目的とした車載型排ガス計測システムである<sup>[6][10]</sup>。本稿では、そのシステム構成と、実際の走行試験例について紹介する。

## システムの概要

### システム構成と採取データ

図1、図2に、OBS-1000シリーズのシステム構成と外観図を示す。システムの中核となるのはガス濃度分析計で、CO・CO<sub>2</sub>・HC計測には非分散赤外分光(NDIR)法分析計MEXA-1170HNDIRを使用している。また、NO<sub>x</sub>・空燃比(A/F)計測には、ジルコニア(ZrO<sub>2</sub>)式分析計MEXA-720NO<sub>x</sub>を用いる<sup>[11][13]</sup>。いずれの分析計と組み合わせるかにより、OBS-1100(CO・CO<sub>2</sub>・HC測定)・OBS-1200(NO<sub>x</sub>・A/F測定)・OBS-1300(全成分測定)のバリエーションが選択可能である。また、各型式とも、ピトー管方式を応用した排ガス流量計を搭載している。これらについては後述する。

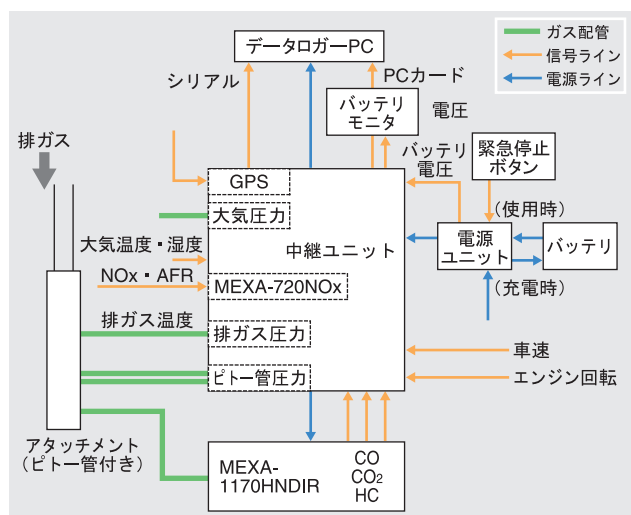


図1 OBS-1000シリーズの構成概念図



図2 システムの主要コンポーネント外観

MEXA-1170HNDIR用のサンプリングポート、MEXA-720NO<sub>x</sub>のZrO<sub>2</sub>センサ、排ガス流量測定用のピトー管は専用アタッチメントとして一体化され、試験車両の排気管にそのまま取り付けられることができる。このアタッチメントには、排ガス圧力測定用ポートと排ガス温度計も設けられている。

この他、システムには、周囲環境モニタ用の大気圧力センサ・大気湿度センサが含まれる。更に、GPS位置情報の受信アンテナも備えており、試験車両の現在位置情報（緯度・経度等）も取得可能となっている。これらの分析計・センサ類からの時系列データは、まず中継ユニットに入力され、そこからノート型パソコンへ送信される。このパソコンにはOBS-1000シリーズ専用のデータロガーソフトウェアがインストールされており、入力データの画面表示・記録を行う。また、車両からの車速・エンジン回転数の信号は、外部入力として中継ユニットに入力され、他項目と同様にパソコンに取り込まれる。

システム全体の電源は、専用に搭載する自動車用バッテリーから供給される。システムをより使いやすいものとするため、バッテリーの残量モニタや商用電源からの充電機能も備えている。

### ガス分析計

シリーズに採用しているMEXA-1170HNDIRは、加熱型の分析計で、車載計測用途を前提として新たに開発したものである。各測定成分(CO・CO<sub>2</sub>・HC)の検出には、振動に強い焦電型赤外線センサを使用している。MEXA-1170HNDIR用のサンプルはアタッチメントの専用ポートから採取し、除湿装置は介さずに加熱配管で分析計へ直接導く。そのため測定成分ではないH<sub>2</sub>O用の検出器も追加されており、サンプル中のH<sub>2</sub>Oによる指示影響を補正している。一方、MEXA-720NO<sub>x</sub>は、センサ部分を排気管に直接設置する直挿形で、アンプ部分は中継ユニット内に収納されている。このセンサはNO<sub>x</sub>及びA/Fを同時に計測する。

## ピトー管式流量計

図3に、ピトー管式流量計の模式図を示す。

ピトー管は、通常、風速計として用いられるもので、流れ方向に向けた全圧測定孔と垂直方向の静圧測定孔の差圧からガス流速を求める。本システムでは、管径の決まっているアタッチメント内をガスが流れるため、ピトー管で測定されるガス速度をガス流量に換算することができる。

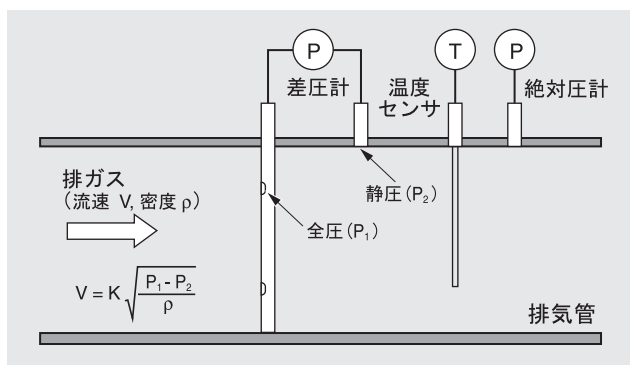


図3 ピトー管式流量計の構成

式(1)に、ピトー管の差圧から流量を算出する方法を示す。

$$Q_{exh}(t) = K \times \sqrt{\frac{P_{exh}(t)}{101.3} \times \frac{293.15}{T_{exh}(t)} \times \frac{\Delta h(t)}{\gamma_{exh}}} \dots\dots\dots(1)$$

- $Q_{exh}(t)$  : 排ガス流量(標準状態換算) [ m<sup>3</sup>/min ]
- $K$  : 比例係数
- $P_{exh}(t)$  : 排ガス圧力 [ kPa ]
- $T_{exh}(t)$  : 排ガス温度 [ K ]
- $h(t)$  : ピトー管の差圧 [ kPa ]
- $\gamma_{exh}$  : 標準状態における排ガス密度 [ g/m<sup>3</sup> ]

比例係数Kはアタッチメントごとに異なる値で、事前にSAO(Smooth Approach Orifice)流量計との比較により決定されている。式(1)の演算はデータロガー・パソコンで行われ、排ガス流量として表示・記録される。

## OBS-1000シリーズの演算機能

OBS-1000シリーズでは、入力データのリアルタイム表示に加え、保存データを用いた以下の演算処理が可能である。

### 排出質量の算出

各分析計の濃度出力(CO・CO<sub>2</sub>・HC・NO<sub>x</sub>)は、ピトー管による流量計測値を用いて排出質量に換算できる。式(2)に、単位時間あたりの排出量、また、式(3)に、走行距離あたりの排出量の計算式を示す。なお、本システムではサンプルを除湿しないため、除湿装置での水分濃度変化を考慮した補正計算は行わない。

$$M_x(t) = C_x(t) \times 10^{-6} \times \frac{Q_{exh}(t)}{60} \times \gamma_x \dots\dots\dots(2)$$

$$M_{x\_total} = \Sigma M_x(t) \times \frac{1}{L} \dots\dots\dots(3)$$

- $M_x(t)$  : 成分xの単位時間あたりの排出質量 [ g/s ]
- $C_x(t)$  : 成分xの排出濃度 [ ppm ]
- $Q_{exh}(t)$  : 排ガス流量(標準状態換算) [ m<sup>3</sup>/min ]
- $\gamma_x$  : 成分xの標準状態における密度 [ g/m<sup>3</sup> ]
- $M_{x\_total}$  : 成分xの走行距離あたりの排出質量 [ g/km ]
- $L$  : 車両走行距離 [ km ]

また、OBS-1000シリーズではHCをNDIR法で測定しているため、その濃度はn-ヘキサン基準(ヘキサン換算濃度, ppmC6単位)で出力される。一方、実験室用機器では水素炎イオン化(FID)法による全炭化水素(THC, ppmC単位)濃度が使用されることが多い。そこで、本システムでは任意に設定できる係数を設け、NDIRによるHC出力をTHC相当の出力に換算できるようにしている。

### 燃料消費の算出

MEXA-720NO<sub>x</sub>で測定したA/F、またはカーボンバランス法で算出するA/Fを用いて、燃料消費率及び燃費の算出が可能である。式(4)、式(5)に、この計算に用いる計算式を示す。

$$Fc(t) = \frac{Q_{exh}(t)}{60} \times \gamma_{exh} \times \frac{1}{(A/F) + 1} \dots\dots\dots(4)$$

$$Fe = \frac{1}{\Sigma Fc(t)} \times \rho \times L \dots\dots\dots(5)$$

- $Fc(t)$  : 燃料消費率 [ g/s ]
- $Q_{exh}(t)$  : 排ガス流量(標準状態換算) [ m<sup>3</sup>/min ]
- $\gamma_{exh}$  : 標準状態における排ガス密度 [ g/m<sup>3</sup> ]
- A/F : 空燃比
- Fe : 燃費 [ km/L ]
- $\rho$  : 燃料密度 [ g/L ]
- L : 車両走行距離 [ km ]

## 実路走行試験

次に、車載型計測システムを用いて実際に実路走行を行った例を紹介する。

## エコ・ドライブEKIDEN

HORIBAでは、2003年1月から9月にかけて、OBS-1000シリーズによる“エコ・ドライブEKIDEN”を行った。日・米・欧それぞれの試験車両に同じシステムを搭載し、ドライバーを交代しながら連続した実路走行データを採取していくという、創立50周年を記念した試みである（図4）。

図5に、走行経路を示す。



図4 エコ・ドライブEKIDEN最終ゴール（2003年9月29日京都本社にて）

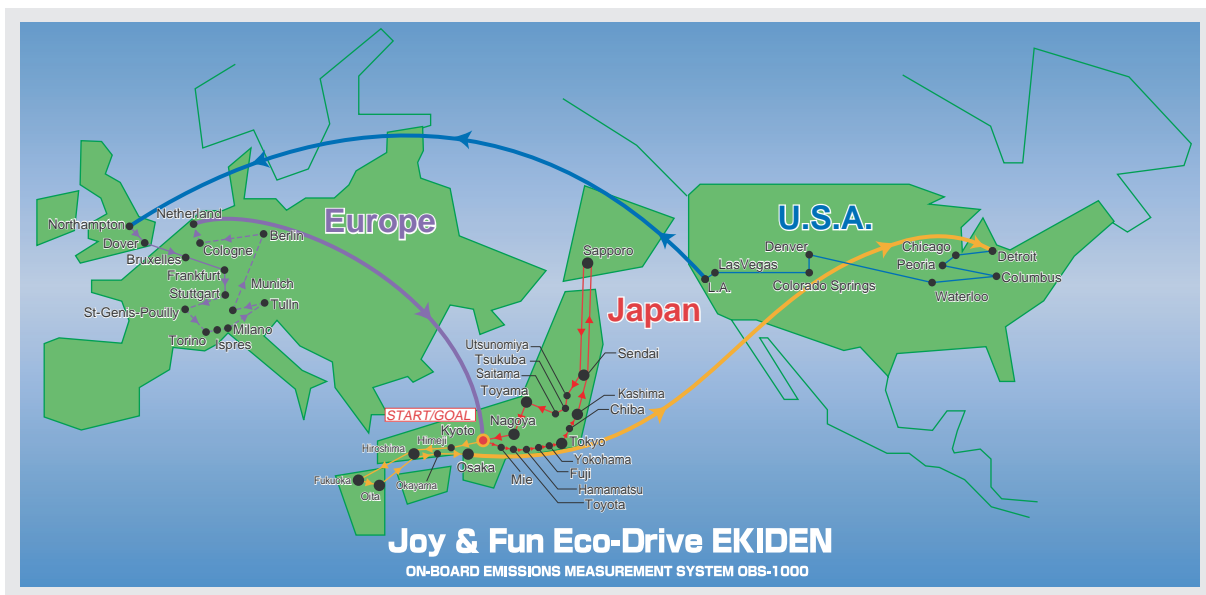


図5 エコ・ドライブ EKIDENの走行経路

コースは、京都本社を起点に九州・四国を含む西日本の走行データを採取した後、米国デトロイト・カリフォルニア間を横断し、更に英国・ノーザンプトンから欧州7カ国をまわる。その後、再び京都から東日本・北海道を走破し、最後に京都へ戻るといったものであった。図6に、各地域で用いた試験車両を示す。

(a) 日本国内 (ハイブリッド・ガソリン車, 1.5 L)



(b) 米国 (ディーゼル車, 4.0 L)



(c) 欧州 (ディーゼル車, 2.0 L)



図6 各地域の試験車両

### エコ・ドライブEKIDENでの走行結果例

図7に、エコ・ドライブEKIDENで得られた走行結果(速度・燃費・CO<sub>2</sub>排出量)の一例を示す。データを採取したのは、愛媛県佐田岬半島のフェリー乗り場から松山市街の間である。道路状況は、A区間は交通量の少ない山道、B区間は同じく交通量の少ない海岸沿いの平坦路、C区間は交通量・信号の多い市街地、D区間は交通量の多い県道の峠道、E区間は急な峠道である。図7では、速度・燃費・CO<sub>2</sub>排出量とも、30秒ごとの平均値(CO<sub>2</sub>排出量は積算値)が走行経路に沿ってプロットされている。

各チャートを道路状況と合わせて比較すると、まず、B区間では速度・燃費・CO<sub>2</sub>排出量とも非常に安定していたことがわかる。これは、この区間が平坦でかつ停車する機会もあまりなく、定常に近い状態で走行できていたことを反映している。次に、C区間で平均速度が落ちているのは、交通量が多い上に信号停車も多かったためである。また、同区間の燃費が非常によく、更にCO<sub>2</sub>排出量も少ないのは、このような運転状態では電気駆動が多用されたことを示している。更に、A・D・Eのような山道では各データともばらつきが大きく、道路の勾配の度合いが走行状態やCO<sub>2</sub>排出量に影響したことがわかる。

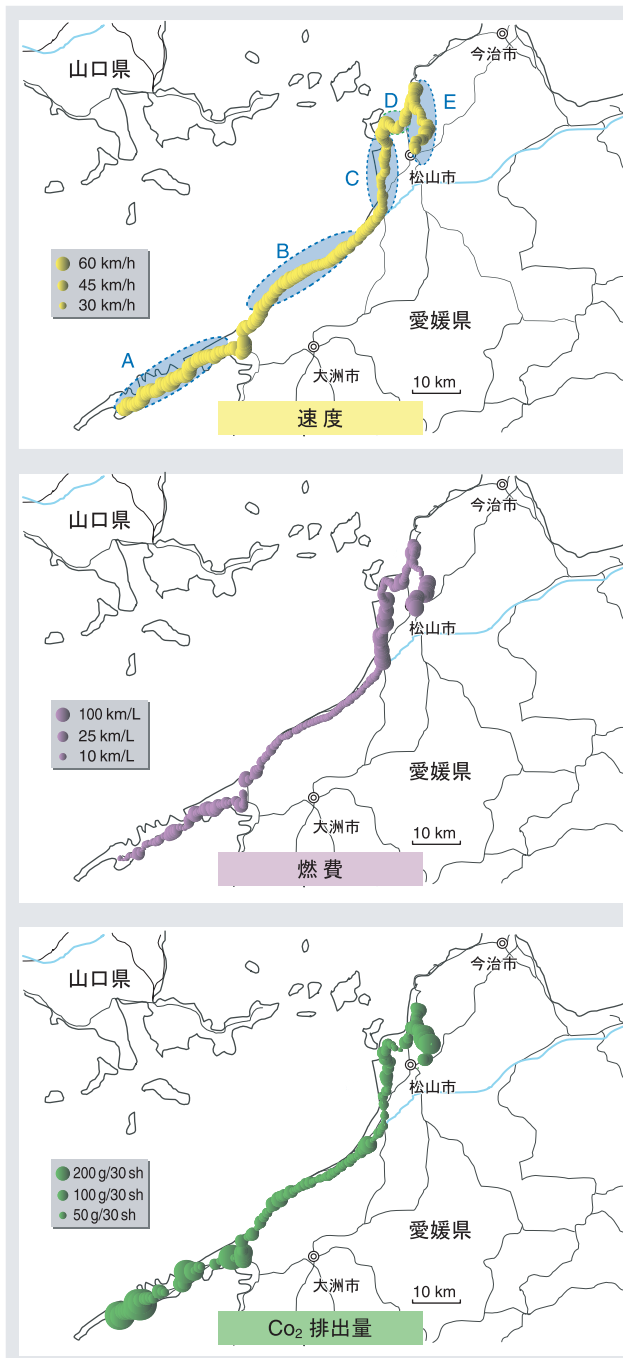


図7 エコ・ドライブEKIDENでの実路走行データ

## おわりに

以上本稿では、車載型エンジン排ガス計測システム OBS-1000シリーズを紹介した。OBS-1000シリーズを使用すれば、実走行状態、すなわちリアルワールドでの排ガス計測が可能である。乗用車・トラックなどの実路排ガス試験はもちろん、汎用エンジン、オフロードエンジンの環境負荷の評価など、多くの分野でこのシステムが活用され、エンジン開発や環境保全に有用な情報を提供できることを期待している。またこの製品が起爆剤となり、世界のOn-Board排ガス計測への更なる関心やより実用化レベルでの研究開発用途や規制への適用といったニーズが高まってきている。今後50周年記念製品に相応しく、次期製品開発に向けて従事していきたいと考えている。

最後に、この製品開発に携わったメンバーやサポートしてくれたHAD(アメリカ)、HE(ヨーロッパ)のメンバーに対して深く敬意を表する。

## 参考文献

- [ 1 ] J. J. Jetter, S. Maeshiro, S. Hatcho, R. E. Klebba, Development of an On-Board Analyzer for Use on Advanced Low Emission Vehicles, SAE Technical paper 2000-01-1140( 2000 )
- [ 2 ] N. Kihara, T. Tsukamoto, K. Matsumoto, K. Ishida, M. Kon, T. Murase, Real-time On-board Measurement of Mass Emission of NO<sub>x</sub>, Fuel Consumption, Road Load, and Engine Output for Diesel Vehicles, SAE Technical paper 2000-01-1141( 2000 )
- [ 3 ] T. J. Truex, J. Collins, J. J. Jetter, B. Knight, T. Hayashi, N. Kishi, Measurement of Ambient Roadway and Vehicle Exhaust Emission - An Assessment of Instrument Capability and Initial On-Road Test Results with an Advanced Low Emission Vehicle, SAE Technical paper 2000-01-1142( 2000 )
- [ 4 ] 木原ほか, 車載型分析システムによるNO<sub>x</sub>排出量のリアルタイム計測, 自動車技術会2000年春季大会学術講演前刷集, No.20005192( 2000 )
- [ 5 ] N. Kihara, T. Tsukamoto, Real-time On-board Measurement of Mass Emission of NO<sub>x</sub>, THC and Particulate Matter from Diesel vehicles, COMMEDIA 2001( 2001 )
- [ 6 ] H. Nakamura, N. Kihara, M. Adachi, K. Ishida, Development of a Wet-based NDIR and Its Application to On-board Emission Measurement System, SAE Technical paper 2002-01-0612( 2002 )
- [ 7 ] 中村ほか, 加熱型NDIRを用いた車載型計測装置の開発, 自動車技術会2002年春季大会学術講演前刷集, No.20025258( 2002 )
- [ 8 ] H. Nakamura, N. Kihara, M. Adachi, S. Nakamura, K. Ishida, Development of hydrocarbon analyzer using heated-NDIR method and its application to on-board mass emission measurement system, JSAE Review 24, 127-133( 2003 )
- [ 9 ] 中村博司, 木原信隆, 車載型排ガス計測システム OBS-1000の開発, Readout , 70-75( 2003 )
- [ 10 ] 青木伸太郎, 中村博司, 木原信隆, 足立正之, 車載型エンジン排ガス計測システム, LEMA 473, 19-25 ( 2003 )
- [ 11 ] N. Kato, K. Nakagaki, N. Ina, Thick Film ZrO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> Sensor, SAE Technical paper 960334( 1996 )
- [ 12 ] N. Kato, Y. Hamada, H. Kurachi, Performance of Thick Film ZrO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> Sensor on Diesel and Gasoline Engines, SAE Technical paper 970858( 1997 )
- [ 13 ] N. Kato, H. Kurachi, Y. Hamada, Thick Film ZrO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> Sensor for the Measurement of Low NO<sub>x</sub> Concentration, SAE Technical paper 980170( 1998 )