

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 量から質へ エンジン排ガス分析 September 1995 ■ No.11

エンジン排ガス測定装置 MEXA-4300FT

Engine Emission Gas Analyzer MEXA-4300FT

井上 香・山岸 豊

Kaori INOUE, Yutaka YAMAGISHI

(Pages 51-55)

株式会社 堀場製作所

エンジン排ガス測定装置 MEXA-4300FT

Engine Emission Gas Analyzer MEXA-4300FT

井上 香・山岸 豊

Kaori INOUE, Yutaka YAMAGISHI

【要旨】

エンジン排ガス測定装置MEXA-4300FTは、FTIR法によるガス分析計(MEXA-4000FT)と、水素炎イオン化法および磁気圧法による分析計とを組み合わせたものである。この装置では、MEXA-4000FTでのこれまでの測定成分に加え、新たに全炭化水素および酸素濃度も同時に測定可能である。各分析計間の応答差は補正されており、さらに、各分析計の測定値より算出した非メタン炭化水素濃度および空燃比もリアルタイム出力される。本稿では、このMEXA-4300FTの構成について述べる。

Abstract

The Engine Emission Gas Analyzer MEXA-4300FT combines the MEXA-4000FT that utilizes FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analyzer, a FID (Flame Ionization Detection) analyzer and a MPD (Magnetic Pressure Detection) analyzer. In addition to the measurement components already supported by the MEXA-4000FT, the MEXA-4300FT is also capable of simultaneously measuring THC (Total Hydrocarbon) and oxygen concentration. The difference in response between analyzers is compensated, and the NHMC (Non-Methane Hydrocarbon) concentration and the air/fuel ratio calculated from the measurement values of each of the analyzers are also output in real-time. This paper describes the configuration of the MEXA-4300FT.

1. はじめに

自動車等のエンジン排ガスには非常に多くの化合物が含まれている。そのうち、一般的に濃度測定がおこなわれる主要な成分としては、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素酸化物(NOx)、全炭化水素(THC)*1、酸素があげられる。測定の目的は国内外の排出ガス規制への対応、燃料消費量や空燃比(A/F)*2の算出などで、それぞれ専用の測定装置が開発されている¹⁾。しかし、近年、環境への意識が高まるにつれ、ホルムアルデヒド、亜酸化窒素など上記以外の成分の排出挙動も注目されるようになってきた。自動車のエンジンや触媒、燃料の研究開発にあたっては、こ

*1 全炭化水素(Total Hydrocarbon: THC)

エンジン排ガス中に含まれる化合物のうち、炭化水素に分類されるものを総量で表したもの。通常、水素炎イオン化法で測定される値を用いる。単位はppmCなど。

*2 空燃比(A/F)

エンジンに供給される空気と燃料の比率。通常、燃料の平均組成(炭素・水素・酸素の比率)、および排出ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素、酸素、窒素酸化物濃度などから算出する。算出に用いられる式は前提条件によって複数あり、酸素濃度や窒素酸化物濃度を用いない場合も多い。

れら比較的低濃度の成分の分析も不可欠となっている。

フーリエ変換赤外分光法 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) によるエンジン排ガス測定装置は、そのような成分の測定に用いられる分析計の一つである。FTIR法によるガス分析は排ガス中の各成分が固有の波長域の赤外光を吸収することを応用しており、1台の分析計で多成分同時連続測定ができることを特徴とする²⁶⁾。FTIR法による分析計では一酸化炭素、二酸化炭素、一酸化窒素なども測定対象となるため、全炭化水素計および酸素計と併用すれば前述した従来の主要測定成分すべてに対応できる。ただし、このように成分ごとに異なる分析計を用いると、試料ガスのサンプリング法や各分析計の応答速度の違い、あるいは測定値の出力形式の違いなどが問題になる場合がある。そこで、著者らは、FTIR法排ガス分析計と他の方法による分析計を組み合わせ、これまでのFTIR法の測定成分に加えて全炭化水素および酸素濃度も出力可能な装置を開発した。

2. MEXA-4300FTの構成

2.1 装置架台

本装置は、FTIR法エンジン排ガス測定装置MEXA-4000FTを基本とし、全炭化水素計FIA-125 (水素炎イオン化法^{*3)}、酸素計MPA-120 (磁気圧法^{*4)}を組み合わせている。MEXA-4000FTについては本誌既刊でも紹介しており⁹⁾、またFIA、MPAとも一般的な手法¹⁾による分析計であるため、本稿では分析部の詳細については省略する。

図1に、装置の外観図を示す。装置は、MEXA-4000FTのサンプリング架台 (FTIR-S架台) と本体架台 (FTIR-C架台)、およびFIA、MPA分析部 (以下、FMA分析部という) を搭載したFMA架台の3本の独立した架台から構成される。FMA架台にはFMAのサンプリング部、およびそれを制御するフローコントローラも収納されている。

FTIR-C架台はFTIR分析部とメインコンピュータ、操作・表示部などからなり、装置全体の制御、FTIR分析部の信号処理および多成分濃度演算、FMA分析部の指示取り込みをおこなっている。また、外部ホストコンピュータとの通信もこのメインコンピュータよりおこなう。

*3 水素炎イオン化法

水素炎中で有機化合物を燃焼させ、このとき生成されるイオンの量を電極で検出する分析法。試料中の炭素の量にほぼ比例した出力が得られる。

*4 磁気圧法

酸素が他のガス成分に比べて高い磁化率を示すことを利用する酸素分析法の一つで、磁界付近の酸素濃度変化を圧力変化として検出する。

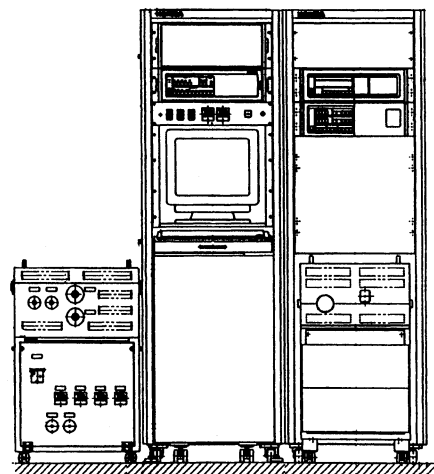


図1 MEXA-4300FTの外観図
External view of MEXA-4300FT

2.2 架台の配置とガスフロー

図2 (A) (B)に、各架台の配置とガスフローの概念図を示す。このうち、(A)に示す構成では、FTIR法では試料を非破壊で測定できることを利用し、FTIR分析部からの排気の一部をFMA分析部の試料としている。このフローの主な利点としては、①実際にFTIRで測定した試料をFMAで分析するため両者のサンプリング条件の違いによる指示差が出にくくなる、②FTIRの分析部ガスセルがバッファタンクの役割をすることで各分析部の応答速度の差が小さくなるの2点があげられる。

また、FIAは加熱タイプで、温度はFTIRのサンプリング部、分析部と同じく113℃である。この113℃という温度は、排ガス中のメタノール測定時の試料処理温度として米国での排ガス測定法に定められている。一方、一般にディーゼル排ガス中の全炭化水素を測定する際、試料はさらに高温の191℃で取り扱われる。これはディーゼル排ガスに多く含まれる高沸点炭化水素の液化を避けるためである。本装置でFIAの温度をディーゼル対応(191℃)とする場合、113℃のFTIR分析部とは独立に試料を採取する。(B)にその構成を示す。

なお、(A) (B)のいずれの構成においてもFTIR分析部、FIA分析部は十分高温であるため、試料は除湿されることなく、排出される水蒸気をすべて含んだままで測定される。通常のMPAでは試料の水分濃度を5℃飽和程度まで下げているが、本装置では他分析部と測定条件をそろえるため70℃に加熱し、除湿せずに酸素濃度を測定している。

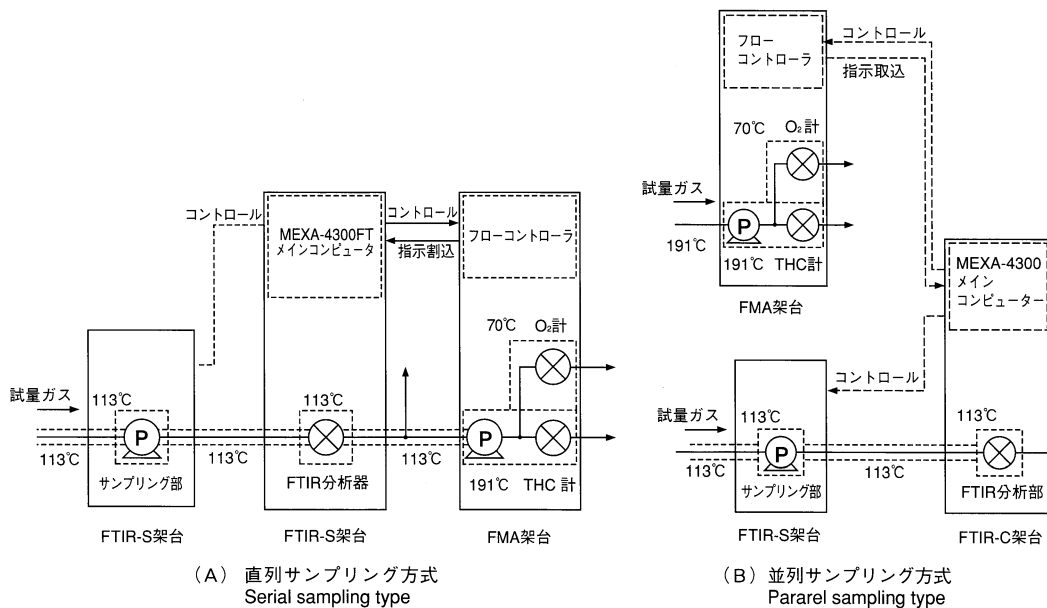


図2 MEXA-4300FTの装置構成
System configuration of MEXA-4300FT

2.3 測定成分

*5 非メタン炭化水素(Non-Methane Hydrocarbon: NMHC)
メタン以外の炭化水素の量。全炭化水素量からメタンを差し引いて求める。メタン濃度を分析するには、通常、メタン以外の炭化水素を触媒で燃焼させる、あるいはガスクロマトグラフによりメタンだけを分離する方法を用いる。

表1に、MEXA-4300FTの測定成分と濃度範囲(レンジ)を示す。FTIR分析部の測定成分はMEXA-4000FTと同様で、オプションも含めて3通りの成分セットとなっている。さらに、以下に説明するように、MEXA-4300FTではFMA分析部の指示、および各分析部の指示を用いて算出した非メタン炭化水素(NMHC)*5、空燃比の値も同時に出力される。

測定成分	測定範囲(レンジ)		
	標準*	CNG(オプション)	LPG(オプション)
一酸化炭素 CO	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm 0- 2 % 0- 10 %	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm 0- 2 % 0- 10 %	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm 0- 2 % 0- 10 %
二酸化炭素 CO2	0- 1 % 0- 5 % 0- 20 %	0- 1 % 0- 5 % 0- 20 %	0- 1 % 0- 5 % 0- 20 %
一酸化窒素 NO	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm
二酸化窒素 NO ₂	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
窒酸化窒素 N ₂ O	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
水 H ₂ O	0- 24 %	0- 24 %	0- 24 %
アンモニア NH ₃	0- 500 ppm	0- 500 ppm	0- 500 ppm
二酸化硫黄 SO ₂	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
ホルムアルデヒド HCHO	0- 500 ppm	0- 500 ppm	0- 500 ppm
アセトアルデヒド CH ₃ CHO	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
メタノール CH ₃ CH ₄	0- 500 ppm 0-2000 ppm	—	—
アセトン CH ₃ COCH ₃	0- 100 ppm	—	—
メチルシロキシアルキル (CH ₃) ₃ COCH ₃	0- 200 ppm	—	—
蟻酸 HCOOH	0- 100 ppm	0- 100 ppm	0- 100 ppm
メタン CH ₄	0- 500 ppm	0- 500 ppm 0-2000 ppm 0- 1 %	0- 500 ppm
エチレン C ₂ H ₄	0- 500 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
エタン C ₂ H ₆	0- 200 ppm	0- 500 ppm	0- 200 ppm
プロピレン C ₃ H ₆	0- 200 ppm	0- 100 ppm	0- 200 ppm
プロパン C ₃ H ₈	—	0- 200 ppm	0- 500 ppm
1,3-ブタジエン 1,3-C ₄ H ₆	0- 200 ppm	—	—
イソブチレン iso-C ₄ H ₈	0- 200 ppm	—	—
n-ブタン n-C ₄ H ₁₀	—	0- 100 ppm	0- 100 ppm
イソブタン iso-C ₄ H ₁₀	—	0- 100 ppm	0- 100 ppm
ベンゼン C ₆ H ₆	0- 500 ppm	—	—
トルエン C ₇ H ₈	0- 500 ppm	—	—
(NO+NO ₂)	加算値	加算値	加算値
(全炭化水素 THC)	(FMAより読み込み)		
(比メタン炭化水素 NMHC)	(FTIR,FMAの指示より算出)		
(酸素 O ₂)	(FMAより読み込み)		
(空燃比 A/F)	(FTIR,FMAの指示より算出)		

*標準セット-ガソリン・ディーゼル・メタノール車用

表1 MEXA-4300FTの測定成分と測定範囲(レンジ)
Measurement components and range of MEXA-4300FT

*6 デッドタイム(Td)

分析試料採取点で試料濃度が変化してから、実際に分析計指示が変化し始めるまでの遅れ時間。主に、試料採取点から分析部までの配管長・内径、さらに時間あたりの試料流量によって規定される。なお、FTIRガス分析計の場合、濃度演算処理時間が遅れの要因となる。

*7 90%応答速度(T₉₀)

試料濃度が十分短い時間内に0から100まで変化した場合に、分析計が応答し始めてから90%まで達するのに要する時間で、応答の鈍りにあたる。応答し始めるまでのデッドタイム(Td)は含まない。試料採取点からの配管および分析部セルの容積、時間あたりの試料流量の影響が大きい。また、ノイズを減らす目的で、電氣的あるいはその後の演算処理で故意に鈍らせる場合もある。

(1) FMA分析部からのデータ取り込み

本装置のFTIR分析部の濃度出力は1秒間隔である。一方、FMA分析部から出力されてくる濃度値の更新間隔は200ミリ秒で、そのままでは出力間隔が異なる。さらに、通常、デッドタイム(Td)*6や90%応答速度(T₉₀)*7にも差があるため、各分析計の指示を単純に取り込むだけでは指示値の比較ができない。そこで、本装置では、各分析計の指示をいったんメインコンピュータ内のバッファに記憶し、お互いのTdの差を補正したうえでFMA指示も1秒ごとに出力するようにしている。また、T₉₀の差が大きい場合は、応答の速い方の分析計の出力を移動平均処理することで調整している。

図3に、プロパンと酸素の混合ガスを流した場合の、各分析部の応答の例を示す。分析部間の応答差をこのように補正することで、FMAから読み込んだ指示値もFTIRの指示値と同じ時間軸で扱えるようになる。

(2) 非メタン炭化水素および空燃比の算出

図4に、本装置で自動車排ガスを希釈せずに測定した場合の出力例を示す。このうち、非メタン炭化水素はFIAで得られる全炭化水素濃度 (ppmC) からFTIRによるメタン濃度を差し引いたものである。なお、FIAのメタンに対する感度はプロパンで校正するのが一般的であるため、FTIRのメタン指示値には係数をかけて相対感度*8分を補正している。空燃比は、FTIRで測定した一酸化炭素、二酸化炭素とFMAの全炭化水素測定値から算出したものである。このとき、一酸化炭素、二酸化炭素などの測定値は、同時に測定した水の濃度値を用いて除湿した状態に換算している。

一般に、空燃比の計算式は一酸化炭素、二酸化炭素を除湿して測定していることを前提としているが、この方法であれば従来と同じ計算式が使用可能で、さらに、試料採取点前で水が結露または再蒸発するような場合にも対応できる。エンジンと試料採取点の間で水が結露すると、採取試料中の水分濃度がエンジン内で実際に発生した濃度より低くなり、また、全体の体積が減少することで一酸化炭素や二酸化炭素の濃度は高くなる。結露していた水が再蒸発するときは、逆に水分濃度が増加し、他成分濃度は減少する。エンジンや車体が冷えた状態からの測定時はこれらの現象がおきやすいが、各成分の濃度測定値を水分量一定の状態に換算することで、空燃比の計算値に与える影響を除くことができる。

なお、エンジン等が十分暖機されている場合、このような換算をおこなわずに直接空燃比を算出しても問題はなく、水の濃度測定値自体を空燃比算出に用いることもできる。また、空燃比の計算式には窒素酸化物、酸素濃度などが必要なものもあるが、それぞれFTIR、MPAの測定値が使用可能である。

3. おわりに

本稿では、FTIR法エンジン排ガス測定装置MEXA-4300FTについて述べた。この装置では測定対象に全炭化水素と酸素が加わったことで、従来の主要測定成分とFTIR法特有の成分の両方、さらに非メタン炭化水素、空燃比の測定にも対応することができる。

このように同時に測定できる成分が増えたことにより、エンジン排ガス成分の排出挙動についてより多く情報が得られると考えられる。この装置の開発によって、エンジンの研究開発に対してFTIR法がこれまで以上に役立てることを期待している。

参考文献

- 1) 塚本ほか, "自動車排気ガス分析装置, 自動車部品一装置と試験機器 '93/94", 内燃機関臨時増刊, Vol.32, No.12, p.215-220 (1993).
- 2) Heller, B., et al, "Performance of a New System for Emission Sampling and Measurement (SESAM)", SAE Paper 900275 (1990).
- 3) Adachi, M., et al, "Automotive Emission Analyses using FTIR Spectrometer", SAE Trans., Vol.101, Section4, p.820-827 (1992).
- 4) 加地ほか, "フーリエ変換赤外分光法を用いた自動車排出ガス分析", Readout, No.6, p.38-43 (1993).
- 5) 井上ほか, "FTIRによる自動車排気ガス測定", 自動車技術, Vol.47, No.3, p.22-27 (1993).
- 6) 井上ほか, "FTIR方式エンジン排気ガス測定装置MEXA-4000FT", Readout, No.9, p.63-69 (1994).

*8 相対感度

各種炭化水素のFIDに対する感度を、特定の化合物を基準にした比率で表したものを、FIDの指示値は試料中の炭素の量におおよそ比例するが、厳密には化合物ごとに多少感度が異なる。排ガス分析ではプロパンなどが基準として用いられる。

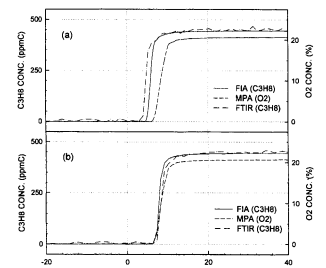


図3 MEXA-4300FTの各分析部の応答 (a:補正なし b:補正後)
Response of MEXA-4300FT analyzers (a: before compensation, b: after compensation)

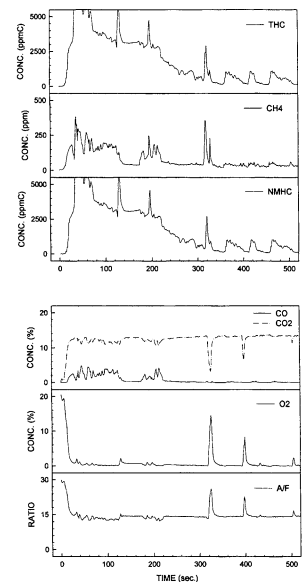
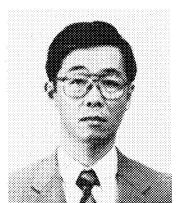


図4 MEXA-4300FTによる自動車排ガス測定例 (ダイレクト測定, LA4, CTモード)
Example of automotive emission gas measurement by MEXA-4300FT (direct sampling, LA4, CT mode)



井上 香
Kaori INOUE

エンジン計測開発部 主任
1987年入社
エンジン排ガス分析装置の
開発・研究



山岸 豊
Yutaka YAMAGISHI

エンジン計測開発部 係長
1972年入社
自動車用ガス分析装置の
開発・研究

