

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-7000シリーズ 2. 分析計の小型化・モジュール化

Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-7000 Series
2. Downsizing and Modular Configuration of
Analyzers

武田賢二・小池日出樹
Kenji TAKEDA, Hideki KOIKE

(Pages 25-30)

株式会社 堀場製作所

エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ 2. 分析計の小型化・モジュール化 Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-7000 Series 2. Downsizing and Modular Configuration of Analyzers

武田 賢二, 小池 日出樹
Kenji TAKEDA, Hideki KOIKE

【要旨】

エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズの開発コンセプト“システムのモジュール化”にもとずき、分析部は濃度測定のための“センサ”と位置付け、排ガス用分析計としては、類をみないほどの小型化(従来比 1/4)を実現した。また“センサ”は小型化と同時に可能な限りメンテナンスフリーになるように考慮した。

本稿では、常温型分析計モジュールの特長とハード技術の開発ポイント及び加熱形分析計の特長について報告する。

Abstract

Based on "the modular configuration of systems," the development concept of the MEXA-7000 series, analyzers are now positioned as sensors for measuring the concentrations of emitted gases, and as emission gas analyzers have undergone unprecedented downsizing (1/4 that of conventional downsizing). Also, "sensors" now can be produced in compact sizes and as maintenance-free as possible.

This paper reports on the features of constant temperature type analyzer modules, and describes the main points in the development of their hardware and the characteristics of heating-type analyzers.

1. 分析計モジュール

エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ(以後MEXA-7000)では、分析計モジュールを濃度測定のためのセンサと位置付け、表示・電源・操作などは省いて、最小限の機能で構成されている(図1)。検出器の出力は、プリアンプでアナログ増幅した後、24ビットのADCでデジタル化され、LANを通じてメインコントローラ(MCU)に送信される。一方、測定条件の設定、検量線作成、干渉補正、目盛校正、結果表示など、全ての測定操作がMCUで処理されるように設計されている。

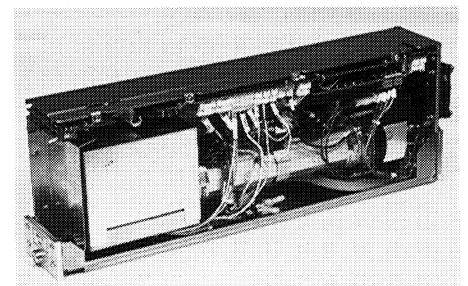


図1 分析計モジュール(AIA-721 CO(L))
Analyzer module

2. 分析計モジュールの特長

2.1 一段調圧方式による小流量化

排ガス測定装置全体の小流量化のためには個々の分析計の流量も減らす必要があります。応答速度を考慮して、分析計の基本フローを見直した。従来は、システム全体の圧力を制御する主圧力調整器と各分析計ごとの圧力調整器を持つ二段調圧方式のため、多くの流量が必要であった。MEXA-7000では主圧力調整器だけの一段調圧方式とし、各分析計モジュールには必要最小限の流量を供給するようにした。図2に分析計ラック(ANR)のガス・フローを示す。

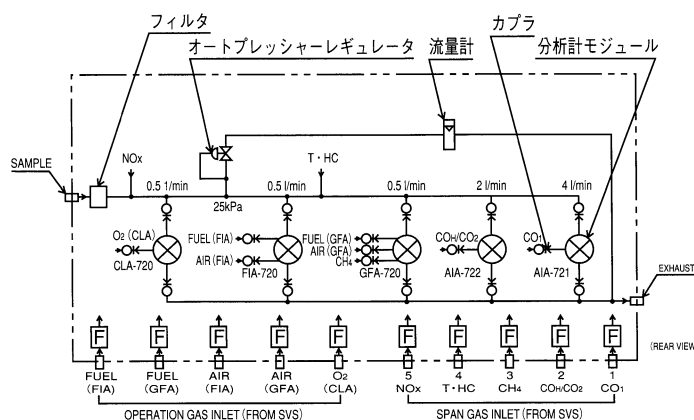


図2 分析計ラック(ANR)のガス・フロー
Gas flow in analyzer rack (ANR)

主圧力調整器には、制御バルブの一次側の圧力センサ出力と設定値とを比較し、常に一定圧力になるように制御バルブを調整する自動調圧器(APR)を採用した。APRは流量の圧力変動が少なく、制御精度や追従性にも優れている。図3にAPRの圧力制御特性を示す。

この結果のサンプル流量は従来比で約1/3に低減できた。

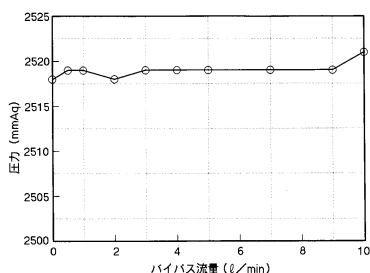


図3 自動調圧器(APR)の圧力制御特性
Pressure control characteristics of automatic pressure regulator (APR)

2.2 プラグイン方式

ANRを小型化し、小流量サンプリングを実現できたのは、分析計モジュールをプラグイン方式にしたことによる。プラグイン方式とは、モジュールの裏面にガス供給用のストップ機構付きカプラ部と電気接続用コネクタ部を設け、ANRへの着脱を前面より簡単に行えるようにした機構である(図4)。

ガス供給用カプラは最大5個設けられている。サンプル導入部①と排気部⑤はANRの共通バスブロックに直接接続されており、配管でのロスは殆どない。②③④は各分析計に個別に供給される操作用のガス供給部となっている。また、電気接続用コネクタ部では、駆動用DC電源と各種信号を接続している。

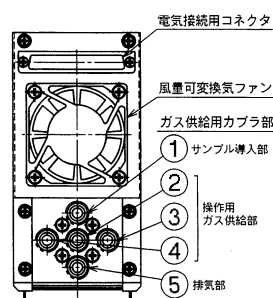


図4 分析モジュールのリアパネル(プラグイン方式)
Rear panel (plug-in type) of analyzer module

2.3 共通部品の小型化とマスフローセンサ

共通部品の調圧器は従来の約1/4, 2方電磁弁は約2/3に小型化した。サーマルフロー方式の質量流量センサ(MFS)を新規に開発した。MFSはガス流量を半導体チップの温度変化として検出するもので、各分析計モジュールの流量をMCUで監視できるようにしている。

3. 各分析計モジュールの仕様と開発ポイント

主な分析計モジュールの仕様を表1に示す。分析計モジュールごとに開発ポイントと特長を以下に紹介する。

型式	AIA-721	AIA-722	CLA-720	FIA-720	MPA-720	GFA-720
測定成分	CO(L)	CO(H)/CO ₂	NO(H)/NO _x	T・HC	O ₂	CH ₄
原理	NDIR	NDIR	CLD	FID	MPA	GC-FID
測定範囲	0-50~2500ppm 0-100~5000ppm	CO 0-0.5~10vo1% CO ₂ 0-0.5~20vo1%	0-10~10000ppm	0-10~20000ppmC	0-1~25vo1%	0-5~2500ppm
再現性	±0.5%FS以内					±1%FS以内
ゼロドリフト (周囲温度 ±2℃ 以内)	±1%FS以内/24hr (100ppm以上) ±2%FS以内/24hr (50ppm以上~ 100ppm未満)	±1%FS以内/24h				±1%FS以内/24h
スバンドリフト (周囲温度 ±2℃ 以内)	±1%FS以内/24h					±2%FS以内/24h
ノイズ	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内 (5vo1%以上) ±1%FS以内 (5vo1%未満)	—
直線性	±1%FSまたは±2%RS以内どちらか小さい方					
応答速度 T ₉₀ ・分析計 入口より	2.0秒以内 (100ppm以上) 3.0秒以内 (50ppm以上~ 100ppm未満)	1.5秒以内	1.5秒以内 (50ppm以上) 2.0秒以内 (50ppm未満)	1.5秒以内	1.5秒以内 (5vo1%以上) 2.0秒以内 (5vo1%未満)	測定周期 15±1秒
試料流量	4ℓ/min	2ℓ/min	0.5ℓ/min			
電源	DC24V					
外形寸法	76(W)×160(H)×400(D)					

表1 主な分析計モジュールと仕様
Main analyzer and specifications

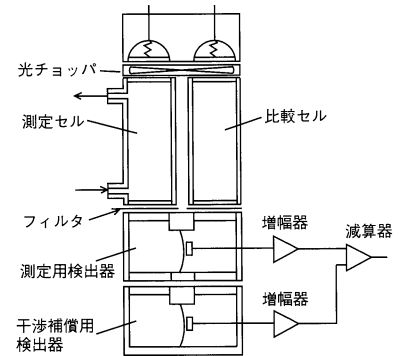


図5 非分散形赤外線ガス分析(NDIR)の動作原理¹⁾
Operating principles of non-dispersive Infra-red (NDIR) analyzer

3.1 CO, CO₂計 : AIA-721, AIA-722

CO, CO₂の分析には分子の赤外線吸収を利用した非分散形赤外線ガス分析計(Non-dispersive Infrared Gas Analyzer:NDIR)が用いられている。図5にCOガス分析計(AIA-721)の基本構成¹⁾を示す。

以下にNDIRの小型化のための設計ポイントを述べる。

(1) 光学部品の小型化とセル長の短縮

分析部を76mm(W)×160mm(H)×400mm(D)のケース内に納めるためには、セル長の短縮、光源など光学部品の小型化などをはからなければならない。感度を落とさずに如何に小型化するかがポイントで、光学調整機構、信号処理方法の変更を含めて根本的に見直した。

表2に主な変更点を、従来機と比較してまとめた。

(2) 保守性の向上

図6に絶対値整流方式と同期整流方式による複光路式NDIRの検出器の出力特性を示す。絶対値整流方式では変曲点(光量変化に不応答領域)を持つため、光軸調整や光量調整などにより、光学的な位相シフトをさせる必要がある。一方、MEXA-7000に採用した同期整流方式は光学的なシフトは原理的には不必要で、分析計の小型化に有利で、保守性も大きく向上した。

項目	AIA-72Xシリーズ	従来機
光源	58(W)×40(H)×30(D)	60(W)×60(H)×32(D)
セル長	200mm	250mm
チョッパ	チョッパモータ	チョッパ,モータ分離型
位置調整	無し(機械公差と信号処理にて対応)	有り(チョッパ部機械式調整)
光量調整	光源印加電圧の調整	透光板による調整
信号処理	同期整流方式	絶対値整流方式

表2 NDIRの主な変更点
Main improvement of NDIR

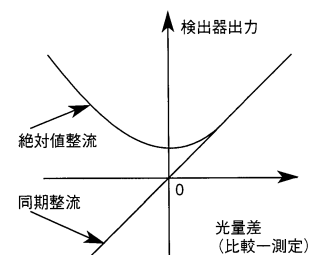


図6 ニューマチック検出器の出力特性¹⁾
Output characteristics of pneumatic detector

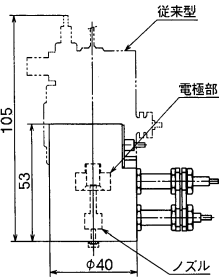
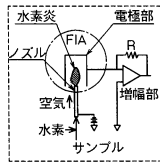


図7 水素炎イオン検出器
Flame ionization detector

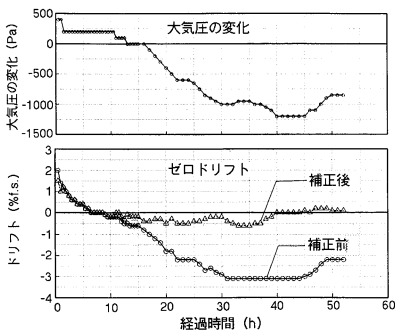


図8 FIA-720の大気圧補正効果
Effect of atmospheric pressure compensation of FIA-720

3.2 THC計: FIA-720

全炭化水素(THC)の分析は、炭化水素を水素炎で燃焼し発生したイオン電流を測定する、いわゆる水素炎イオン化検出法(Flame Ionization Analysis:FIA)で行う。以下にFIAの改良ポイントを述べる。

(1) 検出器の小型化

FIA-720では検出部を従来の1/2の大きさとした(図7)。

検出部の小型化にともなう感度低下は、燃料(H₂/He)および助燃空気の流れを最適化させることにより解決した。なお、10~10,000ppmCの範囲内では十分な直線性が得られている。

(2) 検出器とオペアンプの一体化

一般に検出器の微小信号は、信号ケーブルの振動や電磁誘導による雑音影響を受けやすい。FIA-720では、検出部とプリアンプ基板にオペアンプや駆動用回路を一体化し、さらに温調することにより、雑音やドリフトを大幅に改善した。

(3) 大気圧補正

FIAでは大気圧力の変化がゼロドリフトやスパンドリフトの原因となる。FIA-720, FMA-720では大気圧センサを用いて検出器の大気圧変動をMCUで補正し、長期安定性を向上させた(図8)。なお、大気圧補正は各分析計ごとに行っている。

3.3 O₂計: MPA-720

近年、高精度化するエンジン制御のために、空燃比(A/F)の測定用酸素計の測定範囲が1vol%レンジと高感度化の要望が増えている。磁気圧方式の酸素分析計は、酸素の磁化率が他のガス成分に比べて大きいことを利用したもので、ガスセル部に磁界を作り、サンプル中の酸素が磁極に集まることにより生じる圧力差をコンデンサ・マイクロフォンで検知することを原理としている。このため磁気圧法は、機械振動がマイクロフォンに伝わるとノイズ発生の原因となる欠点がある。

従来当社では、自動車排ガス測定用の酸素計には2極-ダブルセル方式を採用して振動影響を取り除いてきた(図9)。

今回、磁極を1つにし、差動型コンデンサ・マイクロフォンを使ったシングルセル方式の酸素検出器を開発した。これにより、振動影響が少なく、かつ従来と同等以上の感度を持つ酸素分析計を実現した(図10)。

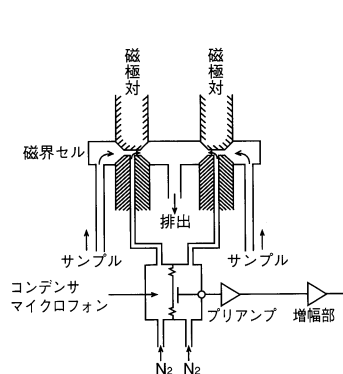


図9 2極-ダブルセル型磁気圧式酸素検出器
Bi-polar double-cell magnetic pressure type oxygen detector

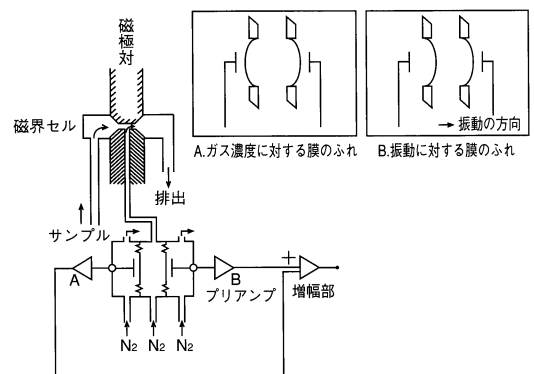


図10 1極-シングルセル型磁気圧式酸素検出器
Uni-polar single-cell magnetic pressure type oxygen detector

3.4 NO_x計: CLA-720, CLA-750

化学発光法(Chemiluminescence Analysis:CLA)は、NOとO₃との化学反応の過程で生成される励起状態にあるNO₂が、基底状態に戻る際に800~2500nmの光を発

光することを利用したものである ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2^*$, $\text{NO}_2^* \rightarrow \text{NO}_2 + \text{h}\nu$)。しかし、CLAでは、ガス密度が高いと発光量が減少し、感度が低下する欠点がある(クエンチング現象)。そこで従来は、低濃度の NO_x 測定には、化学反応槽を0.1kPa程度に減圧して測定していた。しかし、減圧用の真空ポンプの保守を含めて、課題が少なくない。

CLA-720は次のようなハード・ソフト面からの検討を加え、常圧方式で最小濃度レンジ10ppmを達成した。また、ガスタービンエンジン排ガスのように高濃度 NO_x も測れるように、最大濃度レンジ10,000ppmも可能にした。10ppmレンジでの出力例を図11に示す。

なお、低排出ガス車(LEV)のようにさらに低い濃度のガスを計測するために減圧方式の分析計(最小濃度レンジ1ppm)も用意している。

(1) 常圧式CLDの高感度化

高感度化のポイントとしては以下3点が挙げられる。

- ① サンプル流量の増加
- ② 集光効率の向上
- ③ 反応槽の構造の最適化

(2) ノイズおよびドリフトの低減

ノイズおよびドリフトの低減に対して以下3点を改良した。

- ① フォトダイオードの冷却による熱雑音の低減
- ② 出力信号の時間分別処理によるスパイク状ノイズの低減
- ③ オペアンプの温調によるドリフト防止

(3) NO_x コンバータの改良

CLAでは排ガス中のすべての NO_x (主として NO_2)をいったん NO に変換するためのコンバータが必須となる。 NO_2 はコンバータ中の炭素と反応して NO に変換された後に、 O_3 と反応して発光する($\text{NO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{NO} + \text{CO}$)。

今回、 NO_x コンバータを見直して、動作温度の低下をはかった。これにより、芳香族炭化水素等がコンバータ上で副反応を起こして配管を閉塞させる恐れはなくなった。さらに、サンプルを触媒に導入する前に予備加熱するようにして、応答速度の向上と触媒量の低減もはかった。

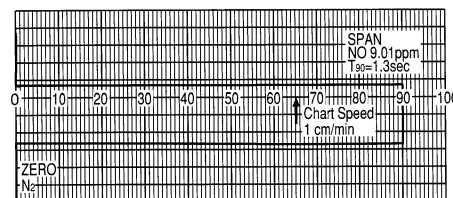


図11 CLA-720 (NO_x :10ppmレンジ)の出力例
CLA-720 (NO_x : 10ppm range) output example

3.5 CH_4 計:GFA-720

CH_4 の計測は、ガスクロマトグラフ法をベースにしており、ハードウェアはFIA-720と共通化している。今回配管フローパターンと小型2方電磁弁を組み合わせた小型十方切換えバルブを新しく開発することにより、小型化と保守性が向上した。

4. 加熱分析計ユニット

4.1 特長

(1) CH_4 /NMHC/THC 3成分の連続測定

加熱型FIA分析計ユニット(OVN)には、主にディーゼル・エンジンの排ガス測定用として、最大2台の分析計を搭載した。これは、最近天然ガスなどの低公害燃料を用いた自動車の排ガス中の CH_4 、非メタン炭化水素(Non-methane Hydro Carbon:NMHC)を連続測定したいとの要望に応えるためである。FIAの1台はTHCを測定し、もう1台はNMHCを選択的に燃焼させる触媒(Non-Methen Cutter: NMC)を使ったカッター法の連続 CH_4 計とした。2台のFIA出力を演算処理することにより、 CH_4 /NMHC/THC 3成分の連続測定が可能となった。

(2) NO_x計の混載

加熱型 FIAの他に加熱型CLAも搭載可能とした。また、サンプリングポンプは1台に集約した。ガソリンおよびディーゼルエンジンの排ガス中のNO_xを高温で直接サンプリングする方法には、NO_xコンバータまでの間を加熱して、電子冷却式除湿器でサンプルガス中の水分を取り除く乾式法(Dry法)と、分析部までの間を加熱する湿式法(Wet法)の二通りあり、どちらかを任意選択できるようにしている。

4.2 仕様

表3に加熱分析計ユニットに搭載できる分析計の主な仕様を、また、表4に主な組み合わせを示す。

型式	FIA-725	FIA-721H	CLA-720M	CLA-755
測定成分	T・HC	T・FHC/CH ₄	NO/NO _x	NO/NO _x
原理	H・FID (加熱オープン)	H・FID/NMC (加熱オープン)	常温・常圧(DRY) (コンバータまで加熱)	加熱・減圧(Wet) (分析部まで加熱)
測定範囲	0-10~50000ppmC		0-10~10000ppm	
再現性	±0.5%FS以内			
ゼロドリフト	±1%FS以内/24h(周囲温度±2℃以内)			
スバンドリフト	±1%FS以内/24h(周囲温度±2℃以内)			
ノイズ	±0.5FS以内		±1%FS以内	
直線性	±1%FS又は±2%RS以内どちらか小さい方			
応答速度 T ₉₀	1.5秒以内	1.5秒以内(THC) 3.0秒以内(CH ₄)	2.0秒以内(50ppm以上) 2.5秒以内(50ppm未満)	
試料流量	0.5ℓ/min		1ℓ/min	
電源	AC100*240V(各国対応)			

表3 加熱分析計ユニット(OVN)の主な仕様
Main functions heating analyzer unit (OVN)

型式名	搭載分析計			
	FIA-725 T・HC	FIA-721H T・FHC/CH ₄ (NMC)	CLA-720M Dry-常圧 NO _x	CLA-755 Wet-減圧 NO _x
OVN-720	○			
OVN-721		○		
OVN-722	○	○		
OVN-723	○		○	
OVN-724	○			○
OVN-725		○	○	
OVN-726		○		○
OVN-727	○	○	○	
OVN-728	○	○		○

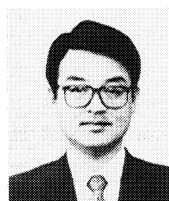
表4 加熱分析計ユニット(OVN)の搭載分析計
On-board analyzer of heating analyzer unit (OVN)

5. 分析計異常診断

分析計モジュールの各種信号をMCUに転送させ、故障や異常の判断をして、適時アラームを発生させることで保守性の向上をはかっている。また、FIA, CLA, GFAでは、自己診断機能としてプリアンプ基板上に模擬入力発生回路を設置し、電気系の異常判定を行えるようにした。

参考文献

- 1) 武田賢二：“低濃度測定用自動車排出ガス分析装置” Readout—HORIBA Technical Reports— No.6, p.55-61 (1993)。



武田 賢二
Kenji TAKEDA

NMプロジェクト 係長
1982年入社
自動車排ガス測定装置の研究開発



小池 日出樹
Hideki KOIKE

NMプロジェクト 主任
1987年入社
自動車排ガス分析装置の研究開発

