

# Product Introduction

新製品紹介

## 金属硬化プロセス・製鉄プロセス用ガス分析計の開発 FA-5000/5200シリーズ, MPA-5000, VA-5000WMシリーズ

Development of Gas Analyzer for Metal Hardening Process and Iron Manufacturing Process  
FA-5000/5200 series, MPA-5000, VA-5000WM series

森田 淳

Jun MORITA

金属硬化プロセス用のガス分析計としてFA-5000/5200シリーズ, 製鉄プロセス用のガス分析計としてMPA-5000, 燃焼排ガス測定や製鉄プロセスを含む各種プロセス中のガス測定用の分析計としてVA-5000WMシリーズそれぞれを開発した。FA-5000/5200シリーズはパネルマウントのケースで一酸化炭素, 二酸化炭素, メタン等, 最大3成分のガスを同時に測定することができる。その測定原理として非分散形赤外線吸収法を使用している。MPA-5000シリーズは19インチパネルマウントのケースで酸素を測定することができる。その測定原理として磁気力方式を使用している。VA-5000WMはウォールマウントのケースで一酸化炭素, 二酸化炭素, 酸素等, 最大4成分のガスを同時に測定することができる。その測定原理として非分散形赤外線吸収法, 化学発光法, 酸素分析法(磁気力方式, ジルコニア方式, 電極方式(ガルバニ電池形))を使用している。本稿ではこれら分析計の仕様・特長, 使用されている測定原理, 従来モデルからの改良点について述べる。

We developed FA-5000/5200 series as the gas analyzer used in a metal hardening process, MPA-5000 as the gas analyzer used in an iron manufacturing process and VA-5000WM series as the gas analyzer used for a measurement of combustion exhaust gas and gas in various process application. FA-5000/5200 series were designed as a panel mount case and can measure up to three gases at the same time, such as Carbon monoxide, Carbon dioxide and Methane. Non-dispersive infrared method is used as measurement principle. MPA-5000 was designed as a 19-inches panel mount case and can measure Oxygen gas. Magnetic force method is used as measurement principle. VA-5000WM series was designed as a wall mount case and can measure up to four gases at the same time, such as Carbon monoxide, Carbon dioxide and Oxygen. Non-dispersive infrared method, Chemiluminescence method and Oxygen analysis method (magnetic force method, zirconia method and electrode method (galvanic cell type)) are used as measurement principle. This article describes the specification and characteristic of these analyzers, measurement principle used in these analyzers and improvements from conventional model.

### 装置概要

Figure 1にFA-5000/5200シリーズの外観, Table 1に主な仕様を示す。FA-5000/5200シリーズは金属硬化プロセスである浸炭, 浸炭窒化専用のガス分析計である。パネルマウントのケースで最大3成分のガスを同時に測定することができる。測定原理として赤外線を吸収する様々な成分に対して非分散形赤外線吸収(NDIR: Non Dispersive Infrared)法を使用している。

Figure 2にMPA-5000の外観, Table 2に主な仕様を示す。MPA-5000は汎用酸素ガス分析計で主に製鉄プロセス中のガス測定に使用されている。19インチパネルマウントのケースで, 測定原理として磁気力方式を使用している。

Figure 3にVA-5000WMシリーズの外観, Table 3に主な仕様を示す。VA-5000WMは汎用ガス分析計で主に燃焼排ガス測定や製鉄プロセスを含む各種プロセス中のガス測定に使用されている。ウォールマウントのケースで最大4成分のガスを同時に測定することができる。測定原理として



Figure 1 External appearance of FA-5000 series (left) and FA-5200 series (right)



Figure 2 External appearance of MPA-5000



Figure 3 External appearance of VA-5000WM series

Table 1 Specification of FA-5000/5200 series

Model	FA-5000 series	FA-5200 series
Measurement principle	NDIR (Non-Dispersive Infrared)	
Components to be measured	CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	
The number of modules	3	1
Minimum range	0~0.2 vol% (depends on component)	0~0.1 vol% (depends on component)
Maximum range	0~100 vol% (depends on component)	
Range ratio	1 : 10 (depends on component)	
Linearity	±1.0% of full scale	
Zero, span drift	±2.0% of full scale/week	
Gas flow rate	Approx. 0.5 L/min	
Response time	90% response : within 30 seconds	
Warm-up time	60 min	
External dimensions (W×H×D)	424 mm × 424 mm × 149 mm (depth dimension at the time of installation)	164 mm × 424 mm × 149 mm (depth dimension at the time of installation)
Mass	Approx. 23 kg	Approx. 11 kg

Table 2 Specification of MPA-5000

Specification of carrier gas	Nitrogen	Ambient
Measurement principle	Magnetic force method	
Component to be measured	O <sub>2</sub>	
Minimum range	0~1 vol%	0~10 vol%
Maximum range	0~100 vol%	
Range ratio	1 : 10	
Linearity	±1.0% of full scale	
Zero, span drift	±2.0% of full scale/week	±2.0% of full scale/day
Gas flow rate	Approx. 0.5 L/min	
Response time	90% response : within 30 seconds	
Warm-up time	60 min	
External dimensions (W×H×D)	430 mm × 132 mm × 380 mm	
Mass	Approx. 13 kg	

Table 3 Specification of VA-5000WM series

Measurement principle	NDIR (Non-Dispersive Infrared)	CLA (Chemiluminescence)	Magnetic force method	Zirconia method	Electrode method (galvanic cell type)
Components to be measured	CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O etc.	NO		O <sub>2</sub>	
Minimum range	0~50 ppm (depends on component)	0~20 ppm		0~5 vol%	
Maximum range	0~100 vol% (depends on component)	0~5000 ppm	0~100 vol%	0~25 vol%	
Range ratio	1 : 10	1 : 100	1 : 10	1 : 5	
Linearity	±1.0% of full scale				
Zero, span drift	±2.0% of full scale/week				±1.0% of full scale/day
Gas flow rate	Approx. 0.5 L/min	Approx. 0.3 L/min	Approx. 0.5 L/min		
Response time	90% response : within 30 seconds				
Warm-up time	60 min			20 min	40 min
External dimensions (W×H×D)	424 mm × 484 mm × 206 mm				
Mass	14~24 kg (depends on the combination of mounted components)				

NDIR法、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)の測定に化学発光法、酸素の測定に磁気力方式・ジルコニア(Zirconia)方式・電極方式(ガルバニ電池(Galvanic cell)形)の3種類を用意することで、さまざまなニーズに応える汎用分析計を実現した。

## 基礎と原理

FA-5000/5200シリーズとVA-5000WMシリーズのNDIR法の検出器にはフローセンサ型検出器を使用している。一般に2つ以上の異なる原子からなる分子が赤外線の照射を受けると、その分子の振動及び回転運動のエネルギー準位に基づき、その分子に固有な波長の赤外線を吸収する。NDIR法はこの吸収量を測定することにより定量分析を行うものである。赤外線の吸収量は吸収分子(測定成分ガス)の濃度に応じて変化する。この関係はEquation 1のランバート・ベールの法則により表される。

$$I = I_0 \exp(-\mu cd) \dots\dots\dots (1)$$

$I_0$ : 入射光強度

$I$ : 透過光強度

$c$ : 吸収分子(測定成分ガス)の濃度

$\mu$ : 吸収係数(分子と波長で決まる定数)

$d$ : 吸収分子層(ガス層)の厚さ

$I_0$ ,  $\mu$ ,  $d$ は測定成分ガス種や装置により決定される定数であるため、透過光強度 $I$ を測定すれば、測定成分ガスの濃度 $c$ がわかることになる。その際、共存成分による吸収影響を受けないように、検出器が応答する赤外線の波長選択が重要である。FA-5000/5200シリーズ、VA-5000WMシリーズでは、基本的に測定成分と同種のガスを封入するニューマチック型検出器を用いることで、検出器に優れた波長選択性を持たせている<sup>[1]</sup>。Figure 4にNDIR測定モジュールの構成を示す。光源から射出された赤外線は、測定セルまたは比較セルを通り、集光ブロックで集光されて検出器へと入射する。この2つの赤外線を回転するチョップで断続することによって、測定セルの透過光と比較セルの透過光を交互に検出器に入射させている。

NDIR測定モジュールに用いられているフローセンサ型検出器の構造をFigure 5に示す。検出器は前室と後室の2つの受光室を持っており、その間に熱線抵抗によるフローセンサが設置されている。また受光室の中には、赤外線吸収を持つ測定成分と同種のガスが封入されている。測定セル内に測定成分ガスが存在すると、その濃度に応じた赤外線の吸収が起こり測定セルを透過する赤外線量が減少する。

一方、比較セルには赤外線を吸収しないガスが封入されているため、比較セルを透過する赤外線量は減少せず一定である。チョップで測定セルの透過光と比較セルの透過光と

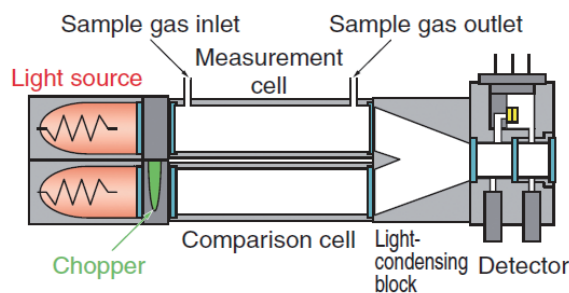


Figure 4 Structure of NDIR measurement module

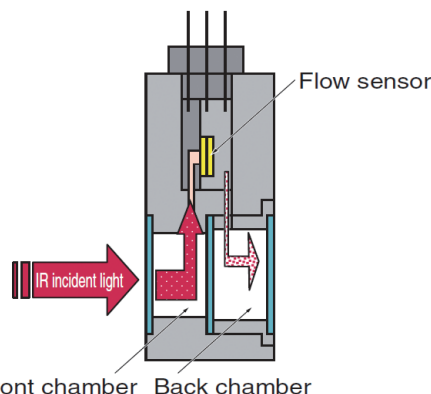


Figure 5 Structure of flow sensor type detector

を交互に検出器に入射させるため、交互に量の異なる赤外線が検出器に入射することになる。検出器の前室と後室のガスは、それぞれ赤外線の入射量の時間的変化により膨張と収縮を繰り返すが、前室のガスによる赤外線吸収で後室に入射する赤外線量は少なくなるため、検出器に入射する赤外線量の時間的変化に対応した膨張量と収縮量は前室のガスの方が大きい。その結果、前室と後室間にガスの移動が生じる。フローセンサは2つの熱線抵抗からなり、外気温より高い温度になるよう電圧を印加した状態で前室から後室へのガスの流れの方向に対して垂直に設置されている。前室から後室へガスが流れた時には前室側抵抗の温度が下がり後室側抵抗の温度が上がる。逆に後室から前室へガスが流れた時には後室側抵抗の温度が下がり前室側抵抗の温度が上がる。

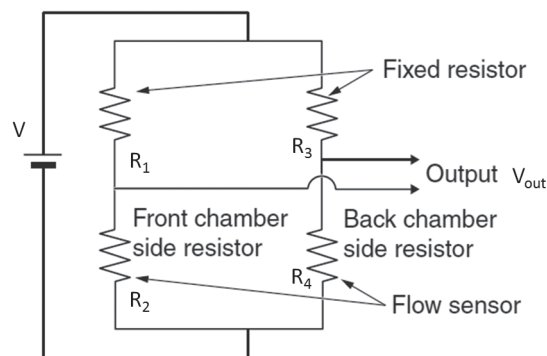


Figure 6 Bridge circuit

これらの温度変化による抵抗値の変化をFigure 6に示すブリッジ回路で電圧変化として検知することにより、赤外線吸収量の変化を交流電気信号として取り出している。

MPA-5000には圧力検出器を用いている。磁気力方式の圧力検出器の構造をFigure 7に示す。不均一な磁界中に常磁性の気体である酸素が存在すると、酸素は磁界の強い方に引き付けられ、その部分の圧力が上昇する。一般にその時の圧力上昇はEquation 2により表される。

$$\Delta P = \frac{1}{2} H^2 \cdot X \cdot C \dots\dots\dots (2)$$

- H：磁界の強さ
- X：常磁性体(酸素)の磁化率
- C：常磁性体(酸素)の濃度とキャリアガス中の酸素との濃度差

この圧力上昇をキャリアガスを用いて磁界外に取り出し、コンデンサマイクロフォンで検知して電気信号に変換する。キャリアガスには窒素または大気を使用している。交流駆動の電磁石で磁界を発生させており、信号は交流信号として処理されるため、安定した測定値を得ることができる。

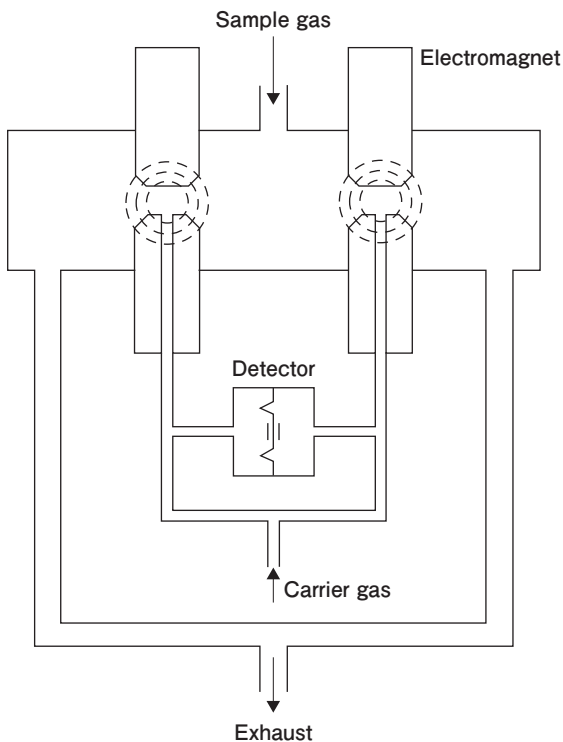


Figure 7 Pressure detector structure of magnetic force method

## 従来モデルからの改良点

### FA-5000/5200シリーズ：周囲温度変化に対する測定値の精度向上

FA-5000/5200シリーズは測定原理にNDIR法を使用しており、測定値は周囲温度変化に伴うNDIR測定モジュールのセル中の測定成分ガスの温度変化、検出器の温度変化に大きく影響を受ける。従来モデルのFA-700, FA-3000ではNDIR測定モジュールの温度変化に伴う測定値変化を実験的に求め、その結果の平均値から補正式を算出し、その補正式で補正演算を行っている。しかし、この測定値変化は大きく、各NDIR測定モジュールの測定値変化のばらつきも大きいため補正演算の精度に課題があった。そこで本モデルFA-5000/5200シリーズでは、NDIR測定モジュールのセル部と検出器部の温度を一定に保つ機構を導入した。これにより、周囲温度変化に伴う測定値変化、各NDIR測定モジュールの測定値変化のばらつきが低減され、補正演算の精度を向上させることができた。

### MPA-5000：大気キャリアガス仕様のラインアップ追加

MPA-5000は原理上、サンプルガス測定にキャリアガスが必要とする。従来モデルのMPA-3000ではキャリアガスとして窒素が使用されてしており、お客様で窒素ポンペを準備する必要があった。本モデルではお客様のご要望に応じてキャリアガスに大気を使用可能となり、ランニングコストの低減を実現した。

### VA-5000WMシリーズ：測定現場における省スペース化

VA-5000WMシリーズはVA-5000シリーズのラインアップ追加として開発された<sup>[2]</sup>。VA-5000シリーズは19インチパネルマウントのケースを採用しており、据付時にキャビネットを必要とする。一方、VA-5000WMシリーズはウォールマウントのケースを採用しているため据付時にキャビネットを必要とせず、壁に直接据え付け可能である。そのためVA-5000WMシリーズはスペースの限られた現場でも据付が可能であるため、お客様の現場における省スペース化が可能となった。

### 操作性の向上

FA-5000/5200シリーズ, MPA-5000, VA-5000WMシリーズでは視認性を重視し、5.7インチのカラー液晶画面とタッチパネルを採用した。従来は装置の外部にデータロガーなどの周辺装置が無ければガス濃度データの保存またはトレンドの確認ができなかったが、その周辺装置の準備には手間がかかる上にその設置スペースを必要とする。その改善としてFigure 8に示すトレンドグラフを液晶画面に表示することで、測定値のトレンドを視覚化し、瞬時に測定状態を把握できるようになった。またデータロギング機能を装



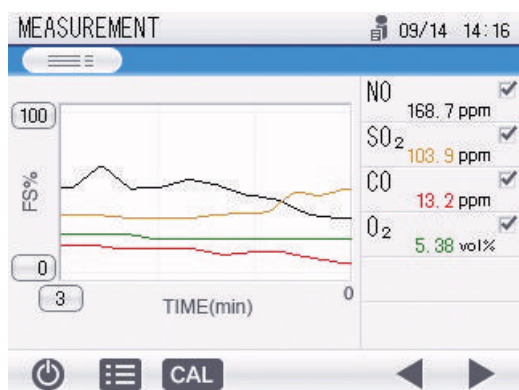


Figure 8 Trend graph of VA-5000WM series

置内に内蔵し、測定値・測定時刻・測定時のイベント情報をリアルタイムに記録することができ、USBメモリによりそのデータの抽出が可能となった。よって装置外部にデータロガーを設置する必要がなくなり、より簡易的にガスの計測を行うことができるようになった。

## おわりに

鉄は主に自動車産業、建設業で使用されており人間が生きていく上で必要不可欠な材料である。現在、鉄はアジア圏を中心に生産されており、今後も継続的な生産が見込まれている。鉄の生産に伴いCO<sub>2</sub>が排出されるが、日本の製造業におけるCO<sub>2</sub>排出量は製鉄業が最も多く全体の約3割を占める<sup>[3]</sup>。そのため日本では鉄の生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量の削減に取り組んでいる。MPA-5000は主に高品質な鉄を効率的に製造するために製鉄所で使用されており、FA-5000/5200シリーズは鉄の強度を高めるための金属硬化プロセスで使用されている。さらにVA-5000WMシリーズは燃焼排ガス中のCO<sub>2</sub>を測定することができるため、鉄の生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量のモニタリングが可能である。上記は一例だが、これら分析計を通じて世界中の産業の発展を支え、地球環境保全に大いに貢献できると考える。

\* 本内容は特段の記載がない限り、本誌発行年時点での自社調査に基づいて記載しています。

## 参考文献

- [1] 青木潤次, ニューマチック赤外検出器, Readout, 7, pp.64-71 (1993).
- [2] 水本一徳, マルチガス分析計VA-5000シリーズの開発, Readout, 50, pp.51-55(2018).
- [3] 環境省・経済産業省, 地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度による平成27(2015)年度温室効果ガス排出量の集計結果, pp.25(2018), [https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/result/h27/result\\_H27\\_20180831.pdf](https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/result/h27/result_H27_20180831.pdf). (Referred on June 14<sup>th</sup>, 2019)



森田 淳

Jun MORITA

株式会社 堀場製作所  
開発本部 環境プロセス開発部  
Process & Environmental Instruments R&D Dept.  
Research & Development Division.  
HORIBA, Ltd.