

Product Introduction

新製品紹介

マルチガス分析計VA-5000シリーズの開発

Development of Multi-Component Gas Analyzer VA-5000 series

水本 一徳

Kazunori MIZUMOTO

マルチガス分析計VA-5000シリーズは1台で最大4成分の測定を可能としたガス分析計である。測定原理として、非分散型赤外線吸収法、化学発光法および酸素分析法(磁気圧力式、ジルコニア式、ガルバニ電池式の3種類)の測定モジュールが搭載可能である。本製品はマルチガス分析計VA-3000シリーズの後継機種として開発した。装置サイズの小型化、最大搭載成分の増加(最大4成分)、高感度測定(最小濃度レンジ: 50 ppm)、操作性の向上などの改良を行った。本稿ではVA-5000シリーズの特長について述べ、更に石炭ガス化複合発電の適用例について紹介する。

Multi-Component Gas Analyzer VA-5000 series is a gas analyzer that can measure up to four components with one unit. Measurement principles of NDIR (non-dispersive infrared absorption method), CLA (chemiluminescence method), and Oxygen analysis method (MPA(magnetopneumatic method), Zirconia method and Galvanic cell method) can be installed. This product was developed as a successor to the Multi-Component Gas Analyzer VA-3000 series. It has been improved by such as miniaturization of the device size, increasing number of maximum mounting component (maximum: 4 components), high sensitivity measurement (minimum concentration range: 50 ppm), and improvement of operability. This article describes the features of VA-5000 series and introduces examples of application to IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle).

装置概要

VA-5000シリーズの外観をFigure 1に、主な仕様をTable 1に示す。サンプルガスの除湿・ダスト除去などを行う前処理装置VS-5000と組み合わせて使用することができる。VA-5000は19インチパネルマウントのケースで最大4成分を同時に測定することが可能である。測定原理として赤外

線を吸収するさまざまな成分に対して非分散型赤外線吸収法(NDIR: Non Dispersive Infrared Analyzer)を、窒素酸化物(NO_x)の測定に化学発光法を、酸素の測定に磁気圧力式・ジルコニア式・ガルバニ電池式の3種類を用意することで、さまざまなニーズに応えるマルチガス分析計を実現した。従来モデルであるVA-3000シリーズ^[1]より装置サイズの小型化、最大搭載成分の増加(最大4成分)、高感度測定(最小濃度レンジ: 50 ppmレンジ)、操作性の向上などの改良を行った。

基礎と原理

VA-5000のNDIRにはフローセンサ型検出器を用いている。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のランベルト・ベールの法則により表される。



Figure 1 VA-5000/VS-5000の外観

Table 1 VA-5000の主な仕様

測定原理	NDIR (非分散型赤外線吸収法)	CLA (化学発光法)	MPA (磁気圧力式)	ジルコニア式	ガルバニ電池式
測定成分	CO, CO ₂ , CH ₄ , SO ₂ , N ₂ Oなど	NO	O ₂		
最小レンジ	0~50 ppm (成分による)	0~20 ppm	0~5% (vol)	0~5% (vol)	0~5% (vol)
最大レンジ	0~100% (vol) (成分による)	0~5000 ppm	0~100% (vol)	0~25% (vol)	0~25% (vol)
レンジ比	1 : 10	1 : 100	1 : 10	1 : 5	1 : 5
指示誤差	フルスケールの±1.0%				
ドリフト	フルスケールの±2.0%/週				フルスケールの±1.0%/日
応答速度	90%応答 30秒以内				
暖気時間	60分		20分		40分
ガス流量	約0.5 L/min				
外形寸法	(W)	430 mm			
	(H)	132 mm			
	(D)	380 mm	451 mm	380 mm	
質量	7 kg~18 kg (搭載成分の組み合わせによる)				

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

- 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
- μ : 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 , μ , 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性が重要である。VA-5000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^[2]。

Figure 2に、VA-5000に搭載したNDIR測定モジュールの構成を示す。光源から出射された赤外線は、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し、測定セルの透過光と比較セルの透過光とを交互に検出器に入射させている。

VA-5000搭載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 3に示す。検出器は前

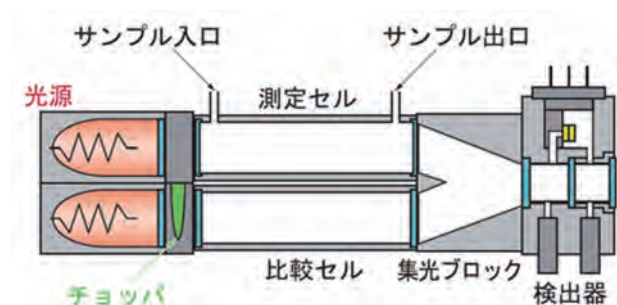


Figure 2 VA-5000搭載のNDIR測定モジュールの構成

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

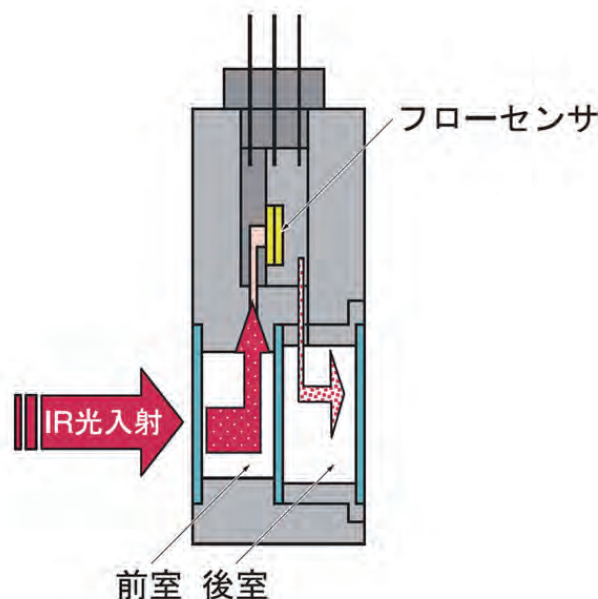


Figure 3 フローセンサ型検出器の構造

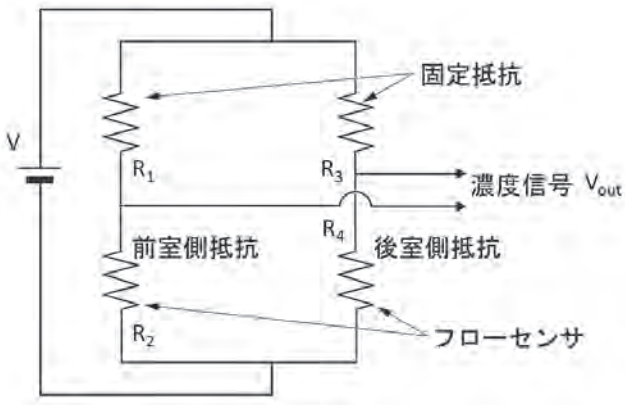


Figure 4 ブリッジ回路

らなっており、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。これらの温度変化による抵抗値の変化をFigure 4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すことができる。

従来モデルからの改良点

従来モデルからの改良点として下記3点が挙げられる。

- ・装置サイズの小型化と最大搭載成分の増加
- ・高感度測定
- ・操作性の向上

装置サイズの小型化と最大搭載成分の増加

分析計に対する顧客のニーズの変化により、省スペースで使用できるように装置の小型化が求められるようになって

きた。それを実現するためには、従来モデルには課題が2つあった。

- ・測定モジュールのサイズが大きい
- ・プリント基板のサイズが大きい

目標の装置サイズとして30%の小型化(CLA搭載時は15%の小型)を実現するために、まずNDIR測定モジュールのセル長を20%短くした。セル長を短くすることでガス濃度に対する信号量が小さくなるが、その対策については後述する「高感度測定」の項にて詳細を記載する。またプリント基板については、従来モデルでは測定モジュールごとに信号処理回路基板を搭載する構成であったが、Figure 5に示す通り信号処理回路をデジタル化し基板を1枚に集約することでアナログ回路部品を大幅に減らし、3成分搭載時と比較すると装置全体の基板面積を約50%小型した。結果として従来モデルの装置サイズが430 mm(W)×132 mm(H)×550 mm(D)に対し、奥行きが380 mm (CLA搭載時は451 mm)を実現した。測定モジュールはそれぞれ独立しており、モジュールの小型化にともない搭載成分数についても組み合わせにより最大4成分まで搭載可能とした。よって従来モデルの最大3成分と比較し、1台でより多種のガス測定が可能となった。

高感度測定

NDIR測定モジュールの高感度化を実現した。高感度化するためにはガス濃度に対する信号量を増加させる必要があり、フローセンサ型の検出器の熱線抵抗の温度を上げることで実現できる。Figure 4に示す濃度信号 V_{out} はEquation 2より求めることができる。

$$V_{out} = V \cdot (R_2 / (R_1 + R_2) - R_4 / (R_3 + R_4)) \dots\dots\dots (2)$$

ここでブリッジ回路に供給する電圧Vを大きくし、それに

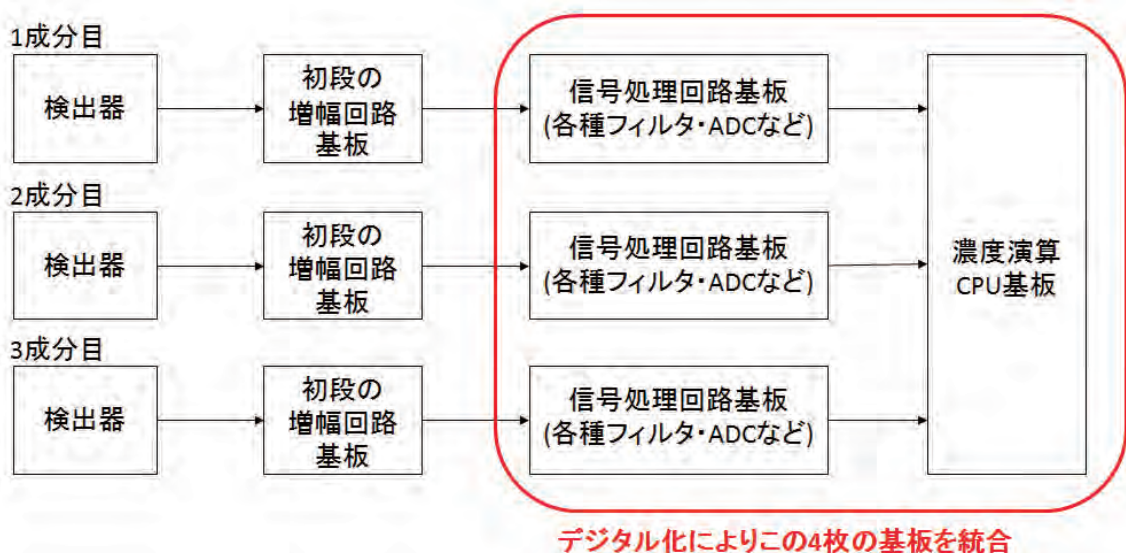


Figure 5 信号処理部の基板構成

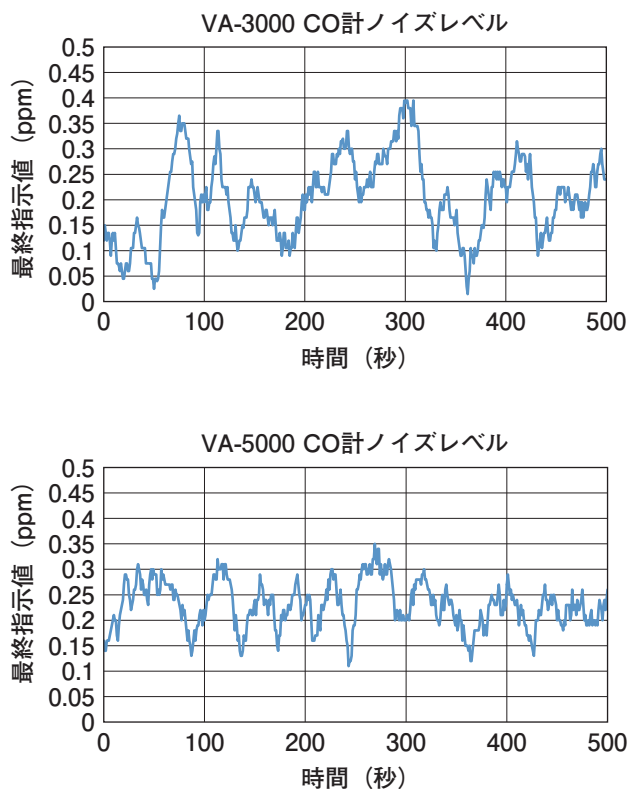


Figure 6 ノイズレベルの違い

Table 2 最小濃度レンジの比較

測定成分	従来モデル VA-3000	新モデル VA-5000
CO	100 ppm	50 ppm
CO ₂	100 ppm	50 ppm
CH ₄	200 ppm	100 ppm
SO ₂	200 ppm	100 ppm

伴いフローセンサR₂・R₄に供給される電力を増やし、熱線抵抗の温度を上昇させた。それにより濃度信号V_{out}を増加させることができる。従来モデルのVA-3000とゼロノイズレベルをFigure 6に示す。このFigure 6はCO計の50 ppmレンジでの観測結果で、ともにセル長はVA-5000の寸法に統一した状態で計測している。信号量の増加に伴い、Figure 6に示す結果から分かるように、ゼロノイズレベルの低減が実現できている。また温度による影響についても改善を行うことで、最小濃度レンジについてはTable 2に示す通り低濃度レンジ化を実現し、選択できる濃度レンジが増え、よりさまざまな目的に合わせた分析計を提供することが可能となった。

操作性の向上

視認性重視し、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ないと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

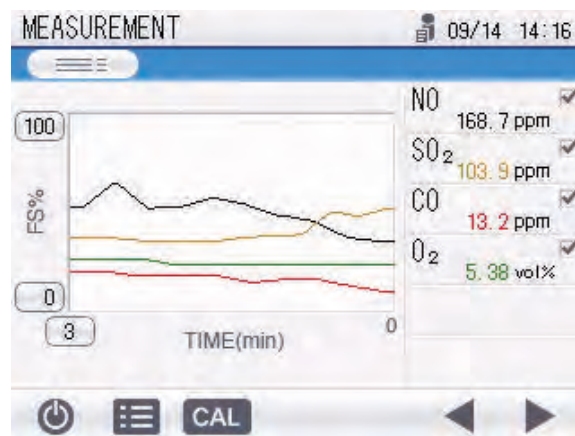


Figure 7 トレンドグラフ

Figure 7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ビジュアル化し、瞬時に測定状況を把握できる。またデータロギング機能を装置内に内蔵し、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である。よって装置外部にデータロガーをセッティング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。

サンプリングユニットを組み合わせた測定

VA-5000はサンプルガスの前処理を行うサンプリングユニットVS-5000シリーズと組み合わせることで、より簡易的にガスの測定が可能である。VS-5000シリーズには測定用途に応じて4種類のモデルがある。NDIR測定モジュールを3つ搭載したVA-5000(型式：VA-5111)とそのサンプリングユニットVS-5000(型式：VS-5001)を組み合わせた状態のフローシートをFigure 8に示す。VS-5000によりサンプルガスの除湿・ダストの除去などを行い、その前処理を行ったガスをVA-5000へ入力してその対象のガスの濃度を測定する。

応用事例

VA-5000は、環境問題から新エネルギー開発支援まで、時代のニーズに幅広く対応する分析計である。例を挙げると燃料電池開発、触媒研究、バイオガス研究、エアレーションタンク監視、燃焼効率研究などといったフィールドにおいて、さまざまな成分のガス組成を測定することが重要となっている。次世代石炭発電の分野では、石炭ガス化複合発電(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)での適用例が挙げられる。IGCCは石炭をガス化炉でガス化し、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて発電するコンバインドサイクル発電のことで、従来の石炭火力発電よりも発電効率が高く、CO₂の排出量を低減でき

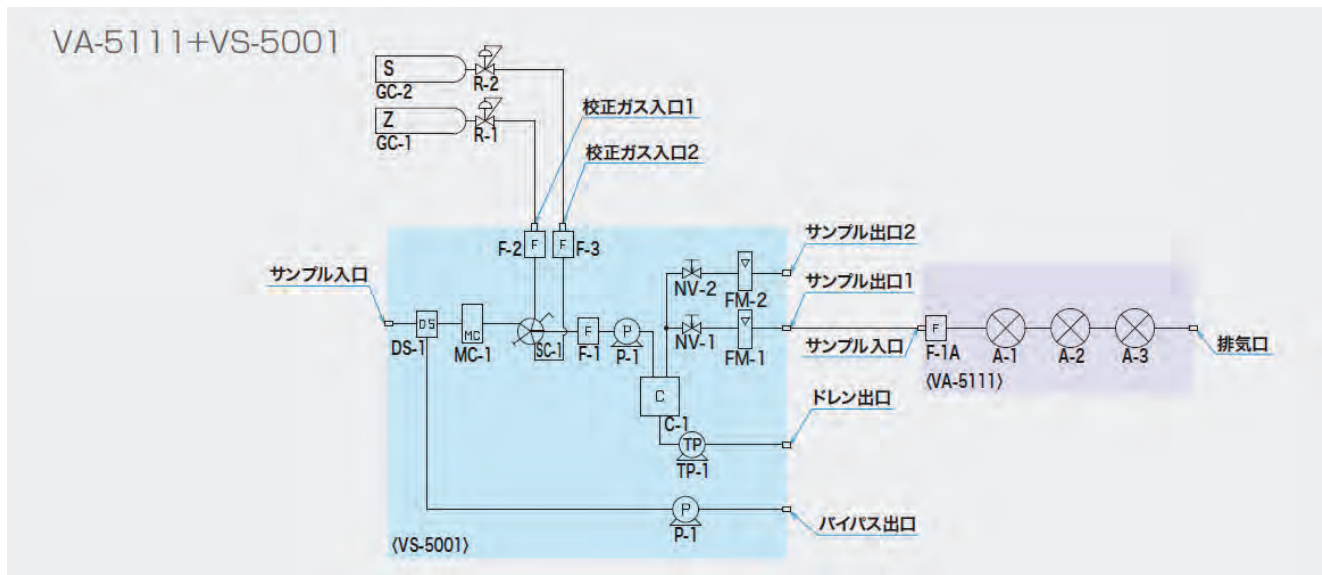
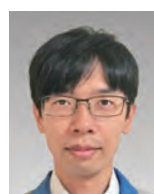


Figure 8 フローシート

る。VA-5000はIGCCプラントの各計測ポイントで活用されており、CO・CO₂・O₂・CH₄を同時計測することが可能である。したがって、このような新エネルギー開発分野で大いに貢献できるものとする。

参考文献

- [1] 岩田憲和, マルチガス分析計VA-3000シリーズ, *Readout*, **31**, pp.26-29(2005).
- [2] 青木潤次, ニューマチック赤外検出器, *Readout*, **7**, pp.64-71(1993).



水本 一徳

Kazunori MIZUMOTO

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