

## マルチガス分析計 VA-3000シリーズ

岩田 憲和

マルチガス分析計VA-3000シリーズは、1台で3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、非分散形赤外線吸収法、化学発光法、及び酸素分析法、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。非分散形赤外線吸収法の測定モジュールでは、フローセンサ型検出器を用いて、耐振動性の向上と小型化を実現した。本稿ではVA-3000シリーズの特長について述べ、更に次世代のエネルギーとして注目を集めている燃料電池システムへの適用例について紹介する。

### はじめに

HORIBAのガス分析装置の歴史は医学用呼気分析装置に始まり、現在では自動車排ガス測定装置、大気汚染監視装置、煙道排ガス分析装置とさまざまな分野に広がっている。今日、環境問題から新エネルギーへの対応まで、ガス分析計が向き合っている課題とニーズは大きく変化しており、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<sup>\*1</sup>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。これら時代のニーズを見据え、また真の汎用性を求めて、マルチガス分析計VA-3000シリーズを開発した。

\*1: 微生物のいる汚泥に空気を吹き込んで微生物を活動しやすくする曝気槽。

### 製品概要

VA-3000の外観と主な仕様を図1と表1に示す。19インチパネルマウントのケースで最大3成分を同時に測定することが可能であり、測定原理として、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )の測定に化学発光法を、酸素の測定に磁気圧力式、ガルバニ電池式、ジルコニア式の3種類を、そして赤外線を吸収するさまざまな成分に対してNDIR(Non Dispersive Infrared Analyzer)法を用意することで、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。この中でNDIR測定モジュールにおいては、新たに開発したフローセンサ型検出器を用いている。



図1 VA-3000の外観

表1 VA-3000の主な仕様

測定原理	NDIR(非分散形赤外線吸収法)	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 <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> Oなど	NO		O <sub>2</sub>	
最小レンジ	0 ~ 100ppm(成分による)	0 ~ 20ppm	0 ~ 5%(vol)	0 ~ 5%(vol)	0 ~ 5%(vol)
最大レンジ	0 ~ 100%(vol)(成分による)	0 ~ 5000ppm	0 ~ 100%(vol)	0 ~ 25%(vol)	0 ~ 25%(vol)
レンジ比	1:10	1:100	1:10	1:5	1:5
直線性	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				
暖機時間	約20分	約60分	約60分	約20分	約40分
ガス流量	約0.5 L/min				
外形寸法	430 mm(W) × 132 mm(H) × 550 mm(D)				
質量	約20 kg				

## フローセンサ型検出器の測定原理

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の変遷が起き、その分子に固有な波長の赤外線吸収する。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、式(1)のランベルト・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性が重要である。VA-3000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>。

図2に、VA-3000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。

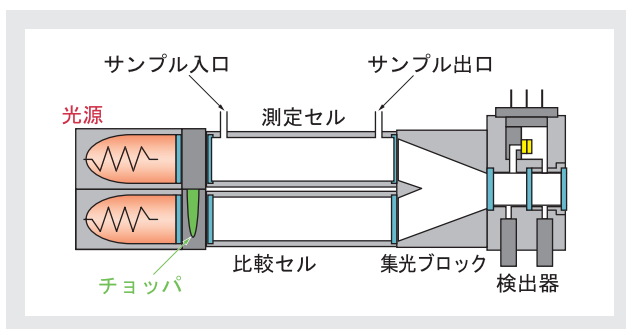


図2 VA-3000搭載NDIR測定モジュールの構成

VA-3000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図3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図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。

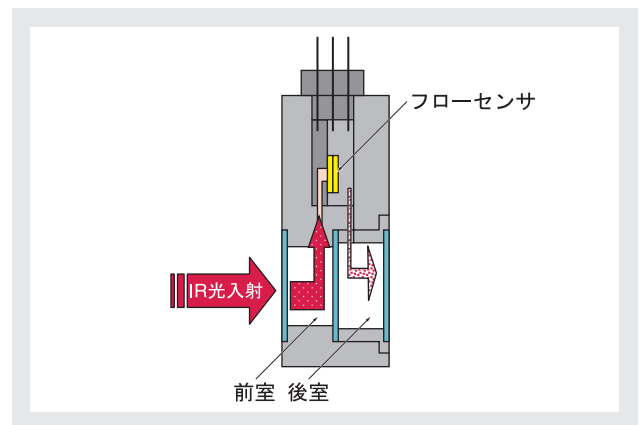


図3 フローセンサ型検出器の構造

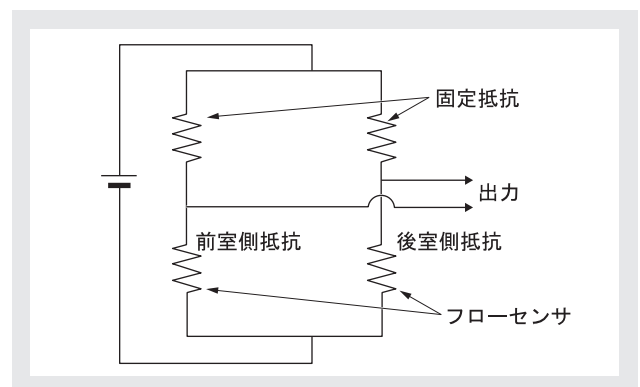


図4 ブリッジ回路

## 汎用性の向上

VA-3000は測定モジュールの小型化による3成分同時測定、フローセンサ型検出器の採用による耐振動性の向上などの特長を持っており、これらの特長によりさまざまな目的にあわせた分析計を提供することが可能となっている。以下にVA-3000の特長とその利点を解説する。

### 3成分同時測定

VA-3000では1つの分析計で最大3成分まで測定可能である。これはフローセンサ型検出器採用による検出器の小型軽量化に加え、分析計全体を見直し小型化を重ねることで実現したものである。独立した3つの測定モジュールを搭載しているため、測定成分及び測定濃度レンジを他の測定成分によって限定されることなく自由に選択することが可能である。これにより後述する燃料電池システムのように、ガス中の多数の成分を（あるいは同一成分でも複数の濃度レンジで）連続監視してシステムの評価を行う場合などにおいて、分析計の設置数を大幅に削減することができる。また、3系統までの異なるガスを1つの分析計で同時に測定することができるので、ガス中のある1つの成分濃度を連続監視しプロセスの制御を行う際にも、そのプロセスが複数系統並んで設置されている場合に分析計の設置数を減らすことができる。

### 耐振動性の向上

VA-3000では従来のコンデンサマイクロフォン型検出器からフローセンサ型検出器に変更している。フローセンサ型検出器採用の利点として、耐振動性の向上が挙げられる。従来のコンデンサマイクロフォン型検出器は受光室間の圧力変動によるコンデンサ膜の振動を電気信号として取り出していた。一方フローセンサ型検出器は、受光室間のガス膨張の違いを受光室間に流れるガスの流量として取り出すものであり、検出器内に可動部分がないため振動の影響を低減することができる。図5にコンデンサマイクロフォン型検出器とフローセンサ型検出器の振動影響比較を示す。加振方向はコンデンサ膜に対して垂直方向とし、振動の周波数を徐々に変えた時の出力信号をそれぞれ確認した。なお本試験では検出器への振動による影響の比較を容易にするため、通常かかり得ない大きな加速度の振動を与えて試験を行っている。図5よりフローセンサ型検出器を用いることで耐振動性が大きく向上したことがわかる。

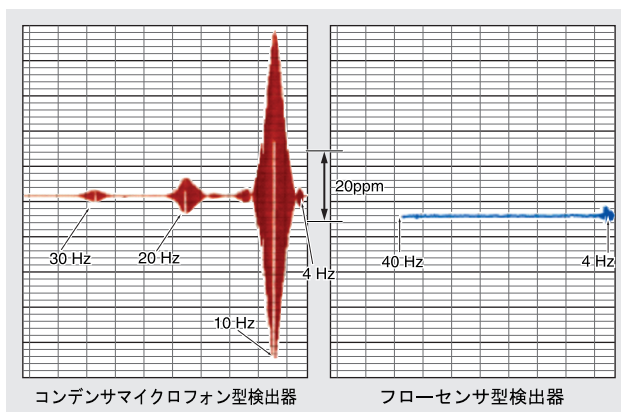


図5 振動影響比較

### 干渉影響の低減

NDIR測定モジュールでは各成分の赤外線吸収特性により成分を特定して測定しているが、試料ガス中の他の成分と吸収波長域が重なる場合には干渉影響を受けることがある。代表的なものとしてCO測定に対するCO<sub>2</sub>干渉影響、SO<sub>2</sub>測定に対するH<sub>2</sub>O干渉影響などが挙げられるが、干渉成分が1成分の場合は、封入ガス濃度の異なる2つの検出器を並べて配置するという従来の技術により、干渉影響を概ね除去することができる。しかしながらこの方法では、CO測定に対してCO<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>O干渉影響、SO<sub>2</sub>測定に対してH<sub>2</sub>OとCH<sub>4</sub>干渉影響というように、試料ガス中に2種類の干渉成分が存在する場合には干渉影響を除去することができない。VA-3000では3成分までの測定が可能であるため、測定成分に加えて干渉成分の1つを同時に測定し内部の演算処理により、干渉成分が2種類存在する場合においても、測定成分濃度を精度良く測定するシステムを構築することが可能である。

## 燃料電池システムへの適用

現在、発電効率及び廃熱利用を含めた総合効率が高く、地球環境にも配慮したエネルギーとして燃料電池が大きな期待を集めている。燃料電池には電解質の選択等によりさまざまな種類があるが、都市ガスやLPGなどの燃料ガスから水素を取り出し、酸素との電気化学反応によって電気エネルギーを取り出すものである。これら燃料電池システムの評価、開発には各段階でのガス組成を把握することが重要である。作動温度が低く、小型軽量化が可能なることから家庭用燃料電池としての利用が期待される固体高分子型燃料電池（PEFC）を例にとって、燃料電池システムでのVA-3000の適用例について述べる。

PEFCシステムの模式図及びVA-3000の適用例を図6に示す。

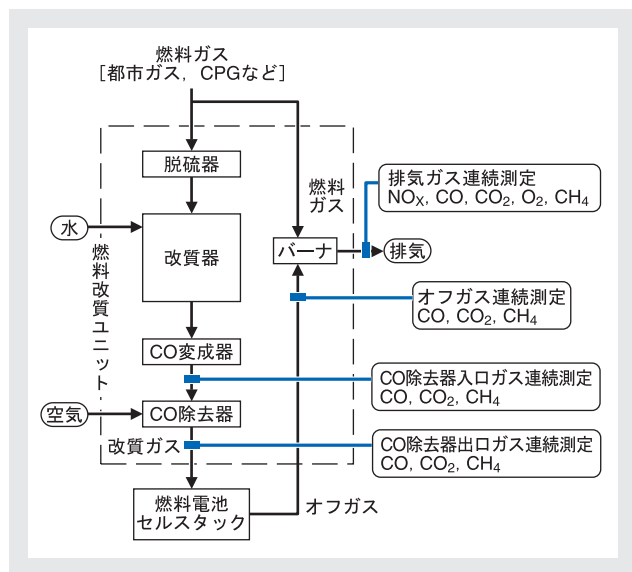
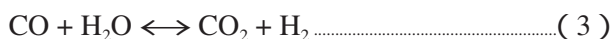


図6 PEFCシステムの模式図及びVA-3000適用例

都市ガス、LPGなどの燃料ガスは脱硫器にて硫黄分が除去された後、改質器へと導入され、式(2)(3)などの反応によりH<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>Oを組成とする改質ガスへと改質される。



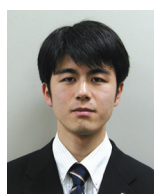
更にCO変成器で式(3)の反応によりH<sub>2</sub>濃度を上げつつCO濃度を低減し、CO除去器にてCO濃度を10ppm以下に低減した改質ガスをセルスタックへと導入する。改質器での反応には加熱が必要であるが、セルスタック通過後のオフガスと燃料ガスの一部を燃焼させることにより改質器の昇温を行っている。このシステムの各段階にVA-3000を設置することにより、改質器及びCO変成器の反応率やCO除去器での除去率、またセルスタックでの反応効率などをモニタリングすることが可能となる。このようにして、VA-3000は燃料電池システムの評価、開発に際して大いに貢献できるものと考えられる。

## おわりに

以上、マルチガス分析計VA-3000シリーズの汎用性の充実について述べると共に、燃料電池プロセスへの適用例を紹介した。VA-3000シリーズは各種研究、開発の評価から環境保全のための濃度監視まで、さまざまな目的のニーズに対して応えることができる分析計であり、この分析計を通じて産業の発展や地球環境保全に貢献できるものと考えている。

## 参考文献

[1] 青木潤次, ニューマチック赤外検出器 *Readout* 7, 64-71(1993)



岩田 憲和  
Norikazu Iwata  
ガス計測開発部  
Process チーム