

新レーザーガス分析計による燃焼効率向上と CO₂ 削減 (新レーザーガス分析計プローブ形)

Improvement of Combustion Efficiency and Reduction of CO₂ by New Laser Gas Analyzer (Probe-type Laser Spectrometer)

中野 直人 *1
Naoto Nakano

加熱炉やボイラーの燃焼効率を向上させるためには、排ガス中の O₂ や CO の濃度を測定して炉の操業の制御を行う必要がある。従来は、ジルコニア酸素計、赤外線分析計、コンバスティブル計などの分析計を使用して O₂ や CO を測定していたが、消耗品のコストやメンテナンス、応答性などの面で課題がある。

横河電機は、レーザー光を炉内に透過させ、その吸収量で O₂ や CO を測定するレーザーガス分析計 TDLS8000 を 2015 年にリリースし、これらの課題を解決した。しかし、この分析計を使用するためには、炉の両側に位置精度よく分析計取り付けフランジを施工する必要があった。

この問題を解決するために、我々はプローブ形レーザーガス分析計 TDLS8100 を開発した。TDLS8100 はフランジ施工が片側だけでよく、また架空配線も不要のため設置コストが半分に抑えられる。本稿では、TDLS8100 の特徴を説明し、上述の課題をどう解決したかについて述べる。

In order to improve the combustion efficiency of heating furnaces or boilers, it is necessary to measure the O₂ and CO in the exhaust gas and to control the operation of the furnaces. Conventionally, O₂ and CO are measured by using analyzers such as zirconia oxygen analyzer, infrared analyzer, and COe meter. However, there are problems of cost of consumables, maintenance, and responsiveness.

In 2015 Yokogawa released the TDLS8000 tunable diode laser spectrometer that allows the laser to penetrate the furnace and measure O₂ and CO by the amount of laser absorbed, thus solving such problems. In practice, however, the mounting flange of the TDLS8000 must be installed on both sides of the furnace with high positional accuracy.

To eliminate this work, we have developed the TDLS8100 probe-type tunable diode laser spectrometer, which needs to be installed on only one side, thus more than halving the installation cost due to less overhead wiring. This paper describes the features of the TDLS8100 and how it helped us to solve the problems.

1. はじめに

プラントにおける加熱炉やボイラーなどの燃焼炉は、規模や種類が多様である。また、大量のガス、重油、石炭といった燃料を使用するため、その燃焼効率はプラントの操業コスト効率に直結する。さらに、大量の燃焼排ガスが発生するため、窒素・硫黄酸化物などの公害問題

に加え、近年は CO₂ をはじめとする温暖化ガスの排出を削減することも重要な課題である。

燃焼炉を高効率で操業するためには、燃焼排ガス中の O₂ や CO の濃度を正確に測定し、燃焼制御を行うことが必要である⁽¹⁾。従来は、ジルコニア酸素計で O₂ 濃度を測定し、サンプリング装置を使用してガスを吸引し、赤外線ガス分析計で CO 濃度を測定する方法が採られている。北米を中心に、O₂ 測定にはジルコニア酸素計、CO やメタン測定には触媒センサを搭載したコンバスティブル計も少なからず採用されている。しかし、これらの分析計を用いた測定方法はいくつかの課題を抱えている。

*1 IA プロダクト & サービス事業本部 アナライザーセンター
プロダクト分析部

本稿では、まず従来使用されている分析計による測定での課題を整理する。次に、その課題を解決すべく横河電機で開発したレーザガス分析計 TDLS8000 及び 8100 について紹介する。最後に、プローブ形レーザガス分析計 TDLS8100 でどのように課題を解決したかについて説明する。

2. これまでの測定方法の課題

ジルコニア酸素計は、大規模から中小規模の加熱炉やボイラーで数多く採用されているが、酸素濃度を測定するためにはジルコニアセルを高温に加熱し、固体電解質としての振る舞いを発揮させねばならない。この高温のジルコニアセルがプロセス内のガスと接触することから、引火源となる懸念を持つ顧客が少なからず存在する。また、ジルコニアセルは非常に高濃度な硫酸化物等に対しては、その劣化速度が速まる傾向がある。その結果、セルを交換する回数が増え、消耗品コストが増大してしまう。

赤外線分析計は、ガスを吸引し、調圧、除塵、除湿を行う必要がある。そのため、ガスのサンプリング装置を準備しなければならない。また、ガスをプロセスから吸引することで測定の応答遅れが発生する。その結果、燃焼制御が非常に困難となる。さらに、フィルターのエレメント交換やポンプダイヤフラム交換などの定期的なメンテナンスによるランニングコストが発生する。

北米を中心に採用されてきているコンバスティブル計は、本質的にはサンプリング装置であり、さらに触媒センサの信頼度がまだ十分に高いとは言えないこともあり、頻繁に測定欠損を生じているのが実情である。

3. レーザガス分析計による解決とその課題

これらの課題を踏まえ、測定ガスと非接触で、サンプリング装置を必要としないレーザガス分析計を横河電機は 2008 年から販売している。図 1 に、2015 年に販売開始したレーザガス分析計 TDLS8000 の外観を示す。



図 1 レーザガス分析計 TDLS8000 の外観

TDLS8000 は、加熱炉などのプロセスの両側にそれぞれ LU（レーザユニット）と SCU（センサーコントロールユニット）を設置し、各ユニット間でレーザ光を透過させ、その吸収スペクトルから各種ガス濃度を測定する。

しかし、プロセスの両側に各ユニットを設置するために、各ユニット用の足場が必要になるだけでなく、各ユニット間に専用配線を引き回すための仮設足場も必要となる。足場の設置場所が高所となれば、さらに高所での追加作業が必要となる。また、レーザ光を LU から対向する SCU に正確に透過させるために、レーザ墨出し器などの位置決め治具を使用して、各ユニットに高い精度でフランジを取り付けなければならない。

大規模な加熱炉やボイラーにおいては、レーザガス分析計の有効性が評価され導入されてきているが、中小規模ボイラーにおいては、レーザガス分析計の有効性を認めつつも、設置コストが高いことが導入の障害になる場合があった。

4. プローブ型レーザガス分析計の開発

4.1 機器の構成

図 2 に、プローブ形レーザガス分析計 TDLS8100 の外観を示す。



図 2 プローブ形レーザガス分析計 TDLS8100 の外観

TDLS8100 は、レーザダイオードとフォトディテクタが組み込まれたレーザディテクタモジュールと、PCB（プリント回路基板）や表示部などを収納したアナライザと、パージ部とプロセスガス測定部とレーザ光を反射させるリフレクタが組み込まれたプローブで構成される。図 3 に機器構成を示す。

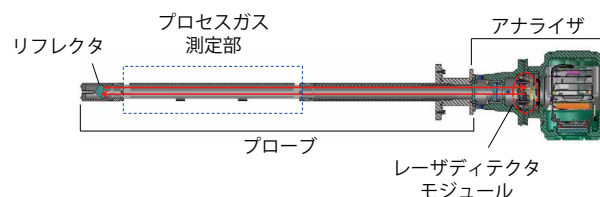


図 3 機器構成

アナライザのレーザーダイオードからレーザー光が照射され、プローブ部内部を透過しリフレクタに到達する。リフレクタはレーザー光を照射方向に反射させ、レーザー光はプローブ内部を透過し、アナライザのフォトディテクタに到達する。この間にプロセスガス測定部を2回透過することになり、プロセスガス測定部の長さの2倍が、有効な測定光路長となる。

プローブ形の分析計は、片側からプロセス内に挿入するだけで設置ができることから、足場は片側だけあればよい。また、各ユニット間の専用線の配線も必要ないことから、配線用の仮設足場も不要となり、設置コストを半分以下に抑えることができる。

4.2 機器の設計

レーザーガス分析計による測定は、レーザーの光路中に測定したいプロセスガスを流通させること、レーザー光を確実にフォトディテクタに入力させること、測定の光路長を安定させることが重要である。

TDLS8000は、プロセスの両端に各ユニットを設置する方式であることから、レーザー光はプロセスガスと、プロセスに含まれるダスト等を光学窓から保護するための光学窓パージを透過する。同様に、TDLS8100は、プローブのプロセスガス測定部に流通しているプロセスガスとパージガスを透過させる必要があるため、プロセスガス測定部に確実に測定対象ガスを導入しなければならない。

測定対象ガスを確実に導入する最も単純な方法は、プローブのプロセスガス上流側と下流側との両方のガスをカットし、プロセスガスを測定部に流通させるものである。しかし、ダストも一緒に測定部に流通させるため、レーザー光がダストにより散乱され、受光量が低下し吸収スペクトルのシグナルノイズ比が悪化する恐れがある。TDLS8100では、図4に示すように上流側はカットせず下流側から測定部にガスが導入させる。上流側面はあたかもダストガードのように機能し、測定部へのダスト侵入を少なくする役割を果たしている。

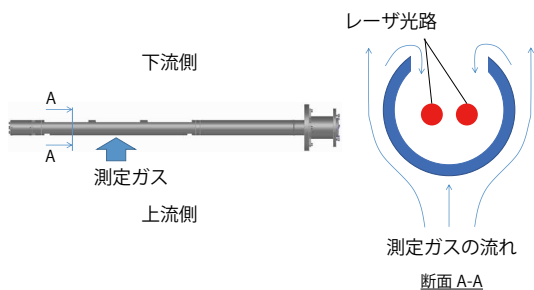


図4 測定ガスの流れ

また、TDLS8100はプローブがプロセス内に挿入されており、プロセスの流れや炉体の振動により振動・共振することが想定される。しかし、振動中でも測定に必

要十分なレーザー強度が受光できるように、振動時でもレーザー光がプローブ内面での意図しない反射が発生しないビームサイズを採用している。さらには、プローブのたわみなどの構造的要因、周囲環境の変化でのレーザー光の曲がりなどを考慮したレーザー調整範囲を確保している。TDLS8100は、機器をプロセスから取り外すことがなく、また防爆上危険場所においても機器を分解することがない光学調整機構を搭載している。図5に示すように、この機構はドライバー1本で外部から調整可能であり、ヒステリシスが少なく線形で且つスムーズに調整できる。

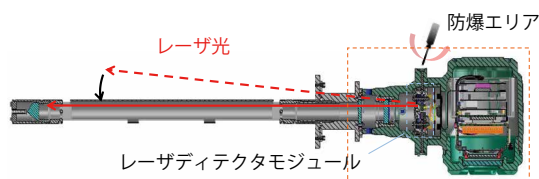


図5 外部からのレーザー光軸調整機能

TDLS8100は、TDLS8000と同様に、プロセス中のダストが光学窓やリフレクタに接触・蓄積しないようにパージを行っている。しかし、プロセスの流速・温度・圧力条件などの変化により、パージの噴き出し領域が変化する。その結果、測定部の有効な長さが変化して、測定が不安定になることが懸念される。これを解決するために、図6に示すようなパージ/測定ガス界面構造を設計した。

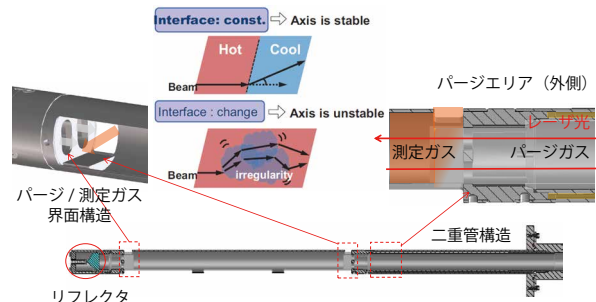


図6 パージ/測定ガス界面構造と二重管構造

パージ/測定ガス界面構造は、プロセスガス測定部の両端の上流側に切り欠きを設け、プロセスガスの流れによってパージガスを下流側に押し流している。これにより、パージガスのプロセスガス測定部への流れ込みを阻止し、測定ガスとパージガスの界面を安定させ、有効な測定光路長・プロセスガス測定部の長さを確定させている。この結果、長期間にわたり安定してドリフトを少なくして測定することが可能になり、メンテナンスコストを下げながら測定値の品質を確保することができる。

さらに、パージ部を二重管構造とすることにより、

パージガスがプロセスの熱から断熱され、パージガスの温度が場所によって変化する温度分布は発生しないようにしている。ガスの密度は温度によって粗密を生じる。その結果、密度が異なるガスを光が透過する際には屈折する。パージガスがプロセスにより加熱され温度分布が生じた場合、光の屈折は予測不可能となり、誤差や測定不調の原因となる。一方、パージガスを二重管構造によりプロセスの熱から断熱することによって、パージガスの温度を一様にできる。その結果、光の屈折は予測可能となるため、屈折範囲をカバーする寸法のリフレクタを採用することで、照射されたレーザー光をディテクタに確実に反射させることができ、安定した測定が可能となる。

これらのように、我々は、プローブをプロセス内に挿入することで想定される様々な課題を、光学・流体・熱・振動設計によってレーザー光軸や有効光路長を長期間安定させる手法を開発し、プロセス分析計としての堅牢性も実現している。

5. おわりに

プローブ形レーザーガス分析計は、設置コストを削減できることから、これまで導入を躊躇していた中小規模ボイラーなどにも展開することができる。また、従来のサンプリング装置を使用してガス分析を行っているアプリケーションのリプレースについても、追加の設置工事が少ない、消耗品コストが削減できる、などのメリットを

示すことができる。

プローブ形レーザーガス分析計は、プロセス分析計としては比較的新しい分析計である。今後、様々なプロセスやアプリケーションに導入していくなかで、長期間にわたり安定して測定できることを目指して、プローブの改良や改善、アクセサリ類の充実など開発を継続していく。

中小規模ボイラーも含めて、レーザーガス分析計の有効であることの認識が展開されることによって、これまで大規模加熱炉・ボイラーでの使用が中心だったレーザーガス分析計による燃焼制御が、より一般化し、省エネ・CO₂削減といった環境ソリューションの提供が可能となる。その結果、持続可能な開発目標 (SDGs)⁽²⁾ のゴール 7 (エネルギー)、ゴール 13 (気候変動) に貢献することを期待している。

参考文献

- (1) 結城義敬, 村田明弘, “レーザーガス分析計 TDLS200 による最適燃焼制御ソリューション”, 横河技報, Vol. 53, No. 1, 2010, p. 19-22
- (2) UNITED NATIONS, SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS, <https://sustainabledevelopment.un.org/>, (accessed 2019-04-09)

* TDLS は、横河電機株式会社の登録商標です。

* 本文中で使用されている会社名、団体名、商品名およびロゴ等は、横河電機株式会社、各社または各団体の登録商標または商標です。