

プロセス用レーザガス分析計の紹介

村田明弘

横河電機(株) IA 事業部 科学機器事業センター 科学機器 PMKグループ

1. はじめに

プロセスガス中にレーザ光を照射することで測定対象の成分濃度を直接測定できるレーザガス分析計は、従来のプロセス分析計でのセンサの劣化や成分干渉性、複雑なサンプリング方式からくる問題や限界を解消し、高温（～1500℃）や腐食性の高いプロセス環境下でも直接リアルタイム測定を可能にし、シンプルな構成で信頼性、保守性に優れたプロセス分析を実現する。この特長を生かして、プロセスの改善や安全性、保守性向上に寄与するプロセス分析計として、近年、石油や化学、鉄鋼、火力発電等、さまざまな産業プロセスに普及しつつある。ここでは、本分析計の機器構成例、測定原理であるTDLAS（Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy）法および組成、圧力、温度が変動する実プロセス環境下で正確な測定を実現するスペクトル面積法を説明する。さらに、産業プロセス応用の具体例を述べる。

2. 機器構成と測定原理

図1に、実際のプロセス用レーザガス分析計（Model名：TDLS200）の機器構成を示す。分析計は投光部と受光部を持ち、通常、測定プロセスガスが流れるダクトに対向して設置される。プロセス内と分析計内部とは、光学窓で隔離されており、投光部内部の半導体レーザから放出された測定レーザ光は光学窓を通して測定プロセスガス内を透過し、再度受光部側光学窓を通過して光検出器で受光される。

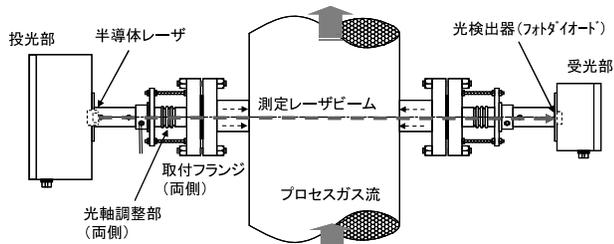


図1 プロセス用レーザガス分析計機器構成例

ここで、測定原理であるTDLAS法について説明する。CO、CO₂、H₂O、C_nH_m、NH₃、O₂など多くのガス分子は、赤外から近赤外域に分子の振動・回転エネルギー遷移による光吸収スペクトルを持つ。吸収スペクトルは成分分子固有であり、吸光度が成分濃度と光路長に比例するため（Lambert-Beerの法則）、吸収スペクトル強度を測定することで対象成分の濃度を測定することができる。しかし、実際のプロセスガスはCO₂と

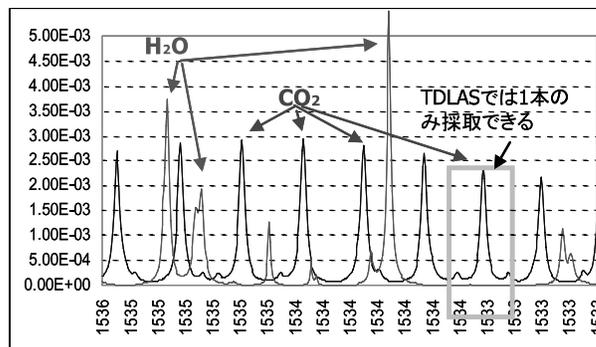
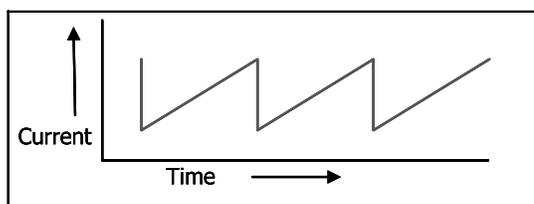
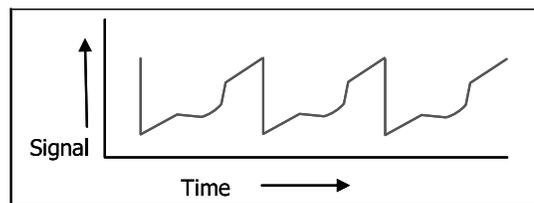


図2 CO₂とH₂Oが混在するガスの吸収スペクトル

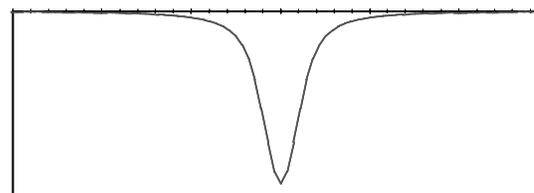
H₂Oが混在するガスの吸収スペクトル対象以外の成分が含まれ、これら干渉成分吸収スペクトルからの分離測定が必要になる。図2は、CO₂とH₂Oが混在するガスの1.53μm帯の吸収スペクトルを示しており、数nmの狭い波長域に両成分の多数の吸収線が混在している。もし、CO₂測定するのであれば、H₂O吸収スペクトルと分離してCO₂吸収スペクトルを測定する必要がある。TDLASでは、ガス吸収線幅よりはるかに狭い線幅の半導体レーザ光を測定ガスに透過させ、その駆動電流を高速変調することでその波長掃引し、透過光量を測定して、1本の独立した吸収スペクトルを測定する。図3に、半導体レーザの波長変調からスペクトル測定までの流れを示す。



(a) 半導体レーザの電流変調

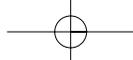


(b) 光検出器の信号



(c) Base Lineを平坦化した光検出器の信号

図3 TDLASでのスペクトル測定流れ例



このように、TDLASでは1本の測定対象成分の吸収スペクトルを測定できるが、①ガス温度、②ガス圧力、③共存ガス成分、によるBroadening現象の影響から、スペクトル形状が変化する。このためスペクトルのピーク高さ測定値から濃度換算すると、これらが同時に変動する状況では大きな濃度測定誤差を生じる。

この問題を解消するために、TDLS200レーザガス分析計では、スペクトル面積法を採用している。スペクトル面積は、組成変動に対し基本的に変化せず、圧力変化に対しても線形に変化するため容易に補正することができ、実際のプロセスで起こる外部環境の変動に対しても正確な測定を実現できる。図4は10%の酸素濃度における酸素のシングル吸収スペクトル(0.76μm帯)で、共存成分がそれぞれCO₂、N₂、Heの場合で吸収スペクトルが大きく異なるが、この3つのスペクトルの面積は変わらない。

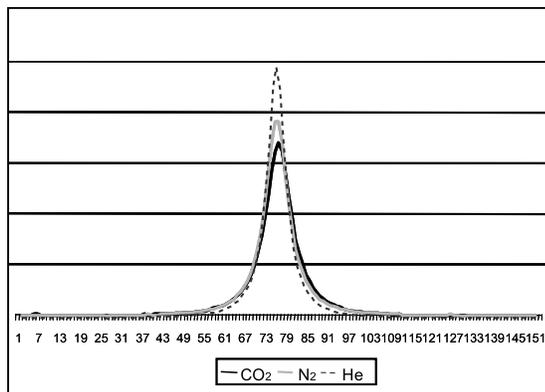


図4 異なるガス中の10%濃度酸素吸収スペクトル

3. 産業プロセス応用例

レーザガス分析計は、測定吸収波長を選ぶことで、これまでにO₂計、CO計、CO₂計、H₂O計、NH₃計等が実用化されている。本分析計を用いて、重要な成分濃度信号を直接プロセス制御系に取入れた高速制御や、リアルタイムプロセス状態管理を行なうことで、各種産業プロセスの改善が期待できる。ここでは、石油化学プロセスの加熱炉や火力発電などでの高温燃焼ガス中のO₂およびCO濃度測定による燃焼管理応用を紹介する。燃焼炉において、エネルギー損失の小さい効率的な燃焼の実現は、完全燃焼状態を維持しつつ過剰空気を最小にした燃焼制御である。これは環境有害物質のNO_xの排出低減にもつながる。しかし、供給空気不足は、不完全燃焼となり、CO濃度が急激に上昇し、不安定で危険な燃焼状態になる。従来方式では燃焼ガス中のO₂濃度を測定し、マージンを持ってO₂濃度設定値で燃焼管理を行なっている。燃焼部の直近で直接CO濃度をリアルタイム測定すれば、安全性を確保しつつ、さらにO₂濃度値を下げて燃焼効率の向上が図れる。

図5に燃焼炉へのレーザガス分析計O₂計とCO計(TDLS200)設置構成例を示す。CO計は、波長2.3μm

帯の強いCO吸収を用いてppmレベルの測定感度を持つ。また、レーザガス分析計は透過するレーザ光の平均濃度が得られるので炉内分布を平均化した代表値が得られる。

図6に図5での測定例を示す。本例では、O₂濃度を通常設定濃度から手で減少させ、CO濃度値を同時確認した結果である。O₂濃度2%付近からCOが発生し始め、1.5%付近で急増しており、O₂濃度の再増加に対しても、CO濃度は再降下し完全燃焼状態に復帰したことをリアルタイムで捉えている。今後O₂、CO濃度を同時測定し、COがわずかに発生し始める条件下で燃焼管理することで、操業時O₂濃度を1~2%低くでき、燃焼効率改善とNO_x発生量減少による大幅なコスト改善が期待できる。

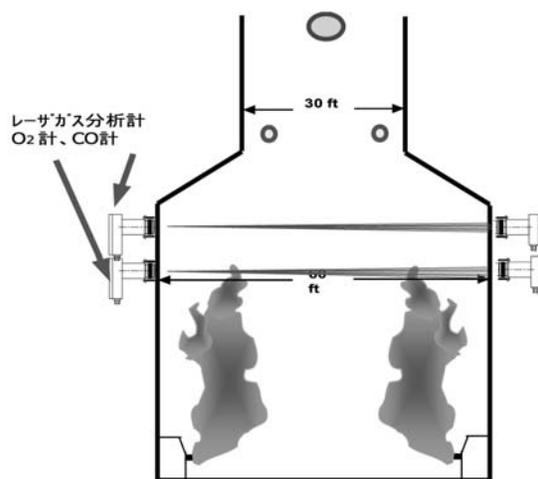


図5 燃焼炉におけるレーザガス分析計設置例

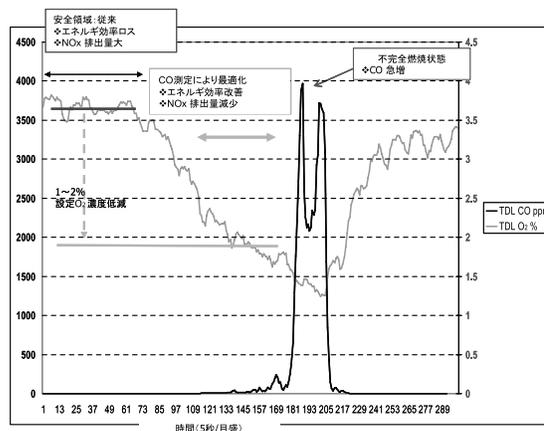


図6 レーザガス分析計による燃焼ガスO₂濃度、CO濃度測定例

4. おわりに

レーザガス分析計は、その高い成分選択性と高速応答性、保守性のよさから各種産業プロセス用に使用され、環境保全・省エネ、CO₂削減に貢献できることを期待している。

