

省エネルギーに貢献する直接挿入レーザー方式ガス分析計「ZSS」

Cross Stack Laser Gas Analyzer Contributing to Energy Conservation, “ZSS”

小西 英之 KONISHI Hideyuki

金井 秀夫 KANAI Hideo

小川 敬晴 OGAWA Takaharu

富士電機は、プロセスの総合的な省エネルギー（省エネ）に貢献するガス分析計を開発してきた。直接挿入レーザー方式ガス分析計は、煙道に直接設置して測定することから高速応答が可能であり、省エネを目的とした制御に適している。従来、1成分に限定されていた装置当たりの測定成分を2成分とする技術を開発し、世界で初めて直接挿入レーザー方式の2成分（ O_2+CO ）ガス分析計「ZSS」を製品化した。 O_2 測定用パーシガスに計装エアを使用でき、測定ガス中の耐環境性能（耐阻害物質対策）も向上している。鉄鋼プラントの転炉プロセスや燃焼プロセスへの適用が期待できる。

Fuji Electric has been developing gas analyzers that contribute to overall energy conservation of processes. Cross stack laser gas analyzers are capable of high-speed response because they are directly installed in flues for measurement and are suited for control aimed at energy conservation. Fuji Electric has developed a technology that allows a device to measure two components, though this was conventionally limited to one component, and commercialized the world's first cross stack laser gas analyzer for two-components (O_2+CO): “ZSS”. Instrumentation air is available as the purge gas for O_2 measurement, and the analyzer features improved environmental resistance, or resistance to inhibitory substances in the measured gas. Application to the converter and combustion control processes of steel plants is expected.

1 まえがき

地球温暖化の抑制および持続可能社会の実現に向けて再生可能エネルギーの普及が進みつつあるが、安定供給性やコストにはまだ課題が多く残されている。一方、シェールガスやシェールオイルなどの開発が進んでおり、これらの化石燃料の生産量の増加が予想されている。これらの背景から、当面の間、一次エネルギー源の主力は化石燃料が担うものと思われる。

社会全体で CO_2 排出量を削減するためには、化石燃料を効率良く活用することが、省エネルギー（省エネ）の観点からも取り組むべき課題である。この“活用”については、単に燃料消費量を削減するだけではなく、“再利用”を行うことも考慮に入れるべきである。さらに、化石燃料の燃焼過程において生成される有害物質とその処理エネルギーを含めて、総合的に低減するという視点も必要である。

富士電機では、以前からこの視点に立ち、プロセスの総合的な省エネに貢献するガス分析計を開発してきた。

今回、お客さまの導入メリットをさらに高めるために、酸素（ O_2 ）と一酸化炭素（ CO ）の2成分を1台で同時に

測定できる直接挿入レーザー方式ガス分析計「ZSS」を開発した（図1）。

2 プロセス用ガス分析計の市場

富士電機は、約60年前に日本で初めて赤外線ガス分析計の製造を開始し、鉄鋼や熱処理のプロセスにおける炉内雰囲気監視用途を中心に適用が進み、プロセス製品の品質向上に貢献してきた。

また、大気汚染が社会問題となる中、工場や事業所などから排出される有害ガス監視用の分析計を提供し、日本の環境問題の改善の一端を担ってきた。環境計測分野では、深刻な大気汚染が問題となっている中国や、今後同様の環境問題が懸念されるインドや中東地域において、さらなる需要が見込まれる。

一方、有害ガスの排出を監視する仕組みが確立している日本や欧米などの地域では、有害ガスの後処理により排出される有害ガスを除去することから、有害ガスの発生自体や、後処理に必要な資源およびエネルギーを低減させること、すなわち総合的な省エネへと変化している。富士電機が2007年に日本企業として初めて発売した直接挿入レーザー方式ガス分析計は、煙道に直接設置して測定することから高速応答を特徴としている。このため、省エネを目的とした制御アプリケーションへの適用に最適であり、今後の市場拡大が期待される。

3 測定原理と製品の特徴

3.1 測定原理

ZSSの測定原理を図2に示す。ガスには、ガスごとに異なる波長の光を吸収する性質がある。ZSSが濃度測定に

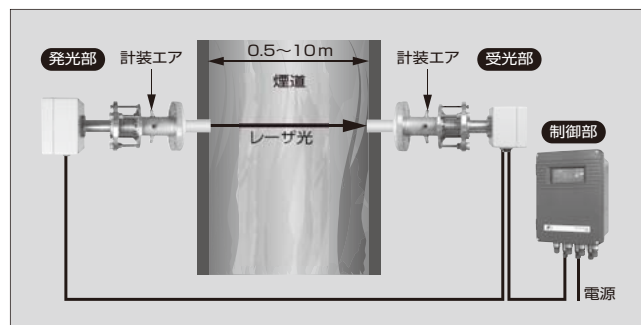


図1 「ZSS」

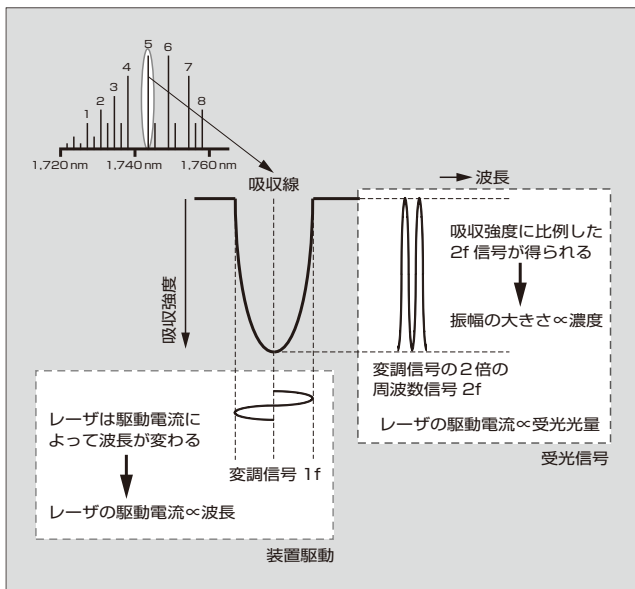


図2 「ZSS」の測定原理

使用する吸収線は、数十～数百本ある中の1本のみであり、選択した吸収線の近辺の波長が変調可能なレーザー素子を使用する。例えば、 O_2 濃度計の場合は、 $0.760\sim 0.765\ \mu\text{m}$ 付近のレーザー素子を、 CO 濃度計の場合は、測定レンジに応じて $1.580\sim 1.583\ \mu\text{m}$ または、 $2.330\sim 2.335\ \mu\text{m}$ のレーザー素子を使用する。

レーザー素子は、測定に使用する吸収線の前後の波長を掃引するように電流範囲を設定して、変調（例えば10kHz）した信号（1f）で駆動する。この変調したレーザー光を測定対象ガスに照射し、透過した光をフォトダイオードで受光する。測定ガスが存在する場合は、受光した信号の中に変調した信号（1f）の2倍の周波数（20kHz）の信号（2f）が含まれる。この2fの振幅の大きさが濃度に比例することを利用して濃度測定を行っている。

3.2 製品の特徴

ZSSは、鉄鋼プロセスや燃焼プロセスへの適用に最適な特徴を備えている。

(1) 装置1台による2成分測定

ZSSは、従来製品とほぼ同じ外観であるが、 O_2 用と CO 用の二つのレーザー素子を内蔵している。それぞれのレーザー素子から照射された光は同軸上で結合する独自の光学系を持っている。

また、受光部には、 O_2 と CO の両方の波長に感度を持つ受光素子を用いて装置の簡素化を図っており、光軸の調整が容易な構造である（図3）。

従来、 O_2 と CO を測定するには2台の装置が必要であり、煙道の2か所に設置フランジを取り付け、個々に光軸の調整を行う必要があった。これに対し、ZSSは1装置2レーザー構造のため、設置フランジの取付けや光軸などの調整は1台分で済む。このため、製造コストだけでなく設置コストが低減することやその後のメンテナンスが容易であることにより、ユーザにとって大きなメリットが得られる。

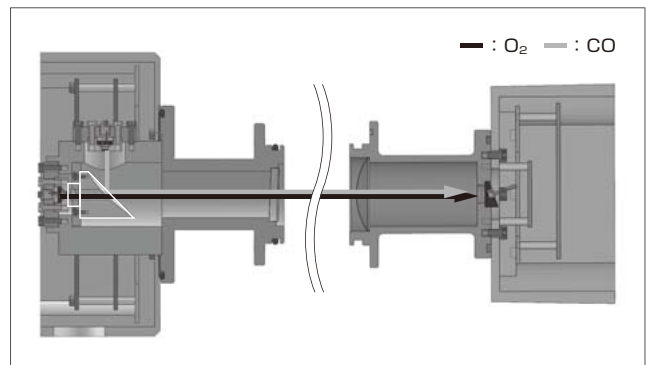


図3 2成分計構造図（ O_2 濃度計+ CO 濃度計）

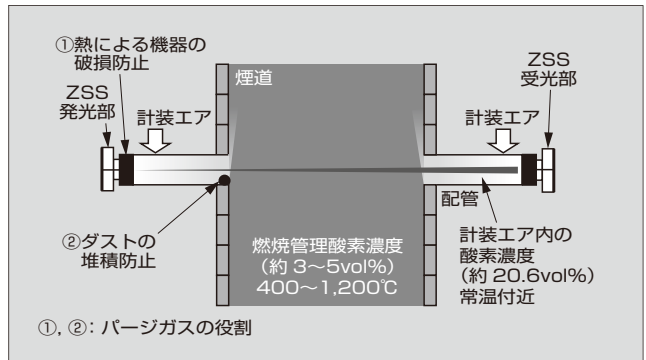


図4 燃焼プロセスにおける「ZSS」の設置環境

(2) 計装エアの使用

図4に、燃焼プロセスにおけるZSSの設置環境を示す。ごみ焼却場などの燃焼プロセスで使用するレーザー方式ガス分析計は、炉内の熱（ $700\sim 1,200\ ^\circ\text{C}$ ）による機器の破損や配管内のダストの堆積によって測定できなくなることを防ぐために、配管に常時パージガスを流す必要がある。このパージガスに計装エアを使用した場合、パージガス中の O_2 濃度が煙道内の O_2 濃度と干渉し、正しく測定することができない。計装エア内の O_2 濃度は20.6 vol%あり、制御対象となる炉内の O_2 濃度は3～5 vol%のため、SN比が十分に得られない。

このため、レーザー方式ガス分析計の O_2 濃度計では、パージガスに窒素を使用することが一般的である。しかし、鉄鋼分野を除いて窒素ガス設備を保有している施設は少ない。また、窒素ガスを使用するレーザー方式ガス分析計を導入した場合、通常、窒素ガスには年間数百万円の費用がかかる。

富士電機はこの問題を克服するため、煙道内とパージガスのガス温度差に着目し、常温付近の O_2 には吸収がほとんどなく、高温の O_2 に吸収が大きい波長（吸収線）を測定に使用すれば、パージガス中の O_2 濃度の影響を無視することができる考えた。しかし、温度が高くなると分子が持つ運動エネルギーが増加するため、吸収強度は小さくなるのが一般的であり、実際に多くの吸収線は高温になるほど、吸収が小さくなった。数多くの吸収線を調査して、760 nm付近に目的のガス温度特性を持つ吸収線を発見し、 O_2 ガス測定が可能な吸収強度を持つことを確認した。こ

れにより、パーシガスに計装エアを使用しても、エア内のO₂の影響を受けずに、炉内のO₂濃度を正確に測定することができるようになった。

(3) 耐環境性能の向上(耐障害物質対策)

O₂濃度計やCO濃度計を用いるごみ焼却場などの燃焼プロセスや転炉出口の可燃ガス回収プロセスでは、レーザー方式ガス分析計を使用する際の問題点の一つに、多量のダストや水滴などの障害物質の影響がある。

障害物質が多いとレーザー光が遮られて受光量が低下し、その結果、SN比が低下して測定ができなくなる場合がある。また、これらの施設では障害物質の変動量も大きく、受光量が不足する場合や、逆に出力が飽和する場合があります、常時測定が困難である。

富士電機では、受光量の大きさに応じて受光ゲインを自動で最適化する機能を組み込み、障害物質の量が大きく変動しても欠測することがない装置を開発した。さらに、従来機と比べて1回のデータサンプリング時間を10分の1に短縮している。これにより、データサンプリング時間内の光量変動による受光波形のひずみを軽減させ、同時にデータサンプリング数を増やすことで障害物質による影響を大幅に低減させている。

4 適用事例

ZSSの適用事例について述べる。いずれもフィールドテストによって、その効果を実証している。

4.1 転炉プロセスにおける可燃性ガス回収効率の向上⁽¹⁾⁽²⁾

鉄鋼プラントの転炉プロセスでは、図5に示すように高炉で生成された溶銑(ようせん)から不純物を酸化・除去するため、大量のO₂を溶銑に吹き込んでいる。そして、吹き込んだO₂が反応すると、CO₂とCOが大量に発生する。COは可燃性ガスであり、燃料資源としてガスホルダに回収し、他工程の燃焼過程に再利用することで、鉄鋼プロセス全体の省エネおよびCO₂の削減に貢献する。また、ガスホルダに貯蔵するガス中にO₂が残存していると爆発の危険性があるため、監視する必要がある。そこで、O₂の濃度測定を行い、濃度が高い状態では排気し、十分に低くなった状態で可燃性ガスを回収するようにバルブを制御している。

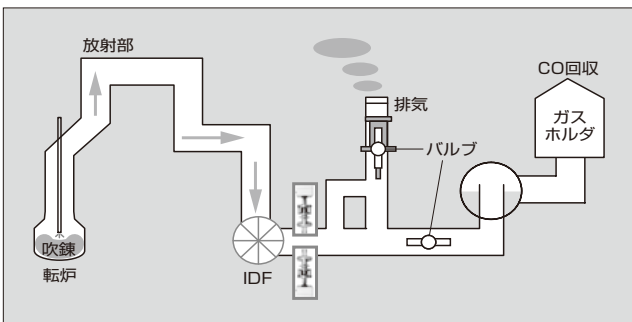


図5 転炉プロセス模式図

表1 「ZSS」の導入による可燃性ガス回収増効果

従来式の 応答時間	30秒	1分	1分30秒	2分	3分
可燃ガス 回収増	2.7%	6.1%	9.4%	12.7%	19.4%
年間経済 効果	1,368 万円	3,091 万円	4,746 万円	6,436 万円	9,832 万円

転炉の規模
 ○転炉容量：250t/チャージ(15分/チャージ)
 ○年間粗鋼生産量：140万t(1転炉当たり)
 ○回収熱量：200,000kcal/t(C重油原価：1.81円/1,000kcalで試算)

このプロセスに以前から使用している磁気式O₂濃度計には、ガスサンプリング装置が必要である。装置全体の応答時間は採取場所との距離やガスサンプリング装置の構造に依存するため、通常30秒~3分程度を要する。この応答時間分だけ、可燃性ガスの回収の機会を損失していることになる。可燃性ガスの回収効率を向上するためには高速応答であるZSSの適用が有効である。

表1に、ZSSの導入による可燃性ガス回収の経済効果の試算例を示す。転炉可燃性ガス回収に使用する磁気式O₂濃度計の応答時間を30秒~3分として、磁気式O₂濃度計からZSSに交換したときに得られる可燃ガスの回収効率の向上による経済効果は年間1,300万円以上となり、少なく見積もっても設備の導入コストを半年で回収できる。

また、O₂が低濃度の場合でも、COが高濃度でなければ回収したガスを再利用することはできない。CO濃度を直接測定することにより、回収する可燃性ガスの質を高めることが可能である。

このように、ZSSの採用によって、以前から行っているO₂濃度の監視による安全性の確保に加えて、再利用可能な可燃性ガスの回収効率の向上による省エネが可能となった。

4.2 燃焼プロセスにおける燃焼効率の最適化⁽³⁾⁽⁴⁾

燃焼制御は、産業用ボイラやごみ焼却場、工業炉などさまざまなプロセスで必要とされる。

図6に、燃焼プロセスにおける空気比と燃焼効率の関係を示す。空気比とは、理論空気量に対する実際の空気量の比率をいう。適正な空気比では燃料は完全に燃焼するため、最大の燃焼効率を得られ、窒素酸化物(NO_x)や硫酸酸化物(SO_x)の発生量も十分に抑制することができる。このため、図7に示すように、O₂濃度の測定を行いフィードバックすることで、最適な燃焼制御が可能となる。

ただし、現実の燃焼炉では炉内の空気比は、炉の構造や温度によって均一ではないため、測定箇所でのO₂濃度を適正に制御した場合でも部分的に不完全燃焼が生じてしまう。図6から不完全燃焼が発生すると熱損失の増加が急激に増大することが分かる。また、COや黒煙も発生するため、環境保全の観点からもこれらの発生は避ける必要がある。これらのことから、燃焼炉では通常O₂濃度が最適空気比よりも過剰の状態ではあるが、空気過剰でも熱損失が発生するため、燃焼効率の向上のためにはできるだけO₂濃度を

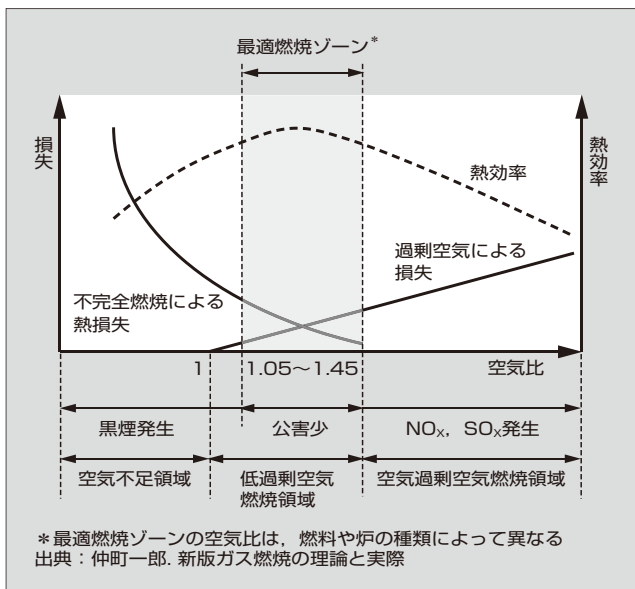


図6 空気比と燃焼効率の関係

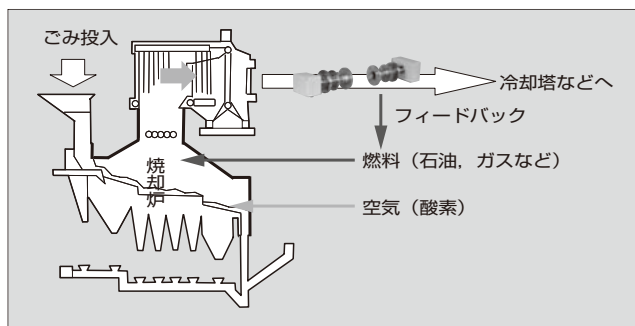


図7 燃焼プロセス模式図(焼却炉の例)

低く抑える必要がある。

O₂ だけではなく CO を同時に測定し、燃焼制御を行うことにより、最適な空気比に制御することができる。燃焼炉の直後で排出ガスを ZSS によって測定することで、CO を高速に検出することが可能となる。これにより、過剰空気率を可能な限り低く抑えつつ、CO の発生を抑えることができる。

このように、ZSS の導入により、燃焼効率の最適化を実現することが可能となり、さらなる省エネに貢献できる。

5 あとがき

本稿では、省エネルギーに貢献する直接挿入レーザー方式ガス分析計「ZSS」について述べた。2成分(O₂+CO)測定の実現により、プロセス制御用途への適用が可能になった。防爆認証の取得により、さらに適用範囲を拡大する計画である。また、この2成分計の構造は、他の成分の組み合わせにも応用可能であり、市場のニーズに応じて展開していく。

今後も、プロセスの総合的な省エネルギーに貢献するガス分析計を開発していく所存である。

参考文献

- (1) 日本鉄鋼協会. 鉄鋼便覧. 第4版, 2002.
- (2) 金井秀夫. “レーザーガス分析計を使用した転炉可燃ガスの回収効率化”. 日本鉄鋼協会生産技術部門第149回制御技術部会資料. 2013.
- (3) 仲町一郎. 新版ガス燃焼の理論と実際. 省エネルギーセンター. 2012, p.152-154.
- (4) 平成21年経済産業省告示第66号. 工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準. 2009.



小西 英之

工業用計測機器の設計開発に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所機器生産センター装置設計部主査。計測自動制御学会会員。



金井 秀夫

レーザー方式ガス分析計の開発に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所機器生産センター機器開発部主査。計測自動制御学会会員。



小川 敬晴

レーザー方式ガス分析計の開発に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御システム事業部産業機器技術部。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。