複合セル型三電極ジルコニア酸素センサの開発

正員 西澤 一 (豊田高専)
非会員 間瀬 俊三 (日本ガイシ)
非会員 加藤 伸秀 (日本ガイシ)

Development of a Double-Cell Type Zirconia Oxygen Sensor with Three Electrodes

Hitoshi Nishizawa, Member (Toyota College of Technology), Shunzo Mase, Non-member (NGK Insulators Ltd.), Nobuhide Kato, Non-member (NGK Insulators Ltd.)

キーワード：ジルコニア、酸素センサ、ポンプ、基準ガス、三電極

1 緒言

板状のジルコニア固体電解質を用いた酸素センサは、自動車、工業炉等の排気ガスの空燃比測定に広く用いられている。特に、ポンプセルとセンサセルの二つの固体電解質セルを用いた複合セル型酸素センサは、燃料過剰領域から燃料希薄領域までの広範囲の空燃比を連続的に測定できるため、その適用範囲は広い。従来、広範囲の空燃比測定に必要な基準ガス確保するためセンサ素子内に空気ダクトを設けていたが、実使用環境では、空気ダクトへの排気ガスリークや水蒸気等の浸入が生じ、基準ガスの変化による誤動作が発生していた。

筆者等は、従来の複合セル型酸素センサと同等の機能を持ちながら、誤動作を防止でき、よりコンパクトなセンサ構造を持つ新しい酸素センサを開発した。

2 従来の複合セル型センサの構造と問題点

複合セル型酸素センサでは、センサセルに発生する起電力（センサ電圧）の値が一定値となるように、ポンプ電流の値をフィードバック制御すると、この制御されたポンプ電流の値が、被測定ガス中の酸素ガス濃度もしくは酸素不足分に対応する信号として取り出せる。基準電極が、空気に連通する空気ダクトに接しているため、燃料過剰領域から燃料希薄領域までの広範囲の空燃比を連続的に測定できる^{2), 3)}。

しかし、センサを自動車の排気管に取り付けると、排気ガスや路上から跳ね上げられた水が高温のセンサに触れて発生する水蒸気等が空気ダクト中に侵入し、基準酸素分圧が変化して誤動作が発生した。使用環境から空気のみを取り込み、水蒸気の侵入を防止することは困難であり、より安定した基準ガスの確保が必要であった。また、空気ダクトを組み込んだセンサ素子は、構造が複雑で製造が難しく、よりコンパクトな構造が求められていた。

3 三電極センサの構造

三電極センサの断面図を図1に示す。三電極センサでは、セル間絶縁層が基準ガス空間を兼ねることにより、素子構造を複雑にしていた空気ダクトを省略した。ポンプセルの内側ポンプ電極とセンサセルの測定電極を、ガス拡散ギャップに接する一つの電極で兼用する。センサセルの基準電極は、厚さ10 μ の多孔質アルミナのセル間絶縁層に接しており、基準電極層とギャップとの間には、厚さ10 μ の気密質のジルコニア固体電解質層を設け、センサセルとした。セル間絶縁層は、直径3.8mmの円盤状の拡散ギャップの中心と同心で、直径2.5mmの円形の切り欠きを持ち、内縁は、ジルコニア中に埋設され、外縁がセンサ素子側面で被測定ガスに接する。共通電極とセル間絶縁層に接する基準電極との間には定電流源を接続して一定電流（バイアス電流）を流し、共通電極から基準電極に向かって酸素ポンプを行う。定常酸素ポンプにより発生した酸素ガスは、基準電極に接するセル間絶縁層中に汲み出され、基準電極付近の酸素分圧を高く保ちつつ、絶縁層の開気孔を通して被測定ガス中に排出される。

図1 三電極センサの横断面図
Fig. 1 Cross sectional view of an oxygen sensor with three electrodes.

図2 三電極センサのセンサ電圧ポンプ電流特性

Fig. 2. Current-voltage curves of a three-electrode oxygen sensor.

4 三電極センサの電圧電流特性

プロパンバーナー⁴⁾の燃焼排気ガス中で、三電極センサの電圧電流特性を測定した。排気ガスの正規化空燃比は、 $\lambda = 0.85$ (燃料過剰領域) から 1.56 (燃料希薄領域) であり、通常の使用領域をカバーしている。また、それぞれの空燃比においてセンサセルに流すバイアス電流の値を $0.3 \sim 0.6$ mA まで変化させて測定を行った。

ポンプ電流とセンサ電圧の関係を図2に示す。センサ電圧は、バイアス電流の増加とともに増加し、特に、 $\lambda > 1$ の燃料希薄領域では、センサ電圧 0.2 V 以下での変化が、また、 $\lambda < 1$ の燃料過剰領域ではセンサ電圧 0.5 V 以上での変化が顕著である。また、バイアス電流: 0.0 mA では、燃料過剰領域でセンサ電圧が低下して負の値となった。しかし、バイアス電流: $0.3 \sim 0.6$ mA では、センサ電圧: 0.4 V (図2の一点鎖線) 周辺におけるセンサ電圧とポンプ電流の関係はバイアス電流を変えてもあまり変化しない。すなわち、排気ガスや水蒸気の浸入しても、従来のセンサのように基準ガスが変化してセンサが誤動作することはないと言える。

そこで、バイアス電流を 0.3 mA に固定し、センサ電圧: 0.4 V (一定) にポンプ電流を制御したときの、ポンプ電流の値と空燃比との関係を測定した (図3)。従来の複合セル型酸素センサと同様に、正規化空燃比 0.85 から 1.56 までの空燃比の変化に対してポンプ電流が連続的に変化しており、広範囲の空燃比測定が可能である。

5 まとめ

従来の複合セル型酸素センサの空気ダクトと多孔質のセル間絶縁層を兼用する、三電極酸素センサを開発した。三電極センサは、センサセルに一定のバイアス電流を流し、

図3 三電極センサの空燃比ポンプ電流特性

Fig. 3. Pumping current of a three-electrode oxygen sensor depending upon air-to-fuel ratio.

基準ガスを発生させることにより基準ガスが安定し、排気ガスのリークや水蒸気等による影響が低減され、動作の安定性が大幅に改善された。三電極センサは、複合セル型酸素センサと同様、燃料過剰領域から燃料希薄領域まで、広範囲の空燃比測定が可能であり、基準ガス用の空気ダクトを必要としないので、素子構造がより単純で製造が容易である。

本レターをまとめるにあたり御指導いただいた名古屋大学後藤俊夫教授に深く感謝の意を表する。

(平成6年2月25日受付)

文 献

- (1) S. Soejima and S. Mase: "Multi-Layered Zirconia Oxygen Sensor for Lean Burn Engine Application", SAE paper 850378 (1985)
- (2) 間瀬: "ジルコニア酸素センサー", ジルコニアセラミックス 10, P195 内田老鶴圃 (1989)
- (3) 西澤、間瀬、加藤: "ジルコニア酸素センサの大気中作動時の劣化と、その防止法" 電学論 投稿中
- (4) C.T.Young: "Experimental Analysis of ZrO_2 Oxygen Sensor Transient Switching Behavior", SAE paper 810380 (1981)

西澤 一 (正員) 昭和58年豊橋技術科学大学大学院修士課程修了。平成4年豊田高専(電気工学科)助教授。

間瀬 俊三 (非会員) 昭和36年名古屋大学大学院修士課程修了。同年日本ガイシ入社。現在、特許部長。

加藤 伸秀 (非会員) 昭和44年豊田高専電気工学科卒業。昭和46年日本ガイシ(株)入社。電子工業用セラミックスの研究開発に従事。