

排ガス用酸素センサ

(1976年～現在)

Key-words：酸素センサ、三元触媒、固体電解質、ネルンストの式、浄化率

注1 排気ガスの中でも問題となる炭化水素(HC)、一酸化炭素(CO)、窒素酸化物(NOx)の三種類のガスを水蒸気(H₂O)、二酸化炭素(CO₂)、窒素(N₂)、酸素(O₂)にする触媒。

自動車用酸素センサは三元触媒を用いた排気ガス浄化システムに用いられ、現在では内燃機関の燃焼制御に欠かせない重要な機能部品となっている。排気ガスを検出する燃焼制御用センサとしてジルコニア酸素センサが排気の上流側に装着され、下流側の触媒後にもOBD-II用の酸素センサが装着される。

ジルコニア酸素センサは信号が急峻な変化を示すところでHC,CO,NOxの三種のガスの浄化率が最も良いゾーンがあり、この幅の中で酸素センサの信号が理論混合比の濃い側(燃料リッチ)と薄い側(燃料リーン)の間で行ったり来たりしていれば、常に浄化率の良い排気ガスを排出することができる。

酸素センサは更なる規制の強化に伴い、対応する高性能、そして構造的には耐高温、耐機械的衝撃、耐熱衝撃、防水性、耐薬品性等を備えた高信頼性を考慮した設計が必要とされる。

1. 製品適用分野

自動車排気ガス浄化システム用酸素センサ(図1)



図1 酸素センサ

自動車用の酸素センサは、三元触媒を用いた排気ガス浄化システムに用いられ、内燃機関の燃焼制御に欠かせない重要な機能部品である。

2. 適用分野と背景

自動車用酸素センサは三元触媒^{注1})を用いた排気ガス

浄化システムに用いられ、現在では内燃機関の燃焼制御に欠かせない重要な機能部品となっている。排気ガスを検出する燃焼制御用センサとしてジルコニア酸素センサが排気の上流側に装着され、下流側の触媒後にもジルコニア酸素センサ(OBD-II用酸素センサ)が装着される(図2)。

このセンサは1976年にボッシュ社が世界で初めて市場に出し、ボルボ車に搭載された。その後、米国のGMやフォード、ついで日本のトヨタ、日産で採用され、現在では先進国の殆どで酸素センサを取り入れた燃焼制御システムが採用されている。

3. 酸素センサの原理

酸素センサは構成材料としてガスを感知する固体電解質であるジルコニアを用いる。固体電解質とは固体の中でO²⁻イオンが自由に動ける特性を有する物質であり、この固体電解質の板を壁として両側に白金の電極を有するA室とB室に分け、両室間に酸素濃度の差がある場合は濃度の高い側から低い側へと、酸素イオンがその濃度差を減らす方向に移動する。このO²⁻の移動はe⁻の移動で電池の働きをすることになるので起電力が発生する(図3)。そして、このときに発生する起電力は次の式に

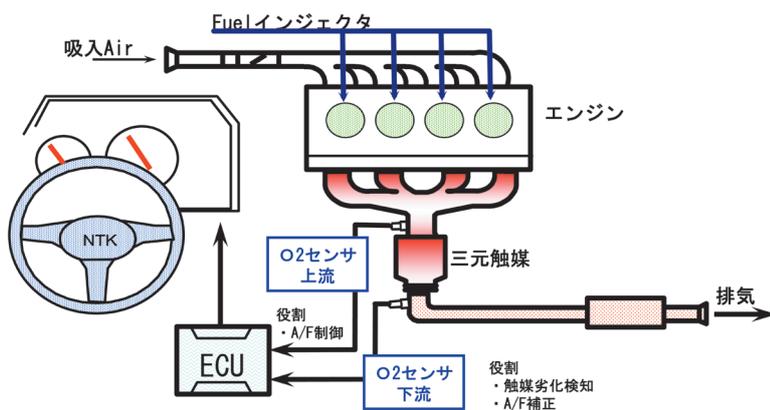


図2 酸素センサを使ったA/F制御システム

上流側に燃焼制御用のセンサが装着され、下流側の触媒後にOBD-II用酸素センサが装着される。ジルコニア酸素センサは現在の標準となる燃焼制御の重要な部品である三元触媒とともに用いられている。

示すことができ、これをネルンストの式^{注2)}という。

$$E = (RT/4F) \cdot \ln(Pa/Pb)$$

実際の空気過剰率(λ)と酸素分圧の関係から、この値をネルンストの式に当てはめると起電力が得られるが、 $\lambda = 1$ 付近を境に急激に酸素分圧が変化するため、酸素センサは $\lambda = 1$ を境に急峻な起電力変化を生じる。この急峻な起電力変化は、ほぼ1ボルトと大きいので特別な電気回路を必要とせずON/OFF信号として使うことができ、排気ガス中で $\lambda = 1$ の空気過剰率検出が可能となる。

4. 酸素センサによる空燃比制御

図4は三元触媒を用いたときのHC、CO、NOxの三種のガスの浄化率とシステムの中核となる燃料噴射を制御する酸素センサの信号を示す。

図中の酸素センサの信号が急峻な変化を示すところで三種のガスの浄化率が最も良いゾーンがあることがわかる。このゾーンをウィンドウといい、この幅の中で酸素センサの信号が理論混合比の濃い側(燃料リッチ)と薄い側(燃料リーン)の間で行ったり来たりしていれば、常に浄化率の良い領域中に排気ガスがあることになる。

注2 $E = (RT/4F) \cdot \ln(Pa/Pb)$

R: 気体定数, T: 絶対温度, 4: 酸素ガス分子 O_2 が2つの O^{2-} イオンになるため電子 e^- に置き換えるとすると4ヶ分の電子に相当することから4となる. F: ファラデー定数, Pa: 高い酸素濃度のA室の酸素分圧, これは通常大気を基準とする. Pb: 低い酸素濃度のB室の酸素分圧, 実際は排気ガス中の酸素濃度とする。

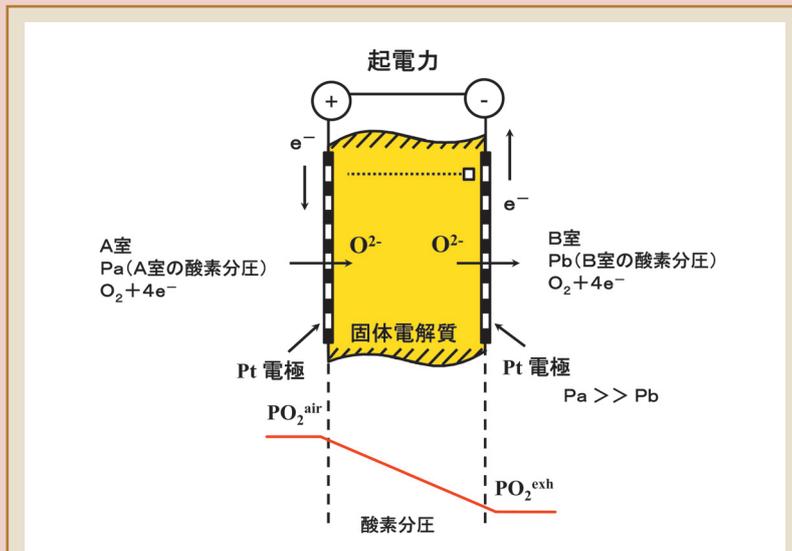


図3 酸素センサの原理

A室とB室で酸素濃度（酸素分圧）に差がある場合は、濃度が高い側から低い側へと酸素イオンがその濃度差を減らす方向に移動する。

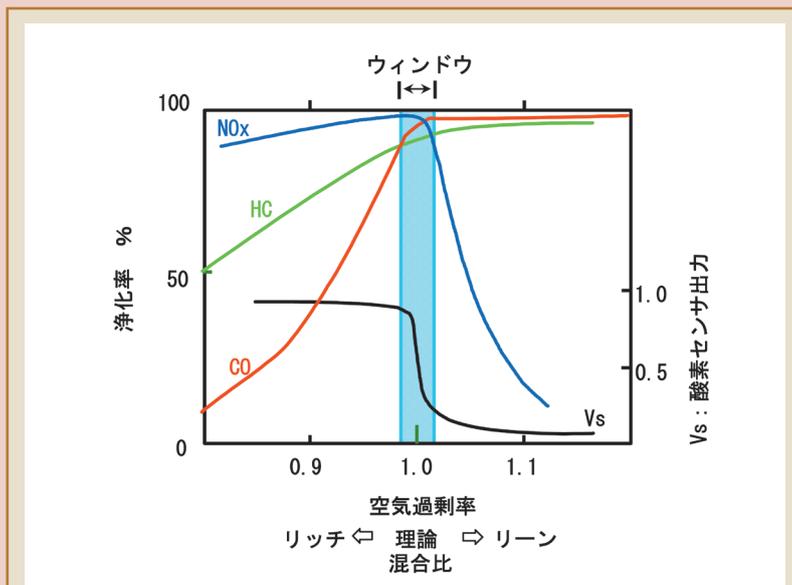


図4 酸素センサの基本特性と三元触媒の浄化率

三元触媒を用いたときのHC、CO、NOxの三種のガスの浄化率を示す。 $\lambda = 1$ は理論空燃比点を示し、理想的な完全燃焼ができる空気と燃料の混合比であり、この付近では三元触媒の浄化効率が最もよい。

5. 酸素センサの構造

酸素センサは重要な機能部品であるため、高性能、および高信頼性、例えば長期の耐久性保証 15 年間または 150kmile (24 万 km) 保証等が要求される。

図5に示すようにジルコニア酸素センサの構造は、耐熱性の高いステンレス材料からなる主体金具に素子部を収納し、素子部は排気ガス流にさらされるため、より高温に耐え酸化しにくいステンレス材料からなるプロテクターにて覆われている。

車両ではエンジンの振動や路面から受ける振動衝撃、石はね、水かき等々の極めて過酷な環境に晒されるため、構造的に耐高温、耐機械的衝撃、耐熱衝撃、防水性、耐薬品性等を考慮した設計が必要とされる。

減のため電気自動車や燃料電池車の市場投入が早まる可能性があるが、何れもインフラ整備や生産コストなどの課題が残されている。そのため、現行ガソリンエンジンのリーンバーン化やハイブリット化がより加速拡大する可能性が考えられるが、これらの排ガス処理システムにおいても酸素センサが必要となる。

また、中国やインドにおいても欧米や日本に遅れて排ガス規制が導入されるため、今後、世界規模での酸素センサの需要はさらに拡大するものと思われる。

文献

西尾兼光, “エンジン制御用センサ”, 山海堂 (1999) pp. 83-100.

[連絡先] 日本特殊陶業(株)

6. 将来展望

排気ガスの更なる規制強化に伴い、エミッション低

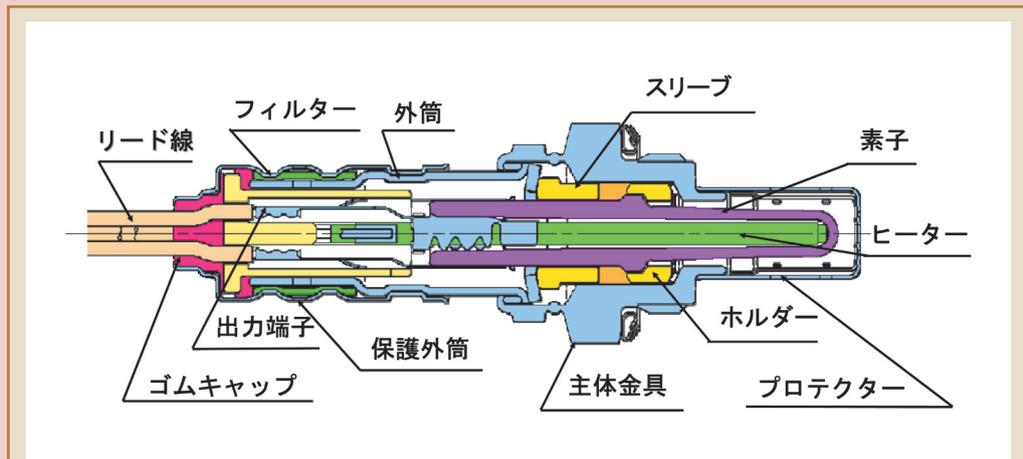


図5 酸素センサの断面図

排気ガス規制の強化に伴い高性能・高信頼性を考慮した設計が必要となる。