

小型二輪車用ヒータレスO₂ センサの開発

Development of Heaterless Oxygen Sensor for Small Motorcycles

浦 木 護*
Mamoru URAKI

林 達 生*
Tatsuo HAYASHI

要 旨

小型二輪車のO₂フィードバックシステム専用のO₂センサを開発した。小型二輪車用O₂センサとしては小型、低コスト、低消費電力が求められており、その実現のため細型プロテクタ、ヒータレス、キャップ、ボデーアースなどの構造を採用した。この結果として従来のセンサに比べて体積57%低減、質量43%低減、センシング部投影面積79%低減の小型化を実現し、部品点数削減による低コスト化、さらにはヒータレスによる低消費電力化を併せて実現した。また、センシング部の小型化により排気抵抗の低減によるエンジン出力及びスロットルレスポンスの向上が可能となり、センサの搭載自由度を高めた。また、本センサ搭載での完成車のエミッション性能として、EURO3モードエミッション規制値を達成した。

ABSTRACT

An oxygen sensor for the oxygen feedback system of small size motorcycles was developed. Small size, low cost and low power consumption are required for the oxygen sensor of small size motorcycles. To achieve this heaterless, thin protector, cap and body ground structures were adopted. As a result, the sensor was reduced by 57 % in volume, by 43 % in mass and by 79 % in the projected area of sensing unit compared with conventional sensors. Utilizing a heaterless design cost reduction by reducing parts and lower power consumption were realized. In addition, the engine output and drivability were enhanced due to the miniaturization of the sensing unit, and the flexibility of sensor installation was enhanced. Moreover, the EURO-3 mode emission control limit was achieved by using the developed sensor.

1. まえがき

近年、地球環境問題への関心が強まる中、二輪車の排ガスエミッション低減の要求が高まっており、世界各国で新しい排ガスエミッション規制が導入されつつある。2006年以降欧州向け二輪車へのEURO3規制が計画されており、その対応が求められている。

既に四輪車や大型二輪車では空燃比フィードバックシステム⁽¹⁾を採用し、エミッション性能を向上している。小型二輪車においても同様に、O₂フィードバックシステムの採用が必要となる。

しかしながら、四輪車や大型二輪車で使用しているO₂センサ⁽²⁾をそのまま小型二輪車に流用した場合、次に挙げるような懸案が生じる。

(1) 小型二輪車の短く小さな排気管へのセンサ搭載が困難となる。

(2) 排気管径の小さな小型二輪車では、排出ガス中に配置するセンサ素子の突き出し部分が排気抵抗となり、エンジン出力及びスロットルレスポンスが低下する。

(3) O₂センサ搭載性を確保するための素子加熱用ヒータ付き仕様となり、ヒータ消費電力増加による発電装置のフリクションが増大し、エンジン出力及び燃費が低下する。

これらの課題を解決するために、小型車用ヒータレスO₂センサを開発した。

本稿では、新たに開発した小型二輪車専用設計のO₂センサのねらいと特徴を述べるとともに得られた効果について説明する。

2. 開発のねらい

本センサ開発にあたり、小型二輪車に求められるO₂センサのニーズを考慮し、以下の三つを開発のねらいとした。

*二輪開発センター

- (1) 小型化
- (2) 低消費電力(素子ヒータレス)化
- (3) 低コスト化

O₂ センサは、素子部分を排出ガスの中に突き出して酸素量をセンシングするため、突き出す素子の部分が大きいと排気抵抗となる。この排気抵抗は、エンジン出力やスロットルレスポンスの低下を招くことになる。

特に小型二輪車の排気系はその排気量サイズから小排気管径となるために、O₂ センサ搭載による排気抵抗の影響を受けやすいので、小型車用O₂ センサの素子部は、排気抵抗が小さくなるように小型化する必要がある。

コスト低減の観点からも、部品点数及び使用材料の低減、小型化は求められる。

また、O₂ センサは酸素量をセンシングするために、素子が活性状態となることが必要である。素子を活性化するためには素子表面温度を約 300℃以上に維持する必要がある⁽³⁾。

大型二輪車で使用している O₂ センサは素子をヒータで加熱する方式を採用している。その理由として、排気出口からO₂ センサを配置するキャタライザ付近までの距離が長いことが挙げられる。シリンダを出た直後の高温な状態の排出ガスは、排気管を経てキャタライザに流入するが、この排気管が長いほどキャタライザに流入する時点の排出ガス温度は低い状態となる。低温な状態の排出ガスのセンシングでは、センサ素子温度が充分に上昇できず、素子活性状態を維持することができない。大型二輪車のO₂ センサは、排気管の集合部以後に配置されており、また、スペースの制約などからキャタライザ前付近に配置することがほとんどである。したがって排気出口からO₂ センサ配置位置までの距離が長い車両におけるO₂ センサは、素子加熱のためのヒータが必要となる。

素子加熱ヒータ付き O₂ センサの場合、センサ本体部内へのヒータの組み込みが必要であり、センサの大型化、ヒータ消費電力の確保及び部品点数の増加によるコスト増となる。

そこで小型二輪車用 O₂ センサとしては、センサを排気ポート付近にレイアウトして高温な状態の排出ガスを素子加熱用ヒータの代わりに利用することで、素子活性化をはかるヒータレス構造を採用する。このヒータレス構造により、センサ本体の小型化、低消費電力化、低コスト化が実現可能となる。

ヒータレス構造としたことで、素子加熱ヒータ付きO₂ センサに対し、センサ搭載時の消費電力を低減することができ、車両に搭載される発電装置のフリクション低減につながる。その結果として、燃費、エンジン出力、コスト低減に対し大きなメリットを得る。

3. 小型車用ヒータレス O₂ センサの特徴

ヒータレス O₂ センサの外形全体図を Fig. 1 に、構造図を Fig. 2 に、従来のセンサとの主要諸元比較を Table 1 にそれぞれ示す。体積、質量、センシング部投影面積はそれぞれ 57%、43%、79%の減少を実現した。

本センサ構造のユニークな特徴は、ガソリンエンジンの点火プラグのようなキャップ構造と、セラミックスリーブ(外筒)の採用である。

従来のO₂ センサリード線は、センサ信号、アース線ならびにヒータ線を、ゴムキャップやグロメットなどのゴム部分を通して本体側金属部品とかしめ、本体と一体化されていた。これをキャップ構造として脱着可能な構造とすることで、本体の小型化はもとよりセンサを車体に取り付ける際に必要となるワーキングスペースの低減を図ることが可能となった。これにより小型二輪車への搭載自由度を高めた。

さらに、リード線取り出し部のかしめ加工を不要としたので、従来のO₂ センサが取付けネジより各リード線取り出



Fig. 1 External view of developed heaterless O₂ sensor

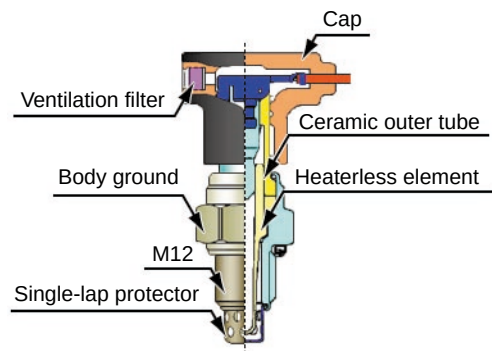


Fig. 2 Structure of heaterless O₂ sensor

Table 1 Specifications of sensors

Sensors		Developed	Conventional	Reduction rate
Flange height (mm)		40	55	27%
Screw radius		M12	M18	33%
Protector	Outer diameter (mm)	7.3	10.4	29%
	Projection area (mm ²)	43.6	206.5	79%
Parts number		15	26	—
Volume (cm ³)		6.4	14.8	57%
Mass (g)		38	67	43%
Heater		Unattached	Attached	—

し側の構造体を金属としていた部分を、セラミックスリーブと呼ぶアルミナセラミックスとした。このアルミナセラミックスは、高温下においても高強度かつ高絶縁の材料であり、その特性から、本体構造部品としての強度と、絶縁性部品としての機能の両立を目的として採用した。これらの構造の採用により、部品点数の削減、センサ製造工程の簡略化を実現した。

さらにこのセンサの特徴としては、排出ガスが高温になる排気ポート出口直近に取付けを可能にするために、従来のセンササイズ⁽²⁾に比べ大幅に小型化していることである (Fig. 3)。

センサ本体の小型化は、搭載自由度を向上し、かつコスト低減に貢献している。センシング素子部の小型化はエンジン出力特性、スロットルレスポンスの悪化を防ぐことに大きく寄与する。

センサの主要構造は、以下の四つである。

- (1) 細型プロテクタ構造
- (2) ヒータレス構造
- (3) キャップ構造
- (4) ボデーアース構造

2章に述べたねらいを達成するために上記構造を新たに適用した。

3.1. 細型プロテクタ構造

排出ガス中の酸素量センシングのために突き出す素子のプロテクタ外形は可能な限り小型化した (従来のセンサに対しセンシング部投影面積 79% 低減)。

排気管内に突き出す面積が大きいほど排気抵抗となり、エンジン出力特性及びスロットルレスポンスへの悪影響が生じる。

Fig. 4 に 50 cm³ スクータを試験車両として用いた場合の排気管へのプロテクタ突き出し面積と車速に対する排出ガス圧力の関係を示す。Fig. 4 中の車速 0 km/h はアイドル状態を示しており、試験車両の排気管内径は 16.8 mm である。突き出し面積なしはセンサを排気管に取付けなかった場合を示す。

Fig. 4 から、排気管径の小さな小型二輪車では排気管へのセンサ突き出しが最大車速 (57 km/h) では排出ガス圧力の上昇に大きく影響していることがわかる。本センサではプ

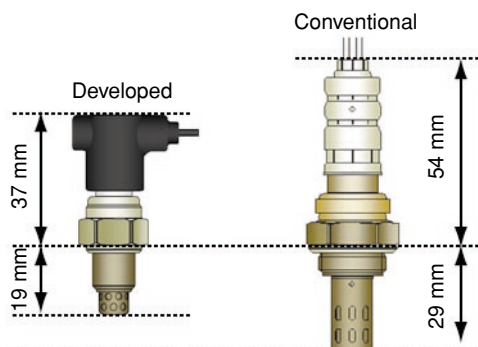


Fig. 3 Comparison of sensor dimensions

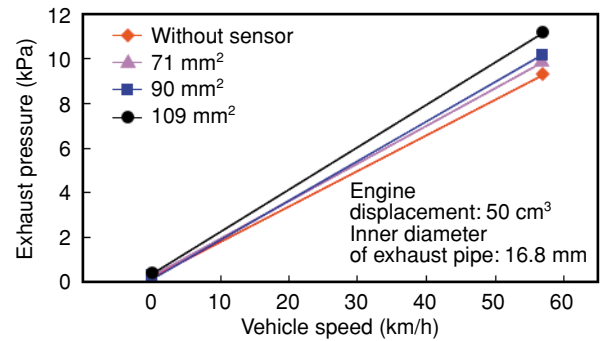


Fig. 4 Relationship between sensors projection area in exhaust pipe and exhaust pressure by vehicle speed

ロテクタ投影面積を 43.6 mm² と小型化し、排気抵抗の低減を図った。

その一方で、3.2. 節で述べるヒータレス構造では、センサ素子が活性化するための素子温度を排出ガスの熱によって確保する必要がある。排気抵抗低減として、センサの排気管への突き出し部分は減らしたいが、排出ガスの熱を素子が受けやすくするように、排出ガス当たり部分は増大させたいという、相反する要求が発生する。

センサ素子部への凝縮水の付着は、熱衝撃によりセラミックスの素子が割れる懸念がある。そのために従来のセンサでは、ヒータによる素子の加熱で素子活性温度を確保できることから、排出ガス当たりを減らす二重構造プロテクタを採用し、排気管内に発生する凝縮水の素子への付着低減を図る設計としている。本センサではヒータレス構造⁽⁴⁾としたことで、凝縮水が発生するような運転条件下では、素子自体の温度が低くなり、凝縮水被水による熱衝撃を低く保つことができる。これにより、プロテクタを一重にした細型構造が採用可能となった。

また、一重の細型プロテクタ構造により、従来の二重プロテクタ構造に対し、排気管への少ない素子突き出し量で多くの排出ガスを素子部へ導入することが可能となり、ヒータレス構造の成立へも寄与している。プロテクタ部構造の比較を Fig. 5 に示す。

3.2. ヒータレス構造

開発のねらいでも述べたように、従来の O₂ センサは素子活性化に必要な素子加熱用ヒータを装備している。この素子用ヒータは約 6.6 W 程度の消費電力を必要とする。

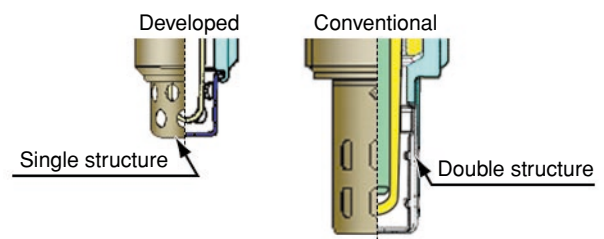


Fig. 5 Comparison of protector structures

Fig. 6 にテスト車両(50 cm³ スクータ)での車速に応じた排気管各部の温度測定結果を示す。

排気管上流の排気ポート付近に O₂ センサを配置すれば、高温の排出ガスをセンサ素子部分が受けることができ、素子を加熱するヒータがなくても、センシングに必要な素子活性状態を維持することが可能となり、ヒータレス構造が実現できる。

排気ポート付近に O₂ センサを配置する際の注意点としては、排気ポートからキャタライザまでの排気管内での残留酸素の変化量についての確認が必要である。排気管の距離が長い場合や、複数気筒の集合などにより複雑な排気管形状の場合、排気管内での再燃焼作用により、センシング部位とキャタライザ入口部の排出ガス残留酸素量が大きく異なり、O₂ フィードバックの制御性に影響が出ることが考えられる。しかし、排気管長が短く小径の小型二輪車においては、排気管内の残留酸素量変化から算出される A/F 値の差は約 0.1 以下であり、制御性への影響は無視できるレベルである。

センサ本体の小型化と、排出ガスの熱を効率よく素子本体に伝導するため、素子全長を短く設定した(従来センサ - 16 mm)。Fig. 7 に素子構造図を示す。

ヒータレス構造の採用は、ヒータ本体、ヒータ配線削減、

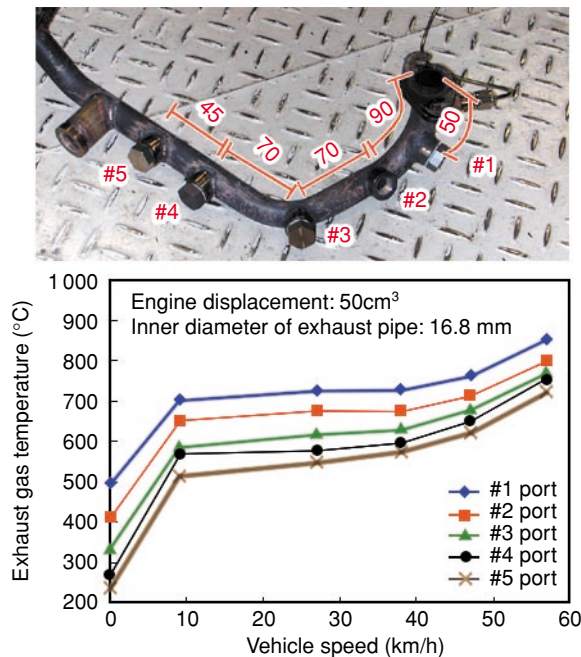


Fig. 6 Measurement result of exhaust gas temperature in each port

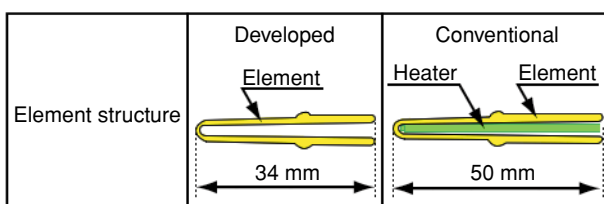


Fig. 7 Comparison of element structures

他のヒータ支持部品削減により、センサ本体の小型化、素子加熱ヒータ電力低減、低コスト化といった本センサ開発におけるすべてのねらいに対して効果的な手段である。

3.3. ボデーアース構造

ボデーアース構造図を Fig. 8 に示す。従来はリード線にて取り出していたアース信号を、ボデーアース構造とすることで部品点数の削減を実現した。

ボデーアース構造としたことで、取付けに関してはネジ部のトルク管理とセンサ設置部のアース確保に注意した。

センサボデーネジ部はシリンダヘッドのアルミ材料への取付けを考慮して必要なネジリーチ長を確保した。

また、ボデー構造において、従来のセンサは本体構造部品を金属製外筒にて構成⁽²⁾し、センサ出力線、アース線及びヒータ線の絶縁部をセパレータと呼ぶ絶縁性のセラミックス材で構成していたのに対し、本体構造部品を絶縁性のアルミナセラミックス材を用いたセラミックスリブと呼ぶ部品とすることで強度確保と絶縁性の両立を図り、構造の単純化と部品点数削減及びセンサ製造工程の簡略化を実現した。

3.4. キャップ構造

キャップ構造図を Fig. 9 に示す。センサ本体と信号線取り出し部を分割可能なキャップ構造とすることで、本体サイズの小型化に大きく寄与している。

また、キャップ構造をL字構造として信号取り出し方向を90° 曲げることが可能となり、小型二輪車のコンパクトな排気系への搭載性を向上した(Fig. 10)。

さらに、信号取り出し部を分割構造としたことで、センサ本体の車体への組み付けが特殊工具不要となり、生産性向上にも寄与した。

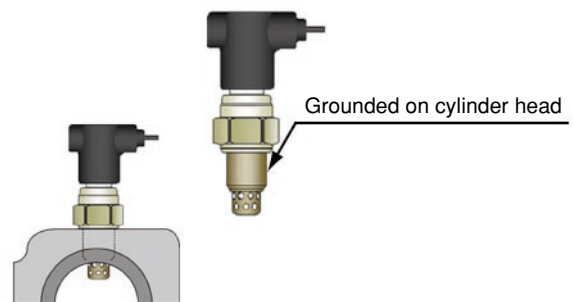


Fig. 8 Structure of body ground

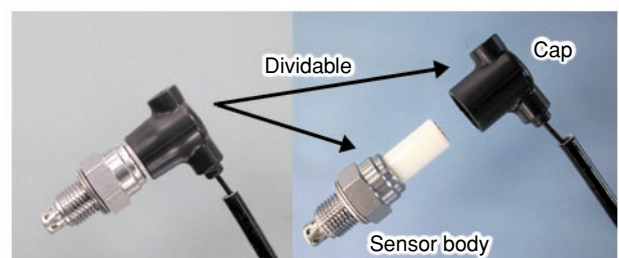


Fig. 9 Structure of cap

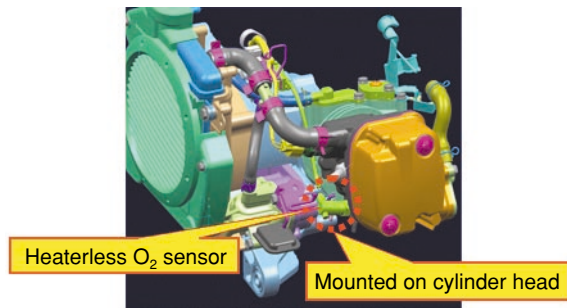


Fig. 10 Example of O₂ sensor mounted on scooter engine

キャップ部には、センサ内部への基準酸素取り込み用の防水性換気フィルタ(PTFE製)を設置し、万が一、センシングに影響を与えるガスがセンサ内部に発生した場合に備えて自己浄化を可能とした。

キャップ部の防水性能は、一般の防水カプラと同レベルの耐水圧を確保する仕様とし、車体搭載に必要なタフネスを備えた。

また、排気系へのセンサ搭載が前提となるため、センサ取付け部が高温になることを想定し、キャップ外郭素材にはフッ素ゴムを使用した。これにより、高温耐久性230℃を実現している。

ボデーアース構造かつキャップ構造としたことで、センサ素子とリード線間の導通端子をシンプルな配置にすることができ、センサ本体の小型化を可能にした。

4. 完成車テスト結果

ヒータレス O₂ センサの完成車(100 cm³ クラスのスクータ)搭載テストにおいて、EURO3 モードエミッション規制値を達成した。

EURO3モードエミッション測定時のセンサ各部位温度推移とエミッション測定結果をFig. 11とTable 2にそれぞれ示す。

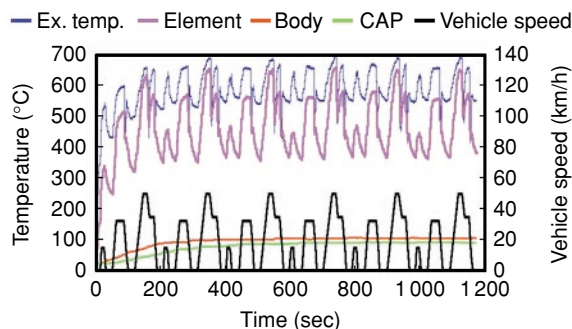


Fig. 11 Measured temperatures during emission measurement test

Table 2 Emission results

Emission	CO	HC	NOx
Result value	1.03	0.14	0.05
Limit value	2.0	0.8	0.15

5. まとめ

小型二輪車に求められるコンパクトなセンシング部を持つ小型二輪車専用の O₂ センサを開発した。

- (1) ヒータレス、細型プロテクタ、キャップ、ボデーアースなどの構造によりセンサ本体を小型化して、従来のセンサに対し、体積57%低減、質量43%低減、センシング部投影面積 79%低減を達成した。
- (2) エンジン出力及び燃費の低下が少ないヒータレス構造の小型O₂センサの採用により、エミッション適応性において、完成車との組合せでEURO3モードエミッション規制値を達成した。

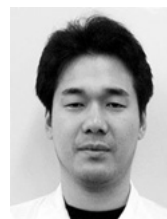
謝 辞

本開発にあたり、御協力を頂きました日本特殊陶業株式会社の牧野圭祐氏、奥村達也氏に、心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 西尾兼光：エンジン制御センサ，東京，山海堂，p.77-100(1999)
- (2) 中原吉男，高見昭雄：自動車用燃焼制御センサ(4)，内燃機関，30巻11号，p.72-82(1991)
- (3) 中原吉男，高見昭雄：自動車用燃焼制御センサ(6)，内燃機関，31巻3号，p.69-76(1992)
- (4) 中原吉男，高見昭雄：自動車用燃焼制御センサ(5)，内燃機関，30巻12号，p.73-84(1991)

■ 著 者 ■



浦木 護



林 達生