



# 自動車用セラミックスの開発動向

山 口 俊 三\*

## Development of "Car-ceramics"

Shunzo YAMAGUCHI

### 1. はじめに

ファインセラミックスは、一般に熱的・化学的に安定であり、電気的にも優れた特性をもつことから、将来の新素材として、各分野で注目されている。

近年、自動車用ガスタービンエンジンや自動車エンジン部品として、実用化の可能性が報告されるようになって、特に、世間一般の注目を集めるようになってきた。時に、世は鉄の時代から新石器時代に移りつつあるといわれるほどになっている。

その注目を集めているセラミックスが、自動車用として使われた歴史は古い。数十年前、自動車の普及とともに、ガソリンエンジンのスパークプラグの絶縁用碍子としてアルミナが既に使用されている。その後 1973 年の石油危機と昭和 50 年 (1975 年) の排出ガス規制に対応して排気系で使用される排気温度センサーを初めとして、多くのセラミックス部品が使われるようになった。

ここでは、開発・実用化が進んでいるセラミックス部品が自動車用として、どのように使われているかを日本電装(株)関連品について紹介し、現実にセラミックス部品の実用化が進んでいる様子を理解していただき、構造用セラミックスを主とする今後の開発動向については、各社の開発状況を含めてまとめ、今後より多くのセラミックス部品が自動車部品として実用化されていくことを実感していただきたい。

### 2. 自動車用セラミックスとは

セラミックスは一般に、「熱処理によって得られた非金属の無機質固体」と定義される。また、セラミックスは応用面より大別して、機能性セラミックスと構造用セラミックスに分けられる。表題の自動車用セラミックスは、自動車関連で使用されるという意味で用いられており、「カーセラミックス」と呼ばれることもある。

ここでカーセラミックスとして注目されるようになったのは、排気規制対策部品として、触媒担体、排気温度センサー、酸素センサーなどが使用されるようになってからである。

代表的な部品の歴史をまとめると Fig. 1 のようになる。これは日本電装における開発発売の時期をしめしたものであるが業界の動向とみなしてもよい。

その後、カーエレクトロニクスの普及とともに各種センサーを導入し、燃費低減、商品性向上が計られてきている。各種セラミックス部品の使用部署を Fig. 2 に示す<sup>1)</sup>。

これらはすべて一台の車についているわけではなく、およその搭載位置をしめしている。材料としては、アルミナ、フェライト、サーミスタからはじまり、次にコージェライト、ジルコニアが使われ、最近になって PZT、チタバリ半導体 (PTC)、窒化珪素などが使われるようになった。

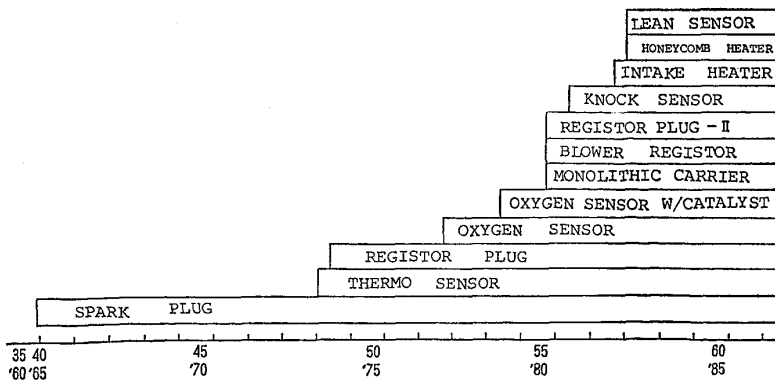


Fig. 1. Chronological development of car-ceramics components.

昭和 60 年 12 月 23 日受付 (Received Dec. 23, 1985) (依頼解説)

\* 日本電装(株)第 1 研究開発部研究主任 (Research & Development dept., Nippondenso Co., Ltd., 1-1 Showa-cho Kariya Aichi pref. 448)

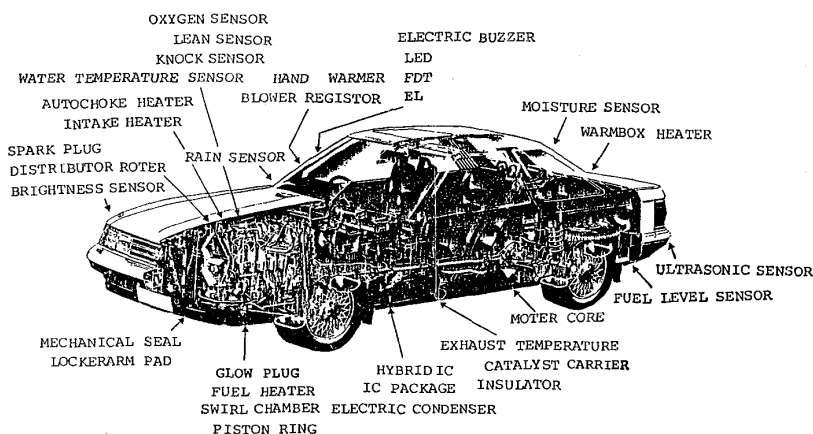
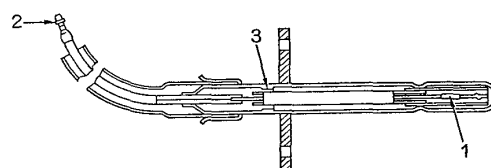


Fig. 2. Application of ceramic components to automobile<sup>1)</sup>.

Table 1. Material of car-ceramics (Functional).

Thermo sensor	ZrO <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Oxygen sensor	ZrO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub>
Knock sensor Ultrasonic sensor	PZT
Ceramic heater	PTC



1. Thermistor 2. Electrode (+)  
3. Electrode (-)

Fig. 3. Thermo sensor<sup>2)</sup>.

### 3. 機能性セラミックスの開発動向

機能性セラミックスとは、絶縁性、半導性、圧電性、イオン伝導性などの性質をもつセラミックスで、その電気的特性を利用するのでエレクトロセラミックスとも呼ばれている。Table 1 に機能性セラミックスの製品例とその材料をまとめて示す。以下に代表的な製品を取り上げセラミックスの特性、構造、応用例などを概説し自動車用セラミックス部品の研究開発の状況を理解していただくことにする。

#### 3.1 スパークプラグ

スパークプラグは、ガソリンエンジンの各シリンダヘッドに取りつけられ、1000°C 以上、45 atm 以上の燃焼ガスにさらされ、約 10~20 kV の高電圧が加わる。これを満足するために、碍子はアルミナセラミックスを使用している。ターボ車の出現、軽量化などから、小型プラグ、突出しプラグなどの特殊形状プラグが増加し、スパークプラグの碍子に対する要求もきつくなり、材料改良も必要となつてくるとされる。

#### 3.2 サーモセンサー

排気規制に対応して、酸化触媒が使用され、その触媒の温度検出用として、サーモセンサーが使用されるようになった。サーモセンサーには高温サーミスタが使用されている。サーミスタ材料としては、高温用には ZrO<sub>2</sub> 系、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系を主体としたものが多いが、ここでは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系を用いている<sup>2)</sup>。サーモセンサーは、自動車の触媒装置に使用されるために、温度、振動、霧囲気、熱衝撃などの使用環境条件を十分に考慮して、

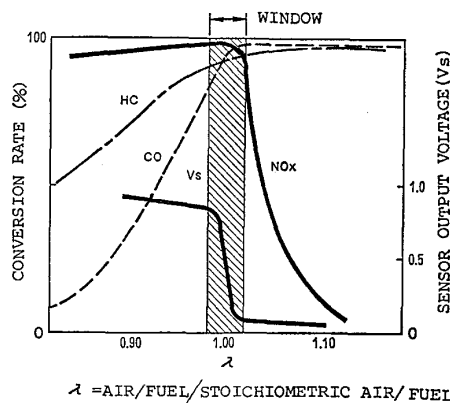


Fig. 4. Catalyst performance and property of oxygen sensor<sup>2)</sup>.

Fig. 3 に示すような構造としサーミスタは耐熱金属チューブ内に固定されている。

#### 3.3 酸素センサー

引き続き、排気規制が強化されたのに伴い、三元触媒を採用した排出ガス対策方式がとられ、この方式に酸素センサーが使用されるようになった。

酸素センサーはエンジンの排出ガス中に取りつけられ、排出ガス中の空気過剰率 ( $\lambda$ ) を判定するものである<sup>2)</sup>。Fig. 4 は横軸に  $\lambda$  をとり三元触媒浄化率を示したもので、 $\lambda=1.0$  付近で CO, HC, NO<sub>x</sub> 三成分すべてが浄化される。システムは、酸素センサーの出力により、この  $\lambda=1.0$  の点にエンジンへ供給される燃料量をフィードバック制御するようになっている。

酸素センサーは Fig. 5 に示すように、CaO または

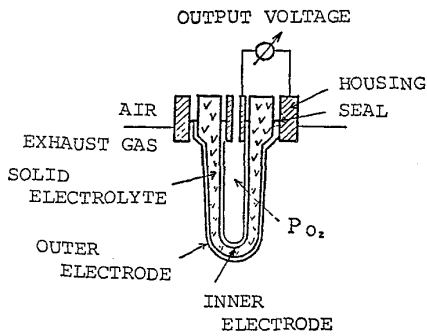


Fig. 5. Oxygen sensor<sup>2)</sup>.

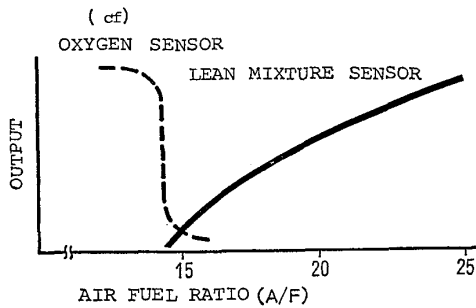


Fig. 6. Property of lean mixture sensor<sup>3)</sup>.

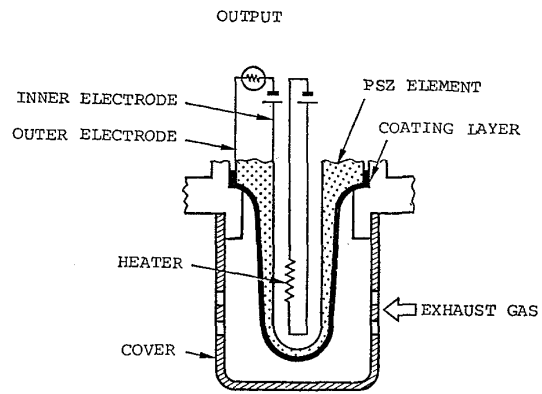


Fig. 7. Lean mixture sensor<sup>3)</sup>.

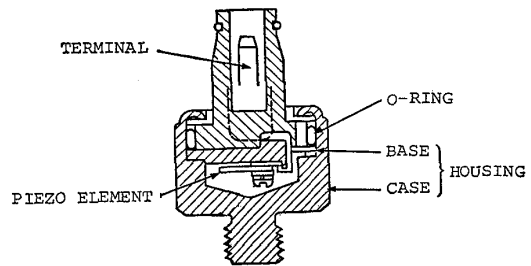


Fig. 8. Knock sensor<sup>5)</sup>.

$Y_2O_3$  で安定化された先端が閉じた円筒状の  $ZrO_2$  固体電解質と、その内外面につけられた内側電極と外側電極とからなる。内側電極は大気に開放され、外側電極は排出ガスに触れている。外側電極には被毒保護のため、多孔質コーティング層を設けている。内外電極面の酸素濃度の差により、センサー電圧が発生し、Fig. 4 に示すような Z 形の電圧曲線がえられる。ある一定の基準電圧を定め、信号の大小により、リッチか、リーンかを判定する。

**3.4 リーンミクスチャセンサー**

酸素センサーと同じ、 $ZrO_2$  固体電解質を用いて、排出ガス中の空気過剰率を検出するセンサーとして、リーンミクスチャセンサーが最近、開発実用化された<sup>3)4)</sup>。このセンサーの特性は、Fig. 6 に示すように、空気過剰率(空燃比)の増加とともに、ほぼ直線に増加するようになっている。センサーの構成を Fig. 7 に示すが、従来の酸素センサーと比べて、電流検出していること、ヒーターを内蔵して素子を一定温度にしていること、コーティング層の厚さなどがことなっている。

このリーンミクスチャセンサーを用い、エンジンの空燃比を 22 程度にフィードバック制御することにより、大幅な燃料消費の向上が達成されている。

なお、このリーンミクスチャセンサーには、アルミナセラミックスをベースとし、金属ペーストを印刷焼成したセラミックヒーターを用い、高温用を可能としている。

**3.5 ノックセンサー**

圧電性セラミックスを応用したものとして、ノックセ

ンサーがある<sup>5)</sup>。材料として、チタン酸・ジルコン酸鉛(PZT)が使われている。圧電性セラミックスの上下面に金属電極をつけ、力を加えると電圧が発生する。

ノックセンサーの構造の一例は Fig. 8 に示すようで、短冊状の圧電素子により、エンジンのノッキング時の小さな機械振動(ライトノック)を検知する。

**3.6 超音波センサー**

ノックセンサーに使用される圧電性セラミックスの他の応用例として、超音波センサーがある<sup>6)</sup>。これは後方障害物感知装置として実用化されている。

超音波を送信あるいは受信する後方検知センサーの超音波センサー部に PZT 圧電性セラミックスがつけられる。

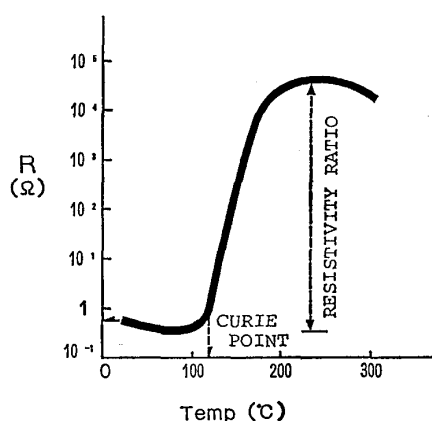
**3.7 セラミックヒーター**

PTC セラミックスは、正の抵抗温度係数を持つサーミスタで、 $BaTiO_3$  に微量元素を添加することにより、半導体化し、キュリー点を過ぎると異常に抵抗が上昇するもので、Fig. 9 に特性の一例を示す。この PTC セラミックスをハニカム状とすることにより、放熱性が良く、温度の立ち上がりの早い、また、自己温度制御できるセラミックヒーターにでき、寒冷時のステアリングを握った手を暖めるクイックハンドウォーマーに使用される<sup>7)8)</sup>。

また、この PTC ハニカムは、放熱性の良いレジスタ素子として、自動車空調用ブローの保護用にも使用されている。この他、PTC セラミックスは、気化器直下の

Table 2. Property of car-ceramics (Engineering).

	2M · 2A · 5S	L · A · xS	K · A · M · S · F	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	SiC
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.5	2.1	2.6	3.95	5.5~5.9	3.2	3.2
Compressive strength (kg/mm <sup>2</sup> )	20	23	30	330	—	—	—
Flexural strength (kg/mm <sup>2</sup> )	7.0	7.5	11	55	60~100	65~100	45
Young's modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	—	0.51 × 10 <sup>4</sup>	0.63 × 10 <sup>4</sup>	3.5 × 10 <sup>4</sup>	1.5~10 <sup>4</sup>	3.3 × 10 <sup>4</sup>	4.5 × 10 <sup>4</sup>
Hardness (45N)	—	—	—	88	85	87	92
Thermal expansion (10 <sup>-6</sup> /°C) RT~800°C	0.8	0.12	11	8	11	2.9	4.4
Thermal conductivity (cal/cm · s · °C)	0.003	0.0035	0.004	0.065	0.004	0.037	0.158
Specific resistance (Ω · cm)	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>14</sup>	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>6</sup>

Fig. 9. Resistivity vs. temperature<sup>(7)8)</sup>.

ヒートライザ部につけられ、エンジン暖気始動時の吸気(混合気)加熱にも使用されている。

以上、機能性セラミックスの開発例について見てきたが、カーエレクトロニクスの発展に伴い、上記した以外にも各種センサー、アクチュエータが必要となつてきている。これらに対しても、ニューセラミックスが大きな役割を果たしていくものとおもわれる。

現在、話題となつているセンサーとしては、NO<sub>x</sub>センサー、日射センサー、COセンサー、湿度センサー、スモークセンサーなどがあり、近い将来実現するものと考えられる。また、これら多くのセンサー機能を一つの素子に集約する多機能化や、薄膜化による小型化などが今後の開発方向であろう。

#### 4. 構造用セラミックス

以上見てきた機能性の他に、セラミックスの持つ特性として、耐熱性、低熱膨脹性、低熱伝導性、高温高強度、高硬度、耐摩耗性、低比重、化学的安定性などがありこれら特性を活かした応用に使われるものを構造用セラミックスと称し、この構造用セラミックスの自動車部品への応用も数多く考えられている。以下 Table 2 に構造用セラミックスとして知られるセラミックスの特性をまとめて示す。以下、その開発検討例について記述する。

##### 4.1 触媒担体

構造用セラミックスとして、使用実績あるものによ

ず、解媒担体がある。この触媒担体は触媒物質が担持され、排出ガス中に配置されるものである。

このうち、モノリス・ハニカム触媒担体は<sup>9)</sup>、小型、軽量にできること、触媒コンバーターにした時に、構造が粒状担体の場合に比べ簡単にできることなどにより、特に自動車用として、新たに開発されたものであり、特殊な金型を用いた押出成形法により一体的に製作される。

主原料として、粘土鉱物のカオリン、タルクを用い、有機バインダと水を加え、押出成形し、焼成することにより、コーディエライト組成 (2MgO · 2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5SiO<sub>2</sub>) の焼成物が得られる。25°C~1000°Cの平均の熱膨脹係数が 0.7~1.0 × 10<sup>-6</sup>/°C という非常に小さな熱膨脹性を示し、自動車排気系へ装着した時の熱衝撃にも十分耐えられるものとなつている。

##### 4.2 ディーゼルエンジン部品

構造用セラミックスは、エンジン本体やエンジン直近の部品にも使用が期待されており、これはガソリンエンジンにたいしてよりもディーゼルエンジンに対して検討されている。

セラミックスの応用が期待される部品としては、燃焼室部品、動弁系部品、ターボチャージャ部品がある。

一例として、カミンズ社の低摩擦・断熱ディーゼルエンジンがある<sup>10)</sup>。これは軍用車両を目的として、エンジン燃焼室まわりを、部分安定化ジルコニア (PSZ) によりセラミックス化して断熱し、高温となつた排気のエネルギーを、ターボコンパウンド化により、回収し、燃費を改善するようになってきている。効果は燃費が改善されること、粗悪燃料での運転が可能になることなどがある。他にも、米国、西独などの大学・企業の研究所でセラミックエンジンの検討を行つている例は多いが、いずれも基礎段階のようである。

国内でも、各社でセラミックスを使つたディーゼルエンジンを検討しており、実機運転できることも報告されているが、エンジン性能上の効果などはいまだ明確にされていない。

##### 4.3 副燃焼室

実際にディーゼルエンジンに適用し、市場に登場した

例としては、渦流室型エンジンの副燃焼室をセラミック化したものがある。トヨタ自動車といわず自動車、個別に開発実用化しているが、共に  $\text{Si}_3\text{N}_4$  製であり、エンジン部品として  $\text{Si}_3\text{N}_4$  が実用化されたのは、画期的な出来事といつても良い。他に、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  を用いたセラミックグローブプラグの例もあり、非酸化物セラミックスの活用例の一つとして興味深い。

また、セラミックス焼結体ではないが、他のセラミックスの応用例として、セラミックファイバーを用いた金属系複合材料を使用したセラミックファイバー合金強化ピストンがトヨタ自動車において開発され量産採用されている<sup>11)</sup>。

このように一部の部品ではあるが、実際にセラミックスを用いた部品が量産エンジンに採用されたことは、今後、構造用セラミックスのエンジン部品への使用拡大が急速に進むことを期待させる。

#### 4.4 ターボチャージャロータ

セラミックスの適用が期待される他の部品としては、ターボチャージャロータがある。ターボチャージャロータは、現在、特殊合金製のものが使用されているが、高温の排出ガス中で使用でき、かつ軽量化により応答性を良くできるため、ロータのセラミックス化が各社で検討されている。

フォルクスワーゲン社においてセラミックターボチャージャロータを 1.5 L ディーゼルエンジンで評価した結果、金属製に比べ応答性が向上したことが報告されている<sup>12)</sup>。

国内各社においても、盛んに開発が進められており、各種展示会においても、多くのサンプルが展示されており、また、最近、日産自動車からセラミックターボチャージャロータ付車が発売されている。

#### 4.5 ガスタービンエンジン部品

ディーゼルエンジン以上にセラミック部品の開発が期待されるエンジンとして、ガスタービンエンジンがある。ガスタービンエンジンの場合には、燃焼ガスのタービン入口温度が高くなれば、エンジンの熱効率の向上が期待できる。

金属タービンプレードであれば、タービン入口温度を  $1000^\circ\text{C}$  以上にはできないが、セラミックスとすることにより、 $1200^\circ\text{C}$  以上にすることができれば、熱効率を 30% 以上向上できる。

ガスタービンエンジンへのセラミックスの採用については、米国において、国家プロジェクトである AGT 計画などがあり、現在、モデルエンジンが完成しプロジェ

クトとしての目標はほぼ達成し、実用化の可能性も高くなっているようである。

使用されているセラミックスとしては、 $\text{SiC}$  が主で、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、MAS、LAS など部品によつては採用されている。

国内各社も自動車用ガスタービンエンジンのセラミック化の開発を進めているようであるが、小型であるので、セラミック化には、米国の場合よりかえつて有利と考えられている。

## 5. おわりに

以上、自動車用セラミックスについて見てきたように、機能性セラミックスについては、すでに多くのものが実用化されており、今後も引き続き、新製品が開発されていくものと思われる。構造用セラミックスに関しては、エンジン部品としての大きな期待がかけられながら、本格的な実用化には、まだ若干の時間がかかりそうである。

今後の自動車へのニーズとしては

- A. 省資源・省エネルギー
- B. 安全・無公害
- C. 商品性向上

などがあげられるが、これに良くマッチした製品をタイミング良く供給する必要がある。

なお例としてあげた各種部品の開発は日本電装(株)セラミック技術部の手によるものが多いが、開発に当たってはトヨタ自動車並びに豊田中央研究所の関係各位の御援助をいただいた。

## 文 献

- 1) 森田正俊: ファインセラミックス (1985), p. 79
- 2) 黄木正美: セラミックス, 17 (1982) 1, p. 21
- 3) 小林伸行, 赤塚隆夫, 中野次郎, 本杉勝彦: 自動車技術, 38 (1984) 9, p. 1130
- 4) 加茂 尚, 中條芳樹, 赤塚隆夫, 中野次郎, 佐野博美: 自動車技術会 学術講演会前刷集 (1984) 842, p. 285
- 5) 太田 淳, 加茂 尚: セラミックス, 17 (1982) 1, p. 30
- 6) デンソー技報 (1984) 3, p. 8
- 7) 神保昇二, 渡辺忠清: 自動車技術, 38 (1984), p. 1254
- 8) デンソー技報 (1984) 10, p. 2
- 9) 土井晴夫: セラミックス, 17 (1982) 1, p. 25
- 10) 大橋正昭: 工業材料, 31 (1983) 12, p. 98
- 11) 堂ノ本忠: 自動車技術, 37 (1983) 8, p. 884
- 12) 岡野 弘: セラミックス, 18 (1983) 1, p. 33