

# 断熱ディーゼルエンジン

(未実用化)

## 見学可能：

京セラ(株)本社2F「京セラファインセラミック館」

京セラ(株)鹿児島国分工場「京セラファインセラミック館」

Key-words:断熱ディーゼルエンジン, 窒化ケイ素

**注1** 燃料のエネルギーのうち動力として有効に用いられる割合は25%程度で、半分以上のエネルギーが冷却水や排気ガスとして捨てられる。このうちの冷却で捨てられるエネルギーを減少することで、エンジンの効率を上げようとするもの。

**注2**  $\text{Si}_3\text{N}_4$  で示される窒素とシリコンの化合物。アルミナや希土類酸化物を添加して液相焼結される。熱伝導度や熱膨張係数が小さく、断熱性や耐熱衝撃性に優れる。

1970年代の米ソの冷戦下では、高温熱機関を開発するために不可欠な超耐熱合金を構成するニッケル・クロム・タンブステン・チタンなどの耐熱金属大分部が、共産圏で産出することに大きな危惧があった。それらを代替するために、地上にあまねく産出するシリコンや窒素、炭素材料を用いた新材料（セラミックス）の開発が重要となった。また、エンジンの最大の弱点である冷却装置（ラジエーター）をなくすことで、堅牢性と高出力化、軽量化を図るために、上記セラミック材料を用いた断熱ディーゼルエンジンの開発が米国カミンズ社などにより推進された。

日本では、第二次オイルショックによりエネルギー危機に対する意識が高まった。エンジンの高効率化や燃料の多様化への対応のために、セラミック材料を用いた高効率断熱ディーゼルエンジンの開発が、当時の通商産業省の指導の下、NEDO（新エネルギー開発事業団）の主導により推進された。

京セラでは、新規に開発された窒化ケイ素<sup>注2</sup>を用いた断熱ディーゼルエンジンを開発し、鹿児島県の錦江湾岸を走破することに成功した。この様子は1982年の正月にNHKで放映され、セラミックスの開発に多くの研究機関が傾注することとなった。

## 1. 適用分野

自動車全般

## 2. 背景

セラミックエンジンの開発は、表1に示すように、1970年頃、まず最初に、アメリカで開始された。エンジン部品としてセラミックスを使用する試みは、ガスタービンエンジンとディーゼルエンジンとを対象に進められ、カミンズエンジン社（米国大手ディーゼルエンジンメーカー）が断熱ディーゼルエンジン開発プログラムをアメリカ政府と契約した。一方、日本国内では、当時小型ディーゼルのシェアが最大であったいすゞ自動車と京セラが提携して部品開発が開始された。

## 3. 特徴および構造

上記のプログラムを成功させるためには部品の設計や評価をユーザーに任せただけではなく、実エンジンを使った自社内のテストが必要であると考え、いすゞ自動車と共同で、通産省の重要技術研究開発補助金を受け（1978～80年）、セラミックディーゼルエンジンを設計し試作した。

最初のモデルはカミンズエンジン社にならった、鋳鉄の水冷シリンダブロックに窒化ケイ素ライナーを挿入し、ピストンとヘッドプレートを同じく窒化ケイ素製とする形式で、エンジンの組立、耐久試験、性能試験を行った。その後、さらに一歩進んだオールセラミックスの無冷却エンジンを設計した。

1981年の晩秋には、正月番組にセラミックエンジンを取り上げたいとNHKから打診された。この意

向に応え、オールセラミックスのエンジンを作製した。部品製作、耐久テストチェック後、窒化ケイ素製のシリンダー、ピストン、ヘッドプレートを備えた完全無冷却の2.8リットル3気筒エンジン（KC201）を組み立て、乗用車にセラミックエンジンを搭載した。このエンジンは空冷3気筒のディーゼルエンジン（三井ドイツディーゼル社製、型式F3L913、排気量2800cc、58馬力）をベースエンジンとして採用し、空冷フィンを取り除き、窒化ケイ素シリンダー表面は平滑なものであった。そのエンジンの外観と構造を、図1, 2に示

表1 セラミックディーゼルエンジン開発歴史

年	事象
1970年ごろ	アメリカでセラミックエンジン開発開始
1977年	京セラにてグロープラグの開発開始
1978～80年	いすゞ自動車・京セラによる共同設計・試作開発 (通産省重要技術研究開発補助金)
1981年	いすゞ自動車にグロープラグ採用
1981秋～1982年正月	オールセラミックエンジンの試作 乗用車への搭載とデモ走行
1982年	いすゞ自動車アスカにセラミックホットプラグ採用
1983年	三菱自動車、マツダにグロープラグ採用
1984年	昭和天皇視察 (1. 2リットル水平対向4気筒エンジン試作)

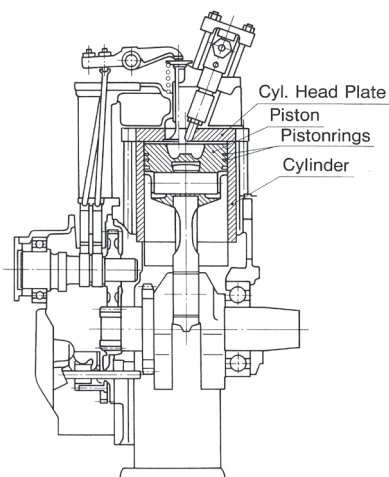


図1 セラミックエンジンKC201の断面図

窒化ケイ素 SN220 を用いて、エンジンの大部分（ピストン、シリンダー、ヘッドプレートとセラミックターボ）をセラミックスにて構成した無冷却エンジン。

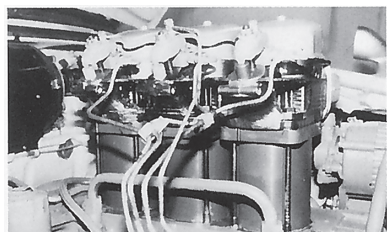


図2 オールセラミック無冷却エンジン

このエンジンは空冷3気筒のディーゼルエンジン（三井ドイツディーゼル社製、型式F3L913、排気量2800cc、58馬力）をベースエンジンとして採用し、空冷フィンを取り除き、窒化ケイ素シリンダー表面は平滑なものであった。

す。1981年の年末にはデモ走行に成功し、正月の特別番組では桜島の溶岩道路をテストカーが走行した（図3）。当時、世界で初めて「焼き物のエンジン」で車が走った」という反響が大きく、ファインセラミックスに対する関心と評価が高まった。

その後、部品設計を改良し、1.2リットルの水平対向4気筒エンジン（KC401）を試作し、デモ走行だけでなくフルパワー、フル回転の100時間耐久運転や性能試験が行った。このエンジンの外観と構造をそれぞれ図4、5に示す。84年、昭和天皇が京セラ国分工場を視察され、改良型のセラミックエンジンを見学された。

表2にこれらのエンジンの仕様を示す。



図3 桜島溶岩道路を疾走するオールセラミックエンジン車

図1、2に示す3気筒のオールセラミックエンジンKC201を、いすゞアスカに搭載したセラミックエンジンカーが、鹿児島県の桜島を背景に錦江湾岸溶岩道路を疾走した。これは1982年正月のNHKの番組で放映された。

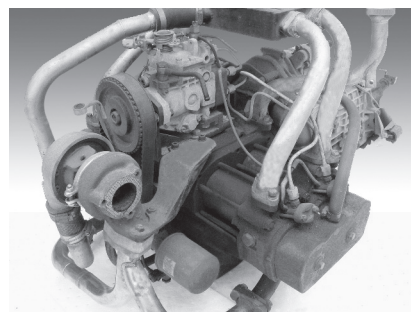


図4 空冷水平対向4気筒エンジンを改造したKC401エンジン  
写真下部の黒い部分がセラミックシリンダー。

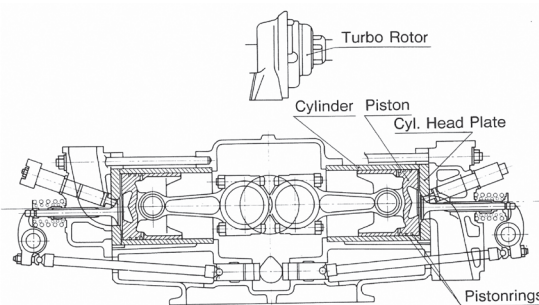


図5 構造図

セラミックス部分は図中のハッチングをした部品。

表2 セラミックエンジンの仕様

	KC201	KC401
エンジンタイプ	4サイクルディーゼルエンジン	
方式	直噴	
内径	100mm径x120mmストローク	80x60
シリンダー配置	直列3気筒	水平対抗4気筒
排気量(cc)	2837cc	1236
最大出力(kW/rpm)	—	33.1/4500
最大トルク(Nm/rpm)	—	84.3/2800
圧縮比	17	17.5

#### 4. 材料と部品開発

窒化ケイ素はセラミックスの中でも耐熱性に富み、熱膨張係数が小さいために熱衝撃に強い。焼結助剤を従来から使用されていたマグネシア-アルミナ系から希土類系に変え、材料開発をすすめた。その後、窒化ケイ素の材料開発は、コスト重視の自動車用途と性能重視のガスタービン用途の開発を併行して行った。図6はその開発経緯を示す。自動車用途には、コスト重視の原料系とプロセスを採用し、かつ高強度を達成することに注力した。一方ガスタービン用途では、性能重視とし高温の強度と耐酸化性をともに満足することを目標とした<sup>3)</sup>。

セラミックスの特長を最もよく発揮できる部品として、最初に図7に示すような、渦流室の本体であるホットプラグとグロープラグを開発対象として選び、ディーゼルエンジン用セラミック部品に興味を示したい自動車と協力しながら開発を行った。

グロープラグの開発を1977年にスタートした。はじめはシート状に成形したアルミナにタングステンペーストを印刷して発熱回路を作り、アルミナ丸棒に巻き付けて焼成してヒーターを作製した。この試作品は昇温サイクルを繰り返すうちに抵抗値が増大し、また、燃料を噴霧する熱ショックに耐えられないことが明らかとなった。

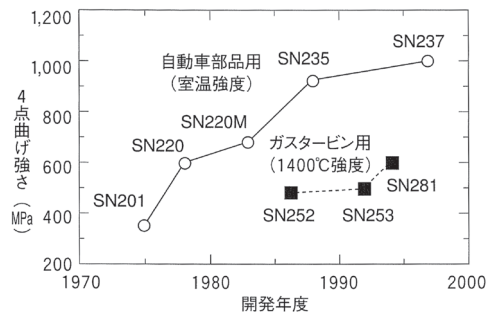


図6 窒化ケイ素材料の開発経緯

自動車用途には、コストと室温強度を重視した組成系とプロセスを採用、ガスタービン用途では高温強度と耐酸化性を併せ持つ組成系を開発。米国 AGT や ATTAP 日本の CCT プロジェクトに採用。

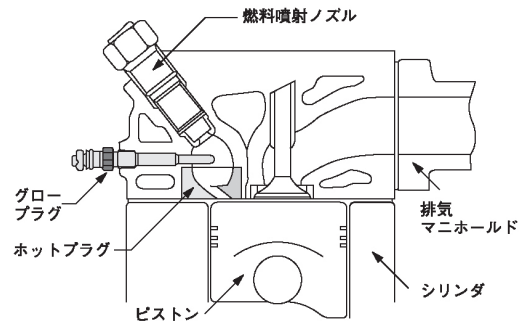


図7 ディーゼルエンジンシリンダーヘッド分部の構造

小型ディーゼルエンジンの始動性向上のために、急速昇温が可能な窒化ケイ素グロープラグと熱容量と熱伝導度が小さく昇温性能に優れた窒化ケイ素ホットプラグを採用。

次の試作品では、図8に示されるように耐熱ショック性に優れた窒化ケイ素を用い、この中に発熱体を埋め込む構造を考案し、種々検討の結果、ホットプレス法を採用した。窒化ケイ素と発熱体間の熱応力を低減するために、タングステンコイルを使用した。製造方

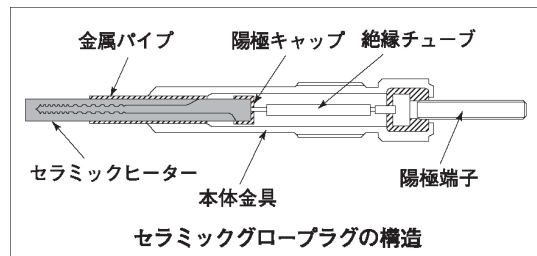


図8 窒化ケイ素製のグロープラグ (左) とその内部構造 (右)

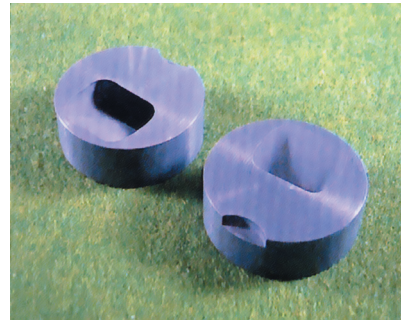
窒化ケイ素と同じように熱膨張係数が小さな金属であるタングステンヒーターとして採用し、ホットプレス法により製造されたディーゼルエンジン用グロープラグ。従来の金属製と比較して、高速昇温が可能でエンジンの始動性を飛躍的に高めることが出来た。

法・材料の骨格は定まったものの相次いで耐久過負荷テストでの耐久性や特性の経時変化が発生した。材料や構造の最適化により、昇温2秒間のグロープラグは5万サイクルの昇温テスト、100時間の耐久テストに合格し、81年からいすゞ自動車に、83年から三菱自動車に、さらにマツダにも採用された。

セラミック部品第2弾は、**図9**に示されるセラミックホットプラグである。82年いすゞ自動車のアスカに最初に採用されたが、その採用によりアイドリングノイズが低下し、断熱により渦流室の温度が上昇してコールドスタート性能が改良された。また、続けて採用したマツダはディーゼル・パティキュレート排出の減少を、自社開発品を採用したトヨタ自動車はエンジン出力の10%上昇を報告した。

### 今後の展望

最近のエネルギーや環境問題に対応するひとつの手段として、耐熱性と耐熱衝撃性に富む窒化ケイ素を採用することで、熱効率の高い熱機関部品や化石燃料以外の多様化する燃料に対応する部材への応用が期待される。



**図9** 窒化ケイ素製ホットプラグ

断熱性と熱容量が小さいために、特に小型エンジンの低温始動時に燃焼ガスの温度低下が低減されることから、始動性が改善された。

### 文献

- 1) 浜野義光, セラミックス, **18**, 37-42 (1983).
- 2) 浜野義光, “セラミックス部品のエンジンへの応用”, 内田老鶴圃 (1990) p.367-393.
- 3) 古賀和憲, セラミックス, **25**, 107-111 (1990).