

## 省エネルギーとニューセラミックス

### New Ceramics for Energy Saving

上 野 力\*

Tsutomu Ueno

#### 1. はじめに

我が国が、限られたエネルギー供給量のもとで、望ましい生活環境と、活力のある発展とを維持するには、エネルギーの供給面での努力とともに、エネルギー消費の合理化、高度利用などの省エネルギーを強力に進めることが要請されている。この省エネルギー化を具体的に実施するには、1)省エネルギー型産業構造の形成、2)エネルギー利用の効率化、3)エネルギー節約が基本となる<sup>1)</sup>。

現在のエネルギーシステムでは、一次エネルギーに大部分は化石燃料を使用するが、その内蔵する化学エネルギーを利用するには、燃焼により熱にするのが最も簡単で、また、短時間に多量の熱を得ることができる。この熱が仕事をなし得る潜在能力は高温になるほど大きいので、熱機関の効率の向上を図ろうとすれば当然、高温を指向することになる。したがって、熱の有効利用には高温に耐える材料が必要であり、省エネルギーを飛躍的に前進させるには材料の革新が必要となる<sup>2)</sup>。

工業材料は金属、プラスチック、セラミックスに大別できる。このセラミックスについては、広義の総称的な意味のほか、特殊な意味にも用いられるが、ここでは、金属を除いた固体の無機化合物のすべてを含むこととする。

セラミックスは人類史上最も古くから使われた材料の一つであり、岩石、粘土などを主原料としてきた。

これらはアルカリ及びアルカリ土類金属のケイ酸塩やアルミノケイ酸塩で形成されている。陶磁器、ガラス、耐火物、セメントなど今日の代表的なセラミックスでもそれらを主原料としている。その製品は優れた

機能を持ちながら、成形性、加工性などが不十分であったため、金属やプラスチックのように広く使われるに至らなかった。

このような従来のセラミックスに対し、ニューセラミックスは、極めて精密化された窯業的手法により生産され、高性能を発揮するものといえることができる。窯業的手法には、精選された原料を用い、組成、形状、結晶構造、組織などを精密に設計し、それに基づき高密度でミクロン程度にまで寸法を制御した成形、焼結を行い、更に、研削、穴あけ、他材料との接合などの精密加工を行うことが含まれる。このような製品により実現される機能は、多様であるが、要約すると超耐熱性、高硬度、高強度、電気的には、絶縁性、導電性、半導電性、圧電性、誘電性、電子放射性など、光学的には透光性、感光性など、その他、化学的、耐放射的な機能も保持する。その上、地球上に豊富に存在するシリコン、アルミニウムなどを主原料とするので、資源的には将来とも心配はない。また、材料そのものもクリーンであり、廃棄物による環境汚染のおそれもほとんどない。したがって、ニューセラミックスの開発は省エネルギーはもちろん、省資源、知識集約という現代及び将来の日本の産業を支える重要な柱になると考えられる。

本稿では、省エネルギーに利用される種々のニューセラミックスのうち、耐熱性の高いものを中心にして、その概要を解説する。

#### 2. MHD発電用セラミックス

図-1<sup>3)</sup>のようなシステムで、約2500℃の火炎流はイオンと電子に一部解離したプラズマガスとなり、これを磁場と直角の方向に高速に移動させ、電磁誘導により、直接電流をとりだすが、MHD発電である。燃焼廃ガスはなお高温であるので、これを用いて汽力

\* 工業技術院大阪工業技術試験所第4部部长

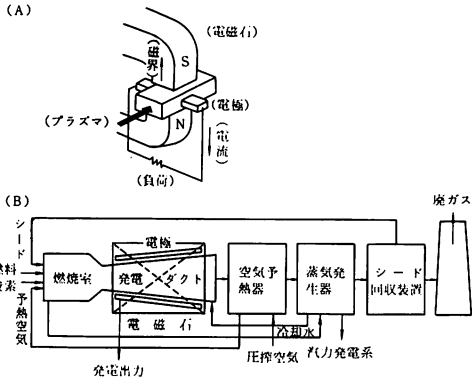


図-1 MHD発電の原理(A)とシステムの構成(B)<sup>3)</sup>

発電を行うと総合で約60%の効率となり、現在の火力発電の効率に比べるとはるかに高く、発電の効率化の一つとして注目されている。

この場合の火炎の電導性を $\alpha$ 、その流速を $v$ 、磁場の強さを $B$ とすると、発電の出力密度は定性的に $\alpha v^2 B^2$ に比例することが知られている。出力密度を大きくするために、 $\alpha$ については火炎の温度を高くするとともに、カリウム化合物を添加する(シード物質)、 $v$ については火炎の通路であるダクトの最適設計を行い、 $B$ を高くするために超電導マグネットが用いられる。このシステムを実用化するには、種々の新たな開発が必要であるが、特に、高温、高速、高腐食性のか酷な条件に耐えるダクト材料が重要である。

ダクトは図-2<sup>4)</sup>のような構成で、電極材と絶縁材が配列される。発電効率の点からは、壁面の温度が高いほど有利であるが、火炎温度に耐える材料がないので、通常は壁の背面を冷却する。しかし、火炎中のシード物質が凝縮して液体状態で壁を移動すると、使用材の侵食が甚しく、また絶縁壁での電気漏洩が増すので、 $K_2CO_3$ や $K_2SO_4$ となったシード物質が液相に凝縮

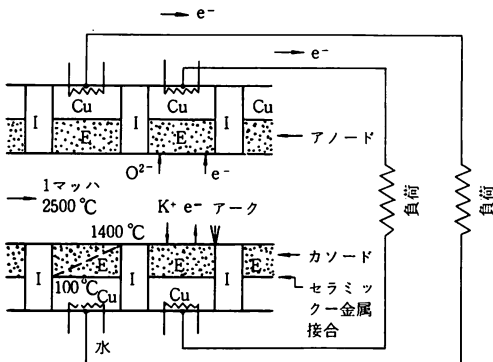


図-2 MHD発電ダクトの断面<sup>4)</sup>  
(E:電極材, I:絶縁材, Cu:銅水冷却)

する $900 \sim 1,300^\circ\text{C}$ の領域に壁面温度をおくことをさける。したがって、壁の温度帯は $900^\circ\text{C}$ 以下のコールドと、 $1,300^\circ\text{C}$ 以上で、材料の劣化が目立つ約 $1600^\circ\text{C}$ を上限とするセミホットに分けられる。

コールドでは、絶縁材料に $BeO$ や $Al_2O_3$ を被覆した銅、電極材料にはニッケル合金、銅合金などが使用できる。しかし、プラズマと電極との間のガス境界層の電気抵抗が高く、アークが発生し、電極の損傷が甚だしくなる。

セミホットでは、アークの問題は減少するが、電極には金属を使用できず、耐熱、耐食、耐熱衝撃性を持ち、蒸発による消耗など、図-3<sup>4)</sup>のような損傷に耐える材料が必要となる。更に、冷却管との接合技術、異種材料との接触部での化学的、電気的不整合による劣化の恐れもある。また、大容量電流を流すため、アノードとカソードとは劣化の機構も異なるなど解決すべき問題点が多い。

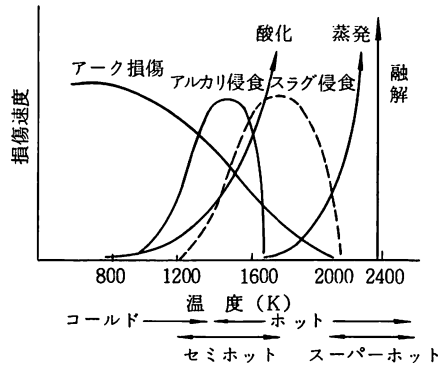


図-3 MHD発電ダクトの損傷要因<sup>4)</sup>

### 2.1 セミホット用絶縁材料

有望であるのは $MgO$ で、電融塊の電極方向に結晶軸を配列した多結晶体となり、この軸に対する垂直面を器壁表面とするよう切り出し、水冷銅基板上に接合固定したものは、適合性が優れている。しかし、熱膨張係数が大きく、熱衝撃抵抗が低いので、これに $BN$ 、 $Si_3N_4$ 、 $Sialon$ ( $Si-Al-N-O$ 系)を添加し、特性の向上を図ることが検討され、より低温では使用できそうである<sup>5)</sup>。なお、金属との接着にも問題が多い。

### 2.2 セミホット用電極材料

酸化物系が有力で、図-4<sup>3)</sup>のように電気抵抗がプラズマのそれよりも小さい系が用いられる。シード物質の部分的凝縮によるアルカリ侵食のほかに、直流が加わるので、電気分解に似た現象を起こし、アノードで

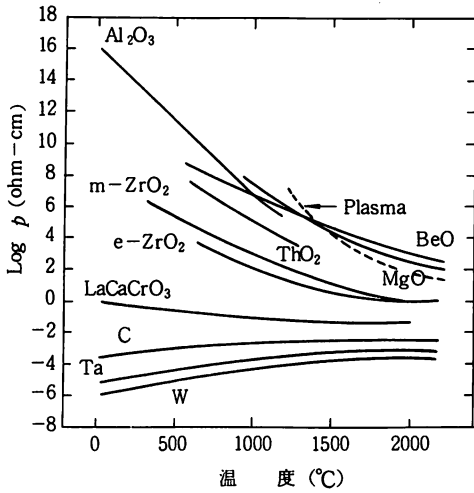


図-4 各種材料の温度と電気抵抗<sup>3)</sup>

は1)  $O^{2-}$ の集中による酸化, 2)発生した酸素ガスの気泡による機械的侵食, 3)陽イオンの溶出などが考えられる。カソードでは, 1)高濃度の $K^+$ によるアルカリ侵食, 2)酸素不足による還元作用, 3)還元を受けた材料の再酸化に伴う膨張破壊などが考えられる。そのため極性による材料の使い分けが必要である。材料選択には,  $K_2SD_4$ 融液に通電しながら長時浸漬し重量変化と外観状態を調べるテストが行われる。その結果によると, アノードでは, 導電性と耐アルカリ性に優れた $SnO_2$ ,  $ZrO_2$ を比較的少量(15mol%)の $CeO_2$ で安定化したイオン伝導性の $ZrO_2 - CeD_2$ 系などが良

結果を示す。一方, カソードでは, ほとんどの材料が膨張, 破壊を示し, わずかに,  $CeO_2$ 70mol%の電子伝導性の $ZrO_2 - CeO_2$ 系は破壊しないが, 減量がやや多い結果であり, 今後, 優れたカソード材料の開発が重要である<sup>6)</sup>。電子伝導性の $LaCrO_3$ は導電性に優れるが, カソード材としては減量, 破壊が見られ,  $ZrO_2$ との混合系も, 十分な耐性が得られていない。

このような試験は我が国のMHD発電の研究開発の一環として実施され, いわば静的な試験で有望なものは, 電子総研に設置されたMHD発電模擬実験装置により, 総合的な試験を受けることになる。その対象としては表1のような材料があげられている<sup>7)</sup>。

### 2.3 石炭燃焼MHD用セラミックス

アメリカのMHD開発は石炭燃焼によるもので, 微粉炭を予熱酸素又は空気とともに, カリウム化合物を流量の1重量%導入して噴射する。石炭の灰分の95%は燃焼器で除去排出されるが, 残部はカリウムを含むフライアッシュとなってダクト壁を通る。灰分の化学成分は一般に $SiO_2$ 25~50%,  $Al_2O_3$ 15~20%,  $Fe_2O_3$ 5~12%,  $CaO$  5~20%,  $MgO$  1~6%とされている。したがって, コールドでは壁面に固化付着し, セミホットでは液体状態のスラグとなり電極や絶縁材表面を流れる, 液体のスラグは材料のき裂や気孔中に浸透したり, 表面に反応層を作り, 更に内部にも拡散するので, 石炭燃焼では, スラグとアルカリの両者の侵食を受けることになる。これに耐える材料として以下のようなものが検討された。

表1 MHD発電模擬実験装置でテストされた材料<sup>7)</sup>

使用先	材 料	組 成	金属との接合
カソード	ZC 25 (CP)	75 $ZrO_2$ · 25 $CeD_2$ (mol%)	大工試方式
	ZC 85 (CP)	15 $ZrO_2$ · 85 $CeO_2$ ( " )	"
アノード	ZLC (HIP)	90 (69 $ZrO_2$ · 12.1 $CeO_2$ · 18.9 $CaO$ ) · 10 $LaCaCrO_3$ (mol%)	銀ペースト
	SO (IP)	$SnO_2$	Ag·Cuペースト
	SZZ (IP)	98 $SnD_2$ · 2 $ZrO_2$ ( $CeD_2$ ) (wt%)	
絶 縁 壁	MG-2N (FL)	$MgO$ 99%	大工試方式
	MG-13 (CP)	$MgO$ 98.5%	"
	ZY (CP)	90 $ZrO_2$ · 10 $Y_2O_3$ (mol%)	"

CP : コールドプレス, HP : ホットプレス, HIP : 高温静水圧プレス  
IP : 静水圧プレス, FL : 電融体, 大工試方式 : 新接合方式

電極材料として酸化鉄系は導電率が大きいですが、耐熱性に難があり、石炭スラッグの浸食にも弱い、またアルカリにも弱いのでスラッグにも $Fe_2O_3$ を加えて侵食を低下させることも検討された。その他、 $LaFeO_3$ 系、 $LaCrO_3$ 系、 $ZrO_2$ 系などについても調べられ、 $ZrO_2$ 系がスラッグとの反応が少ないことが見いだされている程度である<sup>5)</sup>。

絶縁材料には、重油燃焼と同様に、 $Al_2O_3$ や $MgAl_2O_4$ が検討されたが、スラッグとの反応が大きいことが指摘されている。スラッグに $Fe_2O_3$ を含ませると、絶縁材にこれが吸収されて、絶縁性が低下するおそれがある。したがって当面の長時間運転には、電極材に金属、絶縁材にBNを用い、スラッグは固体で付着するが、その導電性を上げることで対処するようである<sup>5)</sup>。

### 3. ガスタービン用セラミックス

熱機関の熱効率はカルノーのサイクルの熱効率が上限で、実用の機関がこの値に達しないのは、有効仕事と同じ温度で働くカルノーサイクルのそれに比べて小さいことのほかに、作動流体の温度を、材料の制約のために、十分高くできないためである。

ガスタービンのガス入口温度は、年とともに高くなり、空気冷却法の採用により約 $25^{\circ}C$ /年の上昇率を示すといわれる。これを実現させるために、耐熱合金の改良に多くの努力が傾注され、新しい耐熱合金が図-5

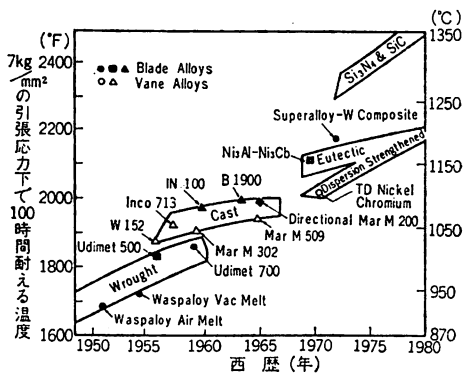


図-5 ガスタービン用耐熱材料の進歩<sup>8)</sup>

のように開発された<sup>8)</sup>。それらもほぼ限界に達したとみられるが、図から、SiC、 $Si_3N_4$ は無冷却で、従来の合金よりもはるかに高温に耐えると考えられる。一方、資源的にみても、Ni、Cr、Coなどは地殻中に0.02%以下の存在であるのに対し、Siの27%、Nの大気中の80%と入手容易である。更に、これらを製造するために必要なエネルギーも合金の場合に比べ $Si_3N_4$ は約1/2

にすぎない。

#### 3.1 タービン部品に要求される性質

燃焼器<sup>9)</sup> 起動、停止のたびに急加熱、急冷却となるため、従来の耐熱材のように単に高温に耐えるだけでなく、一段と厳しい耐熱衝撃性、耐熱疲労性が要求される。ライナーには燃焼生成物に対する耐食性、燃焼時の酸化反応に対する耐酸化性が必要である。やや大型の一体成形物も必要で、軸方向に大きな温度勾配があり、内部ひずみや応力を生じやすい。

タービン動翼<sup>9)</sup> 耐熱衝撃性、耐熱疲労性、耐振動応力、クリープ強度、剛性などが必要である。このほか、燃焼ガスによる腐食を受けない耐食、耐酸化性が要求される。タービン部品のなかで最も厳しい条件を課せられる部分である。ハブは高遠心力にさらされるので特に強度の高いもの、翼は空気力学による複雑な形状となるので、成形性の優れるものが必要である。

タービン静翼<sup>9)</sup> 動翼よりも高温のガスにさらされるが、高速回転しないため遠心力はかからない。負荷される応力として燃焼ガスによる翼の腹背面の圧力差に起因する曲げた応力、燃焼ガスの変動に伴う振動などがある。耐熱衝撃性、耐熱疲労性を要求されるのは動翼と同様で、耐食性、耐酸化性も必要である。通常は動翼材をそのまま流用するが多い。形状も動翼同様やや複雑な方である。図-6にはアメリカでのセラミックスを用いたデモンストレーション用エンジンの一例を示した<sup>12)</sup>。

以上のように、高温で高強度を保持するためには、材料を構成する固体内の共有結合性が高く、したがって、構成元素の電気陰性度が類似したものからなり、また、結合電子数が多く、結合距離が小さいことが必要と考えられる。一方、低比重である方が有利であり、材料を構成する元素の原子量が小さいことが必要である<sup>10)</sup>。これらを考慮すると、ガスタービン材料として有望な化合物は、窒化物、炭化物に限られ、これらはまた、酸化物系に比べ熱膨張係数が小さく、熱伝導率が大きいので耐熱衝撃性にも優れている。実際に開発が進んでいるのは窒化ケイ素その誘導体のSIALON、炭化ケイ素である。

#### 3.2 窒化ケイ素、SIALON<sup>10), 11)</sup>

$Si_3N_4$ は構造的に $\alpha$ 型、 $\beta$ 型をとり、 $\alpha$ 型は低温で高酸素ふん囲気で安定、 $\beta$ 型は高温で低酸素ふん囲気で安定とされている。1850 $^{\circ}C$ から昇華が始まる。これを成形体とするには以下のような方法がある。

ホットプレス(HPSN)  $\alpha$ 型 $Si_3N_4$ の微粉末に、

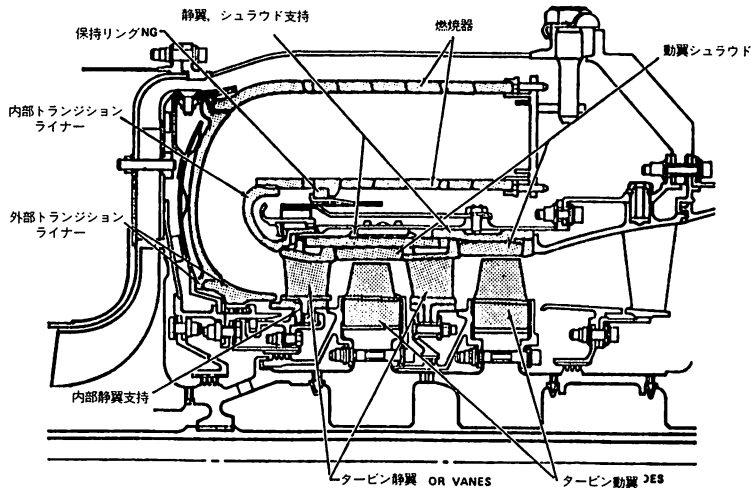


図-6 アメリカでのデモンストレーションTSE 331C-1セラミックエンジン(点線部分セラミックス製)<sup>12)</sup>

MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, CeD<sub>2</sub>, SiBeN<sub>2</sub>などを焼結促進剤として加え、1750°C付近で100～300kg/cm<sup>2</sup>の条件でホットプレス。焼結体の強度、その温度による変化、クリープ、靱性などは、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の純度、添加物の量と種類、混合方法、ホットプレス条件により影響を受ける。一般に曲げ強さ大、室温で70kg/mm<sup>2</sup>、100～1100°Cまでこれを保つ。耐熱衝撃性、耐食性に優れるが、表面に酸化層ができると強度は低下する。

促進剤にMgOを加えたものは、アメリカのNC 132で知られ、エンジンに試用されている。Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を加えたものは、室温、高温ともに高強度となるが、1000°C付近の中温での耐酸化性に問題がある。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を加えたものでは、粒界にY<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>の化合物を生成し、ガラス形成酸化物を構造中に取組み、1200°Cで100kg/mm<sup>2</sup>の強度を示す。動翼のハブの成形法に用いられる。

焼結(SSN) HPSNと同様に焼結促進剤を加えて常法で成形し、1750°Cで常圧焼結する。曲げ強さはHPSNに比べ低い。高温まで強さの低下しないものでは、1200°Cで60kg/mm<sup>2</sup>程度である。他の性質はHPSNのそれにほぼ近い。目標形状との寸法差0.1mm程度の精密な成形可能で、最終研摩工程を少なくする利点がある。95%相対密度程度のものは、そのまま熱間静水圧焼結にかけ、特性を更に改善することもできる。今後の主流を占めると考えられる方法である。

反応焼結(RBSN) Si微粒子を各種成形法を用いて成形した後、NH<sub>3</sub>あるいは窒素気流中で加熱し窒化処理して焼結体を得る。このとき生成するSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>はSi粒子の空隙を埋める形で生成するので、窒化完了後に

成形体の形状、寸法はほとんど変わらない。したがって、複雑形状に成形でき、低価格である。強さは25～30kg/mm<sup>2</sup>で、1400°Cまで変わらない。気孔率20%と高いので、表面にSiを浸透させると45kg/mm<sup>2</sup>となり、Siの融点(1420°C)までほぼこの強さを保つ。酸化ふん囲気でのクリープ特性があまりよくない。Ford社ではHPSN(ハブ)とRBSN(翼)を組み合わせる動翼を製作している。以上のような焼結体の曲げ強さと温度の関係の一例を図-7に示した<sup>11)</sup>。

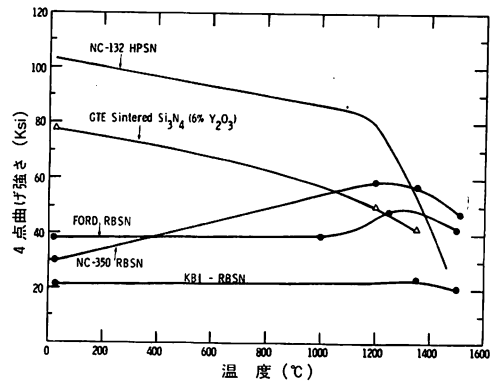


図-7 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>焼結体の温度と強さ<sup>11)</sup>

SIALON Si, Al, O, Nからなる材料で、各種の化合物が知られているが、実用に近いと考えられるのは、β-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の固溶体β'-Sialonである。焼結体の強度はSSNぐらいである。耐熱衝撃性はかなり低い。耐酸化性、クリープはHPSNよりも優れたものもある。この系での相関関係を明らかにすることは、HPSNやSSNの粒間組織の制御に通ずるので、特に重要である。目下、開発中の材料であるので、当面の

エンジンよりも、次期計画のエンジンに使われる材料であると考えられている。

### 3.3 炭化ケイ素

SiCにも $\alpha$ 型と $\beta$ 型があり、後者が低温型である。2200°C付近から昇華する。

ホットプレス(HPSC)： SiC微粉に $Al_2O_3$ , B, Cなどを添加，2000~2100°Cでホットプレスする。 $Al_2O_3$ を加えたものが高性能エンジンに用いられる。室温から1400°Cまでの強度は80kg/mm<sup>2</sup>に達し，HPSCよりも温度による強度の低下が少ない。膨張係数や熱伝導率，耐食性，耐酸化性はHPSCよりも大きい。部品に仕上げるためのダイヤモンドによる加工が困難なため，量産型のエンジンに使い難いようであるが，放電加工が多少効くことがわかった。

焼結(SSC)： SiC微粉末にB, Cを添加して常法で成形し，低酸素分圧下で2100°Cで焼結する。曲げ強さは40~70kg/mm<sup>2</sup>，HPSCより低く，SSNと同程度であるが，耐食性，耐酸化性はSSNよりも優れる。成形性はHPSCよりも優れ，ダイヤ加工が少なく，実用的である。SSNと同様に今後の主流と考えられる。

反応焼結(RBSC)： SiC微粉とSi, Cとを混合，成形し，1400°Cで加熱，又は1450°Cで熔融Siを成形体に浸透させ，その内部でSiCに転ずる(一部未反応Siが残る)。RBSCと同様に，熱処理後の寸法変化が少ない。Refel, KT, NC430などが知られている。曲げ強さ30~40kg/mm<sup>2</sup>，1400°Cまで低下がない。耐酸化性が優れる。複雑形状の成形可能。燃焼器や静翼の材料に用いられる。マスプロも可能であるので，自動車エンジン用に適する。

以上のような焼結体の曲げ強さと温度の関係を図-8に示した<sup>11)</sup>。

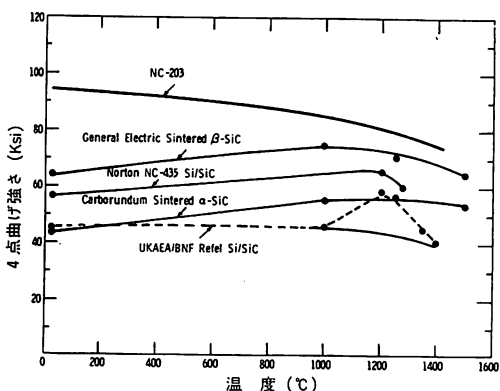


図-8 SiC焼結体の温度と強さ<sup>11)</sup>

CVD Siを含む気体と炭化水素とを高温の基体上で反応させてSiCを析出させる。ほぼ完全な密体となるが，析出時の残留応力のため，室温曲げ強さは30kg/mm<sup>2</sup>であるが，高温でひずみとれるので，1200°C 50kg/mm<sup>2</sup>，1500°Cで110kg/mm<sup>2</sup>との報告もある。将来は処理の改良で高強度のものが得られる可能性がある。ローターも試作されている。

SiC/Si複合材料： アメリカのGEでは，炭素繊維のクロスなどに真空中で熔融Siを浸透させ，繊維表面をSiCに変えて，SiCで強化したSiを得ている。強度は40kg/mm<sup>2</sup>に達し，燃焼器に用いて1430°C以上で使用できるとされ，複合材料を使用する新しい試みとして，その成果が目ざされている<sup>11)</sup>。

以上のように，タービン用セラミックスは，原料，成形焼結法，加工法と性能とを一体とみて，開発が進んでいる。アメリカ<sup>12)</sup>やドイツなどでは自動車エンジン，我が国では発電用に<sup>13)</sup>，セラミックガスタービンの開発が強力に推進されている。

## 4. 高温断熱

エネルギーを効率よく利用するには，低熱伝導率，低熱容量の材料を用いた断熱を徹底して行うことが重要な手段となる。特に多量のエネルギーを消費する高温での操作や工程では，断熱の効果が著しい。住宅用など，比較的低温域で使用する断熱材は，これまでに数多く開発，利用されてきたが，高温領域では，ニューセラミックに頼るほかない。

セラミックス製断熱材には，断熱れんがのような気孔質のものと，繊維質のものとがあり，その熱伝導率は材料そのもののそれよりも1/20以下に下げたものである。一般に繊維質の方がかさ比重が低く，伝導率も低いので，新しい断熱材には主として繊維質のものが注目されている。

### 4.1 非晶質セラミックファイバー

非晶質セラミックファイバーは，アルミナ，シリカ原料を $Al_2O_3/SiO_2$ の重量比がほぼ1になるように配合し，必要に応じて他の成分を加え，電気炉で熔融し，融液の粘度を数百センチポイズに低下させ，流出させて繊維化したものである。約10年前から窯炉の内張りとして用いられ，最初は比較的低温の炉に使用されたが，その後，金属処理炉はもちろん，窯業関係炉をはじめ，石油加熱炉などにも積極的に用いられるようになった。これを用いる利点には，1)炉壁の厚さが従来の炉材を用いた場合の約1/2でよい，2)同じく

重量は1/5～1/10となり、バケットタイプの炉では昇温冷却がスピードアップされる、3)基礎や炉の構造材料を節約できる、4)れんがが積に代わり、施工容易、施工時間と費用を節減、5)プレハブ式築炉可能、などがあげられ、蓄熱量の減少による省エネルギーが著しい<sup>14)</sup>。

ところが、非晶質ファイバは900℃の加熱でムライトの結晶が析出し1200℃までは析出量が増加する。一方、1200℃から1350℃にかけてクリスバライトの結晶が析出する。これに伴い繊維の収縮と劣化が起こるので、施工法を改善しても1300℃が断熱材としての限界と見られる。

#### 4.2 結晶質セラミックファイバ

上記よりも高温での断熱には、結晶質の繊維が用いられる。ICI社のサフィアルミナファイバは、Al塩の水溶液にポリエチレンオキッドを加えて、1ポイズ以上の粘度に濃縮し、細孔からおし出し、空気を吹きつけて繊維化する。これを約850℃に加熱すると水分や有機物がすべて除去され、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の微細結晶からなる綿状繊維となる<sup>15)</sup>。また、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とSiO<sub>2</sub>を含むものも作られ、高温での収縮を図-9に示した<sup>16)</sup>。

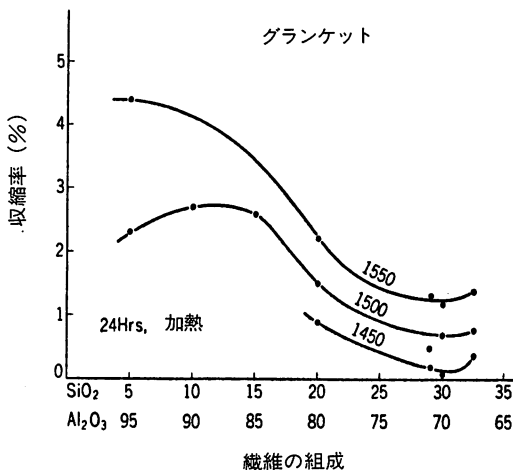


図-9 結晶質シリカアルミナ繊維の組成と加熱収縮率<sup>16)</sup>

1300～1500℃の断熱には、非晶質と結晶質セラミックファイバを混ぜ合わせた製品があり、長い結晶質ファイバが相互に架橋して全体の骨格組織を作り、短い非晶質ファイバがこの骨格に架橋して充てんしたものが理想と考えられている。また、炉内高温部や高温炉では、ガスの流速が大きく、断熱材表面の繊維が運び去られてしまうこともある。これを防止するため

コーティング層をつける。

1500℃以上の断熱には、結晶質ファイバのみからなるボードを用いる。これには、繊維を板状に成形した後、焼成したもので、バインダーを含まず、耐熱、耐風速性を高めたものが適する<sup>16)</sup>。

#### 5. おわりに

以上の諸例のほかに、ニューセラミックスの別な機能を利用しても、省エネルギーに貢献することができる。例えば、窯炉をはじめエネルギー多消費型システムの複雑な温度情報、燃焼条件などを検出し、判断して適切な熱の移動を行い、総合的な制御により、省エネ化を図ることも重要である。この場合の温度の検出には、各種セラミック温度センサー<sup>17)</sup>、酸素、一酸化炭素などの濃度からの燃焼制御にはガスセンサー<sup>18)</sup>が用いられる。

このほか、ニューセラミックスの応用が新しい省エネルギー技術の開発を促す例が少なくない。このようなお多くの可能性を持つ新材料は、これまでの材料技術に関する多くの成果を基礎として、各種の理論、情報を加えて、新たな展開を続けるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 工業技術院編, "省エネルギー技術開発の進め方" P. 9 (1975)
- 2) エネルギー変換懇話会編, "エネルギー材料工学" P. 5 (1980) オーム社書店
- 3) ニューセラミックス懇話会編 "ニューセラミックス—材料とその応用—, P. 238 (1978) 日刊工業新聞社
- 4) 佐多, 吉村, 材料科学, 15 (2) 87 (1978)
- 5) 佐多, 笹本, "セラミックデータブック'80, P. 175 (1980) 工業製品技術協会
- 6) 小瀬, "大阪工業技術試験所研究講演会講演要旨集", (1980)
- 7) 奥尾, ファインセラミックス, 1 (1) 54 (1980)
- 8) 鈴木, 化学工場, 20 (7) 85 (1976)
- 9) 小池, 工業材料, 23 (11) 107 (1975)
- 10) 上垣内, 工業材料, 27 (6) 23 (1979)
- 11) R. N. Katz, "Energy and Ceramics", P. 449 (1980) Elsevier Sci, Pub, Co.
- 12) N. R. Nelson, D. J. Tree, "Proc. DARPAINAVSEA Ceramic Gas Turbine Demonstration Engine Program Review", P. 19 (1978) MCIC 78-36.
- 13) 森田, 新金属工業, 24 (1) 1 (1979)
- 14) 堀江, 工業材料, 27 (2) 24 (1979)
- 15) ICI, 特開昭49-98815
- 16) 伊藤, 工業加熱, 15 (4) 13 (1978)
- 17) 新田, 早川, 工業材, 27 (6) 33 (1979)
- 18) 松岡, エレクトロニクセラミックス, 9 (5) 17 (1978)