



## GA 担当教員 研究等紹介②



九州大学  
 大学院総合理工学研究院 IFC 部門  
 大学院総合理工学府  
 量子プロセス理工学専攻  
 教授

**張 炳國**

### グリーン社会のエネルギー・環境材料として、セラミックス材料の開発を目指して

2011年3月11日、東北地方の太平洋沖地震源による地震と津波の影響により、福島第一原子力発電所事故以後に、放射性物質の放出は勿論、電力生産の中止もあり、深刻な電力不足の社会的な問題を経験した。私の研究室では、このようなエネルギー・環境分野に着目し、エネルギー・環境材料として、セラミックス材料を中心に微細組織およびプロセス制御による高温構造用セラミックス材料及び高特性・新機能を持つ複合材料の創製や物性評価に関する研究に取り組んでいます。

以下に、代表的な研究例を紹介いたします。

#### 1. 高温高効率ガスタービンエンジン用耐熱・耐環境セラミックコーティングの研究

ガスタービンエンジンとは、いうまでもなく燃料の燃焼等で生成した超高温ガスでタービンを回転させることにより、莫大な運動エネルギーを生み出す内燃機関である。重量や体積の割に高出力が得られることから、現在ではヘリコプターを含むほとんどの航空機に動力源として用いられている。また、1990年代より大規模火力発電所においてガスタービン・蒸気タービンの高効率複合サイクル発電（コンバインドサイクル発電）として用いられている。このガスタービンエンジンにおいては、熱サイクルの最高温度を高めることにより、回収エネルギーの変換効率を高めることができる。ガスタービン部品用高温材料として、耐熱合金が使用されている。1400℃の高温に曝された耐熱合金の高温部材を冷却するには、高い圧力の冷却空気が必要となり、これは逆に、エネルギー損失をもたらし、システム全体の熱効率を低下させる。これらの問題を克服する手法として、高温ガスタービンで高圧タービン翼や燃焼器に低熱伝導率を示すセラミックスコーティングの適用が顕著な熱遮蔽効果をもたらし、高温での高温部材の長時間使用が出来る。

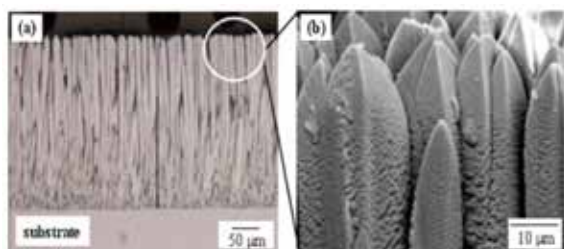


図1 EB-PVDによるZrO<sub>2</sub>コーティングの微細構造

一般的に、電力生産用カスタービンの作動温度を1100℃以上に高くすれば、その分、電力生産の効率は高くなる。しかし、カスタービンでの使用されている耐熱合金は、耐熱合金の耐熱性の限界で1100℃以上の使用は、不可能になっている。そして、カスタービンの飛躍的な熱効率向上を達成するために、その作動温度を高めると同時に冷却空気量の低減を可能とする熱遮蔽コーティング（TBC: Thermal Barrier Coatings）が注目されている。図1には、EB-PVDによるZrO<sub>2</sub>熱遮蔽コーティングを、図2にはZrO<sub>2</sub>-5mol% Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>複合材料の微細構造を示す。

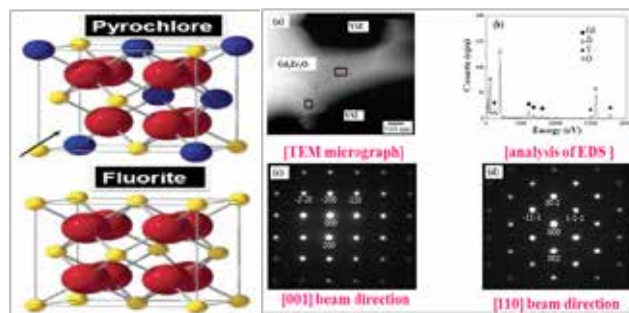


図2 ZrO<sub>2</sub>-5mol% Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>複合材料とTEMによる結晶構造分析

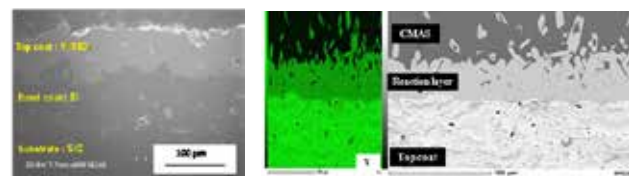


図3 Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>コーティング（左）とCMASによる高温反応（右）

図3に、プラズマ溶射によるY<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>耐環境コーティング（EBC; Environmental Barrier Coatings）及びアルカリ成分のCMAS(CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>)との1200℃での高温腐食反応性を表す。更に、プラズマ溶射法による高耐熱・耐食性を持つGd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>系の新規コーティング材を開発し、界面特性、高温腐食挙動を評価している。

#### 2. カーボンナノチューブ (CNT) 及びグラフェン (Graphene) 強化複合材料の創製の研究

引張強度、導電性、熱伝導性、ヤング率、軽量の優れた特性を持つカーボンナノチューブ (CNT) やグラフェン (Graphene) を用い、高特性・新機能付与複合材料の創製に着目した。

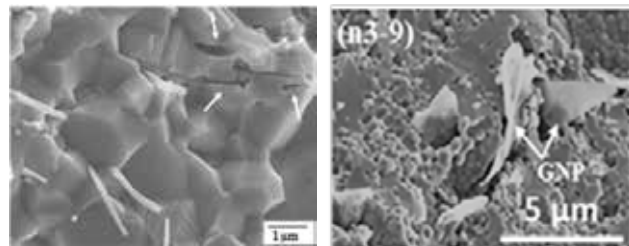


図4 CNT強化複合材料（左）とGraphene強化複合材料（右）

特に、優れた耐磨耗性を有する新規複合材料を開発するため、図4に示したようにアルミナにCNTを強化した複合材料を、生体材料のHydroxyapatiteにGrapheneを強化した複合材料を作製し、優れた耐磨耗性の複合材料の開発に成功した。