

高耐熱性セラミックス素材（CMC）の開発

行武 栄太郎* 新木 翔太** 稲葉 大輝** 久保田 勇希***

1. はじめに

航空宇宙関連産業において、機体の軽量化による燃費改善を図る目的で、¹⁻²⁾セラミックス強化繊維と母材で構成されるセラミック基複合材料（CMC）の開発が進められている。株式会社 KENQ は、この特徴に注目し、新たな産業発展が見込まれるエネルギー分野（廃棄物発電）への応用を検討している。

CMC は、高耐熱性、高剛性の特徴に加えて、従来のセラミックスの欠点である脆さが改善された材料ではあるが³⁾、エネルギー分野（廃棄物発電）における使用環境での系統的な腐食特性評価はされていない。CMC をエネルギー分野（廃棄物発電）に応用させるには、耐腐食性に関する評価手法、及び腐食メカニズムの解明が必要である。

2. 目的

本研究では、ごみ焼却炉の排熱を利用した発電設備配管への CMC の応用を目標に、焼却炉中での CMC の腐食特性評価を実施した。腐食特性評価の対象は、耐久性向上を目的としたコーティングを塗布した CMC とコーティング層のない CMC の 2 標準であり、腐食試験後（焼却灰と試料を腐食ガス雰囲気中で接触加熱）に表面、断面元素マッピングと結晶構造解析評価を行った。

3. 研究内容

3.1 表面、断面元素マッピング

FE-EPMA（JXA-iHP200F、日本電子株式会社製）を用いて、「表面の灰の状態」と「灰の界面の状態」を確認するため、表面と断面の元素マッピングを行った。測定条件を表 1 に示す。

断面処理は、次のように行った。ダイヤモンドワイヤーソー（DWS4500、メイワフォーシス社製）を用いて試料を切断後、樹脂を埋込み（2 液混合型エポキシ樹脂）、ダイヤモンド砥粒シートによる研磨により、断面出しを行った。

表 1 FE-EPMA 測定条件

	表面観察時	断面観察時
加速電圧	15kv	15kv
照射電流	50nA	50nA
照射径	φ5 μm	φ1 μm

3.2 結晶構造解析評価

X 線回折装置（SmartLab、リガク社製）を用いて、灰の影響による化合物の有無を確認するために、試料の結晶情報を評価した。測定条件を表 2 に示す。

表 2 X 線回折測定条件

管電圧	45 kV	スキャン範囲	5~110deg
管電流	200 mA	ステップ幅	0.05deg
測定軸	2θ/θ		

4. 研究結果と考察

4.1 表面、断面元素マッピング結果

図 1、図 2 に表面の元素マッピングを示す。元素マッピング結果は、元素濃度の濃淡を色彩で示している。コーティング層の無い CMC には、灰に由来するマグネシウム（Mg）が密集しているエリアや、点在しているエリアが確認され、灰の分布は不均一である可能性が示唆された。コーティング層のある CMC では、Mg が点在しており、コーティング層の無い CMC と比べて、灰が均一に点在している可能性が示唆された。

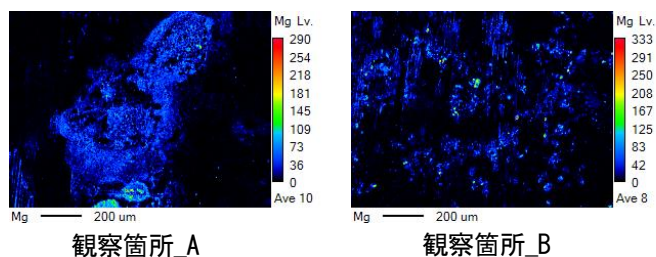
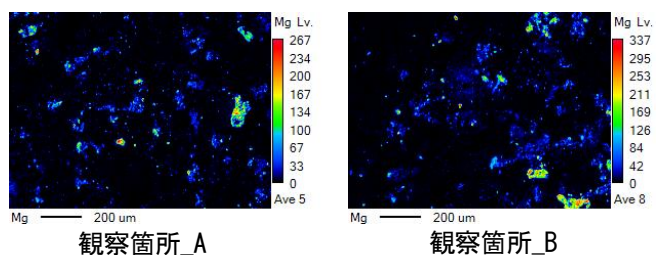
図 1 表面の元素マッピング結果
コーティング層なし_灰なし図 2 表面の元素マッピング結果
コーティング層あり_灰あり

図 3～図 5 に、断面の元素マッピングを示す。コーティング層の無い CMC には、CMC の表面近傍に酸素（O）が認められた。なお、灰を付着させてない試料からも（O）が認められた。また、灰由来と考えられる Mg が、CMC に明確に認められないことから、灰は CMC に拡散していない可能性が示唆された。

コーティング層のある CMC には、コーティング層に灰由来と考えられる Mg が認められたことから、コーティング層内部に灰が拡散している可能性が示唆された。なお、灰由来と考えられる Mg が CMC には明確には認められないことから、灰は CMC に拡散していない可能性が示唆された。

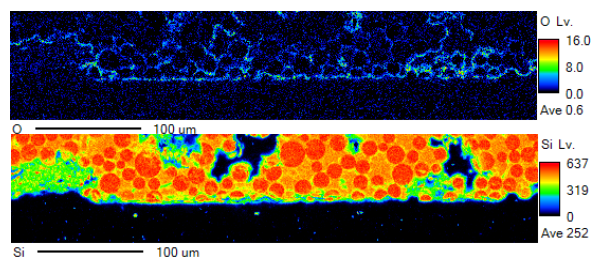


図3 断面の元素マッピング結果
コーティング層なし_灰なし

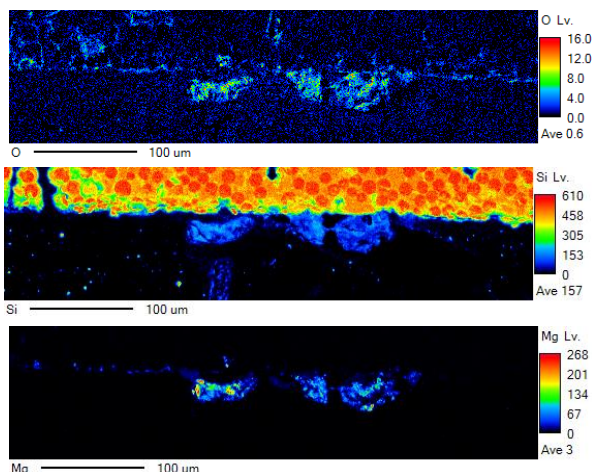


図4 断面の元素マッピング結果
コーティング層なし_灰あり

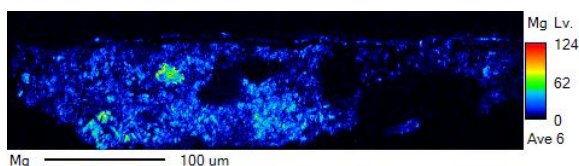


図5 断面の元素マッピング結果
コーティング層あり_灰あり

4.2 結晶構造解析評価結果

図6にスキャン範囲を拡大した (2θ : 5~60deg) X線回折パターン結果を示す。「コーティング層なし_灰あり」には、 2θ : 22deg付近にクリストバライトに由来すると考えられる回折ピークが認められた。クリストバライトは、SiCの酸化により生成された可能性や、灰由来の成分である可能性がある。灰の結晶構造を解析することで、クリストバライトの生成要因を特定できる可能性がある。

図7にX線回折パターン結果を示す。「コーティング層なし_灰なし」では、クリストバライトに由来する回折ピークは確認できないが、 2θ : 16~26deg付近にハローパターン（非晶質ピーク）が確認された。

コーティング層のあるCMCは、回折ピーク強度に違いはあるものの、灰の付着有無にかかわらず、回折ピークは類似しており、灰由来の化合物は明確には認められない。断面の元素マッピング結果より、コーティング層内部に灰の拡散が示唆されていることから、灰の量を増やすことで、灰由来の化合物が確認できる可能性がある。

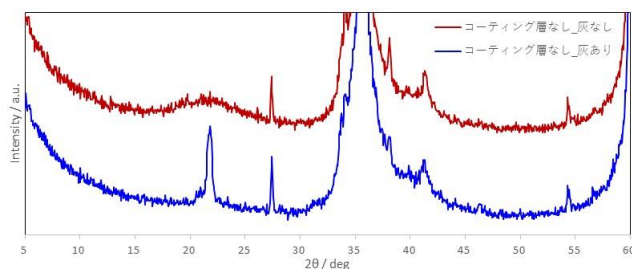


図6 X線回折パターン結果
コーティング層なし

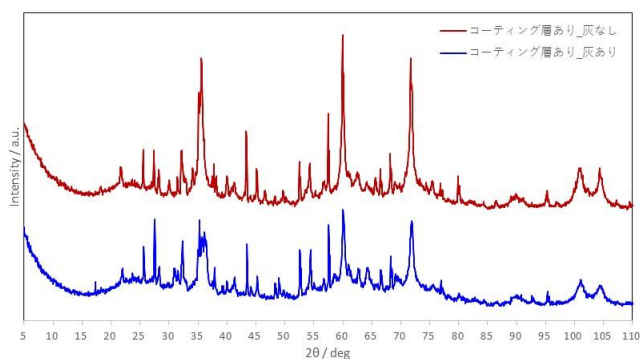


図7 X線回折パターン結果
コーティング層あり

5. まとめと今後の課題

表面元素マッピング結果より、コーティング層のあるCMCは灰が点在しており、コーティング層の無いCMCと比べて、灰が均一に点在している可能性が示唆された。

断面元素マッピング結果より、コーティング層のあるCMCはコーティング層内部に灰の拡散が示唆されたが、CMCには灰の拡散が明確には認められなかった。コーティング層の無いCMCには灰の拡散が明確には認められなかった。

結晶構造解析結果より、「コーティング層なし_灰あり」にはクリストバライトが認められた。なお、「コーティング層なし_灰なし」からは非晶質ピークは認められたが、クリストバライトピークは明確には認められない。

コーティング層ありの試料については、灰の有無に関わらず、回折ピークは類似していた。

灰の結晶構造解析や腐食試験時の灰の量を増減させた試料データを踏まえた検討が、今後の課題である。

6. 参考文献等

- 1) T. Ogasawara, Plasma Fusion Res. 80、1、2004
- 2) T. Shibayama, H. Takahashi, J. Japan Inst. Metals、64、11、2000
- 3) 安藤 亮他：茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告、50、11-16、2022