

ガンマ線照射による液体金属中酸素センサの特性変化

Property change of Oxygen sensor used in liquid metal under gamma-ray irradiation

大久保 成彰 奥野 泰希 喜多村 茜
Nariaki Okubo Yasuki Okuno Akane Kitamura
原子力機構

(概要) ADS システムで用いられる酸素センサの強度特性が、ガンマ照射によりどのように変化するかを調べる。

キーワード : ADS、核破砕中性子照射、LBE、酸素濃度、酸素センサ

1. 目的

原子力発電により生じた、使用済み核燃料に含まれるマイナーアクチノイド等の長寿命核種を分離・核変換し、放射性廃棄物の減容や有害度の低減を目的として、原子力機構では、加速器駆動核変換システム (ADS) の実現を目指した研究開発を進めている [1]。ADS は、高エネルギーの陽子加速器と未臨界炉を組み合わせたシステムであり、炉心部の冷却材と核変換のための中性子を発生するための核破砕ターゲットに液体鉛ビスマス共晶金属 (LBE) を用いる。LBE 中では、ステンレスやフェライト鋼等の炉内で使用される鉄鋼材料の腐食挙動は酸素濃度により大きく変化する。LBE 中の酸素濃度制御は、加速器の真空と炉心部を隔てる重要な機器であるビーム窓や、マイナーアクチノイドを閉じ込める燃料被覆管、LBE に接する炉内機器等の寿命を左右するため、ADS の実現に向けた重要な技術開発の一つである。この酸素濃度制御を担保するのが比較的低温 (350-550°C) の LBE 中で使用可能な酸素センサであり、原子力機構では、YSZ (イットリウム添加安定化ジルコニア) を電解質とした空気参照型タイプの酸素センサの開発を進めている [2]。ADS 内で酸素センサは、LBE の放射化により、ガンマ線環境下に長期間晒される。本研究では、ガンマ線環境下での酸素センサの信頼性を検証するために、ガンマ線照射による YSZ の特性変化を評価し、基礎データを取得することを目的とする。

2. 実施方法

ジルコニアに対するイットリウム添加濃度を 3, 6, 8 mol% (それぞれ 3Y, 6Y, 8Y) と変えた 3 種類の YSZ 試験片 (JIS-R1601 準拠 長さ 40 mm×幅 4 mm×高さ 3 mm) に対して、ADS 照射施設における 1 年運転後の LBE ループ配管内のセンサ取り付け位置に相当する 1 及び 2 kGy/h の線量率の場所にて、1000~5000 時間のガンマ線照射を行った。照射後に YSZ の強度変化を 4 点曲げ試験により評価し、表面形態を SEM 観察により調べた。4 点曲げ試験は室温にて行い、「JIS-R1601:2008 ファインセラミックスの室温曲げ強さ試験方法」に規定されている計算式を用いて破断時の最大荷重から曲げ強度を求めた。また、結晶構造を調べるために、X 線回折 (XRD) 測定を室温にて行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

昨年度報告したように、8Y 及び 6Y の場合、10 MGy まで照射しても曲げ強度に及ぼすガンマ線照射の影響はほとんどない一方で、イットリウムを 3 mol% 添加した 3Y-YSZ では、ガンマ線を照射すると 1 MGy までは、900 MPa 程度と強度に大きな変化は見られないが、6 MGy 照射後に、曲げ強度が 700 MPa まで減少する傾向が見られた。

この強度低下の機構を調べるために、XRD 測定を行った。図 1 に 3Y-YSZ の 1000kGy まで照

射した場合の XRD スペクトルを示す。挿入図は 28° 付近を拡大したものだが、ガンマ線照射により M 相の信号強度が増えることが明らかになった。図 2 に、図 1 挿入図の XRD の強度変化から求めた、T から M への相変態の比率を示す (T_M/T_{M0}) が、照射量の増加と共に M への相変態が進むことがわかる。これは、強度試験により亀裂が生じる際におこるべき相変態が、ガンマ線照射によりすでに試験片内に誘発されていることを示す。YSZ では、 ZrO_2 に Y を添加することにより、正方晶 (T) が室温で安定となる。一方、YSZ においてき裂が進展する場合、応力誘起相変態を引き起こして単斜晶 (M) に変態する。M は T よりも体積が大きいので、き裂先端部の応力集中を緩和し、き裂進展が阻害される。故に YSZ は高強度を持つことが知られている。しかし、本研究により、YSZ の強度を担保するはずの応力誘起相変態が、ガンマ線によりすでに誘起されることにより、高照射量では強度が低下したと考えられる。

4. 引用(参照)文献等

[1] H. Oigawa, et al, J. Nucl. Mater. 415, 229-236, 2011
 [2] T. Sugawara *et al.*, JAEA-Technology-2015-022.

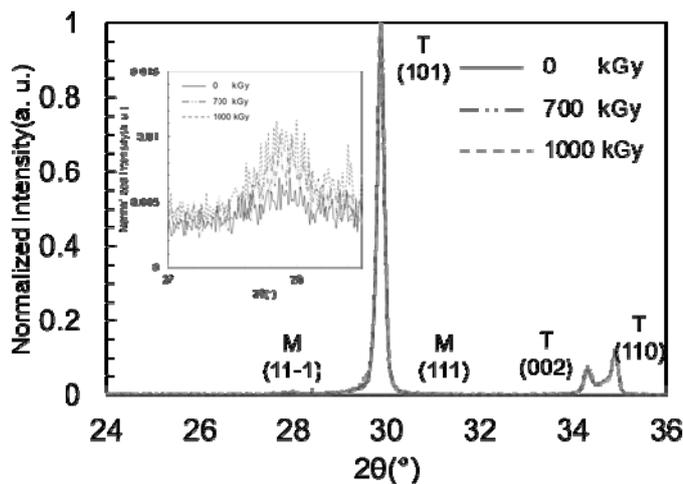


図 1 XRD patterns of pristine 3Y-YSZ surface for as received, gamma-ray irradiated of 700 kGy and 1000 kGy

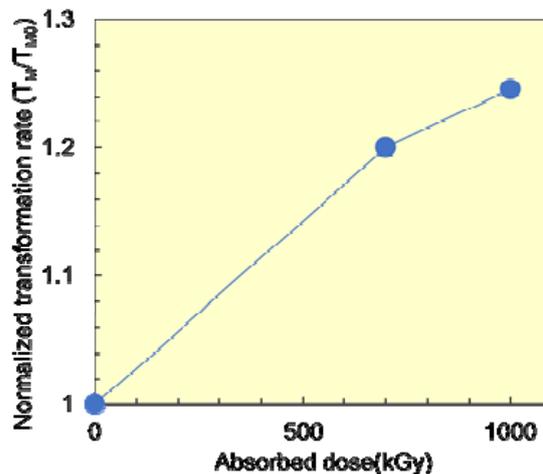


図 2 Dose dependence of XRD peak intensity of M (11-1) plane