

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¹⁾

Nariaki Okubo

喜多村 茜¹⁾

Akane Kitamura

奥野 泰希¹⁾

Yasuki Okuno

田口 富嗣²⁾

Tomitsugu Taguchi

原子力機構¹⁾ 量研²⁾

(概要) ADS システムで用いられる酸素センサ特性が、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。ADS では、冷却材と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、真空と LBE を隔てる安全上重要な機器であるターゲット窓や、LBE 配管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℃)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(イットリア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。酸素センサは、核破砕中性子照射による 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ア添加濃度を 3, 6, 8 mol%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、TEF-T 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 kGy/h の線量率の場所にて、1000~3000 時間のガンマ線照射を行った。また、配管中心部に近い 2 kGy/h の線量率にて最大 5000 時間の照射も行った。比較実験として、大気中 450℃及び LBE 中 450℃にて 1000 時間の熱時効試験も並行して行った。照射後に YSZ の強度変化を 4 点曲げ試験により評価し、表面構造を 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」に規定されている下記の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。試験片数の規定はないが、各条件あたり、2~4 個の試験を実施した。後半は、試作した酸素センサを用いて照射実験を実施し、照射前後に LBE 中における起電力測定を行った。

σ_{b4} : 4 点曲げ強度 (MPa)、 P : 破壊した時の最大荷重 (N)

L : 外部支点間距離 30 mm / l : 内部支点間距離 10 mm

w : 試験片の幅 4 mm、 t : 試験片の厚さ 3 mm

$$\sigma_{b4} = \frac{3P(L-l)}{2wt^2}$$

3. 結果及び考察、今後の展開等

まず、8Y-YSZ (ZR-8Y) に対して、1 kGy/h の線量率にて 1000 時間照射した試験片の 4 点曲げ試験を行った結果を右図に示す。図 1 には、450℃にて大気中及び LBE 中にて熱処理した試験片、2 kGy/h の線量率にて 1000 及び 5000 時間照射した試験片の曲げ強度も示してある。受入材に対して、1 kGy/h×1000 時間照射による強度変化は生じなかった。高線量率の場合、1000 時間照射の場合若干強度が低下しているようにも見えるが、同

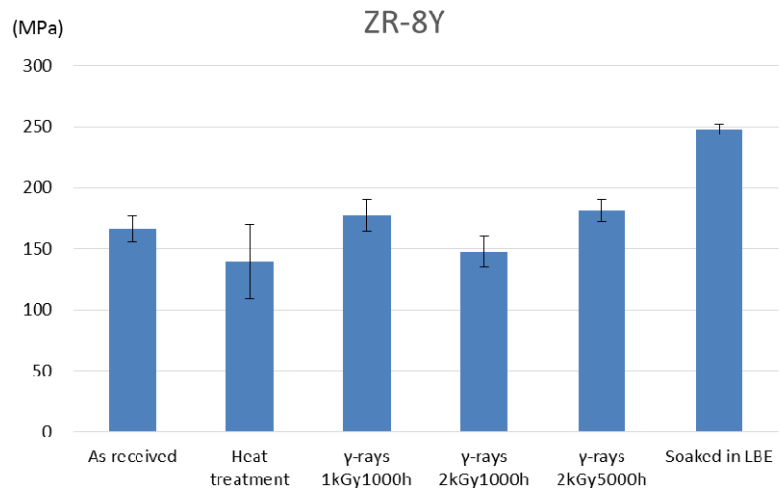


図 1 8Y-YSZ における曲げ強度変化

5000 時間照射では受入材と同程度であった。1000 時間で一旦下がり、その後のガンマ線照射で強度が回復するとは考えにくい。ばらつきの範囲であると考えられる。以上の結果から 8Y の場合、ガンマ線照射の強度に及ぼす影響はほとんどないことが明らかとなった。大気中 450℃で 1000 時間熱時効処理した試験片の強度は若干下がっているようにみえる一方、LBE 中で熱時効処理した試験片の強度は有意に高くなっている。これは、LBE が YSZ 表面のき裂等に侵入し、亀裂の発生を抑えることにより強度を上げたと考えられる。実際、結晶粒界に沿って LBE が入り込んでいる様子が確認できており、今後表面や破面の詳細な観察を行う予定である。

次に、試作した酸素センサの 1 kGy/h×1000 時間照射前後の起電力を図 2 に示す。上側が照射前、下側が照射後の起電力を示す。図中のステップ状の領域は、段階的に温度を変化させている時間帯であり、定常状態では 450℃の LBE 中飽和酸素濃度に相当する起電力を示している。ガンマ線照射により起電力が 0.05V ほど若干下がっているが、現在の試作センサでは、BNC 端子部に使用されるテフロンへの照射による絶縁劣化も考えられることから、次年度以降は、端子部に照射影響を受けないセンサを試作し、線照射下における酸素センサ

の寿命や信頼性を評価していく。また、東大・東工大との協同研究により開発中の新たな酸素センサについても、次年度（あ

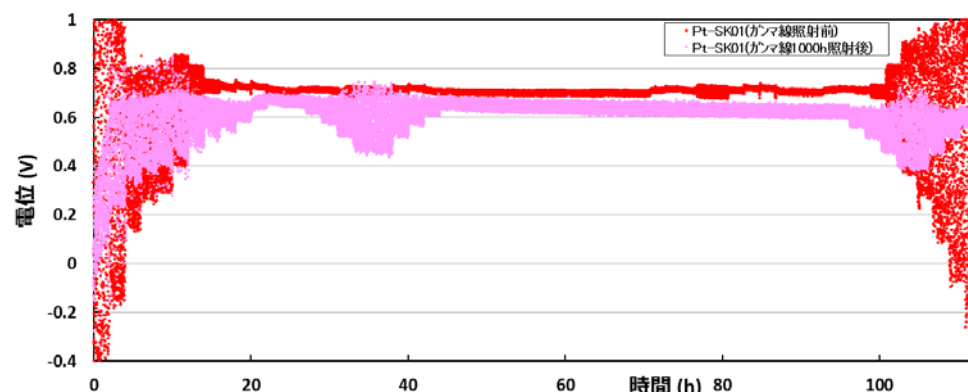


図 2 照射前後の試作酸素センサ起電力測定結果 線照射下での基礎データの取得を行っていく予定である。