#### 課題番号 <u>2018A-C12</u> 利用区分 成果公開(学術)

## ADS ターゲット窓材の応力下照射による液体金属中腐食挙動に関する研究

Irradiation effects on corrosion of ADS target window materials in liquid metal

大久保 成彰

石川 法人

Nariaki Okubo

Norito Ishikawa

原子力機構

(概要)本研究では、ADS ビーム窓候補材の一つである 316L 鋼に対して、イオン照射による ADS 環境模擬 照射後、鉛ビスマス中浸漬試験を行い、液体金属中材料腐食に及ぼす照射の影響を評価した。その結果、 液体金属中で照射を受ける材料では、鉛ビスマス界面での酸化膜形成過程に照射が影響を及ぼすことを明 確に示す結果が得られた。

キーワード:ADS、核破砕中性子模擬イオン照射、液体金属、腐食

1. 目的

原子力機構では、原子力発電所から出る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放 射性核種を核変換し、減容及び有害度を低減するために加速器駆動システム(ADS)の研究開発を進めてい る。ADSは、主に高エネルギー陽子加速器と未臨界炉から構成されるシステムであり、炉心部の冷却材と核 破砕中性子源として、化学的に安定である液体鉛ビスマス共晶金属(LBE)を用いるという特徴がある。LBE 中では、炉内機器材料であるステンレスやフェライト鋼は表面保護酸化被膜がなくなると腐食が促進され る。LBE 中の鉄鋼材料の腐食挙動の把握は炉内機器の設計に不可欠であり、陽子加速器側の高真空と炉心部 を隔てる安全上重要な機器の一つであるビーム窓や燃料被覆管の健全性(寿命)を左右するため、ADS 実現 に向けた重要な研究課題の一つである。LBE 中の材料腐食挙動に及ぼす酸素濃度の影響については最近調べ られつつあるが、その多くが未照射の実験データであり、中性子照射の影響はその実験の困難さからほと んど調べられていない。本研究では、イオンビームを用いた ADS 核破砕中性子の模擬照射により、LBE 中材 料腐食挙動へ及ぼす照射の影響を調べることを目的とする。

<u>2. 実施方法</u>

ADS ビーム窓候補材の一つであるステンレス鋼(316L)に、MT チャンバーにて各照射モードにてイオン

照射を行った。タンデム加速器による Fe イオン(中性子による弾き 出し損傷を模擬)、イオン注入装置による H イオン(陽子照射及び核 変換生成水素ガスを模擬)及びシングルエンド加速器による He イオ ン(核変換生成へリウムガスを模擬)を使用し、シングル及びトリプ ルビーム照射を、ADS 実機及びその照射実験施設の照射条件に合わせ て行った。照射温度は 450℃とし、照射量は、右図に弾き出し損傷量 のみを示すが、深さ 2 μm における損傷量が 25、50 dpa になるよう



# 課題番号 2018A-C12 利用区分 成果公開(学術)

に照射を行った。この時の表面付近での弾き出し損傷量は、それぞれ 4、8 dpa であり、試料の半面を Al フォイルでマスクすることにより未照射領域とした。照射後に、酸素濃度を 10<sup>-4</sup> wt%一定(飽和酸素濃度) とし、照射温度と同温度である 450°Cの LBE 中にて 300 時間の浸漬試験を行った。浸漬試験後、200°Cのシ リコンオイルバス内にて LBE を溶解除去、樹脂埋め研磨の後、走査型電子顕微鏡(SEM)により試料表面腐 食層の断面組織観察を行った。

### 3. 結果及び考察、今後の展開等

照射後、LBE 中に 450°Cにて約 300 時間の浸漬試験を行った結 果、照射による腐食に及ぼす影響が観察された。図1に、表面 において 4 及び 8 dpa 照射した試料の未照射領域及び照射領域 の断面 SEM 像を示す。未照射領域では、厚さ 0.5~1µm 程度の 薄いコントラストが観察され、照射領域では、表面から約 1~2 µm 程度が、層状の膜で覆われている。図2に、8 dpa 照射した 試料の未照射部(左)及び照射部(右)の EDS による線分析結 果を示す。未照射部では、表面から深さ約1µm くらいに酸素の

ピークがあることから、Fe、 Cr を含む酸化皮膜で表面は 覆われていることがわかる。 一方、照射部では、表面に Fe が多い層、その内側に Cr が多く存在する 2 層目があ り、SEM コントラストの違い からも 2 層状の酸化膜に覆 われていることがわかる。 LBE 中で浸漬試験を行うと、

表面が Fe 系酸化物 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、そ



樹脂

樹脂

未照射領域

未照射領域

図 2 未照射及び照射部における LBE 中浸漬試験後断面像及び EDS

の内側がスピネル系酸化物(Fe, Cr)<sub>3</sub>0<sub>4</sub>の2層酸化膜が形成することが知られている[1]。これは、Feの外方 への拡散と0の内方への拡散によるものであり、一般に数千時間のLBE 中浸漬試験により生ずる[2]。しか し、今回、未照射部で2層酸化膜が形成しない短時間の浸漬にも関わらず、照射部では約2倍の厚さの2 層酸化膜が形成していた。これは、450°Cの照射により導入されて残留したボイド等の空孔集合体が、450°C のLBE 中にて空孔に熱分解し、空孔拡散によりFe や Cr、0の拡散が促進されることにより2層酸化膜へと 成長したものと考えられる。今後、照射量依存性や浸漬時間依存性について、さらには核変換生成ガスの 影響について検証を行い、LBE 中材料腐食挙動へ及ぼす照射影響の機構解明を試みる予定である。

### 4. 引用(参照)文献等

[1] OECD/NEA, Handbook on Lead-bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-hydraulics and Technologies, 2007[2] A. Heinzel et al. JNM 448 (2014) 163-171

4 dpa照射材

8 dpa照射材

照射領域 2<u>µm</u>

照射領域

2 µm