

ADS 材料特有の複合照射影響の把握と予測

Understanding and predicting combined irradiation effects specific to
ADS materials

大久保 成彰

海老原 健一

Nariaki Okubo

Kenichi Ebihara

原子力機構

（概要）本研究では、ADS のビーム窓や燃料被覆管の候補材である T91 鋼や 316L 鋼に対して、トリプليون照射後に、鉛ビスマス液体金属中にて浸漬試験を行い、液体金属中の材料腐食挙動に及ぼす照射の影響把握を進めている。今回、照射後腐食挙動に影響を及ぼすと考えている照射欠陥に関して、ADS 材料特有の複合照射影響予測技術開発の一環として、核変換で生じる水素の放出挙動評価による照射欠陥の推定を試みた。純鉄における鉄イオンと水素イオンの照射では、照射モードにより水素の放出挙動に違いがみられた。

キーワード：ADS 照射 核変換生成水素 水素放出挙動

1. 目的

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技術に、加速器駆動システム（ADS）がある。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、炉心部の冷却材及び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合金（LBE）を用いる。LBE 中の ADS 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。また、高エネルギーの核破砕中性子照射により鉄鋼材料中には、核変換により、高濃度の水素やヘリウムが生成する。ADS 材料の複合照射影響を精度よく推定するためには、トリプليون照射による近似評価が有効である。本研究では、複合イオンビームを用いた ADS 模擬照射（照射欠陥+核変換ガスの同時導入）により、LBE 中材料腐食挙動へ及ぼす照射の影響に関して、微細組織発達過程から系統的に調べており、その過程で空孔欠陥集合体と LBE 中腐食挙動に相間関係があることを示す結果が得られつつある。R5 年度は、新たに、空孔欠陥の生成過程に影響を及ぼすと考えられている水素に関して、照射後に低温からの放出挙動を実験的に測定し、既存のモデルを改良することで、水素放出挙動評価を行った。

2. 実施方法

ADS ビーム窓候補材である T91 や 316L は複雑な組織や合金組成を持つため、今回の評価では、モデリングにも適当且つ主な構成材であり、同じ BCC 構造を持つ純鉄（純度 5N）を用いた。MT チャンバーにて、3mmφ の TEM ディスク状の純鉄試料に、イオン照射を行った。タンデム加速器による 10.5 MeV-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 0.38 MeV-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 1.05 MeV-He イオン（核変換生成ヘリウムガスを模擬）の 3 つのイオンビームを使用し、(a)鉄イオンのみ照射（シングル照射）、(b)鉄イオン照射後に水素イオン照射（逐次照射）、(c)鉄、水素イオンの同時照射（デュアル照射）、(d)鉄、水素、ヘリウムイオンの同時照射（トリプル照射）の 4 つのモードにて照射実験を行った。照射後、速やかに液体窒素に浸漬し水素拡散及び脱離を抑制しながら保管し、その後、水素放出挙動を調べるために、低温 TDS（Thermal Desorption Spectra）の測定を行った。測定温度は、-50~200℃（昇温速度 1℃/分）を有効とした。

3. 結果及び考察、今後の展開等

各モードの照射後の低温 TDS 測定による水素放出挙動を図 1 に示す。(a) シングル照射は、鉄イオンのみであり、水素は照射されていないので、バックグラウンドノイズのみが検出された。一方、他の 3 つの照射モードでは、水素の放出が観察された。(b) と (c) では、高温側と低温側に脱離ピークが観察され、高温側のピーク温度は同程度、低温側は (b) 約 37°C、(c) 約 0°C であった。これら (b) と (c) の低温側ピークは、照射欠陥（主に空孔）に起因すると考えられる。一方、(b) (c) (d) の高温側ピークは、純鉄に関してその報告例はなく、原因となる欠陥について現状不明である。

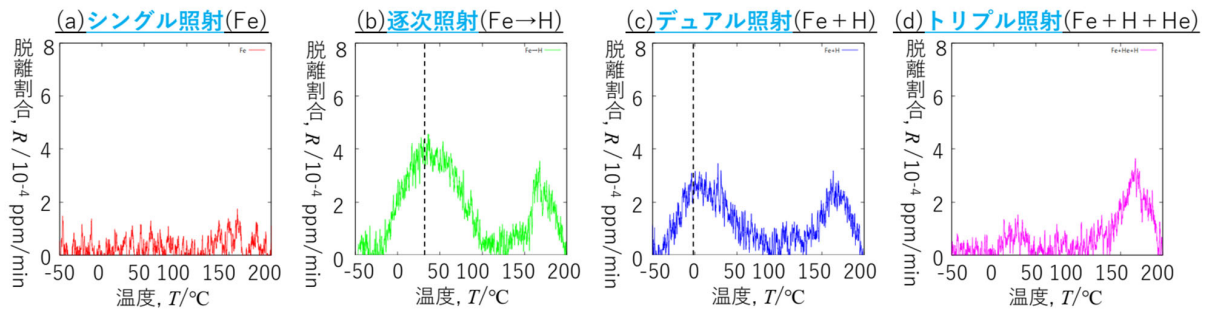


図 1 低温 TDS 測定による各種照射モードにおける水素の放出挙動

次に、図 1 の放出量から脱離した水素量を評価すると、 $-50 \sim 200^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で、それぞれ (b) 3.4×10^{-2} , (c) 2.3×10^{-2} , (d) 1.0×10^{-2} mppm であり、SRIM により計算した水素の注入量は 3.4×10^{-2} mppm であることから、(b) (c) の脱離水素量は、照射した水素量とほぼ一致した。一方 (d) は低温側のピークが小さい分少ないことがわかった。(b) (c) については、空孔が照射した水素をトラップしていると考えられる。(d) については、ヘリウムの影響のため、空孔に関するピークが検出されなかった可能性があると考えている。

以上のように、イオン照射した純鉄に対し低温 TDS を初めて適用し、鉄、水素イオンの逐次照射とデュアル照射において、有意な違いを示す昇温脱離スペクトルが得られた。ADS 等高エネルギー中性子照射材の代替としてのイオン照射材の欠陥を、低温 TDS により推定できる可能性を示した。今後、He ガスの影響評価や、さらなるモデル予測へ向けた検証を行う。