

## 内圧破裂試験による高燃焼度 BWR 燃料被覆管の機械的性質評価

Evaluation of Mechanical Property of High Burnup BWR Fuel Cladding by Internal Pressurization Burst Test

\*山内 紹裕<sup>1</sup>, 緒方 恵造<sup>1</sup>

<sup>1</sup>原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

高燃焼度使用済燃料被覆管を用いた内圧破裂試験から得られた機械的性質と被覆管中の水素濃度の関係を整理した。さらに、水素化物の方位等を表す指標により、水素化物の析出形態と被覆管の延性低下の相関を調べた。

キーワード：沸騰水型原子炉、高燃焼度燃料被覆管、内圧破裂試験、機械的性質、水素化物

**1. 緒言** 核燃料の使用期間が長期化すると被覆管中の水素濃度が加速度的に増加する傾向を示している<sup>[1]</sup>。水素濃度の増大に伴って周方向破断伸び（延性に相当）が低下するとの知見が得られており<sup>[2]</sup>、また、水素濃度のみならず水素化物の析出形態（方位等）も被覆管の機械的性質に影響を及ぼすことが知られている。本研究では、水素化物の析出形態に関連する指標を算出し、機械的性質との関係を整理することで被覆管の延性が低下する条件の定量化を試みた。

**2. 実施内容** 内圧破裂試験により使用済燃料被覆管（国内商用炉照射、燃焼度：52.5-68.8 GWd/tU）の機械的性質を調べた<sup>[3][4]</sup>。本内圧破裂試験では、照射まま材に加え、水素添加材、水素添加及び水素化物半径方向再配向処理材を供試材とした。各試料の Zr ライナ部分を含む被覆管全体の平均水素濃度はそれぞれ 119-281 ppm、331-615 ppm、265-1515 ppm であった。これらについて、得られた周方向破断伸びと被覆管中の水素濃度との関係を整理した。さらに、各試料の断面金相写真を画像解析することで、Zry-2 部分に存在する水素化物の析出形態に関連する指標を算出し、周方向破断伸びとの関係を整理することで周方向破断伸びが 1% 以下となる条件について検討した。

### 3. 結果・考察

供試材から Zr ライナを除去した Zry-2 部分の水素濃度と周方向破断伸びの関係を図 1 に示す。水素濃度が高い試料において周方向破断伸びのばらつきが大きかった。周方向破断伸びへの影響は、被覆管中の水素化物が半径方向に配向している程大きい、水素濃度には水素化物の析出形態が反映されていないことが原因だと考えられる。

これに対し、周方向破断伸びを、Zry-2 部分に存在する水素化物の半径方向への投影長さの累積値を測定面積で除した値（以下「指標値」という。）で整理したところ、指標値増加に伴う延性低下の傾向が比較的良く示された（図 2）。本試験の範囲内では、指標値が 29.4 mm/mm<sup>2</sup>、Zry-2 部分の水素濃度が 213 ppm 以上を示した試料が 1% 未満の周方向破断伸びを示した。また、それらは全て商用炉での使用後に水素添加及び水素化物再配向処理を施した試料だった。以上より、Zry-2 部分に 200ppm 程度（本試験の供試材では、Zr ライナ部分を含む被覆管全体の平均水素濃度 600ppm 程度に相当）の水素化物が存在し、さらに半径方向への配向の度合いが大きい場合、被覆管の周方向破断伸びは 1% 以下になる可能性があることがわかった。

### 参考文献

- [1] Y. Hirano et al, Irradiation Characteristics of BWR High Burnup 9x9 Lead Use Assemblies, Proc. 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, Kyoto, Oct. 2-6, 2005.
- [2] 平成 18 年度高燃焼度燃料安全裕度確認試験 成果報告書、(独) 原子力安全基盤機構、07 基炉報-0003、平成 19 年 11 月
- [3] K. Ogata et al, Effect of Increased Hydrogen Content on the Mechanical Performance of Irradiated Cladding Tubes, Proc. TopFuel 2012, Manchester Sept. 2-6, 2012.
- [4] A. Yamauchi et al, Quantification of Morphology of Zr-Hydride Precipitates for Evaluation of High-Burnup Fuel Cladding Mechanical Property, NuMat2016, Montpellier, Nov. 7-10, 2016.

\*Akihiro Yamauchi<sup>1</sup> and Keizo Ogata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

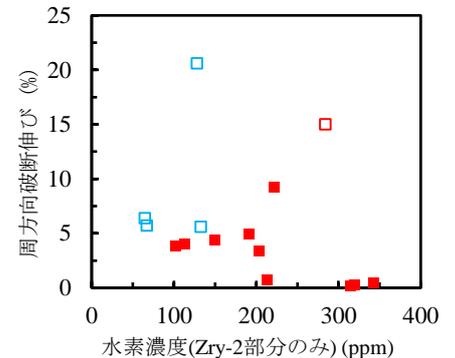


図1 Zry-2 部分の水素濃度と周方向破断伸びの関係

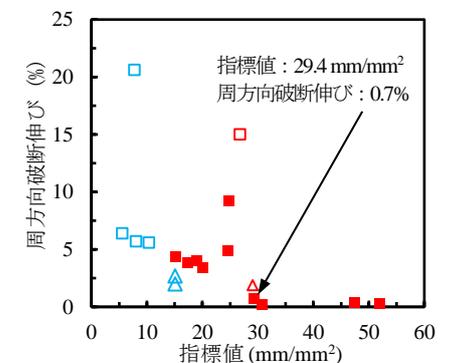


図2 指標値と周方向破断伸びの関係

- 照射まま材（オープンエンド方式\*）
- △ 照射まま材（クローズドエンド方式）
- 水素添加材（オープンエンド方式\*）
- △ 水素添加材（クローズドエンド方式）
- 水素添加再配向処理材（オープンエンド方式\*）

\*単軸応力条件結果を二軸応力条件結果に補正