

使用済 BWR 燃料被覆管の機械的性質に及ぼす水素化物析出形態の影響

Influence of Precipitation Forms of Zr-Hydride on Mechanical Property of Irradiated BWR Fuel Cladding

*山内 紹裕¹, 緒方 恵造¹, 秋山 英俊¹

¹原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

沸騰水型原子炉（BWR）で照射された燃料被覆管に周方向引張応力負荷条件下で水素添加して水素化物の析出方位を調整する配向処理を施し、内圧破裂試験により機械的性質を調べた。周方向破断伸びは配向処理時間の増加とともに低下する傾向を示した。また、水素化物の方位及び析出頻度を反映した指標と周方向破断伸びは一定の相関を示した。

キーワード：沸騰水型原子炉、燃料被覆管、機械的性質、延性、ジルカロイ、水素化物、析出形態

1. 緒言 核燃料の使用期間が長期化すると燃料被覆管中の水素濃度が加速度的に増加する傾向を示し^[1]、これに伴って破断伸び（延性）も低下するとの知見^[2]が得られている。燃料被覆管の延性低下には、燃料被覆管中の水素濃度のみならず析出した水素化物の方位等（析出形態）も影響していると考えられるため、水素化物の析出方位調整を施した使用済 BWR 燃料被覆管を用いた内圧負荷試験により機械的性質を調べた。また、水素化物の析出形態を表す指標と機械的性質の相関について検討した。

2. 実験 商用 BWR で 5 サイクル照射した燃料棒（8×8 型及び 9×9A 型）から採取した被覆管を、内圧封入による引張応力負荷状態（150MPa）で 290℃ の LiOH 水溶液中に一定時間（3、9 及び 21 日間）保持し、大幅に被覆管水素濃度を増加させるとともに水素化物の析出方位調整を行った。それらを用いて 300℃ で内圧破裂試験（オープンエンドバースト方式）を行い周方向引張強さ及び周方向破断伸びを調べた。また、内圧破裂試験後変形の小さい端部の断面金相写真を取得し、その画像解析により水素化物の析出形態に関連する指標を算出し、それら指標の値と周方向引張強さ及び周方向破断伸びとの関係を整理した。

3. 結果・考察 8×8 型、9×9A 型共に、照射ままの試料と水素添加及び水素化物の析出方位調整を施した試料を比較すると、保持時間が 9 日まで（被覆管水素濃度 120-763 ppm）は、周方向引張強さは 722-772 MPa でほぼ同等であり、また周方向破断伸びについては最小でも 5%以上の値を示した。一方、保持時間が 21 日間の試料（被覆管水素濃度 1303-1515 ppm）は、周方向引張強さ及び周方向破断伸び共に照射ままの試料と比較し低い値を示し、周方向引張強さは 546-697 MPa、周方向破断伸びについては 1%未満であった。

水素化物の析出形態を表わす指標により周方向破断伸びを整理した結果の例を図 1 に示す。析出方位のみを反映した指標である $F_n(40)$ [—]（16 μ m 以上の水素化物を 1 個としたときの、全水素化物個数に対する管半径方向 $\pm 40^\circ$ 以内に配向した水素化物の個数の比）ではばらつきが大きかったが、析出方位及び析出頻度を反映した指標である $Flall(45)/A$ [mm/mm²]（半径方向に対して $\pm 45^\circ$ 以内に配向した水素化物の累積長さを測定面積で除した値^[2]）ではばらつきが小さかった。本試験の範囲内では、 $Flall(45)/A$ により周方向破断伸びを整理すると指標値増加に伴う周方向破断伸び低下の傾向が比較的明瞭に示された。今後、水素化物の析出形態が燃料被覆管の機械的性質に与える影響を評価・整理できる指標について検討を継続する。

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] 緒方恵造、他、高燃焼度燃料安全裕度確認試験総合評価 (5) BWR 燃料被覆管の延性とき裂発生評価、日本原子力学会 2007 年秋の大会、2007 年 9 月

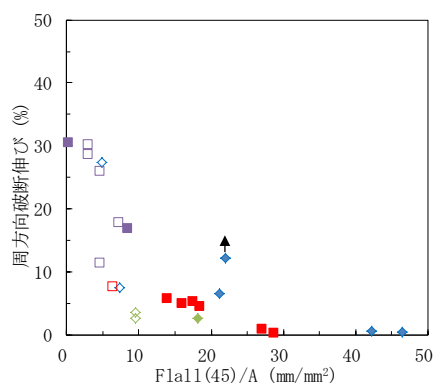
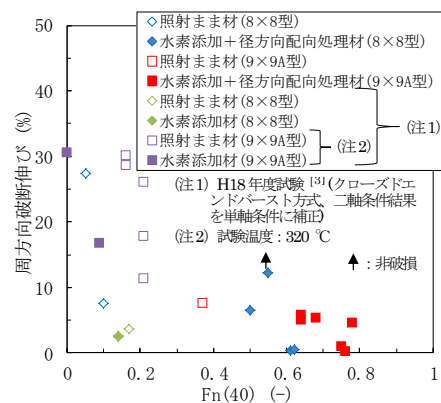


図 1 周方向破断伸びと水素化物析出指標の関係

*Akihiro Yamauchi¹, Keizo Ogata¹ and Hidetoshi Akiyama¹

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