

乾式貯蔵時の使用済燃料健全性の確認 —被覆管の温度勾配による水素の移動量評価—

背景

原子力発電所からの使用済燃料は現在、再処理工場に輸送されるまでの間、発電所敷地内において貯蔵されている。今後の貯蔵量の増加に対応するために、国や電気事業では2010年までに使用済燃料を原子力発電所の敷地外でも貯蔵する計画を進めている。使用済燃料を安全に貯蔵するためには実際の使用済燃料被覆管を用いた試験を行って健全性を確認しておくことが必要である。

貯蔵中の燃料健全性に影響を与えると考えられる現象に、燃料棒軸方向の水素移動がある。貯蔵中には燃料棒軸方向の温度分布により照射で蓄積した水素が被覆管の高温領域から低温領域に移動し、低温領域の局所的な水素量の増加で水素化物として析出すると被覆管の水素脆化に至る可能性がある（図-1）。

目的

既に20年間乾式（空気）保管した使用済PWR-UO₂燃料棒を用いて、燃料被覆管の水素脆化に関わる水素の移動試験を実施して、水素移動量評価に必要な物性値を求める。さらに、乾式貯蔵後の燃料被覆管の水素濃度分布を解析で求める。

主な成果

貯蔵中の被覆管の水素移動量を評価するには、被覆管の水素拡散係数、固溶している水素濃度の限度を表す固溶限および温度勾配に起因する水素移動への寄与を表す輸送熱が必要である。このため、実際に20年間乾式（空気雰囲気）保管したPWR-UO₂燃料棒（燃焼度31MWd/kgHM及び58MWd/kgHM）を用いた水素の移動試験を実施して、水素移動量評価に必要な物性値を取得し、さらに貯蔵後の燃料被覆管の水素分布を計算で求めた。

- (1) 水素移動試験後に被覆管試料の水素濃度を分析した（図-2）。この濃度分布にフィックの拡散式を基礎にした水素流束の式を適合して、これまで報告例の無かった実際に保管した照射被覆管の水素の輸送熱や拡散係数、僅かの報告例しかない固溶限などの物性値を得た。照射材の輸送熱は未照射材に比べ顕著に増加しており、温度勾配下では水素がより移動しやすい傾向があることがわかった（表-1）。
- (2) 照射の影響を調べるために今回取得した未照射及び照射被覆管の拡散係数や固溶限と文献値（未照射材）との比較を行った結果、照射や乾式保管による拡散係数や固溶限の顕著な増加は確認されず（図-3）、水素移動評価の際には未照射材の拡散係数や固溶限の値を用いることで安全側の評価が可能である。
- (3) 本試験で求めた輸送熱、拡散係数や固溶限を用いて、40年間使用済燃料を乾式貯蔵した場合の燃料棒軸方向の水素移動量の計算解析を行った。解析において安全側に評価するために、輸送熱、拡散係数や固溶限は本試験の最大値を使用した。計算から、相対的に温度の低い燃料棒両端部で水素の移動と蓄積による水素濃度の増加があるが（図-4）、全体的には水素の初期分布からの変化は少ない結果となった。

以上より、貯蔵中の燃料健全性に与える影響はほとんどないと評価された。なお、本研究は経済産業省 原子力安全・保安院からの受託研究として実施した。

主担当者 原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 笹原 昭博

関連報告書 “Post irradiation examinations of twenty years stored spent fuels”, Storage of Spent Fuel from Power Reactors, IAEA, 2003, June 2-6, Vienna.

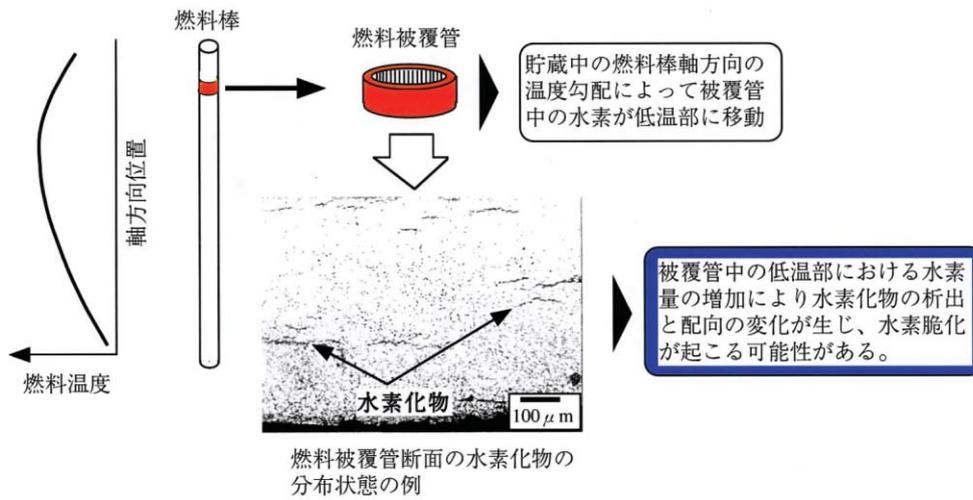


図-1 使用済燃料被覆管の貯蔵中の水素の影響

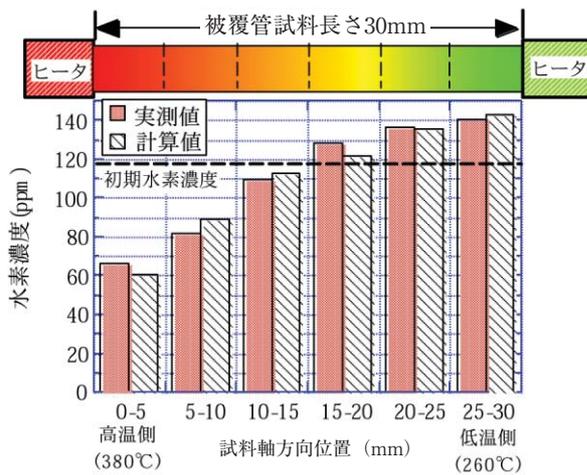


図-2 水素移動試験を終了した照射被覆管中の水素濃度分析結果と計算との比較

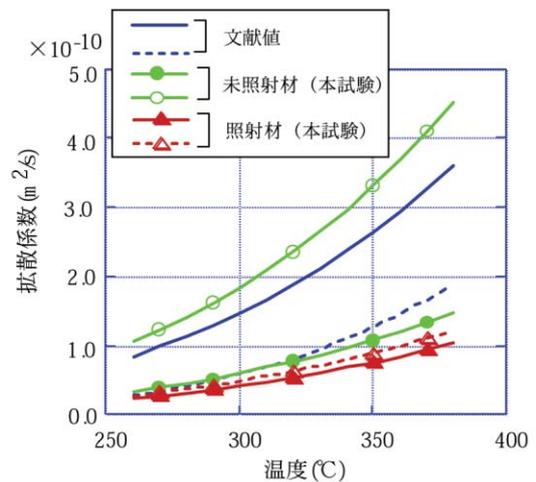


図-3 照射被覆管と未照射被覆管の拡散係数

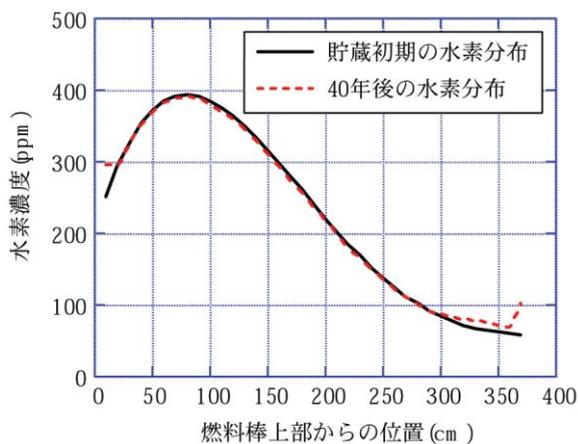


図-4 ヘリウム雰囲気中で40年間貯蔵した場合の燃料棒軸方向の水素移動解析の結果

表-1 水素移動試験から求めた水素の輸送熱

試料	輸送熱 (kcal/mol)
未照射材	4.5~9.7
照射材	10.6~17.7