

炭素鋼製オーバーパックスの脆化予測に関する研究 (2) 照射脆化予測モデルの構築

A study for prediction of embrittlement of overpacks made by carbon steel

(2) Multiscale modeling of irradiation embrittlement of carbon steel

*中筋 俊樹¹, 森下 和功¹, 川久保政洋²

¹京都大学, ²原環センター

オーバーパックスは極低損傷速度(約 10^{-16} dpa/s)の照射を1000年間受けると評価されている。1000年後の照射脆化量を予測するには、脆化の機構論に基づき、損傷速度の影響を正しくモデルに取り込む必要がある。本研究では、分子動力学計算、モンテカルロ計算、イオン照射実験等による評価結果をもとに、オーバーパックス材料の照射脆化に関する反応速度論モデルを構築し、1000年後の脆化量を予測した。

キーワード: 照射脆化、オーバーパックス、マルチスケールモデリング、銅リッチ析出物、照射相関

1. 背景

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、放射性物質は炭素鋼製のオーバーパックス内に密封される。オーバーパックスは1000年の間放射性物質を安全に閉じ込めておくことが要求されるが、オーバーパックスの使用環境を考えると、地下水による腐食や放射線による照射脆化等に起因する閉じ込め機能の喪失リスクが懸念される。本研究では照射脆化に着目する。オーバーパックスの受ける損傷速度は約 10^{-16} dpa/sであるが、この損傷速度は、材料試験炉(10^{-7} dpa/s)、電子線照射(10^{-8} dpa/s)、イオン加速器(10^{-4} dpa/s)と比較しても極めて低い。運転中の軽水炉圧力容器の照射脆化研究においては、同じ照射量において、損傷速度の低い方が脆化の程度が高くなることが知られているが、こうした損傷速度効果を考えると、いくら1000年間の総照射量が低いとは言え、オーバーパックスの累積脆化量が果たしてどの程度になるかを評価しておくことは重要である。本研究では、照射脆化のマルチスケールモデリングを行い、オーバーパックスの脆化量を予測した。

2. 反応速度論モデル

圧力容器の照射脆化量予測の評価においては、マトリクス欠陥(転位ループ)および溶質原子クラスターの形成がモデル化される。本研究でも同様に、転位ループおよび溶質原子クラスターの核生成と成長過程を反応速度論に基づきモデル化した。その際必要となる欠陥移動エネルギー、欠陥結合エネルギー、転位パイアス等のパラメータは、イオン照射実験で得られた結果を再現できるように調整した。

3. 結果および考察

反応速度論に基づき、オーバーパックス材料の照射による破壊靱性値変化を予測した。ただし、モデルの精度(もしくは、あいまいさ)がどの程度なのかを明らかにするために、別途電子線照射実験を行い、本モデル計算との差から、モデル精度を定量化した。図1は照射による破壊靱性値 K_{Ic} の変化を示す。モデル精度を考慮し安全側に評価した場合でも、1000年間のオーバーパックス材料の破壊靱性値の低下量は無視できるほど小さい。すなわち、照射脆化は現実的な問題とはならない。

本報告は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「平成29年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(処分システム工学確証技術開発)」の成果の一部である。

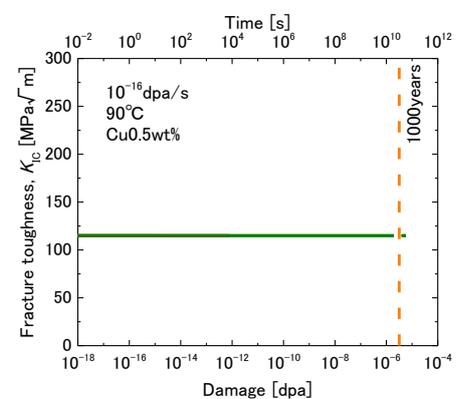


図1 照射による破壊靱性値 K_{Ic} 変化
(未照射時の降伏応力 550MPa)

*Toshiki Nakasuji¹, Kazunori Morishita¹ and Masahiro Kawakubo²

¹Kyoto Univ., ²RWMC