

圧力容器鋼の照射脆化管理高度化

(2) 圧力容器鋼の照射脆化モデリング

Advanced Management of Irradiation Embrittlement of Reactor Pressure Vessel Steel

(2) Modeling of Defect Cluster Nucleation in RPV Steel during Irradiation

*森下 和功¹, 阮 小勇¹, 中筋 俊樹¹

¹京都大学

マルチスケールモデリングにより銅-空孔集合体および転位ループの核生成を厳密に取り扱った照射下ミクロ発達に関する反応速度論モデルを構築した。照射条件と欠陥集合体形成の相関を明らかにし、精度の高い新たな照射脆化予測式の構築について検討した。

キーワード：照射脆化、原子炉圧力容器、マルチスケールモデリング、欠陥集合体、照射相関

1. 緒言

加圧熱衝撃 (PTS) 事象に対する圧力容器の健全性評価の1つに照射脆化予測が挙げられる。日本において代表的な照射脆化予測式は、JEAC4201-2007 (2013 年追補版) である。これは、物理的理論に基づいた簡易予測式を日本の各商業軽水炉や試験炉で得られた脆化データにフィッティングするよう構築されたものであるが、その温度の適用範囲は 270°C から 290°C と狭い。Yoshiie らにより高度化された厳密な反応速度論モデル^[1]においては、複空孔 (サイズ 2) をボイドの安定核 (臨界サイズ) と仮定しているが、実際には臨界サイズは損傷速度や照射温度に応じて変化するものであるから、更なる高度化が必要である。本研究では、幅広い照射条件において照射脆化を精度よく予測するため、照射脆化の要因である欠陥集合体の核生成プロセスを厳密に取り扱った反応速度論モデルを構築した。

2. 数値解析方法

bcc 鉄中において、サイズ (集合体内に存在する点欠陥数) 1 から 100 の自己格子間原子集合体およびサイズ 1 から最大 140 の銅-空孔集合体を対象に欠陥反応の速度論式を立て、それを連立して積分することでそれぞれの欠陥集合体濃度の経時変化を得た。核生成モデルの構築に必要な集合体結合エネルギーは、分子動力学法 MD より得られたものを利用した。

3. 計算結果および考察

図 1 は、照射により形成される銅-空孔集合体の平均組成の変化を示す。ここで組成は、銅-空孔集合体中に含まれる銅原子の割合を示す。損傷速度が高いほど、銅を含まないボイドが核生成しやすいことが分かる。低損傷速度では、銅を多く含む集合体が多く核生成するが、集合体の成長に伴い空孔流入量が多くなるためボイドへと転換する。このように、損傷速度や照射量において形成される欠陥集合体の組成が異なることが明らかとなった。

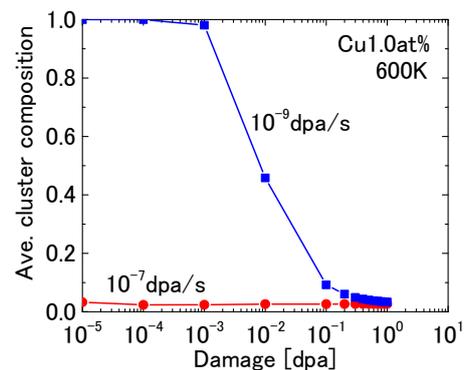


図 1 銅-空孔複合体の組成の照射量・損傷速度依存性

参考文献

[1] T. Yoshiie et al., NIM B, Vol. 352, pp. 125-129, (2015).

* Kazunori Morishita¹, Xiaoyong Ruan¹ and Toshiki Nakasuji¹

¹Kyoto University