

中性子照射下における Fe 内のミクロ構造発達に関する統計的評価

Statistical assessment of microstructural evolution in iron during neutron irradiation

*祝 梁帆¹, 陳 昱婷¹, 森下 和功¹

¹京都大学

分子動力学法により計算された 20 eV~50 keV の PKA エネルギーの衝突カスケードデータベースを用いて、特定の中性子照射場における点欠陥やカスケードクラスターの生成率の平均値やゆらぎを評価し、それが材料ミクロ構造発達に対する影響を統計的に調査した。

キーワード: 照射損傷, 衝突カスケード, 照射欠陥, 統計, ゆらぎ, ミクロ構造発達

1. 緒言

原子炉や核融合炉の構造物においては、中性子の照射を受けて材料中に点欠陥が高密度に生成され、それによって材料の機械特性は劣化（脆化）する。炉設計および高経年化炉の保全においては、照射脆化を考慮することが重要である。先行研究により、衝突カスケード損傷で直接的に生成する欠陥集合体（カスケードクラスター（以下「CC」と表記））の生成数やサイズ分布の僅かな違いがその後のミクロ構造発達挙動に有意な差を生じる可能性が示された。従来の照射脆化予測では、カスケード損傷について、主に平均的なふるまいに関する議論が行われてきたが、欠陥の生成数やゆらぎの効果についてはほぼ議論されていない。本研究では、各照射場における点欠陥や CC の生成率の平均値やそのゆらぎを理論的に定量化するとともに、同欠陥挙動による材料ミクロ構造発達挙動への影響を調査することを目的とした。

2. 解析手法

分子動力学法により計算された bcc -Fe 中の原子衝突カスケードデータベースから、点欠陥や CC の生成数の確率分布関数、それらの平均および標準偏差を PKA エネルギーの関数として求めた^[1]。次に、PHITS(Version 3.280)^[2]コードを用いて、例として HFIR 照射場が作る PKA エネルギースペクトルを評価し、上述の MD 解析結果と合わせることで、照射場特有の点欠陥や CC の生成率の平均値やゆらぎを評価した。この結果を反応速度論解析の入力とし、統計的な計算により、特定照射場におけるミクロ構造発達とそのゆらぎを定量評価した。

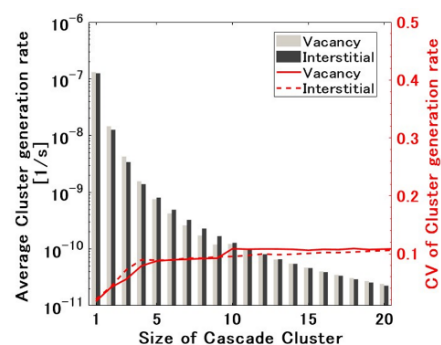


図 1 HFIR 炉における CC 生成率

3. 結果

図 1 は HFIR 照射場特有の CC の生成率の平均値（左縦軸）とゆらぎ（変動係数, 右縦軸）を示している。CC 生成率のゆらぎはサイズとともに大きくなる。図 2 は統計的な反応速度論解析による欠陥数密度の時間発達とその確率分布を示している。CC 生成率のゆらぎの効果について、図 1 に示したように、CC 生成率のゆらぎは最大で 10% 程度になるが、欠陥蓄積量に対する影響は条件によっては、20% 以上も異なるという結果も得られた。

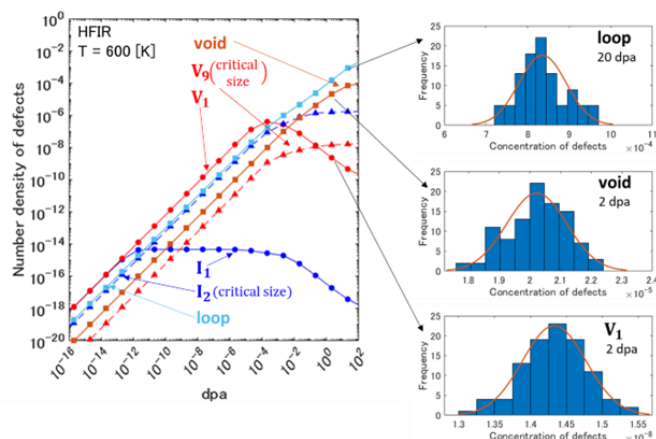


図 2 ミクロ構造発達過程の統計的な反応速度論解析

参考文献

[1] Y. Chen, et al., Nucl. Mater. Energy, 30 (2022) 101150.

[2] T. Sato, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 55 (2018) 684.

*Liangfan Zhu¹, Yuting Chen¹, Kazunori Morishita¹

¹ Kyoto Univ.