

6. 放射線損傷とマルチスケールモデリング

6. Multiscale Modeling of Radiation Damage Processes in Fusion Materials

森下和功¹, 坂口紀史², 金田保則³, 加藤太治⁴, 岩切宏友⁵, 徐虬⁶,H.L. Heinisch⁷, F. Gao⁷, R.J. Kurtz⁷

1)京大エネ理工研, 2)北大エネマテ, 3)東大工, 4)核融合研, 5)九大応力研, 6)京大炉, 7)PNNL

Kazunori Morishita¹, Norihito Sakaguchi², Yasunori Kaneta³, Daiji Kato⁴,Hiroto Iwakiri⁵, Xu Qiu⁶, H.L. Heinisch⁷, F. Gao⁷, R.J. Kurtz⁷

1)IAE, Kyoto Univ., 2)Caret, Hokkaido Univ., 3)School Eng., U. Tokyo, 4)NIFS,

5)RIAM, Kyushu Univ., 6)RRI, Kyoto Univ., 7)Pacific Northwest National Lab., USA

E-mail: morishita@iae.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

放射線照射環境下で使用される材料の損傷過程をモデル化し、材料挙動予測の方法論を構築することは、核融合炉材料設計・選択および寿命評価にとって重要である。しかしながら、照射損傷過程は、時間的にも大きき的にもエネルギー的にもマルチスケールな現象であるため、それをモデル化することは各種の困難を伴う。

2. 材料の不均質性

未照射であっても、材料内には、転位、粒界、析出物などの多くの欠陥が存在し、本質的に、材料は不均質である。巨視的視点では一見均質に見える場合でも、微視的な視点で見ると不均質であることがわかる。材料設計に重要な材料の巨視的挙動は、微視的構造領域のふるまいに強く影響を受ける。この不均質性は、照射材料に限らず、材料モデリング共通の課題である。

3. 照射

照射は、材料内に、数多くの非平衡欠陥(はじき出し原子や核変換生成物(不純物))を作り出す。巨視的な視点では一様に照射した材料であっても、微視的な視点から見ると、照射によって生成した非平衡欠陥の分布は一様ではない。非平衡欠陥のう

ち可動なものは、拡散により材料内部を移動し、時間をかけて一様な分布になろうとする。その際、欠陥どうしでさまざまな相互作用を起こす。このときの反応は、上述の材料本来の不均質性にも強く依存する。こうして材料のマイクロ構造が変化し、微視的視点での不均質性が変化するので、材料の巨視的挙動も変化(劣化)することになる。

4. 照射損傷過程のモデル化

照射損傷過程は、ピコ秒・ナノサイズの原子はじき出し(変位カスケード損傷)過程に始まり、カスケード領域が冷却していく過程、非一様な照射欠陥分布に強く影響を受けながら欠陥集合体が形成していく過程、照射欠陥分布がほぼ一様な領域での欠陥集合体形成過程に分けて考えられることが多い。それぞれ、衝突過程、冷却過程、熱的過程、拡散過程と呼ばれる。これらの過程は、それぞれ関連する時間スケール・空間スケール・エネルギースケールが異なるので、自ずと評価手法も異なる。特に時間スケール・空間スケールが小さい場合は、実験的評価が困難であるため、計算機を用いた評価が行われている。

当日は、具体例を挙げながら、照射損傷マルチスケールモデリング研究の一端を紹介する。