

最新の欠陥再結合補正モデルを用いたイオン照射による 原子炉構造材のはじき出し損傷計算

Displacement damage calculation for nuclear reactor materials under ion irradiation
with new defect re-combination correction model

*岩元 洋介¹

¹原子力機構

粒子・重イオン輸送計算コード PHITS 及び SRIM を用いて、イオン照射による材料中の照射損傷量の深さ分布を計算した。その結果、10 MeV の鉄を鉄に照射した場合の欠陥再結合補正モデル(arc)を考慮した場合、損傷量の計算結果は従来モデル(NRT)の0.3-0.4倍となり、他のイオン照射も同様の傾向であることがわかった。

キーワード：原子あたりのはじき出し数(dpa), はじき出し損傷, 欠陥再結合補正モデル(arc), PHITS, SRIM

1. 緒言 原子炉施設の構造材の照射損傷量の指標として、NRT モデル(Norgett, Robinson, Torrens model)で導出される原子あたりのはじき出し数(dpa: displacement per atom)が用いられてきた。一方、2018 年に Nordlund 等から、分子動力学計算により導出された格子間原子と空孔からなる欠陥における非熱的な再結合補正(arc: athermal recombination correction)が報告された[1]。本研究では、PHITS の照射損傷計算手法[2]を用いて、これまで十分に検討されていない原子炉材料の照射研究で使用される MeV 程度のイオン照射に着目し、材料中における各モデルに基づく dpa(arc-dpa と NRT-dpa)の深さ分布を検証した。また、arc モデルを用いて材料研究で使用される SRIM コードによる計算値と PHITS の計算値の比較を行った。

2. 計算 PHITS のはじき出し損傷計算は、主に①核反応やエネルギー損失過程によるイオンの材料中の輸送、②クーロン弾性散乱を含む入射粒子からターゲット反跳核(PKA)へのエネルギー転移、及び③カスケード損傷近似からなる。図1の PHITS に組み込んだ欠陥生成効率は、核的損失による材料の損傷エネルギーの関数で表される。本研究はエネルギーMeV 程度の粒子で、鉄中の arc-dpa 及び NRT-dpa の深さ分布を導出した。

3. 結果 図2に、PHITS 及び SRIM を用いた 10 MeV 鉄照射による鉄中の dpa 深さ分布の計算値を示す。材料表面から 2.5 μm のフルストップ領域において、損傷エネルギー範囲が 2-20 keV であり、arc-dpa は NRT-dpa の 0.3-0.4 倍であり、他のイオン照射も同様の傾向であること等がわかった。また、本ケースの PHITS と SRIM の計算値は概ね一致したが、荷電粒子の阻止能、材料中の輸送粒子のエネルギー分散や角度分散等のモデルが異なるため、両者の計算値に差異が生じるケースがあることがわかった。

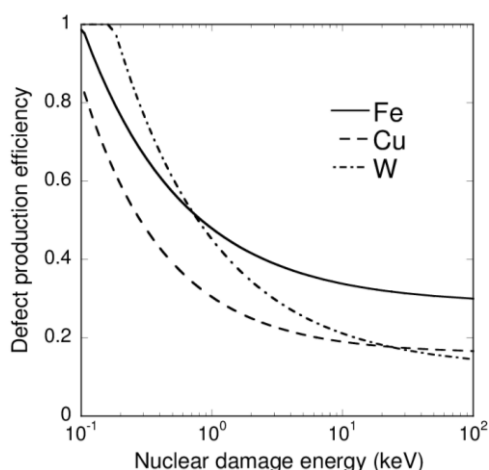


図1 鉄、銅及びタングステンの欠陥生成効率

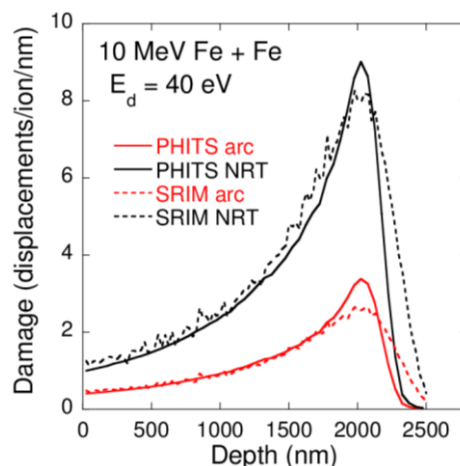


図2 10 MeV 鉄照射による鉄中の dpa 深さ分布

E_d は、はじき出しに必要なしきいエネルギー

参考文献

[1] K. Nordlund et al., Nature Communications (2018) 9, 1084. [2] Y. Iwamoto et al., JNST (2014) 51, 98.

*Yosuke Iwamoto¹, ¹Japan Atomic Energy Agency.