

## 核融合炉ブランケット構造材料の照射効果予測技術の開発 ～計算機シミュレーションによるボイドスエリング現象の照射場依存性評価～

渡辺淑之<sup>1)</sup>、森下和功<sup>2)</sup>、野澤貴史<sup>1)</sup>、谷川博康<sup>1)</sup>

Y. Watanabe, K. Morishita, T. Nozawa, H. Tanigawa

<sup>1)</sup>量子科学技術研究開発機構

National Institutes for Quantum Science and Technology

<sup>2)</sup>京都大学エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

低放射化フェライト鋼は核融合原型炉のブランケット構造材料としての利用が検討されている。ブランケット構造材料は平均14 MeVの核融合中性子照射に晒されることになり、材料中では原子はじき出し損傷や核変換反応により種々の照射欠陥である原子空孔、格子間原子、ヘリウム原子、水素原子、及びそれらの集合体が生成する。照射欠陥の蓄積は材料の微細組織（マイクロ構造）の変化を引き起こし、これにより材料の劣化（脆化）や寸法変化であるいわゆる“照射効果”が生じる。また、核変換生成物であるヘリウム及び水素は照射欠陥と強く相互作用することで照射欠陥を安定化し、照射効果を促進させる可能性がある。

核融合炉材料照射研究の特殊性は、現時点において有効な核融合中性子照射環境が存在しないことである。そのため、核融合原型炉は核分裂炉で取得した材料照射データの範囲内で設計することを予定しており、必要な材料照射データは核分裂炉やイオン加速器などのいわゆる代替照施設（照射場）を用いて取得されている。しかしながら、それら代替照射場の照射条件（例えば照射速度 [dpa/s] やヘリウム生成速度 [appm He/s]）は核融合炉のそれとは大きく異なっているため[1]、照射条件が互いに異なる照射場では照射量をそろえても照射効果が同一になる保証はない。従って、既存の材料照射データを有効に活用し、核融合原型炉での材料照射効果を精度良く予測するには、照射場の違いがもたらす材料挙動への影響を明らかにし、メカニズムの理解に基づいた予測技術の開発が必要である。本講演では、ボイドやヘリウムバブルの形成に起因する体積膨張現象の1つであるボイドスエリングに着目し、その照射場依存性を理論的に明らかにするための計算機シミュレーション研究の現状について紹

介する。

ボイド形成挙動のモデル化には核生成現象の正確な記述が必要となるが、従来のモデル（古典モデル）ではボイドの安定核のサイズ（ボイドを構成している原子空孔の個数）を比較的小さい値（例えば2または3）に固定していたため、ボイドスエリングの実験データを幅広い照射条件において再現することが困難であった。これを解決するべく本研究ではナノレベルの情報（原子シミュレーションで得られた微小ボイドの熱的分解エネルギー）と照射条件に基づいて安定核サイズを算出できる新たな核サイズ評価モデルを構築し、反応速度論解析に適用した。ここでは照射温度 300~600°C、照射速度  $10^{-7}$ ~ $10^{-3}$  dpa/s を対象とし、ボイド核生成現象に着目しながらスエリングの照射場依存性を調べた。

解析ではボイドスエリングの照射温度依存性にはそれぞれの照射場に固有のピーク温度が存在しており、照射速度が大きくなるとピーク温度は増加するが最大スエリング量（ピークスエリング）は低下するなど、古典モデルでは不可能であったボイドスエリングの照射場依存性に関する実験結果を理論的に表現することができた[2]。また、このピーク温度の照射場依存性はボイドの数密度と平均サイズのバランスで決まることが解析により示された。これらの結果はボイド核生成挙動がボイドスエリング予測技術の精度向上に係る重要因子であることを示唆するものである。

当日は現在量研が国内外で実施している材料照射効果モデリング・シミュレーション研究の概要紹介も行う予定である。

[1] S. Zinkle et al., Fusion Eng. Des. 88 (2013) 472.

[2] Y. Watanabe et al., Fusion Eng. Des. 194 (2023) 113899.