

原型炉におけるプラズマ対向壁の燃料インベントリー評価と再結合係数の影響

Evaluation of fuel inventory in plasma-facing wall of JA DEMO and the effect of recombination coefficient

大宅諒¹, 星野一生², 朝倉伸幸³, 坂本宜照³, 花田和明¹
 OYA Makoto¹, HOSHINO Kazuo², ASAKURA Nobuyuki³, SAKAMOTO Yoshiteru³,
 HANADA Kazuaki¹

¹九州大, ²慶応大, ³量研機構
¹Kyushu Univ., ²Keio Univ., ³QST

1. 研究背景と目的

原型炉の燃料システムの検討には、プラズマ対向壁の燃料インベントリーの評価が課題である。特に原型炉では、中性子やヘリウムの照射による効果が重要である。現在、原型炉条件でのこれら照射効果の詳細が、国内外の直線型装置で精力的に研究されている。

本研究では、それら実験室実験から得られた知見を基に、原型炉の燃料インベントリーの評価を目指している。特に本報告では、材料表面での水素の再結合放出の影響に着目した。実験室実験の結果から、原型炉ダイバータ条件での再結合係数を評価し、それが燃料インベントリーに与える影響を議論した。

2. シミュレーション方法

周辺プラズマ統合コードSONICで計算された原型炉のプラズマ照射条件を、材料中の水素輸送コード[1]に入力し、ダイバータ板の水素吸蔵量を評価した。計算には、ダイバータ板に照射する水素の粒子束やエネルギーのほか、熱流束とダイバータ実形状(冷却管含む)を考慮し、内部の温度分布を評価して用いた。

中性子の照射効果として、ダイバータ板内部に照射欠陥が形成されることを想定し、水素の強い捕捉サイト(脱離エネルギー2.0eV, 濃度比0.2%)を考えた。

ヘリウムの照射効果は、ダイバータ板表面でのバブル形成による、表面近傍の水素吸蔵量の変化と再結合放出粒子束の関連を考慮して、再結合係数の変化として評価を試みた。そのために、原型炉ダイバータでの照射フラックスに近い実験室実験[2,3]における、重水素(D)とヘリウム(He)同時照射を水素輸送コードで計算し、実効的な再結合係数を評価した。

3. シミュレーション結果

まず、実験室実験から評価した実効的な再結合係数を評価した。Anderlらの再結合係数[4] ($K_r = K_r^0 \exp(-1.16\text{eV}/kT)$, $K_r^0 = 3.2 \times 10^{-15} [\text{m}^4/\text{s}]$, T は表面温度[K])と比較して、D-only照射の場合は $K_r^0 = 3.2 \times 10^{-12} [\text{m}^4/\text{s}]$ と大きく、D+He照射の場合は $K_r^0 = 3.2 \times 10^{-6} [\text{m}^4/\text{s}]$ と更に大きくなった。装置の照射フラックスが大きいことや、ヘリウムバブルの形成により表面近傍で水素の再結合が促進されたことなどが原因と考えられる。

次に、内側ダイバータ板の水素吸蔵量分布の計算結果をFig.1に示す。再結合係数が大きい程、吸蔵量は小さい。再結合係数が与える影響は大きく、特にヘリウム同時照射により燃料インベントリーが大きく減少する可能性を示した。

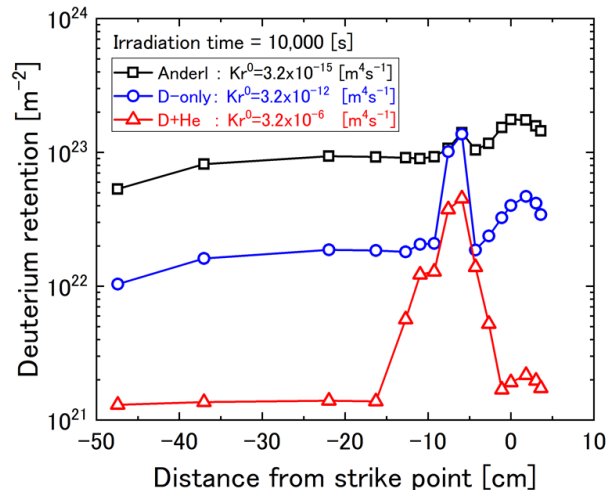


Fig.1 内側ダイバータ板の水素吸蔵量分布と再結合係数の影響(照射時間=10⁴秒)

参考文献

- [1] M.Oya et al., Nucl. Mater. Ene. 27(2021)100980.
- [2] V.Kh.Alimov et al., Phys. Scr. T138(2009)014048.
- [3] V.Kh.Alimov et al., J. Nucl. Mater. 420(2012)370.
- [4] R.A.Anderl et al., Fusion Technol. 21(1992)745.