

核融合原型炉におけるダイバータ損耗解析シミュレーション
Numerical analysis of divertor erosion for Demo

本間裕貴¹, 星野一生¹, 矢本昌平², 朝倉伸幸¹, 徳永晋介¹, 畑山明聖², 坂本宜照¹, 日渡良爾¹,
 飛田健次¹, 原型炉設計合同特別チーム
 Yuki HOMMA¹, Kazuo HOSHINO¹, Shohei YAMOTO², Nobuyuki ASAKURA¹,
 Shinsuke TOKUNAGA¹, Akiyoshi HATAYAMA², Yoshiteru SAKAMOTO¹, Ryoji HIWATARI¹,
 Kenji TOBITA¹, Joint Special Design Team for Fusion Demo

¹原子力機構, ²慶大理工
¹JAEA, ²Keio Univ.

定常運転を行う原型炉においてはITERと同様な非接触プラズマのダイバータで運転を予定しているが、年間の粒子フルーエンスは数10から100倍に達し、ダイバータの寿命を決める要因としてタングステンダイバータ板の損耗評価が重要となる。ダイバータ設計には熱負荷低減に加えてターゲットの損耗抑制も不可欠であり、非接触部を広範囲とすることおよび接触部のプラズマの温度を低減することも重要となる。

ダイバータに入射する燃料プラズマ、周辺プラズマ冷却のため注入されるアルゴンなどによりダイバータアーマ材であるタングステンははじき出される（スパッタ）。スパッタされたタングステン不純物の内、プラズマ中の輸送を経てダイバータターゲットに再入射するものは、再堆積、反射、もしくは他のタングステン原子をスパッタする（セルフスパッタ）。従ってダイバータ表面の損耗評価には、実形状プラズマシミュレーションと高Z価不純物に特化した輸送計算を組み合わせた検討が必要である。

本研究の目標は、SOL/ダイバータプラズマ統合シミュレーションコードSONIC[1]と高Z不純物輸送シミュレーションコードIMPGYRO[2]を用いて、原型炉タングステンダイバータの損耗評価を行うこと、そして損耗を低減するダイバータ設計・運転シナリオ構築にその評価を反映することである。背景となる原型炉 SOL/ダイバータプラズマの密度・温度・流速分布はSONICによって計算する。この背景プラズマ分布中でタングステン原子/イオンの輸送過程をIMPGYROによって追跡する。スパッタによる損耗量と再堆積量からダイバータの正味の損耗速度を評価することを目指す。

IMPGYRO は不純物粒子のラーマー軌道を完全に追跡計算する運動論的輸送シミュレーションコードである。タングステンイオンは高質量イオンのためラーマー半径が大きく、また多価電離数を持つため、流体近似や旋回中心近似より完全軌道計算による輸送計算が適している。IMPGYRO はタングステン不純物の輸送で特に重要な prompt re-deposition（スパッタ直後のイオン化により即座に再入射・再堆積すること）や反射まで考慮したプラズマ-壁相互作用の評価が可能である。

現在、SONIC コードと IMPGYRO コードのデータインターフェイスを開発し、SONIC コードにより計算された背景プラズマ分布(図1)を基に損耗しイオン化したタングステンの軌道計算が IMPGYRO コードで可能になった。本発表では大半径 8.2m、出力 1.5GW の原型炉における不純物輸送テスト計算結果及びダイバータ損耗評価の初期結果について報告する。

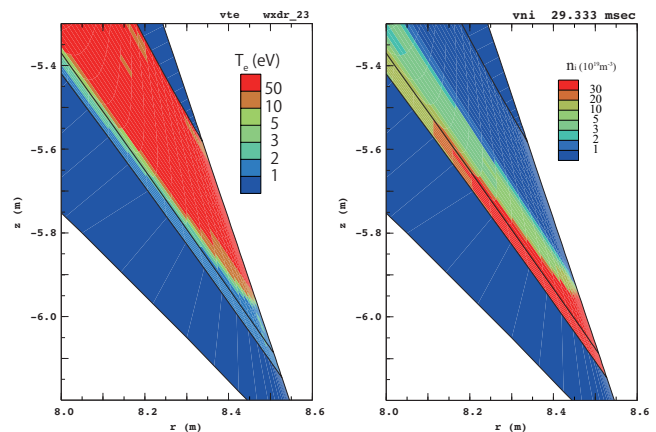


図1. SONIC計算結果例、原型炉外側ダイバータ周辺の
 (左) プラズマ温度分布 (右) 密度分布

[1] K. Shimizu, et al., Nucl. Fusion 49 (2009) 065028.

[2] A. Fukano, et al., J. Nucl. Mater. 363-365 (2007) 211-215.