

原型炉に向けたダイバータプラズマのエネルギーバランス解析 Numerical Analysis of Energy Balance of Divertor Plasma for DEMO

中野誠也¹, 星野一生¹, 朝倉伸幸², 本間裕貴², 矢本昌平²
NAKANO Masaya¹, HOSHINO Kazuo¹,
ASAKURA Nobuyuki², HOMMA Yuki², YAMOTO Shohei²

慶大理工¹, 量研²
Keio Univ.¹, QST²

1. 研究背景・目的

核融合技術を発電プラントとして実証するための原型炉の設計研究が進んでいる現在、核燃焼プラズマから排出される熱流とプラズマ粒子の処理を行うダイバータの設計は、実現に向けた最重要課題である。原型炉として高核融合出力で定常運転を行うにはダイバータへの熱負荷・損耗を低減する必要があり、ダイバータ前面でプラズマを低温化し、中性粒子との相互作用によりプラズマが壁に直接当たらない非接触ダイバータが不可欠である。^[1] しかし、既存のトカマク型装置と比べ、パラメータや形状が大きくなる原型炉においては、ダイバータプラズマの特性、特に非接触ダイバータ特性の予測研究は不十分である。そこで、本研究では、数値シミュレーションにより原型炉におけるダイバータプラズマのエネルギーバランスについて解析を行う。

2. 手法

核融合プラズマ周辺領域における統合シミュレーションコードSONIC^[2]を用いて数値解析を行った。今回は、コアから周辺部に排出される熱流を250 MWとし、その内、希ガス不純物等の放射によって損失させる電子エネルギー（以下、不純物放射パワーと呼ぶ）を $P_{\text{rad}} = 50, 100, 150, 200$ MWで固定したパラメータスキャンを4ケースで行った。周辺の各領域における11種の原子分子過程や壁とのエネルギー収支等を調べることで、ダイバータプラズマのエネルギーバランスを評価した。今回は比較のため、SOL領域上流におけるプラズマ密度がほぼ等しくなるようにガスパフおよび排気を調整している。不純物密度はプラズマ密度に対して一定の割合で分布すると仮定した簡易不純物モデルを用いた。

3. 結果

不純物放射パワーを上げていくとダイバータプラズマの密度増加・温度低下が起り、特に $P_{\text{rad}} = 200$ MWになると、内側・外側両ダイバータ

の広い範囲でプラズマ温度は2 eV以下となり部分非接触ダイバータが形成される。

各放射パワーにおける、原子分子過程による電子・イオンのエネルギー増減（SONIC解析領域内の積分値で P_{rad} は含まない）をFig. 1に示す。

不純物放射パワーが大きくなるにつれダイバータのプラズマ密度が増加し、イオン化や分子の解離反応により電子のエネルギーは損失傾向が強まっていく。

イオンについては $P_{\text{rad}} = 50 \sim 150$ MWでイオンエネルギーが増加しており、これは主にイオン化によるものである。一方、プラズマの非接触化が進んだ $P_{\text{rad}} = 200$ MWでは、ダイバータプラズマの密度が高くなることで弾性衝突が頻繁になる。特に、エッジ領域($0.95 < r/a < 1$)における弾性衝突により、イオンエネルギーが損失する。また、非接触時の内側・外側ダイバータ領域では、荷電交換によってイオンのエネルギーが増加するようになるが、それと同程度のエネルギーが弾性衝突により損失するため、ダイバータ領域のイオンエネルギー増減は概ねバランスしている。

各不純物放射パワー条件における、各領域・各原子分子過程の詳細なエネルギーバランス解析についての結果・考察はポスターにて報告する。

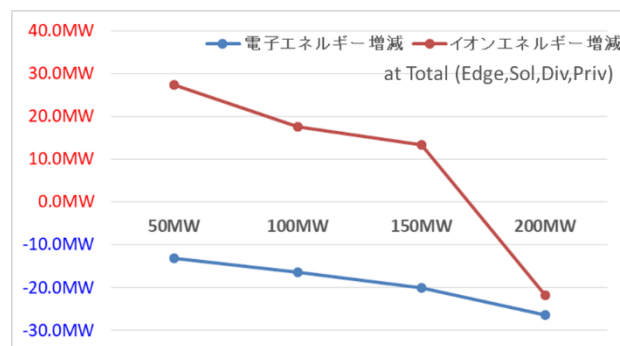


Fig. 1 各放射パワーにおける電子・イオンエネルギー増減

参考文献

- [1] N. Asakura and K. Hoshino, J. Plasma Fusion Res. **92**, 870 (2016).
- [2] H. Kawashima *et al.*, Plasma Fusion Res. **1**, 031 (2006).