

LHDダイバータ熱・粒子負荷に現れる非対称性に関する研究

Study of asymmetry of heat and particle loads on divertor tiles in LHD

杉山 吏作¹, 増崎 貴^{1,2}, 庄司 主^{1,2}, 林 祐貴^{1,2}

T. Sugiyama¹, S. Masuzaki^{1,2}, M. Shoji^{1,2}, Y. Hayashi^{1,2}

¹総合研究大学院大学, ²核融合科学研究所

¹The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI, ²NIFS

磁場閉じ込め核融合装置では装置内壁の損傷を防ぐため、さらに、ヘリウム灰や未反応燃料の排気、不純物の抑制のためにダイバータ磁場配位が採用される。この配位はメリットが多くある一方で、ダイバータ板に大きな熱・粒子負荷が集中することとなるため、熱・粒子負荷分布の予測と制御が重要な課題となる。ダイバータの熱・粒子負荷分布は、上流の周辺プラズマにおける輸送に依存することから、その予測には周辺プラズマ輸送の理解が必要である。本研究では大型ヘリカル型装置(LHD)におけるダイバータの熱・粒子負荷の非対称性に注目し、それがどのようなプラズマ輸送により現れるのかを調べている。

シングルヌルダイバータ配位のトカマク型装置では、トーラス内側と外側のダイバータにおける磁場構造・ダイバータ板配置の違いやドリフトの影響などによって、ダイバータ部の熱・粒子負荷の内外非対称性が現れている[1]。一方LHDでは、磁場構造やダイバータ板配置が対称な位置で、熱・粒子負荷の非対称性が観測されている[2, 3]。対称な位置に設置されたダイバータ板上の静電プローブ(R-array及びL-array)のイオン飽和電流の大きさは、トロイダル磁場の向き(CW:時計回り, CCW:反時計回り)によって逆転する。以後、イオン飽和電流の比をdegree of the asymmetry (DOA)とする。先行研究では、最外殻磁気面の電子温度が高くなると非対称性が大きくなることが観測された。DOAは電子温度の上昇に敏感であり、明確な質量依存性がないことから、 $E \times B$ ドリフトが影響していると考えられた(電場は電子温度の勾配に比例するため[4])。しかし、電子温度の上昇に伴ってDOAは飽和し、明確な依存性は見られなくなったため、 $E \times B$ ドリフト以外の機構もDOAに影響を及ぼしていると考えられる。そこで本研究では、DOAの他のパラメータに対する依存性、及び異なる磁場配位(磁気軸位置)でDOAを調べた。また、磁場勾配(grad B)ドリフトの影響について考察した。

DOAの様々なパラメータに対する依存性を調べたが、明確な傾向を見つけることはできなかった。

一方、磁気軸位置に応じてDOAが変化することが明らかになった(図1)。磁気軸位置 $R_{ax}=3.6\text{m}$ でのイオン飽和電流比の偏りが最も大きく、磁気軸位置をさらに内・外寄せにすると、どちらの場合も偏りが減少した(DOAの値が1に近づいた)。その他のパラメータに対して、DOAは明確に依存しなかったため、各パラメータの複雑な相互作用がDOAを変化させている可能性があると考えた。そこで、ニューラルネットワークを用いて、各パラメータのDOAへの寄与を計算した。トロイダル磁場の向きが最も寄与が大きく、続いて蓄積エネルギー、NBIの入射パワー、 β 値の寄与が大きかった。 $H\alpha$ 線発光強度もDOAに寄与するが、各トロイダルセクションによってその寄与は異なり、トロイダル依存性があると考えられる。

また、各トロイダル磁場方向でのダイバータ板の近傍におけるgrad Bドリフトの向きは、CWでR-arrayから遠ざかりL-arrayに近づく方向、CCWでその逆であり、DOAの傾向と矛盾しない。しかし、ドリフト速度はプラズマの流速に比べて小さく、その影響は小さいと考えられる。

本講演では、さらに詳細な結果を発表し、各パラメータやドリフトがDOAに与える影響を議論する。

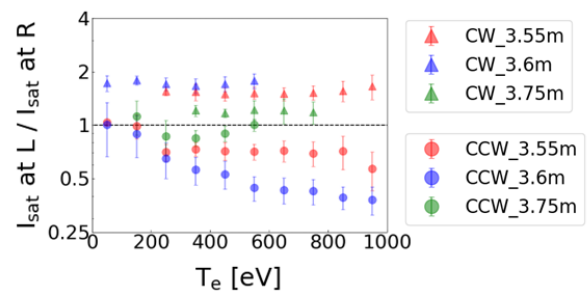


図1 各トロイダル磁場の向き, 磁気軸位置における対称位置のダイバータ板上のイオン飽和電流比 (degree of the asymmetry (DOA)) の最外殻磁気面電子温度依存性

[1] N. Asakura *et al.*, J. Nucl. Mater. 363-365 (2007) 41-51 .

[2] S. Masuzaki *et al.*, Fusion Sci. Tech. **50** (2006) 361-371.

[3] S. Masuzaki *et al.*, Nucl. Mater. Energy **18** (2019) 281-284.

[4] Y. Suzuki *et al.*, Nucl. Fusion **56** (2016) 092002.