

LHDにおける垂直NBIおよびICRF重畳加熱時の  
 $J \times B$ トルクの発生とそのトロイダル流への影響  
**Generation of  $J \times B$  Torque and its Effect on Toroidal Flow  
 Driven by Vertical NBI and ICRF Superposition Heating in LHD**

梅月亮輔<sup>1</sup>, 村上定義<sup>1</sup>, 山本泰弘<sup>2</sup>

Ryosuke BAIGETSU<sup>1</sup>, Sadayoshi MURAKMI<sup>1</sup>, Yasuhiro YAMAMOTO<sup>2</sup>

京都大学工学研究科 原子核工学専攻<sup>1</sup>, 量子科学技術研究開発機構<sup>2</sup>

Department of Nuclear Engineering, Kyoto University<sup>1</sup>

National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology<sup>2</sup>

垂直NBI加熱ではビーム粒子がトロイダル方向に運動量を持っていないため、トロイダル方向の外部駆動力を与えない。一方、LHDにおける垂直NBI加熱実験において自発的なトロイダル流の発生が報告された[1]。これはヘリカル型磁場配位の非軸対称性によるものと推測されたが、そのメカニズムについては未だ明らかにされていない。

先行研究ではLHDプラズマのECHによる $J \times B$ トルクの発生とそのトロイダル流への影響が定性的に示された[2]。ECHにより発生した高エネルギー電子が径方向に拡散すると、背景イオンによるリターン電流が流れる。このリターン電流とトロイダル方向の磁場により $J \times B$ トルクが発生する。一方、高エネルギーイオンは衝突によってそれらの運動量を背景プラズマに与え、衝突トルクを発生させる。軸対称プラズマでは $J \times B$ トルクと衝突トルクが打ち消し合うのに対し、非軸対称プラズマでは $J \times B$ トルクが支配的となり、正味としてECHによる自発的トロイダルトルクが生じることがわかった。

本研究ではLHDプラズマに対する垂直NBI加熱時に生じるトルクとして同様のメカニズムで $J \times B$ トルクの発生を考慮し、トロイダル方向のトルクを評価した。正味のトロイダルトルクから運動量輸送方程式を解くことでトロイダル流を評価し、実験結果との比較を行った。さらに、垂直NBI加熱にICRF加熱を重畳した場合に発生するトロイダルトルクの解析を行った。

トロイダル方向のトルクを評価するため、本研究ではHFREYAコードとGNETコード[3]を用いる。NBIによる高エネルギーイオンの発生分布をHFREYAコードにより計算し、これをソース項として5次元位相空間ドリフト運動論方程式を解くGNETコードを用いて、NBI加熱およびICRF加熱による高エネルギーイオンについての解析を行う。

LHDの磁場配位における垂直NBI加熱により生じた $J \times B$ 及び衝突トルクをFig.1に示す。非軸対称な磁場配位であるLHDプラズマでは、衝突トルクより $J \times B$ トルクが支配的であることが示された。トロイダル流を評価した結果をFig.2に示す。 $J \times B$ トルクに起因するトロイダル流が約2km/s生じることがわかり、これを考慮することで実験とよく一致することが示された。垂直NBI加熱にICRF加熱を重畳した場

合において発生するトロイダルトルクをFig.3に示す。この時のICRF吸収パワーは0.87MWである。 $r/a=0.6$ 付近で $J \times B$ トルクに差が生じていることがわかる。これらの結果から、LHDにおける垂直NBI加熱プラズマにおいてトロイダル流の駆動機構として $J \times B$ トルクが重要であることが示された。

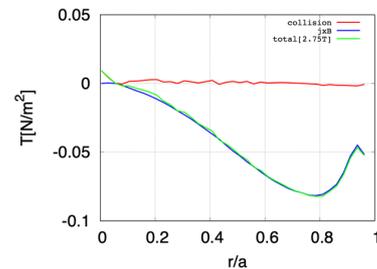


Fig. 1 垂直 NBI 加熱によるトロイダルトルク

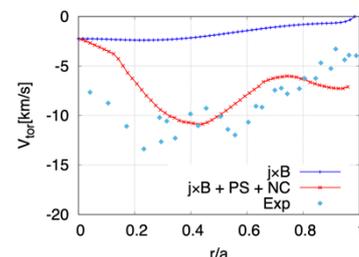


Fig. 2 LHD において垂直 NBI 加熱によって駆動されるトロイダル流

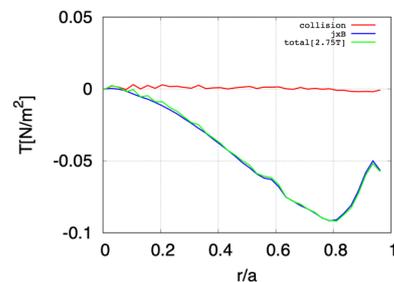


Fig. 3 垂直 NBI 加熱に ICRF 加熱を重畳した場合に発生するトロイダルトルク

[1] K.Nagaoka et al., Nucl. Fusion 20, (2013) 056116.

[2] Y. Yamamoto et al., Physics of Plasmas 28, (2021) 102501.

[3] S. Murakami et al., Nucl. Fusion 40 (2000) 693.