

JT-60U におけるトロイダル磁場リップルの ECH 加熱による トロイダルトルクへの影響

Effects of Toroidal Field Ripple on Toroidal Torque by Electron Cyclotron Heating in JT-60U Plasma

石黒裕暉¹, 村上定義¹, 山本泰弘¹, 本多充²

Hiroki Ishiguro¹, Sadayoshi Murakami¹, Yasuhiro Yamamoto¹, Mitsuru Honda²

京都大学工学研究科¹, 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構²

Department of Nuclear Engineering, Kyoto University¹

National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology²

近年、JT-60U, HSX, LHD など多くのトカマクやヘリカル装置において、電子サイクロトロン加熱 (ECH) による自発トロイダル回転が観測されており、このトロイダル回転のメカニズムの解明のために、多くの実験的あるいは理論的研究が行われてきた [1, 2]。

ECH は、高エネルギー電子の径方向拡散を増大させ、径方向の電子電流 j_e を発生させる。定常状態では、準中性を維持するためにリターン電流 $j_r (= -j_e)$ が流れ、その結果 JxB トルクが発生する。また、ECH によって発生した高エネルギー電子とバルクプラズマの衝突により、衝突トルクが生じる。軸対称磁場の場合、これらのトルクは打ち消し合うが、ヘリカルのような 3 次元的な磁場では正味のトルクが発生することが報告されている [3]。一方、トカマクの場合、理想的には軸対称磁場をもつが、実際の装置は有限個のトロイダル磁場コイルを有するためトロイダル方向に磁場の強弱が現れ、磁場に非軸対称性をもつ。

本研究では、実際の JT-60U の磁場配位を想定し、GNET コード [4] を用いて、リップル強度を変化させながら ECH によるトロイダルトルクを評価する。JT-60U は 18 個のトロイダル磁場コイルをもつため

$$B(r, \theta) = B_{\text{axisym.}} + B_{0,18} \cos(18\phi) \quad (1)$$

によって、磁場 B を導入する。このとき $B_{0,18} = -\delta B_{0,0}$ であり、我々は δ を変えることでリップル強度を変化させる。

Fig.1 に、シミュレーションによって得られたリップル強度ごとのトルクを示す。リップル強度が大きくなるにつれて JxB トルクが増大している。これは、リップルに捕捉される粒子が増え、径方向拡散が大きくなったためだと考えられる。軸対称磁場 ($\delta = 0.00\%$) の場合、JxB と衝突トルクがキャンセルし正味トルクは現れない。ここで、わずかに残っているトルクは

有限バナナ幅の効果によるものである。一方で、非軸対称磁場の場合 ($\delta = 0.10\%$) 有限のトルクが現れている。また、Fig.2 に示すように、シミュレーションによって得られたトルクは、モデル [4]

$$F_{\text{max}}^{\text{ECH}} \sim C_1 \frac{\delta^{3/2}}{n} \left[1 - \exp\left(-\frac{C_2 n}{\delta}\right) \right] \quad (2)$$

によって得られたトルクと同様の傾向を示している。

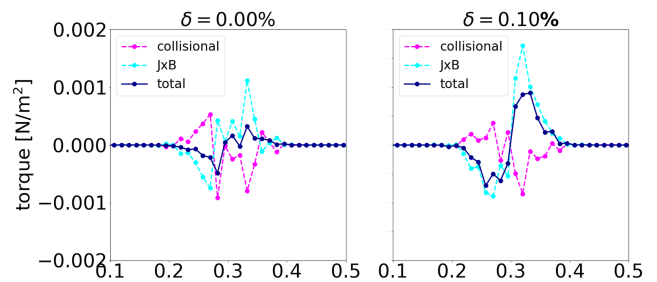


Fig. 1: リップル強度ごとのトルク

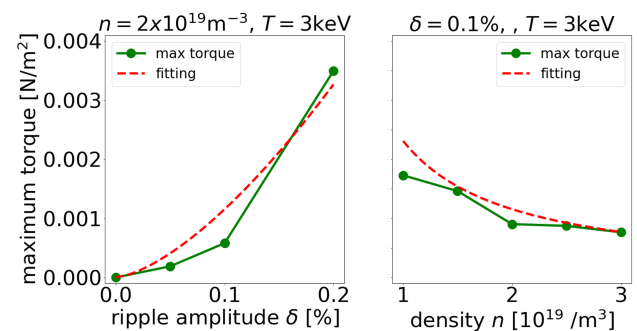


Fig. 2: トルクの最大値とフィッティング

- [1] M. Yoshida, et al., Nucl. Fusion 49 (2009) 115028
- [2] P. H. Diamond, et al., Nucl. Fusion 53 (2013) 104019
- [3] Y. Yamamoto, et al., Plasma Fusion Res. 14 (2019) 3403105
- [4] S. Murakami, et al., Nucl. Fusion 40 (2000) 693