

トカマクプラズマにおける磁場揺動の
電子サイクロトロン加熱によるトロイダルトルクへの影響
Effect of Magnetic Fluctuations on the Toroidal Torque Driven by
Electron Cyclotron Heating in Tokamak Plasmas

飯尾太那, 村上定義, 山本泰弘

Daina Iio, Sadayoshi Murakami, Yasuhiro Yamamoto

京都大学 工学研究科 原子核工学専攻

Department of Nuclear Engineering, Kyoto Univ.

トーラス型磁場閉じ込め装置において、トロイダル流とそのシアがMHDモード安定化とエネルギー閉じ込め改善に大きな役割を持つことが知られている。特に、電子サイクロトロン加熱(ECH)による自発的トロイダル流の発生が、JT-60UやDIII-Dのようなトカマク型実験装置で確認されている[1,2]。ECHによる自発的トロイダル流の駆動機構を解明することは重要であるが、未だ十分に明らかになってはいない。

本研究では、ECHによる高エネルギー電子の振る舞いが重要であると考え、この場合、プラズマのトロイダル流の駆動に関して、 $j \times B$ トルクと衝突トルクという2つのトロイダル方向トルクが働くことがわかっている。 $j \times B$ トルクは、ECHによって径方向外側へ発達する高速電子の輸送への応答として発生するイオン電流とポロイダル磁場によって起こる電磁力によるトルクである。対して衝突トルクは、歳差運動によりトロイダル方向に速度を持つ高速電子と背景プラズマとの衝突によるトルクである。理想トカマクのような軸対称磁場配位では、これら2つのトルクは互いに反対方向の強度を持ち、その和である総トルクはほぼゼロとなる。しかしながらヘリカルプラズマのような非軸対称磁場配位では、2つのトルクのつり合いが崩れ、総トルクが非ゼロとなることがわかっている[3]。よって、トカマクプラズマでも、トロイダル磁場リップルやRMPによる摂動磁場などによって非軸対称な磁場配位となった場合には、正味のトルクが発生することが予想される。

本研究では、トロイダル及びポロイダルモードが数十程度の磁場摂動を考え、その上でECHにより発生する高速電子の振る舞いとトロイダルトルクへの影響をGNETコード[4]により調べた。GNETコードでは、ECHによる高速電子の発生を踏まえた5次元位相空間上でのドリフト運動論方程式を、モンテカルロ

法によって解いている。ここで、軸対称平衡磁場 B_0 に対して、径方向摂動磁場 δB を

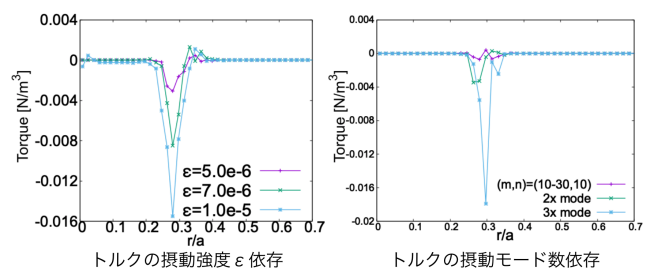
$$\delta B = \nabla \times \alpha B_0$$

$$\alpha = \varepsilon \sum_{mn} b_{mn}(\psi) \cos(m\theta - n\phi + \chi_{mn})$$

$$b_{mn}(\psi) = \exp \left[-\frac{(m - nq(\psi))^2}{4w^2} \right]$$

として印加した。摂動モードとして $10 \leq m \leq 30$, $n = 10$, またはこれらの整数倍を重積して与えた。

その結果、摂動磁場の存在下では非ゼロのトロイダルトルクが発生されること、さらに、その強度が摂動磁場のモード数によって変化し、高モード摂動磁場により強いトロイダルトルクが駆動されることが確認された。これらにより、高モードかつ微小な強度を持つ微視的磁場乱流が正味トルクの発生に対して重要な影響を持つ可能性があることが示されている。



¹M.Yoshida, et al., Phys. Rev. Lett. **103**, 065003 (2009)

²J.S.deGrassie, et, al., Phys.Plasmas **11** 4323 (2004)

³Y.Yamamoto, et al., Plasma Fusion Res. **14** 3403105 (2019)

⁴S.Murakami, et al., Nucl. Fusion **40** 693 (2000)