

トカマクプラズマにおける電磁揺動の
ECH によるトロイダルトルク駆動に対する影響
Effect of Electromagnetic Fluctuations on the ECH Driven
Toroidal Torque in Tokamak Plasmas

飯尾太那, 村上定義

Daina Iio, Sadayoshi Murakami

京都大学 工学研究科 原子核工学専攻

Department of Nuclear Engineering, Kyoto Univ.

ト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]。この自発的トロイダル流の駆動機構の解明は重要であるが、未だ十分に明らかになっていない。

ECH による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 によって径方向に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が、ヘリカルプラズマのような非軸対称磁場配位では総トルクが非ゼロとなることがわかっている [2]。よって、トカマクプラズマでも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。また同様に、電場揺動が存在する場合でも、径方向輸送の発達によって非ゼロの総トルクが発生することが期待される。

本研究では、トロイダル・ポロイダルモードが数十程度の磁場・電場揺動による非軸対称性を考え、それらの ECH によるトロイダルトルクへの影響を GNET コード [3] により評価した。ここで、径方向揺動磁場 $\delta \mathbf{B}$ と静電ポテンシャル揺動 $\delta \Phi$ を

$$\delta \mathbf{B} = \nabla \times \alpha \mathbf{B}_0 \quad (1)$$

$$\alpha = \varepsilon_B \sum_{mn} b_{mn}(\psi) \cos(m\theta - n\phi + \chi_{mn}) \quad (2)$$

$$\delta \Phi = \varepsilon_\Phi \sum_{mn} b_{mn}(\psi) \cos(m\theta - n\phi + \chi_{mn}) \quad (3)$$

$$b_{mn}(\psi) = \exp[-(\psi - \psi_{\text{res},mn})^2 / 4w^2] \quad (4)$$

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。

結果として、磁場・電場揺動のいずれでも、その存在により非ゼロの総トルクが発生すること、さらに、その強度が摂動のモード数によって変化し、高モード摂動で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電磁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。

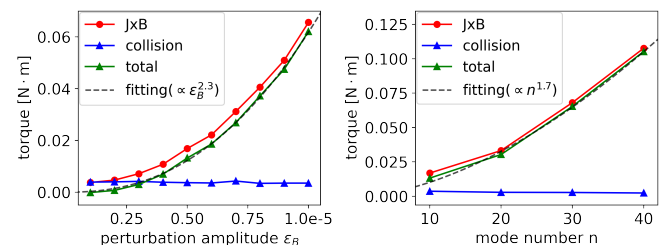


Fig. 1: ECH 駆動トルクの磁場揺動振幅, モード数依存性

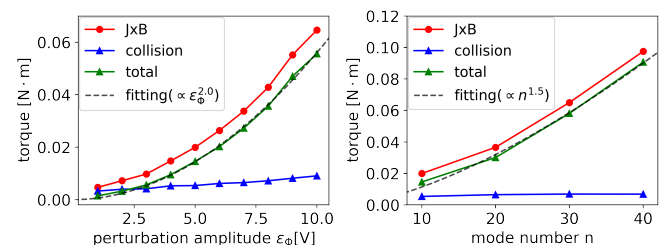


Fig. 2: ECH 駆動トルクの電場揺動振幅, モード数依存性

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

²Y. Yamamoto, et al., Phys. Plasmas **28**, 102501 (2021)

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