

ヘリオトロン J プラズマにおける ECH によるトロイダル流駆動トルクの検証 Study of ECH generated Toroidal Torque in Heliotron J Plasma

坂本光輝¹, 山本泰弘¹, 小林進二², 村上定義¹

京大工原子核¹, 京大エネ研²

Koki SAKAMOTO¹, Yasuhiro YAMAMOTO¹, Sinji KOBAYASHI², Sadayoshi MURAKAMI¹

Department of Nuclear Engineering¹, Institute of Advanced Energy², Kyoto University

1 背景・目的

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 モード安定化と乱流の抑制に寄与し、エネルギー閉じ込め等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, LHD のような様々なトカマク・ヘリカル装置で観測されている [1,2]。この ECH に関連するトロイダル流の駆動について、多くの実験的・理論的研究が行われてきたが、その機構は未だ十分に明らかになっていない。

ECH 高速電子に由来するトロイダル流駆動トルクには、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 $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ トルクとドリフト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クーロン衝突による衝突トルクが考えられる。その発生機構を図 1 に示す。HSX や理想トカマクなどの軸対称な磁場配位においては、前述の 2 つのトルクが打ち消し合うことが知られている [3]。

本研究では、非対称な磁場配位を持つヘリオトロン J における ECH によるトロイダル流駆動トルクをシミュレーションによって評価する。

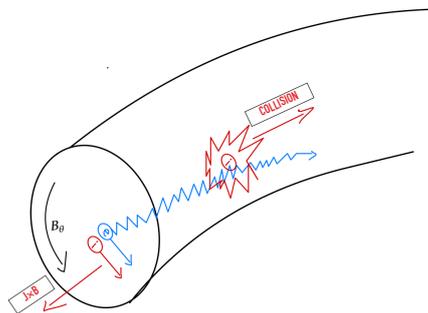


図 1：高エネルギー電子によるトルクの概念図

2 シミュレーションモデル

本研究では、ヘリオトロン J プラズマでの ECH 高速電子の解析に GNET コード [4] を用いる。GNET コードは、空間 3 次元、速度 2 次元の 5 次元位相空

間上のドリフト運動論方程式

$$\frac{\partial \delta f}{\partial t} + (\mathbf{v}_{\parallel} + \mathbf{v}_d) \cdot \frac{\partial \delta f}{\partial \mathbf{r}} + \dot{\mathbf{v}} \cdot \frac{\partial \delta f}{\partial \mathbf{v}} - C^{\text{coll}}(\delta f) = S^{\text{ql}}(f_M)$$

を Monte-Carlo 法によって解き、定常状態における電子の速度分布やトロイダル流駆動トルクなどを評価できる。ここで、 δf は電子速度分布の Maxwell 分布に対する変位、 C^{coll} は背景プラズマとのクーロン線形衝突項、 S^{ql} は準線形拡散理論により導出された ECH 加熱項である。

3 結果・今後の展望

理想トカマクにおける完全軸対称な磁場配位においては、前述の 2 つのトルクが打ち消し合うことが確認できた。また、ヘリオトロン J のような非対称な磁場配位ではリップルに捕捉された電子の径方向流束が支配的であり、ECH による $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ トルクと衝突トルクの釣り合いが崩れて正味の自発トロイダル流を駆動するトルクが生じた。図 2 はこれらのシミュレーション結果である。

本講演では、これらの結果とともにヘリオトロン J の実際の実験で得られた径電場を加えた ECH によるトロイダル流駆動トルクについて発表する予定である。

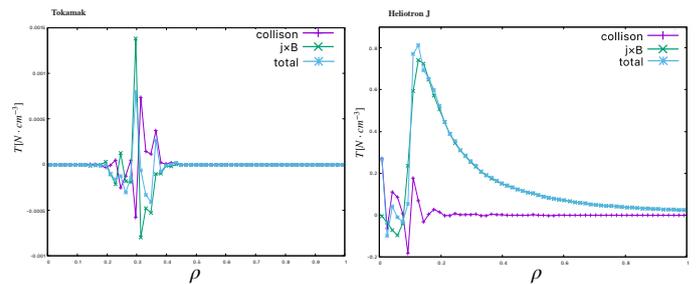


図 2：トカマクおよびヘリオトロン J におけるトロイダル流駆動トルク

参考文献

- [1] M.Yoshida, et al., Phys.Rev.Lett.103,065003(2009)
- [2] J.deGrassie, et al., Phys.Plasmas 11,4323(2004)
- [3] Y.Yamamoto, et al., Nucl. Fusion 62 064004 (2022)
- [4] S.Murakami, et al., Nucl. Fusion 40 693 (2000)