

ヘリカルプラズマにおける ECH によるトロイダル流の駆動

The Toroidal Flow Driven by ECH in Helical Plasmas

山本泰弘¹, 村上定義¹, CHANG Ching-Chieh¹, 高橋裕己², 居田克己², 吉沼幹朗², Joseph N. Talmadge³, Santhosh T.A. Kumar³, Konstantin M. Likin³, David T. Anderson³
 Yasuhiro YAMAMOTO¹, Sadayoshi MURAKAMI¹, Ching-Chieh CHANG¹, Hiromi TAKAHASHI², Katsumi IDA², Mikiro YOSHINUMA², Joseph N. Talmadge³, Santhosh T.A. Kumar³, Konstantin M. Likin³, David T. Anderson³

京都大学¹, 核融合科学研究所², Wisconsin 大学 Madison 校³
 Kyoto University¹, NIFS², University of Wisconsin - Madison³

トロイダル流とその速度シアは乱流を抑制し、閉じ込め改善において重要であることが実験的に示されている。近年、JT-60U や HSX, LHD など様々なトカマク装置やヘリカル装置において、直接トロイダル方向への運動量を与えない電子サイクロトロン加熱 (ECH) によって駆動される自発的トロイダル流が観測されており、実験的にも理論的にも多くの研究が行われている [1,2]。

準対称ヘリカル装置 (HSX) においては、準ヘリカル対称な QHS 配位や対称性を崩した Mirror 配位など異なる磁場配位をとることができ、ECH に関連するトロイダル流が磁場配位によって異なることが観測されている。QHS 配位ではヘリカル対称性により粘性が小さいことからトロイダル流が大きくなると予想されていたが、実験的には QHS 配位よりも Mirror 配位において大きなトロイダル流が観測されている。しかしながら、この原因は未だ明らかになっていない。

本研究では ECH によって発生するトルクとして、高エネルギー電子の径方向拡散がもたらすリターン電流の $j \times B$ トルクと、高エネルギー電子の衝突による衝突トルクを考慮する [3]。これらのトルクを評価するために、5次元位相空間ドリフト運動論方程式を解く GNET コード [4] を用いて ECH による高エネルギー電子について解析を行う。

これまでの研究により、LHD のような非対称な磁場配位においては ECH によって衝突トルクよりも大きな $j \times B$ トルクが生じ、正味のトルクが発生することが分かってきた [5]。また、HSX のような準ヘリカル対称な磁場配位においても、非対称な成分によって正味のトルクが発生するという結果が得られている [6]。本研究では、HSX ならびに LHD に対して ECH によるトルクを評価し、トロイダル流実験結果の検証を行う。また、径方向ドリフト速度を概算することで

$j \times B$ トルクを評価する理論モデルとシミュレーション結果の比較を行う。

QHS 配位と Mirror 配位においてトロイダル流を評価した結果を Fig. 1 に示す。ray-tracing 計算によると ECH の吸収パワーは QHS で 24kW, Mirror 配位で 16kW であり QHS 配位の方が大きな加熱パワーが得られているが、運動量釣り合いの式を解いた結果、Mirror 配位でより大きなトロイダル流が得られている。このことは HSX プラズマにおいて ECH トルクが重要であることを示唆している。

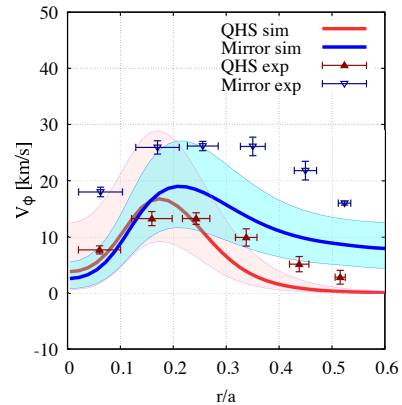


Fig. 1: HSX において ECH によって駆動されるトロイダル流。

- [1] M. Yoshida et al., Nucl. Fusion **49** (2009) 115028.
- [2] P. H. Diamond et al., Nucl. Fusion **53** (2013) 104019.
- [3] M. N. Rosenbluth and F. L. Hinton, Nucl. Fusion **36** (1996) 55.
- [4] S. Murakami et al., Nucl. Fusion **40** (2000) 693.
- [5] Y. Yamamoto et al., ISHW2017.
- [6] Y. Yamamoto et al., PFR **14** (2019) 3403105.