

TOKASTAR-2 におけるトカマクプラズマの垂直位置へのヘリカル磁場の効果

安田幸平, 藤田隆明, 岡本敦, 有本英樹, 山内崇弘, 池田稜平, 木股空良
名古屋大学大学院工学研究科

縦長断面トカマクは、高性能化に有利であるが、垂直位置が不安定であり、制御が適切でないとき垂直移動現象(Vertical Displacement Event : VDE)が発生する。導体壁に流れる渦電流とポロイダルコイル電流のフィードバック制御による位置制御が一般的であるが、将来の核融合炉ではプラズマの近くにコイルや導体壁を設置できず、位置制御はより難しくなる。一方で、トカマクプラズマへのヘリカル磁場重畳による位置安定化が報告されている[1-3]。

TOKASTAR-2 は、局所ヘリカル磁場コイルを有する小型トカマク・ステラレータ混成装置である。主な研究目的の一つは、局所ヘリカル磁場によるトカマクプラズマの位置安定化である。局所ヘリカルコイルは2つの平行四辺形コイルが径方向外側に設置され、4つの扇形コイルが上下に2つずつ設置されている。このように配置・形状が単純であることが特徴で、連続巻きコイルより適用が容易である。TOKASTAR-2 では、これまでに円形断面トカマクにおいて、水平位置へのヘリカル磁場の効果を検証してきた[4-6]。本研究では、垂直位置へのヘリカル磁場の効果を検証した。

垂直位置へのヘリカル磁場の効果を検証するためには、プラズマ断面を縦長にする必要があり、プラズマの上下に設置した軸対称の SC (Shape Control)により垂直磁場の減衰指数 n -index を負にすることで達成できる。プラズマ放電はコンデンサバンク電源によるプレ・プログラミング放電であり、フィードバック制御は実施していないものの、プラズマは移動しやすくヘリカル磁場の効果を検証しやすい。ヘリカル磁場はプラズマ放電中ほぼ一定である。

実験は、SC コイル、垂直磁場コイル、水平磁場コイル、ヘリカル磁場コイルの各電流をスキャンし、パラメータサーベイを行った。プラズマ位置の推定にはフィラメント法を用いた(ヘリカル磁場ありでも同様に解析)。図1にヘリカル磁場ありなしのプラズマ位置の比較の一例を示す。上から、楕円度 κ 、垂直位置 Z_J 、水平位置 R_J 、プラズマ電流 I_p の時間変化である。比較は、電流重心位置での軸対称成分のみの n -index の値が近いショット同士で行った。ヘリカル磁場ありなし共に VDE(図1では上側 VDE)と I_p クエンチを観測し、ヘリカル磁場によって VDE を抑制できず、大きな差異は見られなかった。図1において、VDE 後に垂直位置が赤道面付近まで跳ね返る現象が観測され、ヘリカル磁場ありなし共に上側 VDE のみで観測

された(下側 VDE の場合はそのまま下側で消滅する)。これは上下非対称である TF コイルが生成する誤差磁場が効いていると考えられる。

ヘリカル磁場による垂直位置安定化は、ヘリカル磁場の磁力線に沿った平均としての実効的な水平磁場とプラズマ電流とのローレンツ力が復元力として働いたためだと考えられている[7]。磁力線追跡計算によりヘリカル磁場の実効的な水平、垂直磁場を評価したところ、垂直磁場と比較して水平磁場がかなり弱かった。これは垂直位置安定化に対しては効果が小さいことを意味する。今後、実効的な水平磁場が強くなるようなヘリカル磁場配位の最適化を行う。

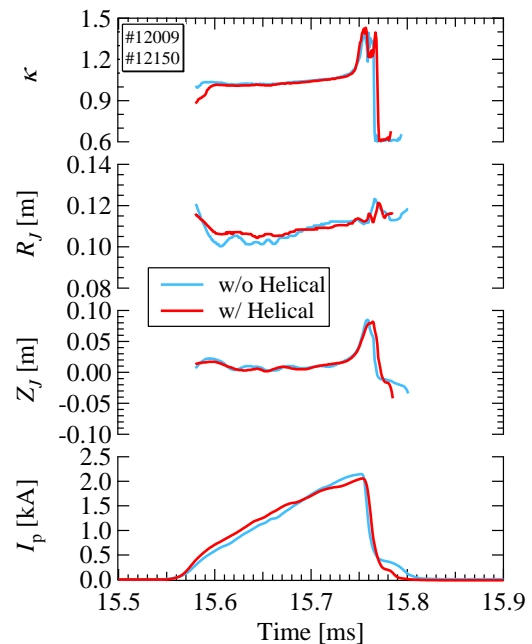


図1 ヘリカル磁場ありなしのプラズマ位置の比較

- [1] K. Sakurai and S. Tanahashi, J. Phys. Soc. Jpn **49**, 759 (1980).
- [2] H. Ikezi, K.F. Schwarzenegger and C. Ludescher, Phys. Fluids **22**, 2009 (1979).
- [3] M. C. ArchMiller, et al., Phys. Plasmas **21**, 056113 (2014).
- [4] T. Ueda, H. Arimoto, T. Fujita et al., J. Plasma Fusion Res. **10**, 3402065 (2015).
- [5] T. Sakito, H. Arimoto, T. Fujita et al., Plasma Fusion Res. **11**, 2402074 (2016).
- [6] K. Yasuda, H. Arimoto, A. Okamoto et al., Plasma Fusion Res. **13**, 3402072 (2018).
- [7] A.D. Turnbull et al., Nucl Fusion **56**, 086006 (2016)