

誤差磁場による磁気島の回転への影響

Influence of error field on magnetic island rotation

西村征也¹、矢木雅俊、伊藤早苗²、伊藤公孝³

九大総理工¹、九大応力研、核融合研

Seiya NISHIMURA¹, Masatoshi YAGI², Sanae-I.ITOH², Kimitaka ITOH³

IGSES, Kyushu Univ.¹, RIAM, Kyushu Uni.², NIFS³

磁場閉じこめ方式による水素同位体プラズマの核融合反応の実現には、プラズマ乱流による異常輸送やMHD（電磁流体力学）現象を制御する必要がある。JT-60などの大型トカマク装置において、プラズマの高 β 化（高圧化）に伴い、巨視的なMHD現象である磁気島（磁力線の再結合によって生じる閉じた磁場構造）が発生し、閉じこめが劣化することが観測されている。また、磁気島が大きく成長しディスラプション（瞬間的なプラズマ放電の崩壊）を起こすことが知られている。ディスラプションは、磁気島の回転が抵抗性壁や誤差磁場（トロイダル磁場の不完全な対称性によって発生するヘリカル状の共鳴磁場）によってロックされる現象によりトリガされることが知られている。ディスラプションを回避するためには、ロック現象の物理機構を理解する必要がある。磁気島の回転は、圧力勾配による反磁性流や $E \times B$ 流などの平衡流によって決まり、これは磁気島と平衡場の相互作用の観点から研究を行う必要があることを意味する[S. Nishimura, S. Benkadda, M. Yagi, S.-I. Itoh, and K. Itoh, Phys. Plasmas 15 (2008) 092506.]。

本研究においては、トカマクを模した円筒配位において電磁場、密度、電子温度を変数に持つ簡約化Braginskii二流体方程式を用いて、ドリフト-テアリングモード（電子反磁性ドリフト流とテアリングモードが結合したモード）の非線形シミュレーションを行った。このモデルでは簡単のために新古典効果（ブートストラップ電流）は含まれておらず、磁気島は誘導電流により励起される。誤差磁場を導入するために、磁気島に対応する摂動ベクトルポテンシャルに有限値の外部固定境界条件を与えた。

図1は磁気島のトロイダル回転周波数の時間発展である（正・負はそれぞれ電子・イオン反磁性ドリフト方向）。 $t=10000$ において誤差磁場を印加後、回転周波数が0に振動減衰しているのが分かる。図2は磁気島の回転がロックされたとき（ $t=20000$ ）の流れ場の径分布を示す。磁気島と誤差磁場の相互作用によるローレンツ力はトルクを生じ、磁気島の内部に $E \times B$ 流を生成する。ロック状態は磁気島の内部において電子反磁性流と $E \times B$ 流の寄与が釣り合って起きる。ロックに至る過程を理解するために少数自由度モデルを導出した。誤差磁場の谷における磁気島の回転の振り子運動、その運動に伴って生じる磁気島の回転エネルギーのイオン粘性散逸の2つの機構の組み合わせで、ロックに至ることが明らかになった。

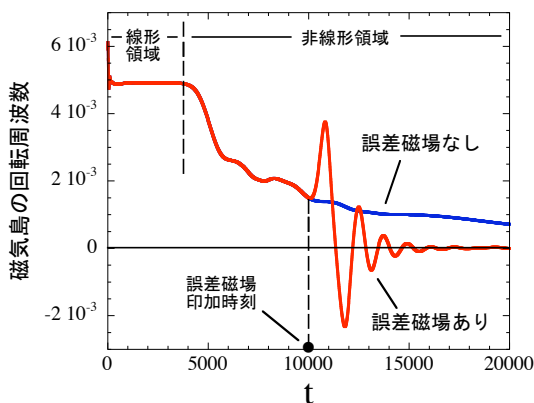


図1：磁気島の回転周波数の時間発展

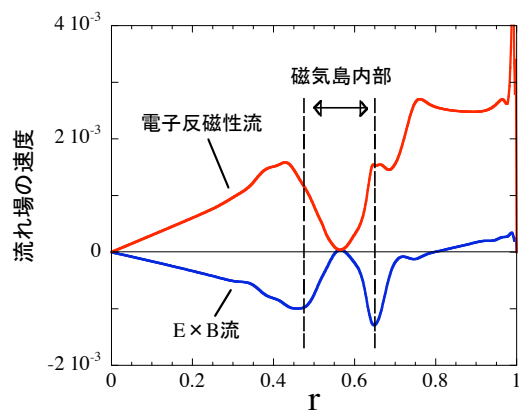


図2：回転ロック時の流れ場の径分布