

誤差磁場による新古典テアリングモードの誘発機構

Triggering mechanism of neoclassical tearing mode by error field

西村征也, 沼田龍介¹Seiya NISHIMURA, Ryusuke NUMATA¹法政大理工, 兵庫県立大院シミュレーション学研究所¹Hosei Univ. , Univ. of Hyogo¹

トカマクにおいては、摂動ブーツストラップ電流を駆動源とする新古典テアリングモード (NTM) によって磁気島が形成される。また、誤差磁場等の外部磁場摂動によっても小さな磁気島が形成されうる。誤差磁場や抵抗性壁による磁気島のロッキングは、ディスラプションの前兆現象の代表として知られている。大きな磁気島のロッキングを回避することは、ディスラプションを制御する上で重要な課題である。JET や DIII-D においては、ボーンロックモードと呼ばれる発生の初期段階から回転していない大きな磁気島の形成が観測されている [1]。ボーンロックモードの発生においては、誤差磁場のしみ込みによって形成される小さな磁気島が種となり、NTM が不安定化され、より大きな磁気島が形成される。ここで、誤差磁場のしみ込みによって形成される種磁気島は誤差磁場にロックされているため、結果として生じる大きな磁気島も初めからロックされている。

誤差磁場のしみ込みが NTM を不安定化する機構が存在しうることは修正ラザフォードモデルを用いた理論解析によって示されている [2]。しかし、この理論解析においてはプラズマフローによる誤差磁場の遮蔽の効果が含まれていない。また、従来の誤差磁場のしみ込みに関するシミュレーション研究においては、摂動ブーツストラップ電流の効果が無視されている。しかし、 β が高い領域においては、NTM が安定性が問題となるため、摂動ブーツストラップ電流の効果を加味する必要がある。

本研究においては、摂動ブーツストラップ電流と誤差磁場が共存する系についてシミュレーション研究を行った。モデル方程式として3場の簡約化電磁流体力学的方程式を用いた。揺動ブーツストラップ電流を現象論的に導入し、誤差磁場を磁束揺動の境界条件によって導入した。

シミュレーションの結果、プラズマフローと電子反磁性ドリフトがおおむね相殺し合うような場合に、誤差磁場のしみ込み、種磁気島の形成、NTM の不安定化を含む一連の過程が起きることが観察された [3]。結果として生じる大きな磁気島は、初期から回転していないボーンロックモードである。NTM が不安定化されるために必要な真空磁気島幅（誤差磁場の形成する磁気島幅の最大値）は、誤差磁場がない場合に NTM を不安定化するために必要な種磁気島幅よりも十分に小さいことが確認された。また、摂動ブーツストラップ電流は誤差磁場のしみ込みを促進し、この促進が NTM の不安定化へとフィードバックする機構が存在することが明らかになった。これらの現象がプラズマフローの広いパラメータ領域で起こることが明らかになった。

JET や DIII-D においては、NTM が発生するよりも低い β 領域においてボーンロックモードが発生する。この観測結果は、誤差磁場がテアリング不安定性を促進することを示唆しており、誤差磁場が効率的な NTM の不安定化機構であることを示す我々のシミュレーション結果と整合する。

[1] R. J. Buttery and T. C. Hender, Fusion Sci. Technol. **53**, 1080 (2008).[2] R. Fitzpatrick, Phys. Plasmas **2**, 825 (1995).[3] S. Nishimura and R. Numata, Plasma Fus. Res. **13**, 1203104 (2018).