

極低アスペクト比逆磁場ピンチにおける磁力線追跡を用いた磁気構造の解析 Analysis of magnetic structure by using field-line tracing in a small aspect ratio reversed-field pinch

長峰康雄
Yasuo Nagamine

日大量科研
Inst. of Quantum Science, Nihon Univ.

本研究では、球状トカマクとの類推から、アスペクト比が1に近い領域の逆磁場ピンチ(RFP)配位に注目し、磁場配位の平衡および安定性の特徴について調べている。これまで粘性-抵抗モデルによる非線形MHD(磁気流体力学)計算コードを用いて、抵抗不安定性の各モードの成長過程や、それに伴う磁気エネルギー分布の大域的な構造変化などを確認してきた^[1]。

RFP研究の進展については、近年、最新の研究成果も含めた形で過去30年に渡る研究のレビュー論文が掲載されている^[2]。

RFPプラズマにおける磁気構造の解析ツールとして、磁力線追跡コードを用いて計算したPoincaré断面プロットがよく用いられている。Poincaré断面により、磁気面構造や不安定性の成長による磁気島の形成、プラズマ周辺部におけるstochasticな磁気構造などが把握できる。また、磁力線追跡により、回転変換や安全係数 q の空間分布なども求めることができる。代表的な磁力線追跡コードを用いた、RFP磁場配位のトポロジカル解析の詳細な数値検証について文献^[3]に示されている。

本研究では、3次元MHDシミュレーションにより得られた磁場配位において、不安定性の非線形成長によるRFPダイナミクスについて検証するため、磁力線追跡コードの開発を行っている。磁力線追跡コードについては様々な文献があるが、基本的には磁場の3次元データに基づいて磁力線の方程式を解くことで得られる。磁力線の方程式は連立の常微分方程式で記述されるが、長時間の追跡には精度の良い数値計算が必要となっている。

RFP配位ではトロイダル磁場の逆転領域($q \leq 0$)が存在するため、トロイダル角に対するポロイダル角(回転変換)を算出する際に注意が必要となる。最初の検証解析として、2次元平衡配位の磁場分布を用いた磁力線構造の再構成と安全係数分布の評価を行った。次の段階として、単一モードにより生成される磁気島のPoincaré断面の再構成や、プラズマ周辺部に形成される磁気島の列により特徴づけられる多重モードの磁場配位について検討を行う。

[1] Y. Nagamine and M. Aizawa, ECA Vol.41F P5.138 (2017).

[2] L. Marrelli, *et al.*, *Nucl. Fusion* 61, 023001 (2021).

[3] G. Ciaccio, *et al.*, *Phys. Plasmas* 20 (2013) 062505.