

極低アスペクト比逆磁場ピンチにおける磁力線構造のトポロジカル解析 Topological analysis of magnetic field line structure 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研究について、ごく最近、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]。前回の著名なレビュー論文から、かなりの実験的および理論的な進展と革新が実現されてきており、今後のRFP方式による革新的な核融合炉の設計や研究の方向性などを検討する上でも画期的な内容となっている。

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。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。

本研究においても、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、磁力線追跡コードによる磁場のトポロジカル解析を行う。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。また、磁力線追跡によるPoincaré断面のプロットには、トロイダル角 $\phi = 0$ 断面における磁力線の位置座標が必要となるが、断面通過前後の座標による線形補間を用いて算出する。磁力線を長時間追跡することにより、回転変換や安全係数 q の空間分布の時間変化なども求めることができる。RFP配位では磁場の逆転領域($q \leq 0$)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。

今回、最初の検証解析として、単一モードにより生成される磁気島のPoincaré断面プロットの再構成について検討している。次の段階として、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RFP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.