

共鳴磁場摂動のしみ込みに対するインターチェンジモードの影響 Influence of Interchange Mode on Penetration of Resonant Magnetic Perturbations

西村 征也

Seiya NISHIMURA

神戸市立工業高等専門学校

Kobe City College of Technology

磁場閉じ込め装置における共鳴磁場摂動 (RMP) は、プラズマ周辺領域における磁場構造を能動的に変化させるものである。RMP コイルによって弱い磁場摂動を与えることにより、テアリングモードが安定な場合においても強制磁気再結合が駆動され、磁気島やストキャスティック層が形成される。RMP は圧力駆動型 MHD 不安定性に起因する周辺局在モード (ELM) の制御に有効であることが知られており、ITER にも設置される予定である。

RMP によって磁気島やストキャスティック層が発生するか否かは、RMP がプラズマ内部に十分にしみ込むかどうか依存する。トカマクやヘリカル系において、プラズマフローが強い場合には RMP がしみ込まないことが知られており、RMP の遮蔽と呼ばれている。トカマクにおいては RMP のしみ込み閾値の密度スケールリングが理論予測と合わないことが知られており、未解明課題である。一方、RMP のしみ込みに対して圧力駆動型 MHD 不安定性がどのように作用するかについて十分に理解されておらず、密度スケールリングの問題と何らかの関係がある可能性もある。

我々の先行研究においては、ヘリカル系における RMP のしみ込みと遮蔽について、1 次元の非線形モデルに基づく解析を行った [1,2]。インターチェンジモードが不安定になるような条件下では、RMP はしみ込みやすく、また RMP のしみ込み状態はヒステリシス特性を持つことが明らかになった。理論モデルにおいては $\text{const-}\psi$ 近似などの理論モデルの構築上避けられない近似を用いている。従って、理論的な結論および理論モデルにおける近似の妥当性を流体シミュレーションによって検証する必要がある。

本研究においては、2 次元平板座標系 (x, y) において簡約化 MHD モデルを解くためのコードの開発を進めている。簡約化 MHD 方程式は、渦度方程式、オームの法則、圧力の発展方程式から構成される。渦度と静電ポテンシャルはポアソン方程式によって関係付けられる。空間微分には 2 次精度の有限差分法を用い、時間発展には 4 次精度のルンゲ=クッタ法を用いている。各タイムステップ毎に SOR 法によってポアソン方程式を解く。RMP の導入においては、磁束関数 ψ に有限の値の境界条件を与える。プラズマフローは静電ポテンシャルの境界条件によって導入され、RMP が存在しない場合には一様な径分布を与える。これまでの研究では、RMP による磁気島の形成、線形領域におけるプラズマフローによる RMP の遮蔽、インターチェンジモードの励起を順に確認した。

我々のコードにおいては、ポアソンソルバがボトルネックとなっている。本研究の最終目的である理論モデルの検証を行うためには、このボトルネックを解消し、非線形領域のシミュレーションを実現する必要がある。そのために、ポロイダル方向に対する FFT を用いてポアソンソルバを加速することを試みている。発表においては、コード開発の進捗状況を報告し、初期成果について述べる予定である。

[1] S. Nishimura, S. Toda, M. Yagi, and Y. Narushima, Phys. Plasmas **19** 122510 (2012).

[2] S. Nishimura, Phys. Plasmas **21** 122502 (2014).