

トカマク RMP 実験を想定した新古典粘性シミュレーション研究

核融合科学研究所 核融合理論シミュレーション研究系

佐竹 真介

近年のトカマク実験では、プラズマ周辺部の不安定性 (Edge localized mode: ELM) を抑制・制御する手法の一つとして、プラズマの周囲から微弱な非軸対称磁場摂動を与えて最外殻磁気面付近のペデスタル部における温度密度分布を変化させ、大きな ELM が発生しないようにする方法が盛んに研究されている。

その一方で、磁場配位の軸対称性の破れはすなわちトカマクの新古典輸送における特徴である本質的両極性条件 (intrinsic ambipolarity) を崩し、ヘリカル系プラズマでも見られる軸対称性の破れに起因する小半径方向の新古典粒子フラックスが、新古典トロイダル粘性 (Neoclassical Toroidal Viscosity; NTV) と呼ばれるプラズマ回転の減衰力に比例する形で生じる。プラズマのトロイダル回転やそのシアは抵抗性壁モード (Resistive Wall Mode: RWM) などの MHD 安定性やコアプラズマの輸送障壁の形成などに関連しており、ELM 抑制のために加えた軸対称性の破れがトカマクプラズマの安定性や閉じ込め性能に思いがけぬ影響を与えないかという懸念がある。なお、ELM 制御のために使われる摂動磁場は $\delta B/B_t \sim 10^{-4}$ 程度のものであるが、それでも様々な実験装置の観測から NTV によってトロイダル回転に大きく影響を与えることが判っている。従って、微弱な摂動磁場の影響による NTV を定量的に評価する計算手法が必要とされている。

本発表では、私が開発に取り組んでいる数値シミュレーションによる NTV の評価法について紹介する。従来の解析解のようにバウンス平均化したドリフト運動論において、衝突項やガイディングセンター軌道に対する様々な近似を使う計算法と異なり、このシミュレーションは近似をほとんど用いずにドリフト運動論方程式を直接的に解いてトロイダル粘性を評価している。これまでに行ってきたシミュレーションコードの検証結果や、衝突周波数、径電場に対する NTV の依存性について従来の解析モデルでは解らなかったことなどを示す。また、JT-60SA での摂動磁場実験への応用を目指した取り組みについても紹介する。その中では、能動的に掛ける外部摂動コイルからの磁場だけでなく、トロイダルコイルが作る磁場のリップル成分がもたらすトロイダル粘性についても議論したい。