

9-8 回転するプラズマの安定性解析モデルの精密化 —運動論的電磁流体力学モデルへの回転効果の導入—

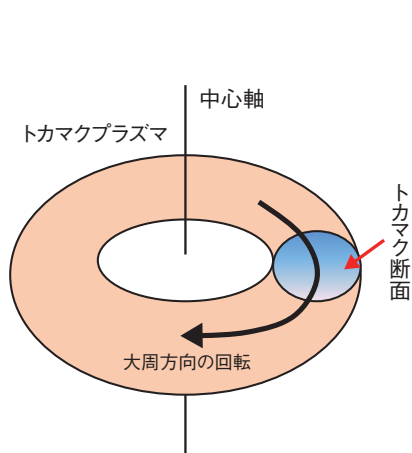


図9-21 トカマクプラズマの概観図とプラズマの回転
大周方向へ回転しているトカマクプラズマを表しています。トカマクプラズマは中心軸に対し回転対称性をもちますので、トカマク断面に着目します。

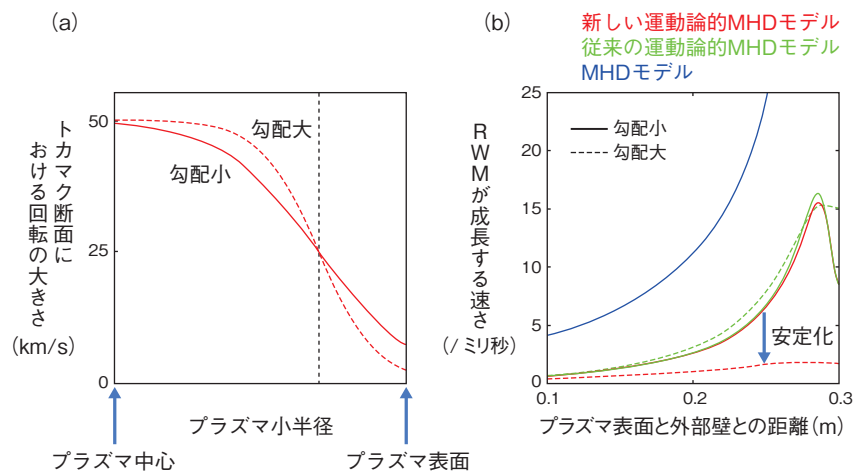


図9-22 (a) トカマク断面における回転分布 (b) RWMが成長する速さ
様々なモデルによるRWMが成長する速さを表します。新しい運動論的MHDモデルでは、回転の勾配増加に伴いRWMが安定化されています。

ITER 研究を補完しトカマク型原型炉実現の基盤を構築すべく、那珂核融合研究所において JT-60SA 装置の建設が進められています。トカマクプラズマの圧力が高いほど核融合出力が大きくなるため、JT-60SA 装置では高圧力プラズマの閉じ込めを目指しています。しかし、圧力を上げていくと、抵抗性壁モード (RWM: Resistive Wall Mode) が不安定になるため、到達できる圧力が制限されます。ドーナツ状プラズマの大周方向の回転 (図 9-21) が RWM を安定化させることが知られていますが、回転に加えて、プラズマを構成する各粒子の運動に起因する効果が重要であることが明らかになっています。

粒子運動の効果を解析するための理論的枠組のひとつに、運動論的 MHD モデルがあります。従来の運動論的 MHD モデルでは粒子運動を記述する際に、プラズマが止まっていると仮定していましたので、粒子運動も回転するプラズマの影響を受けることに着目しました。例えば、回転している円盤の中心から外にボールを転がすと、ボールにあたかも力が働いているように見えるコリオリ力や、カーブを曲がるときに感じる遠心力が粒子運動に影響を与えます。上記の効果を考慮して運動論的 MHD モデルの再定式化を行ったところ、粒子運動が回

転するプラズマの影響を受けることにより、RWM のエネルギーが粒子運動と共鳴して減少することが明らかになりました。

新しく導出したモデルを用いて RWM の安定性を調べました。図 9-22(a) は、トカマク断面における回転の分布を表しており、RWM と粒子運動のエネルギーのやり取りが多いところの回転の大きさは一定にしつつ、回転の勾配を増やしている様子を示しています。図 9-22(b) は、プラズマと外部壁との距離を変えて、RWM が成長する速さを様々なモデルに対して調べた結果を表しています。図 9-22(b) の \rightarrow は図 9-22(a) の回転勾配の増加に対応していますので、新しい運動論的 MHD モデルでは、回転の勾配が増加することにより RWM が安定化されていることが分かります。本成果により、RWM を安定化するために最適な回転分布を設計することが可能になり、高圧力プラズマ閉じ込め研究に貢献することができます。

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金 (No.24760708) 「高ベータ・プラズマにおける抵抗性壁モードに対する運動論効果の解明」の成果の一部です。

●参考文献

Shiraishi, J. et al., On Kinetic Resistive Wall Mode Theory with Sheared Rotation, Plasma and Fusion Research, vol.9, 2014, p.3403027-1-3403027-4.