

4-9 回転するプラズマの安定性理論が進展 — 抵抗性壁モード安定性解析のために新たな接続理論を構築 —

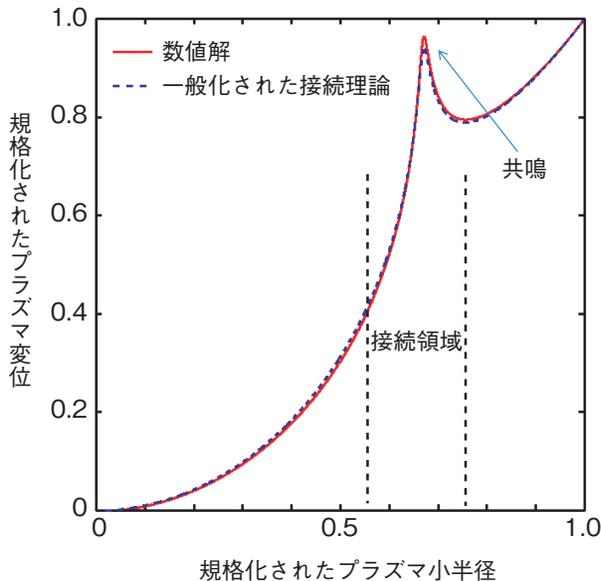


図 4-22 一般化された接続理論によるプラズマ変位
有限な厚さを持つ接続領域を用いることで、RWMの共鳴構造が捉えられています。接続理論では、接続領域における物理モデルを変更することにより、RWM安定性に影響を与える物理量を特定することが可能です。

那珂核融合研究所において建設が進められているJT-60SA装置では、ITERや原型炉を念頭に置いて、高性能（高ベータ・定常）プラズマの実現を目指しています。高性能プラズマでは、抵抗性壁モード（Resistive Wall Mode: RWM）と呼ばれる不安定性が起きることにより、到達ベータ値が制限されることが問題となります。RWMを安定化するためには、プラズマ回転が有効であることが知られています。しかし、そのメカニズムや、どのような物理量（磁場、温度、密度等）がRWMの安定性に最も影響を与えているのかは、これまで明らかになっていませんでした。

安定性解析において、重要な物理量を抽出する手法に接続理論があります。接続理論では、重要な物理が支配する領域（物理的には共鳴として現れ、これを共鳴面と呼びます）と、共鳴面から離れた領域を漸的に接続する手法があります。回転がない場合、共鳴が起こる場所が背景磁場により決定されるため、固定された共鳴面の周りの解の振る舞いを知ることにより、漸近接続が可能になります。しかし、回転がある場合、ドップラー効果により共鳴面は分離します。さらに、RWMも有限な周

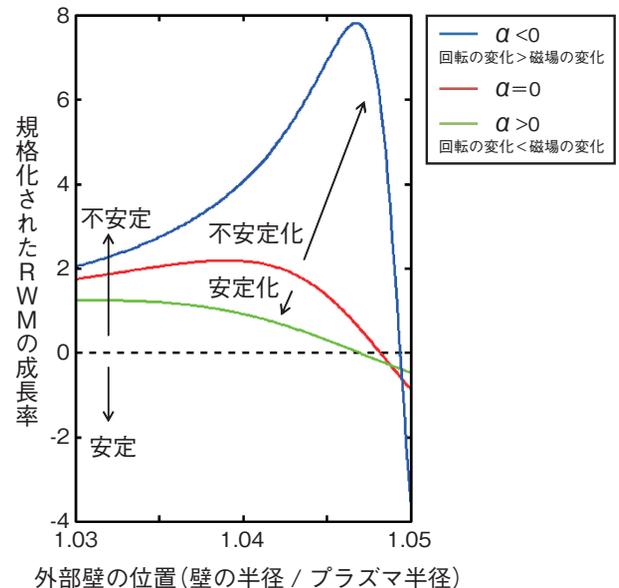


図 4-23 解析的分散関係によるRWM安定性解析
一般化された接続理論に基づく解析的分散関係による、規格化されたRWM成長率の外部壁位置依存性です。 α は回転分布及び磁場分布に依存する物理パラメータです。

波数を持ちながら回転して共鳴を起こすため、共鳴面の位置は更にシフトします。これら共鳴面の位置は先験的に不明ですので、漸近接続理論は解析不能に陥ります。この困難を解消するために、接続理論を一般化しました。当理論では、共鳴面の存在範囲は有限な領域であることに着目し、共鳴面を含むように有限な厚さを持つ接続領域を用いることで、回転効果を含む接続問題を解くことが可能になりました（図 4-22）。

一般化された接続理論により、RWMの安定性を記述する解析的な分散関係（RWMの波数と、成長率、振動数を関係づける式）の導出に成功しました。得られた分散関係を解析することにより、RWMの安定性に影響を与える物理量を明らかにしました。その物理量は、プラズマの回転の分布と磁場の分布の組合せにより決まります。この物理量が、RWMにどう影響を与えるのかを調べると、回転の変化が磁場の変化より小さい（大きい）場合には、回転がRWMを安定化（不安定化）することが明らかになりました（図 4-23）。この結果から、RWMを安定化する最適な回転や磁場の分布の設計が可能になります。

●参考文献

Shiraishi, J. et al., Analytic Dispersion Relation for Resistive Wall Modes in Rotating Plasmas by Generalized Matching Theory, Nuclear Fusion, vol.51, no.5, 2011, p.053006-1-053006-9.