

トカマクプラズマにおけるヘリカルコアの乱流輸送 Turbulent transport influenced by helical cores in tokamak plasmas

山上裕晃, 石澤明宏, 中村祐司
Hiroaki Yamagami, Akihiro Ishizawa, and Yuji Nakamura

京都大学エネルギー科学研究科
Graduate School of Energy Science, Kyoto University

トカマク型磁場閉じ込め核融合装置において、非トロイダル軸対称性を持つ現象の一つとしてヘリカルコアがある。ヘリカルコアとは磁気軸近傍のプラズマがらせん（ヘリカル）状にねじれたような平衡状態を指し、ITERの運転において先進トカマク配位として想定されているハイブリッドシナリオで発生しうることなどから、近年注目されている[1]。またトカマクプラズマにおいては、微視的乱流の存在がプラズマの熱及び粒子の異常輸送を引き起こすことで閉じ込めを悪化させることが知られている。微視的乱流は、イオンの温度勾配と ∇B -曲率ドリフトの相乗効果に起因するイオン温度勾配（以下ITG）不安定性等の微視的不安定性によって駆動されることが理解されている。

本研究では、ヘリカルコアの乱流輸送への影響を理解することを目的とし、ジャイロ運動論シミュレーションコードGKVを用いて、ヘリカルコアを持つトカマク平衡（非軸対称平衡）と軸対称トカマク平衡の微視的不安定性を評価し、比較した。

ヘリカルコアは磁気軸付近で起こる現象であるため、ヘリカル変位の振幅（ δH ）はコア領域で大きく、エッジ領域では小さい（図1）。このことを考慮に入れ、領域をヘリカルコアの内側（プラズマの小半径が小さい領域）とヘリカルコアの外側（プラズマの小半径が大きい領域）の二つに分けて計算を行った。その結果、ヘリカルコアの内側では、微視的不安定性は安定であった。一方、ヘリカルコアの外側はITGモードが不安定であり、またヘリカルコアを持つ平衡は軸対称平衡よりも不安定であることが明らかとなった（図2）。また、ジャイロ運動論シミュレーションにおいて微視的不安定性への寄与が大きいとされる圧力勾配をプラズマの小半径方向に一定として計算した場合も同様に、軸対称平衡に比べてヘリカルコアを持つ平衡の方が不安定であった。

以上の結果から、本研究により、ヘリカルコ

アの発生が熱及び粒子の乱流輸送に悪影響を与えていることが示された。また、乱流がヘリカルコアの外側で発生し、内側で発生しないことは、ヘリカルコアの表面が内部輸送障壁に関連することを示唆していると言える。

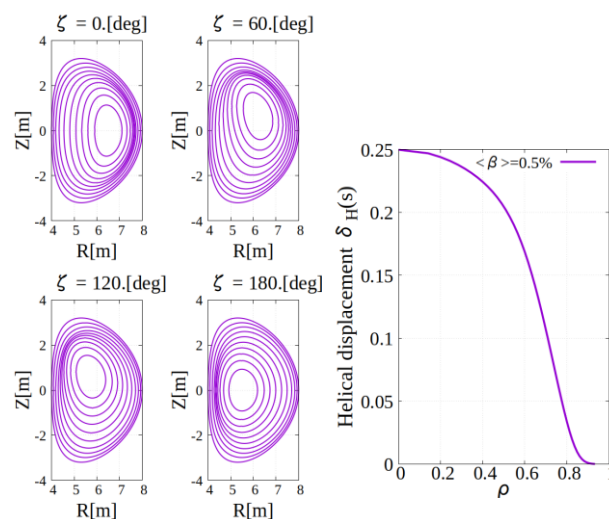


図 1: 微視的不安定性計算に使用したヘリカルコアの磁気面形状（左）とヘリカル変位の小半径方向分布（右）

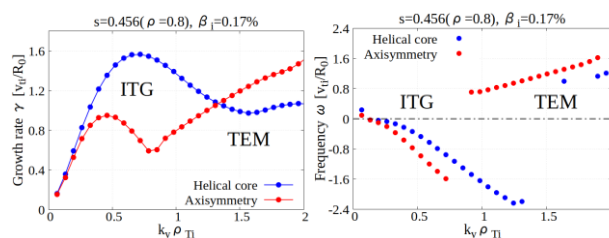


図 2: 微視的不安定性が不安定であったヘリカルコア外側（プラズマ小半径 $\rho=0.8$ ）における線形成長率（左）、実周波数（右）のポロイダル波数分布（同半径位置における軸対称平衡と比較）。どちらのケースも、高波数域で補足電子モード（TEM）が表出する