

MEGA codeを用いた大型ヘリカル装置での高速イオン圧力分布の解析 Analyses of fast ion pressure profile in the LHD by MEGA code

關 良輔^{1,2}, 藤堂泰^{1,2}, 鈴木康浩^{1,2}, 長壁正樹^{1,2}
R. Seki^{1,2}, Y. Todo^{1,2}, Y. Suzuki^{1,2} and, M. Osakabe^{1,2},

¹核融合研, ²総研大
¹NIFS, ²SOKENDAI

1. 背景・目的

大型ヘリカル装置において、中性粒子ビーム(NBI)入射時にトロイダル効果によるアルヴェン固有モード(TAE)由来と考えられる高速イオンのバーストが観測されている[1]。大型ヘリカル装置においても高速イオンの閉じ込めを調べるには、高速イオン由来の不安定性および不安定性に由来する高速イオン輸送を解析することが重要になる。そのために開発されたMEGAコード[2]では高速イオンの軌道および衝突過程が非線形の磁気流体方程式(MHD)とハイブリットに解かれている。本研究では、MEGAコードをLHD実験に適用する第一歩として、LHD実験での古典的なNBIビーム圧力を解析し、これまで古典的なNBIビーム圧力の解析に使用されているMORH[3]の結果と比較する。また、LHD実験のプラズマ分布を使用し、不安定性由来のバーストを解析した。

2. MORH コードとMEGAコードの違い

・衝突オペレータ

MEGA ::速度の減速は運動方程式。ピッチ角散乱、エネルギー拡散については一様乱数を使用した衝突オペレータ。

MORH ::ピッチ角散乱、エネルギー緩和、エネルギー拡散を含む衝突オペレータ。正規乱数を使用。

・圧力の評価法

MEGA ::ある時間の高速イオンの速度と位置から圧力を計算(PIC法)

MORH :: 緩和までの粒子の位置と速度から時間方向に積分

・軌道追跡の数値手法

MEGA :: 4次Runge-Kutta法と線形補間

MORH :: 6次Runge-Kutta法と4次スプライン補間

3. 古典的なNBIビーム圧力の比較

図1に、LHDでの180keVの接線方向入射NBIによる古典的なビーム圧力を示す。図から、緑色のMEGA codeの結果は、赤色のMORH codeの結果とよく一致している。

次に、図2にMEGA codeを使用し、LHDでの高速

イオン由来の不安定性の解析例を示す。これは、磁気軸上磁場強度0.619 [T]、9 [MW]の接線入射(順方向:6 [MW], 逆方向:3 MW)の計算結果である。また、プラズマの温度密度は参考文献[1]での実験と同時刻の計測値を使用し、その時の中心温度0.8 [keV]、密度 $5 \times 10^{18} \text{ [m}^{-3}]$ である。図2(a)から、10.15まで不安定性が成長し、その後、減衰している様子がわかる。また、図2 (b)から、 $m/n = 2/1$ のモードが不安定性の初期では、プラズマ中心付近($\rho = 0.3$)で大きく、不安定性が最大の時には、プラズマ周辺付近($\rho = 0.6$)で大きくなっていることがわかる。講演では、より詳細なMORHとMEGAコードの比較を示すと共に、不安定性由来のバーストにより圧力が変化する様子を示す予定である。

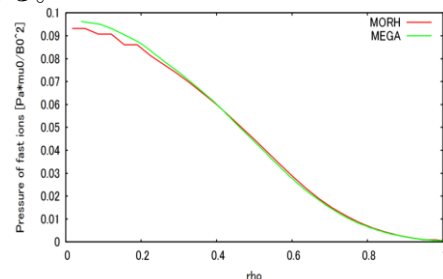


図1 古典的な平行方向ビーム圧力 (MORH:赤, MEGA:緑)

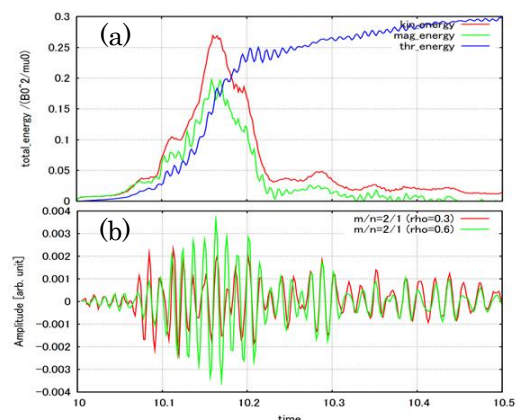


図2 高速イオン由来の不安定性の解析(a:エネルギー、b: $m/n = 2/1$ の径方向速度(モード強度))

[1] M. Osakabe, et al., Nucl. Fusion, **46** S911 (2006).

[2] Y. Todo, et al., Nucl. Fusion, **52** 03303 (2012).

[3] R. Seki, et al., Plasma and Fusion Research, **5** 027 (2010).