

論文要旨

修了年月：2020年3月

専攻名：複雑理工学

氏名：大石輝希

学生証番号：47-186129

論文題目：交換型不安定性に対する高エネルギー粒子と拡張電磁流体力学モデルの効果

キーワード：交換型不安定性, 高エネルギー粒子, 拡張 MHD

指導教員指名：藤堂泰

指導教員役職：教授

本研究では高エネルギー粒子と電磁流体力学(MHD)方程式を連結したハイブリッドシミュレーションを用いて, 大型ヘリカル装置プラズマの交換型不安定性に対する高エネルギー粒子と拡張 MHD モデルの効果を調査した. 高エネルギー粒子を含まない標準 MHD シミュレーションにおいて大きな成長率を有する $m/n = 2/1$ の理想交換型不安定性と $m/n = 3/2$ の抵抗性交換型不安定性に着目して解析を行った. ここで, m, n はそれぞれトロイダルモード数とトロイダルモード数である. 高エネルギー粒子の効果に関する調査では, 高エネルギー粒子の最高速度が異なる場合と高エネルギー粒子のラーマー半径で規格化した装置サイズが異なる場合について交換型不安定性の成長率を比較した. 拡張 MHD モデルに関しては, MHD 運動方程式においてイオン反磁性ドリフトを考慮した場合とオーム則において電子圧力項を考慮した場合についてそれぞれ調査を行った.

高エネルギー粒子とバルクプラズマの合計圧力分布が一定の条件下で, 高エネルギー粒子の最高速度が $v_\alpha = 0.958$ の場合には, 高エネルギー粒子が存在すると $m/n = 2/1$ の理想交換型不安定性の成長率が減少した. ここで v_α はアルフベン速度で規格化した値である. 高エネルギー粒子は交換型不安定性とエネルギーを交換しておらず, この不安定性に対して中立であることがわかった. 高エネルギー粒子が存在するとバルクプラズマの圧力が減少することにより, 交換型不安定性の成長率が低下すると結論できる. 高エネルギー粒子の最高速度 v_α をイオンの熱速度と同程度の 0.120 に下げた場合と高エネルギー粒子のラーマー半径で規格化した装置サイズを大きくした場合には安定化効果が弱まった. これらの結果は, 安定化効果が高エネルギー粒子の歳差ドリフトに起因していることを示唆している. イオン反磁性ドリフトの拡張を施したシミュレーションと標準 MHD シミュレーションの比較では, $m/n = 2/1$ の理想交換型不安定性の成長率には変化が見られなかったが, $m/n = 3/2$ の抵抗性交換型不安定性の時間発展に変化が見られた. オーム則における電子圧力項の拡張を施したシミュレーションでは, $m/n = 3/2$ の抵抗性交換型不安定性が線形過程において完全に安定化した.