

円筒プラズマにおける抵抗性ドリフト波不安定性のイオン質量数依存性 Dependency of resistive drift wave instability on ion mass number in cylindrical plasmas

石田雅信¹, 糟谷直宏^{1,2}, 今橋優大¹, 矢木雅敏³

ISHIDA Masanobu¹, KASUYA Naohiro^{1,2}, IMAHASHI Yudai¹, YAGI Masatoshi³

¹九大総理工、²九大応力研、³量研機構

¹IGSES, Kyushu Univ., ²RIAM, Kyushu Univ., ³QST

プラズマ乱流の形成する機構は、輸送に大きな影響を与えるものなので、その構造形成機構の理解は核融合プラズマ制御を行う上で重要である。抵抗性ドリフト波不安定性を対象に乱流構造について研究を行なっている。直線装置 PANTA 実験[1]や数値シミュレーション[2]から、パラメータによってドリフト波が非線形的に形成する構造には、ストリーマ[3]、帯状流や孤立ドリフト波といった複数のものが存在することがわかっている。本研究では、直線装置の乱流コードである Numerical Linear Device(NLD)[4]を用いて数値シミュレーションを行う。今回は放電ガス種を変更した時の差異について探索する。イオン質量の影響によって抵抗性ドリフト波不安定性の線形成長率が直線装置パラメータでいかに変化するかを調べ、乱流計算の基礎とする。

本研究で対象とするのは、九州大学の直線装置 PANTA である。PANTA は全長 4m、半径 6cm のプラズマを生成する。磁場強度は B~1T、電子温度は 2-4eV、電子密度は $0.2-1.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ である。このパラメータを用いて抵抗性ドリフト波不安定性の線形および非線形シミュレーションを行う。密度 N 、静電ポテンシャル ϕ 、磁力線方向電子速度 V について、中性粒子の効果を取り入れた以下の 3 場の簡約化された流体方程式を用いる；

$$\frac{dN}{dt} = -\nabla_{\parallel} V - V \nabla_{\parallel} N + \mu_N \nabla_{\perp}^2 N + S,$$

$$\frac{d\nabla_{\perp}^2 \phi}{dt} = \nabla N \cdot \left(-v_{in} \nabla_{\perp} \phi - \frac{d\nabla_{\perp} \phi}{dt} \right) - v_{in} \nabla_{\perp}^2 \phi - \nabla_{\parallel} V - V \nabla_{\parallel} N + \mu_W \nabla_{\perp}^4 \phi,$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{M}{m_e} (\nabla_{\parallel} \phi - \nabla_{\parallel} N) - (v_{ei} - v_{en}) V + \mu_V \nabla_{\perp}^2 V,$$

(変数の定義は文献[4]を参照)。

まず線形化した方程式を径、方位角、軸各方向でスペクトル展開した局所解析から、イオン種アルゴン Ar、ネオン Ne、ヘリウム He の場合の線形成長率依存性を見た。ここで径方向波数 k_r はパラメータとなる。質量数の小さい He の場合、Ar の場合と比べて不安定領域が高波数領域に広がる。こ

こでイオン種による衝突周波数の変化も考慮している。次に、径方向微分を考慮して径方向固有モード構造を評価した大域解析から線形成長率依存性を見た。先の解析ではパラメータであった k_r も境界条件から決定される。不安定領域は局所線形解析に比べて低軸方向波数領域に限定される結果となった。そのうちの一例として He の固有モード構造を図に示す。

さらに線形解析から求めたドリフト波不安定条件をもとに揺動時間変化の非線形計算を行う。異なるイオン種について構造形成の素過程にどのように影響するか、得られた非線形飽和状態の性質について報告する。

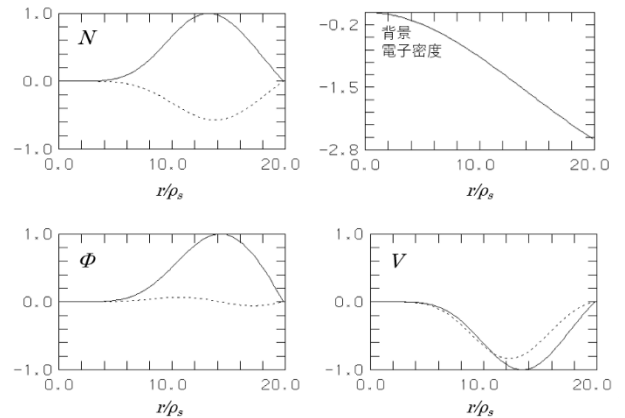


図 He の場合の線形固有モード構造の一例
(衝突周波数 $\nu_{ei} = 300, \nu_{in} = 0.01$,
モード数: 方位角方向 $m = 6$, 軸方向 $n = 1$,
実効ラーマ半径 $\rho_s = 3.5 \times 10^{-3} \text{m}$).

- [1] S, Oldenbürger, *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **54**, 055002 (2012)
- [2] N, Kasuya, *et al.*, Phys. Plasmas **15**, 052302 (2008)
- [3] T. Yamada, *et al.*, Nature Phys. **4**, 721 (2008)
- [4] N, Kasuya, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 044501(2007)