

ガンマ10の交換型不安定性の計算機シミュレーション Numerical simulation on the interchange instabilities in GAMMA10

加藤俊介, 片沼伊佐夫, 奥山陽平, 佐藤周平, 窪田遼人, 小田弦之介, 角田昌輝
S. Kato, I. Katanuma, Y. Okuyama S. Sato, R. Kubota, G. Oda, M. Tsunoda

筑波大学プラズマ研究センター
PLASMA RESEARCH CENTER, University of Tsukuba

ガンマ10磁場配位に対して交換型不安定性に関する計算機シミュレーションを実行した。この時、簡約MHD方程式をコードの基礎方程式として用いて、プラズマの流体的渦度、質量密度、温度に対する時間発展方程式とポアソン方程式を連立させて解いた。交換型不安定性に対して重要な磁力線曲率は磁力線の特性体積の径方向依存性としてコードに取り込んでいる。本発表ではプラズマ流体の方位角方向の速度シアが交換型不安定性の成長に与える効果を調べたのでそれに関する発表を行う。

ガンマ10では、電場のシアによってドリフト型の揺動を安定化することが出来る事が報告されている[1]。これに対して、本発表ではガンマ10の径方向に伝搬するフルート揺動を径方向速度シアを与えることで抑制ができるかを確認する。

本計算で用いた基礎方程式の導出では、フルート揺動が磁力線に沿って一定であると仮定し、以下の方程式系を基礎方程式とした。

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \frac{1}{4\pi} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} + \{\text{DT}\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (2)$$

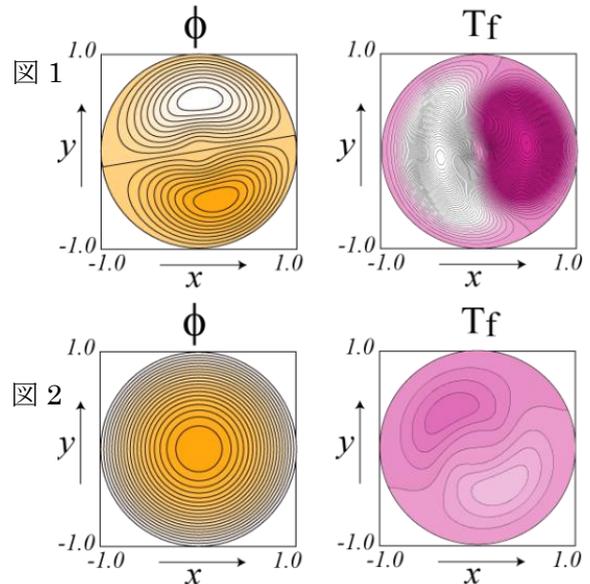
$$\frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p = \gamma p (\nabla \cdot \mathbf{v}) - (\gamma - 1) \nabla \cdot \mathbf{q} + (\gamma - 1) Q_E \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) - D \nabla^2 \mathbf{B} \quad (4)$$

(1)式はMHD運動方程式、(2)式は連続の式、(3)式は熱輸送方程式である。ここで{DT}はDissipation Termである。この方程式系に対して、Adiabatic Separation Method[1]を行うことで、アルヴェン波や磁気音波等を除去した簡約方程式系を導出した。それぞれの式を連立させることで、フルート揺動と径方向輸送の時間発展を計算できる。

無次元径方向座標をxで表すとき、Sheared flowの回転周波数 $\Omega(x) = (2x)^{-1} \partial \phi / \partial x$ から求めることが出来るシア流の特性動的渦度 w_0 の初期値を与えることで径方向速度シアを実現する。この回転周波数について $\Omega(x) = 0$ は渦度 $W_0(x) = 0$ に相当し、無回転状態を表す。今回の径方向速度シアは無回転

周波数 $\Omega = a(x - 0.5)$ を与えることで中心を無回転にしている。ここでaがシアの強さに相当する。この時の揺動の線形成長率に対しシアの強さの関係を調べ、速度シアによる揺動の成長への影響を調べた。下の図1は $a = 0$ の無回転プラズマについて、規格化時刻 $\tau = 24$ の磁力管断面内の揺動を示したものである。下図2は $a = 5.0$ で同時刻について表したものである。



$\tau = 24$ での静電ポテンシャル ϕ と摂動温度 T_f
図1: $a = 0$ のとき、図2: $a = 5.0$ のとき

[1] M. Yoshikawa, Nucl. Fusion 53(2013)
[2] V.P. Pastukhov, Fiz. Plazmy 31, 628 (2005); Plasma Phys. Rep. 31, 577 (2005)