

トロイダルアルフェン固有モードとドリフト波乱流の相互作用 Interactions between toroidal Alfvén eigenmode and drift-wave turbulence

石澤明宏、今寺賢志、中村祐司、岸本泰明

ISHIZAWA Akihiro, IMADERA Kenji, NAKAMURA Yuji, KISHIMOTO Yasuaki

京都大学大学院エネルギー科学研究科

Graduate School of Energy Science, Kyoto University

燃焼プラズマの研究において、高エネルギー粒子とバルクプラズマ両方の良好な閉じ込めを同時に達成するためには、高エネルギー粒子駆動MHD不安定性とドリフト波乱流の相互作用を理解することが重要である。我々は、TAE（低トロイダルモード数）とドリフト波乱流（高トロイダルモード数の微視的不安定性によって駆動される）の相互作用を、大域的ジャイロ運動論シミュレーションコード(GKENT [1])を用いて調べた。その結果、以下のことを明らかにした。(i) TAEとドリフト波乱流の相互作用は、最も不安定なドリフト波モードを低減し、より低波数なモードを増大させる。(ii) この相互作用は、高 β でバルクイオンのエネルギー輸送および高エネルギー粒子の粒子輸送を増大させる。また、低 β でバルクイオンのエネルギー輸送および高エネルギー粒子の粒子輸送を低減させる。

1. 燃焼プラズマでは、トロイダルアルフェン固有モード(TAE)とドリフト波乱流(DWT)が共存し、非線形モードカップリングにより相互作用する可能性がある。たとえば、高エネルギー粒子の輸送では、乱流の磁場揺動や有限ベータでも活発なゾーナル流が重要な役割を果たす可能性がある [2,3]。さらに、TAEとドリフト波乱流の間の多スケール間非線形相互作用は安定な n モードを励起して輸送を増大させる可能性がある[4]。

2. 大域的ジャイロ運動論シミュレーションコード (GKENT [1]) を用いてTAEとドリフト波乱流の相互作用を調べる。この目的のために、高エネルギー粒子およびバルクプラズマともに圧力勾配をもつ正磁気シアプラズマを考え、TAE とドリフト波モード(KBM)が共に不安定なプラズマの非線形シミュレーションを行う(TAE+DWT)。“TAE+DWT”では、初期にゾーナル流を伴ったドリフト波乱流状態(KBM)によって駆動される(図1 $t=12, 16$)。この乱流状態の中をゆっくりとTAEが成長し飽和

する(図1 $t=22, 36$)。TAEが飽和した後は準定常状態が得られる。このTAEとドリフト波乱流の相互作用によって生じた乱流状態では、“TAE+DWT”の最も不安定なドリフト波モード($n=12$)は高エネルギー粒子がないドリフト波乱流のシミュレーション“only-DWT”の $n=12$ より小さく、“TAE+DWT”の $n=10$ モードは“only-DWT”の $n=10$ モードより大きい(図2)。したがって、TAE($n=2$)とドリフト波乱流の相互作用は、最も不安定なドリフト波モードを抑制し、このモードより低波数のモードを強めることが示された。そして、この相互作用により、高 β でバルクイオンのエネルギー輸送および高エネルギー粒子の粒子輸送を増大する。また、低 β でバルクイオンのエネルギー輸送および高エネルギー粒子の粒子輸送が減少する。

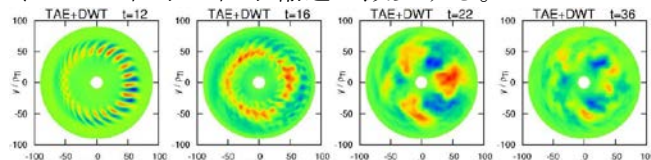


図1. TAEとドリフト波乱流が混在する場合“TAE+DWT”のポテンシャル揺動の時間発展。

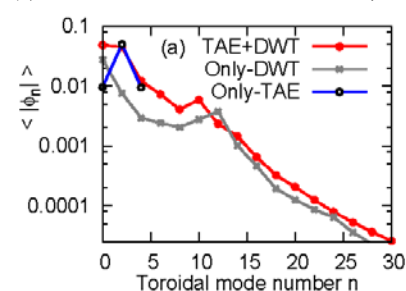


図2. 静電ポテンシャル ϕ のトロイダルモードスペクトル。TAEとドリフト波乱流が混在する場合“TAE+DWT”

”,ドリフト波乱流のみの場合“only-DWT”, TAEのみの場合“only-TAE”をそれぞれ示す。

[1] K. Imadera, Y. Kishimoto, K. Obrejan, T. Kobiki and J. Q. Li, IAEA-FEC, TH/P5-8 (2014).

[2] A. Ishizawa, K. Imadera, Y. Nakamura, and Y. Kishimoto, Phys. Plasmas, 082301 (2019).

[3] A. Ishizawa, D. Urano, Y. Nakamura, et.al., Phys. Rev. Lett., 025003 (2019).

[4] A. Ishizawa, Y. Kishimoto, and Y. Nakamura, Plasma Phys. Control. Fusion, 054006 (2019).