

IFERC-CSC 大型計算機利用報告書(プロジェクト枠)

2020 年度

研究課題名	Electromagnetic Gyrokinetic Numerical Experiment of Tokamak
上記の頭文字	GKNETEM

* 申請時のタイトル、略称を記載してください

研究代表者 (PI):

研究代表者名	石澤明宏
--------	------

1. 成果の概要 (200字程度)

本研究課題で開発した大域的電磁ジャイロ運動論シミュレーションコードを用いて、電磁的ドリフト波不安定性に駆動された乱流と高エネルギー粒子駆動 MHD 不安定性であるトロイダルアルフェン固有モード(TAE)の非線形相互作用の数値シミュレーションを進めた。そして、乱流と MHD 不安定性のマルチスケール相互作用によって生じる熱および粒子の輸送を評価し、大域的なプラズマ閉じ込め悪化が起こることを明らかにした。この研究成果は、IAEA 核融合会議でオーラル発表に選ばれた。また、さらに解析を進め、乱流と MHD 不安定性がマルチスケール相互作用しながら非線形飽和する機構を明らかにした。また、先進トカマク配位とされる反転磁気シア配位における電磁的乱流輸送の研究も進めた。

2. 成果の詳細 (図、表等を含めて A4 で 2~3 ページ程度)

燃焼プラズマの良好な閉じ込めを実現するためには、高エネルギー粒子とバルクプラズマの輸送を同時に低減することが必要である。燃焼プラズマでは、高エネルギー粒子駆動 MHD 不安定性である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ことが予想される。その結果、新しい輸送現象が起こる可能性がある。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 GKNET [1] を用いて調べた。その結果、以下のことを明らかにした。TAE は、最も不安定なドリフト波モードを低減する。そして、最も不安定なドリフト波モードのエネルギーを移送し低波数なモードを増大させる (図 1)。これは、TAE はゾーナル流と異なり、有限の n を持つからである。そ

の結果、バルクイオンのエネルギー輸送は増大するとともに、高エネルギー粒子の粒子輸送が増した。したがって、TAEとドリフト波乱流は、バルクプラズマと高エネルギー粒子の両方の輸送を相乗的に増大させる。

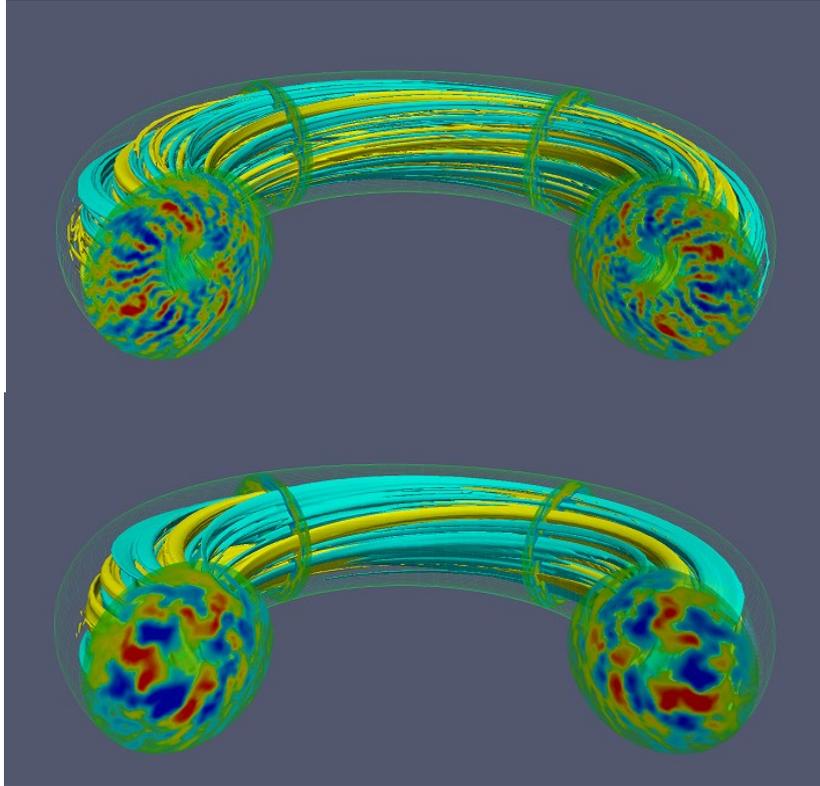


図 1 上図：高エネルギー粒子駆動トロダルアルフェンモードがない場合の乱流揺動（静電ポテンシャル揺動）。下図：高エネルギー粒子駆動トロダルアルフェンモードがある場合の乱流揺動（静電ポテンシャル揺動）。

また、負磁気シアトカマクにおける運動論的 MHD 不安定性の非線形飽和機構について新たな知見を得た[3]。数値シミュレーションは GKNET[1, 2]を用いて行った。正磁気シア配位と負磁気シア配位について線形・非線形計算を行い、線形成長率と飽和振幅を比較した。その結果、正磁気シア配位では運動論的バルーニングモードが不安定で、負磁気シア配位では非共鳴の運動論的インファナルモードが不安定であることが示された。そして、負磁気シア配位における運動論的インファナルモードは正磁気シア配位の運動論的バルーニングモードに比べて 4 倍程度の線形成長率を持つにも関わらず（図 2 左図）、その飽和振幅は同程度となることを明らかにした(図 2 右図)。この理由は、ゾーナル流生成が負磁気シア配位の方が強いことに起因すると考えられる。一方、正磁気シアにおける運動論的バルーニングモード乱流と負磁気シアプラズマにおける運動論的インファナルモード乱流によって生じた粒子束とエネルギー流束を比較し（図 3）、運動論的インファナルモードによって生じる乱流輸送は、粒子束・エネルギー流束ともに運動論的バルーニングモードによって生じる乱流輸送より大きいことを明らかにした[3]。

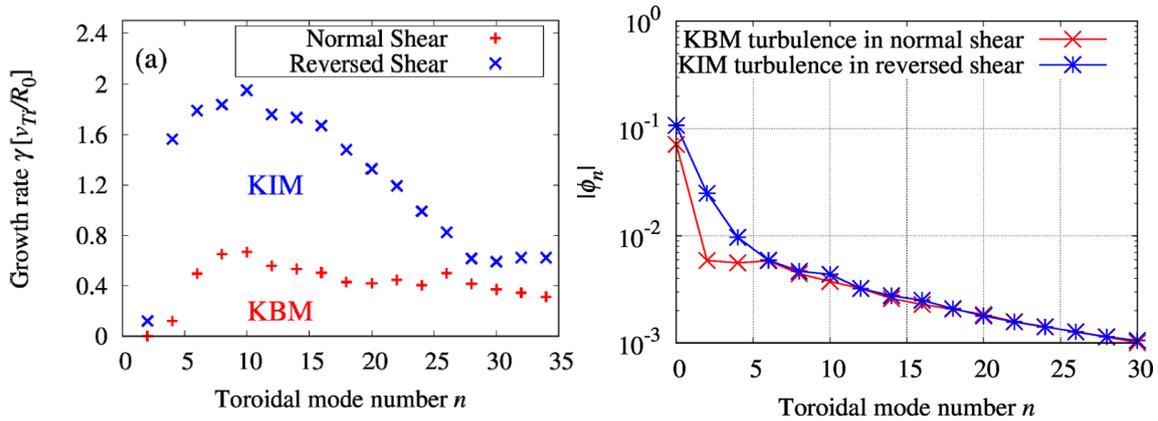


図2 左図：正磁気シアにおける運動論的バルーニングモード（KBM）と負磁気シアプラズマにおける運動論的インファナルモード（KIM）の線形成長率。右図：正磁気シアにおける運動論的バルーニングモード（KBM）と負磁気シアプラズマにおける運動論的インファナルモード（KIM）それぞれに駆動された乱流の非線形飽和状態における静電ポテンシャルのトロイダルモード数スペクトル[3]。

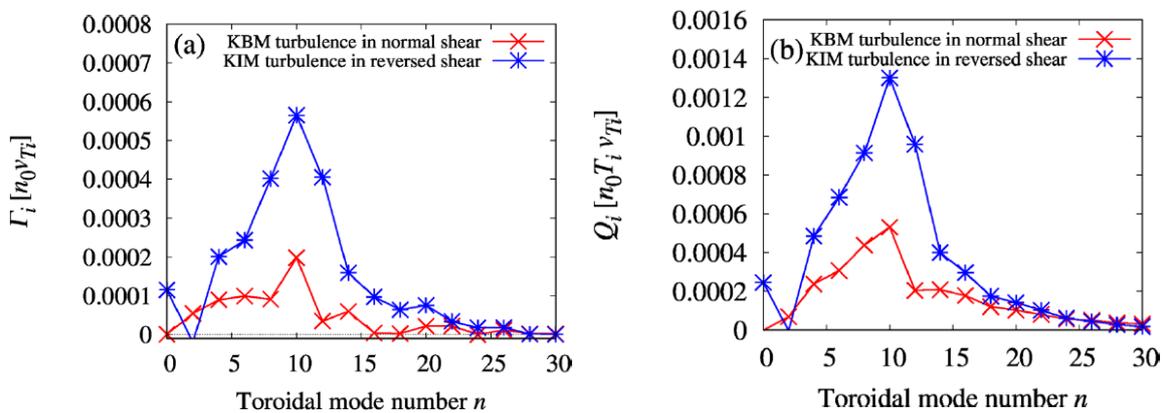


図3 正磁気シアにおける運動論的バルーニングモード（KBM）乱流と負磁気シアプラズマにおける運動論的インファナルモード（KIM）乱流によって生じた粒子束（左図）とエネルギー流束（右図）[3]。

[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] Y. Ishida, A. Ishizawa, K. Imadera, Y. Kishimoto, Y. Nakamura, Physics of Plasmas, 27, 092302 (2020).

3. 研究のキーワード

1. 燃焼プラズマ	2. MHD モード	3. ドリフト波乱流	4. マルチスケール	5. ジャイロ運動論シミュレーション
-----------	------------	------------	------------	--------------------