

プラズマ乱流における螺旋流のカイラリティ Chirality of helical flows in plasma turbulence

佐々木真^{1,2}、糟谷直宏^{1,2}、伊藤公孝^{2,3}、登田慎一郎⁴、山田琢磨^{2,5}、小菅佑輔^{1,2}、永島芳彦^{1,2}、小林達哉⁴、荒川弘之⁶、山崎広太郎¹、藤澤彰英^{1,2}、稲垣滋^{1,2}、伊藤早苗^{1,2}

Makoto Sasaki^{1,2}, Naohiro Kasuya^{1,2}, Kimitaka Itoh^{2,3}, Shinichiro Toda⁴, Takuma Yamada^{2,5}, Yusuke Kosuga^{1,2}, Yoshihiko Nagashima^{1,2}, Tatsuya Kobayashi⁴, Hiroyuki Arakawa⁶, Kotaro Yamasaki¹, Akihide Fujisawa^{1,2}, Shigeru Inagaki^{1,2}, Sanae-I Itoh^{1,2}

¹九州大学応用力学研究所, ²九州大学極限プラズマ連携研究センター,

³中部大学総合工学研究所, ⁴核融合科学研究所,

⁵九州大学基幹教育院, ⁶島根大学学術研究院理工学系

¹Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, ²Research Center for Plasma Turbulence, Kyushu University, ³Institute of Science and Technology Research, Chubu University,

⁴National Institute for Fusion Science, ⁵Faculty of Arts and Science, Kyushu University,

⁶Shimane University, Institute of Science and Engineering, Academic Assembly

螺旋流は自然界に普遍的に存在する。例えば、磁場閉じ込めプラズマでは、磁場方向速度と磁場に垂直方向速度の組み合わせによって螺旋流が自発的に形成される。磁場方向速度は、トロイダル自発回転[1]に、磁場に垂直方向の流れは帯状流やポロイダル平均流などがある[2]。螺旋流は乱流輸送に大きな影響を与えるため、その性質の理解は輸送研究の重要なテーマとなっている。L-H遷移やトロイダル流の反転現象等に見られるような螺旋流トポロジーの遷移が起こる多くの場合、不安定性を駆動する自由エネルギーが複数存在する。温度や密度の空間不均一性がドリフト波型不安定性を駆動し、一方、流れの不均一性がKelvin-Helmholtz不安定性やD'Angelo modeを不安定化する。このように、複数の不安定性が存在するようなプラズマにおいて、螺旋流の形成機構を考える必要がある。

本研究では、ドリフト波とD'Angelo modeが不安定となる系における螺旋流の形成機構について報告する。円筒プラズマを対象に、3場の簡約流体方程式を用いた3次元乱流シミュレーションを行った。粒子ソース及び磁場方向運動量ソースを導入し、非線形発展を計算した。導入したソース強度によって密度勾配・磁場方向速度シアが規定されるため、ソース強度によってドリフト波及びD'Angelo modeの安定性を制御できる。ショット毎に粒子ソース強度を変化させたところ、乱流状態の分岐が得られた。粒子ソース強度の小さい場合はD'Angelo mode、大きい場合はドリフト波が支配的となっており、

中間状態ではD'Angelo modeとドリフト波の両方の性質を持った中間モードが卓越する[3]。この乱流状態の変化に伴って、形成される螺旋流のカイラリティがプラズマ全域にわたり急変する事を発見した。本成果は、粒子注入による流れパターンの制御可能性を示している。また、流れパターンは粒子輸送と密接に関わるため、核融合プラズマにおける輸送研究に新たな視点を提供している。

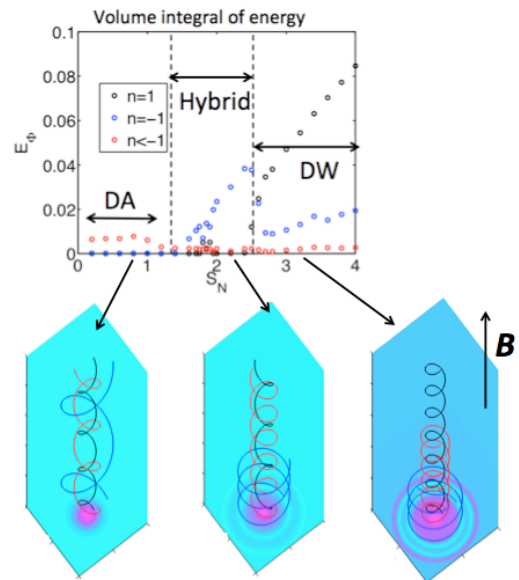


Fig. 1: 乱流状態の遷移とそれぞれの状態での定常的流れの流線。

[1] P. H. Diamond, et. al., Nucl. Fusion **53**, 104019 (2013).

[2] K. Ida, et. al., Phys. Rev. Lett. **65**, 1364 (1990).

[3] M. Sasaki, et. al, Phys. Plasmas, **24**, 112103 (2017).