

## Analysis of turbulence transport and turbulence driven by parallel flow shear to magnetic field based on difference of electronic response

小山 一輝<sup>1</sup>, 小菅 佑輔<sup>2</sup>

Itsuki Oyama<sup>1</sup>, Yusuke Kosuga<sup>2</sup>

1. 九州大学総合理工学府, 2. 九州大学応用力学研究所

1. IGSES, Kyushu University, 2. RIAM, Kyushu University

### [背景と目的]

核融合における燃料補給の問題は、長時間運転を達成する上で重要な問題である。いま、トカマク装置の巨視的な粒子輸送に関して、微視的な乱流との連関が報告されている[1]。

乱流は駆動源により、その揺動および輸送の特性を変化させる。本研究においては、磁力線方向の速度がもつ径方向の勾配(Parallel Velocity Gradient)が駆動源となる乱流、PVG乱流に注目する。PVG乱流は、電子の磁力線方向への拡散がドリフト運動よりも速いとき、密度勾配を急峻にする輸送を励起することが報告されているためである[2]。これは燃料補給を考える上で、有用な輸送特性となる。しかし、現在建設中のITERにおいては上述の輸送特性を得ることができないか定かではない。装置の拡充による磁力線の延伸が電子の拡散時間を延長するためだ。加えてドリフト波乱流の場合に、この電子応答の変化が乱流の輸送特性に影響することが報告されている[3]。

本研究においては、この装置規模の拡大を念頭においている。この伸展による電子応答の変化が、PVG乱流の揺動および輸送の特性にもたらす影響についてモデル方程式を用いて解析を行う。

### [モデル]

( $\dots$ )は規格化、( $\sim$ )は揺動量、( $\langle \dots \rangle$ )は平均量を示している。

$$\begin{cases} \partial_t \hat{n} + v_{*e} \partial_y \hat{\phi} + \nabla_{\parallel} \tilde{v} = D_{\parallel} \nabla_{\parallel} (\hat{n} - \hat{\phi}) \\ \partial_t \rho_s^2 \nabla_{\perp}^2 \hat{\phi} = D_{\parallel} \nabla_{\parallel} (\hat{n} - \hat{\phi}) \\ \partial_t \tilde{v}_i - \frac{c}{B} \partial_y \hat{\phi} \langle v_z \rangle' = \frac{e}{m_i} \bar{E}_z \end{cases}$$

モデル方程式として、磁化プラズマ中の抵抗性ドリフト波乱流を記述する長谷川-若谷方程式に、平行流の速度勾配を組み合わせた以上の式を用いる。

このモデルに対し、平面波を仮定して分散関係を求めると以下を得る。

$$-i \frac{\rho_s^2 k_{\perp}^2}{D_{\parallel} k_{\parallel}^2} \omega = -(1 + \rho_s^2 k_{\perp}^2) + \frac{\omega_{*e}}{\omega} - \frac{k_{\parallel}^2 c_s^2}{\omega^2} \left( 1 - \frac{\rho_s k_y \langle v_z \rangle'}{k_{\parallel} c_s} \right)$$

PVG乱流が励起される平行流速度シア $\langle v_z \rangle'$ が大きい場合に議論を限定する。本研究の論旨はこの場合において、電子のドリフト運動が磁力線方向の拡散に優越する場合( $D_{\parallel} k_{\parallel}^2 \ll \omega_{*e}$ )を考えることにある。この分散関係から密度と運動量に関してフラックスを得る。電子応答によるフラックスへの影響に関して以下の表を得る。

PVG	$D_{\parallel} k_{\parallel}^2 \gg \omega_{*e}$	$D_{\parallel} k_{\parallel}^2 \ll \omega_{*e}$
$\Gamma_n$	Up-hill	<b>0</b>
$\Pi_{\perp, \parallel}$	緩和	緩和

速度の不均一性緩和について、変化は見られない。一方、 $D_{\parallel} k_{\parallel}^2 \ll \omega_{*e}$ のときには粒子輸送を起さないことが分かる。燃料補給を考える際には、PVG乱流の適用条件の一つとして電子密度はボルツマン関係を満たす程度が望ましいことが示された。

### [参考文献]

- [1] C. Angioni et al., Plasma Phys. Control. Fusion **51**, 124017 (2009)  
 [2] S. Inagaki et al., Sci. Rep. **6**, 22189 (2016)  
 [3] S. Arai et al, Plasma Fusion Res. **17**, 1403050 (2022)