

# シャフラノフシフトに影響された乱流輸送の規格化圧力依存性 Normalized pressure dependence of turbulent transport influenced by the Shafranov shift

中谷滉平<sup>1</sup>, 石澤明宏<sup>1</sup>, 中村祐司<sup>1</sup>, 前山伸也<sup>2</sup>, 渡邊智彦<sup>2</sup>

K. Nakatani<sup>1</sup>, A. Ishizawa<sup>1</sup>, Y. Nakamura<sup>1</sup>, S. Maeyama<sup>2</sup>, T.-H. Watanabe<sup>2</sup>

京大エネ科<sup>1</sup>, 名大理<sup>2</sup>

Grad. Sch. of Energy Science, Kyoto Univ.<sup>1</sup>, Dept. of Phys., Nagoya Univ.<sup>2</sup>

トカマクプラズマ中の乱流輸送のプラズマベータ依存性を解析する(ベータは規格化圧力)。トカマクプラズマ中のイオン温度勾配(ITG)不安定性に駆動された乱流輸送は、ベータ値の増加とともに抑制されると考えられていた。しかし最近の研究で、シャフラノフシフトが生じることで、ベータ値増加に伴い乱流輸送は減少しないことが示された[1]。このシャフラノフシフトの影響は、磁気シア  $s$  が大きい場合 ( $s \sim 1$ ) に大きく、小さい場合 ( $s \ll 1$ ) にはほとんど効かない。本研究では、ベータ値の増大とともに乱流輸送が減少しないことを JET#66404 ( $s = 0.7$ ) などに対して示す。

ITG 不安定性の線形成長率及び乱流輸送の評価には GKV コードを用いる。磁気シアが異なるプラズマ Cyclone Base Case DIII-D (CBC,  $\rho = 0.5, s = 0.8$ ) と JET#75225 ( $\rho = 0.33, s = 0.16$ )、JET#66404 ( $\rho = 0.33, s = 0.7$ ) に対して計算を行う。これらのプラズマの不安定性および乱流輸送係数の  $\beta$  値依存性を、シャフラノフシフトがある場合 (MFC)、及びない場合 (MFF) で比較した。

図 1(a), (b) はそれぞれ CBC および JET#75225 における ITG 不安定性の線形成長率を示す。ここで CBC は本来の磁気シア  $s = 0.8$  (nominal) に対し  $s$  を 0.2 に、JET#75225 は本来の磁気シア  $s = 0.16$  (nominal) に対し  $s$  を 0.8 に人工的に増減させた結果も示す。CBC の  $s = 0.8$  の場合、シャフラノフシフトを考慮する場合 (MFC) は考慮しない場合 (MFF) に対して、ITG 不安定性の線形成長率は大きくなり、ベータによる抑制効果が減少している。一方  $s = 0.2$  の場合には、線形成長率の抑制効果の減少はない。また JET#75225 の場合でも同様に線形成長率の抑制効果は  $s$  が小さい場合に減少していない。さらに JET#66404 でも同様に線形成長率の抑制効果が減少している (図 2(a))。これらの結果により、シャフラノフシフトの影響の大きさを決めるパラメータは磁気シアであることが示された。

図 2(b) は、非線形計算により得た JET#66404 ( $s = 0.7$ ) の乱流輸送係数のベータ依存性を示す。乱流輸送係数はベータとともに増大し、シャフラノフシフトを考慮した場合、乱流輸送係数の増加傾向が大きくなる。この原因の一つとしてシャフラノフシフトによる線形成長率の抑制効果の減少がある。一方、線形成長率の減少に反して乱流輸送係数が増加していること

は、ベータ値増大に伴いゾーナル流が減少しているためである。

以上の結果より、プラズマベータの増大とともに乱流輸送が減少しないことを JET#66404 ( $s = 0.7$ ) に対して示した。そして、シャフラノフシフトの影響で乱流輸送が減少しなくなる(あるいは増大する)ことがより一般的に成立することを明らかにした。また、他のプラズマの解析によりシャフラノフシフトの影響は磁気シアが大きい場合 ( $s \sim 1$ ) に大きいことも示した。

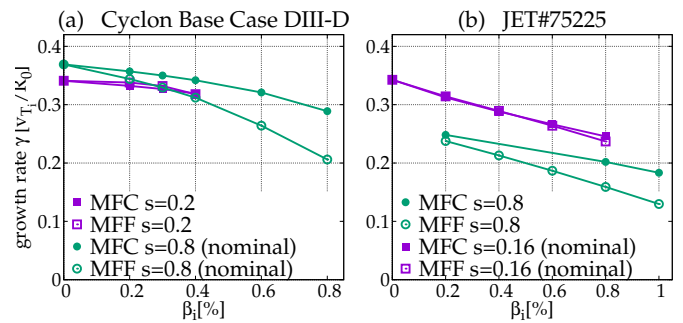


Fig. 1: (a) CBC 及び (b) JET#75225 の線形成長率  $\gamma$ 。MFC はシャフラノフシフトあり、MFF はなしを示す。シアが大きい場合では線形成長率抑制効果が減少しているが、シアが小さい場合は減少しない。

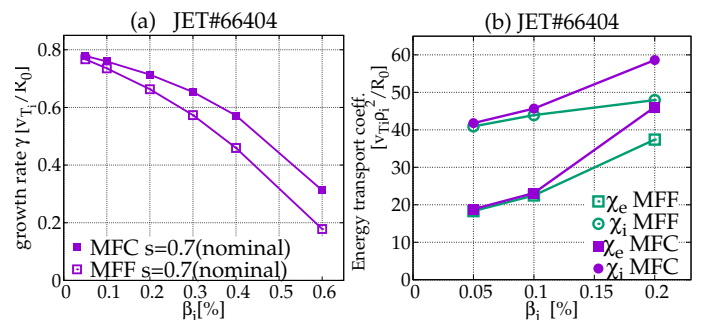


Fig. 2: JET#66404 ( $s=0.7$ ) の (a) 線形成長率と (b) 乱流輸送係数のベータ依存性。どちらもシャフラノフシフトを考慮することでベータ増加に伴う乱流輸送、線形成長率が増加する。

[1] A. Ishizawa, D. Urano, Y. Nakamura, S. Maeyama, and T.-H. Watanabe, Phys. Rev. Lett. 123, 025003(2019).