

粒子供給を伴うコアプラズマにおける
粒子拡散とピンチの密度分布形成に対する影響

Effects of particle diffusivity and pinch on density profile formation in
core plasmas with particle sources

成田絵美¹, 本多充¹, 仲田資季^{2,3}, 吉田麻衣子¹, 林伸彦¹, 竹永秀信¹

E. Narita¹, M. Honda¹, M. Nakata^{2,3}, M. Yoshida¹, N. Hayashi¹, H. Takenaga¹

¹ 量研那珂, ² 核融合研, ³ 総研大

¹QST Naka, ²NIFS, ³SOKENDAI

核融合出力は炉心プラズマ密度の二乗に比例するが、プラズマ周辺部では達成できる密度が制限されることが経験的に知られているため (Greenwald 密度)、高出力を得るにはプラズマ中心部で高密度が得られる尖頭化した密度分布を形成する必要がある。密度分布は外部からの粒子供給と粒子輸送のバランスによって決まり、このうち粒子輸送は、トカマクプラズマでは乱流によって支配されている。ジャイロ運動論コードを用いた先行研究 [1] から、密度分布の尖頭化の度合いは乱流粒子輸送を引き起こす不安定性に依存することが示されているが、外部からの粒子供給の影響は無視されていた。

本研究では外部からの粒子供給を考慮しながら乱流粒子束を評価する手法 [2] を用いて JT-60U の実験解析を行なった。本手法では、粒子種 a の乱流粒子束を $\bar{\Gamma}_a = \bar{D}(R/L_{na} + C_T R/L_{Ta} + C_P)$ で表現する。ここで $\bar{\Gamma}$ と \bar{D} は規格化された乱流粒子束と粒子拡散係数である。右辺の括弧内の第一項は拡散、第二・三項はピンチをそれぞれ表す。密度と温度の規格化勾配である R/L_n と R/L_T は実験計測値から与えられ、 \bar{D} とピンチ項の係数 C_T と C_P はジャイロ運動論コードを用いた数値計算と規格化乱流粒子束の実験値 $\bar{\Gamma}_{\text{exp}}$ の評価を組み合わせた手法で求められる。この手法で拡散・ピンチ項を定量的に評価することが可能になる。

図 1 に示す JT-60U の H モード放電 A と B を対象として、密度分布が計測されている電子の乱流粒子束解析を実施した。B と比べて A は急な電子密度勾配を持ち (図 1(a))、尖頭化した電子密度分布を有する。A と B は中性粒子ビーム入射から粒子が供給されており、この粒子供給量と新古典・乱流粒子束の和がバランスすると仮定して得られる $\bar{\Gamma}_{\text{exp}}$ は A と B で近い値である (図 1(b))。A と B に対して拡散・ピンチ項を求めた結果、密度勾配が駆動源となる拡散は A の方で外向き (正の値) に大きい粒子束を生成するが (図 2(a))、温度勾配などで駆動されるピンチは A の方で内向きに大きな粒子束を生成し、拡散による粒子束を相殺していることがわかった。この A の内向きのピンチが急な密度勾配を維持する要因であると言える。講演では、実験解析の詳細を述べると共に、実験解析結果に基づくニューラルネットワークモデルによる密度分布の尖頭化度合いの再現性についても示す。

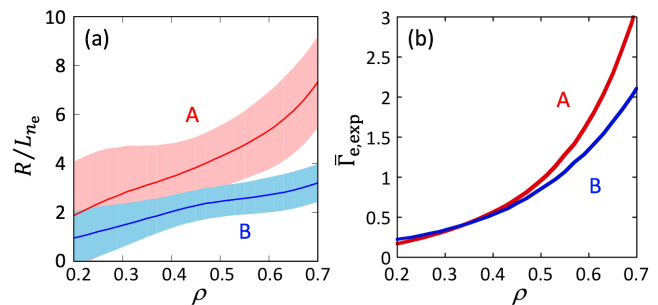


図 1 解析対象とした JT-60U の H モード放電の (a) 規格化電子密度勾配と (b) 規格化電子乱流粒子束の半径方向分布。(a) の実線の上下の帯は誤差を示す。

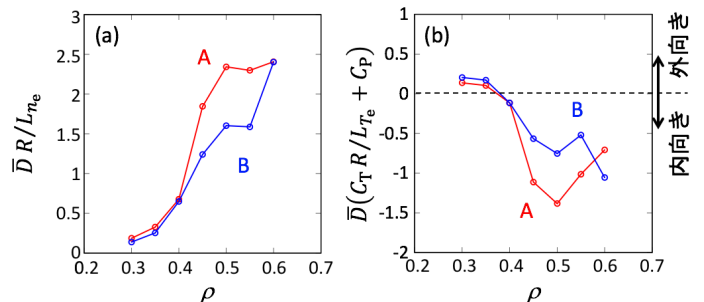


図 2 図 1 に示す A と B の (a) 拡散と (b) ピンチに起因する規格化乱流粒子束の半径方向分布。

[1] E. Fable *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **52**, 015007 (2010).

[2] E. Narita *et al.*, Plasma Phys. Controlled Fusion **60**, 025027 (2018).