

Isotope effects on particle transport and turbulence in LHD

木下稔基¹, 田中謙治^{1,2}, 大谷芳明³, 庄司主², 後藤基志^{2,4}, 小林政弘^{2,4},
酒井彦那¹, LHD 実験グループ²

KINOSHITA Toshiki¹, TANAKA Kenji^{1,2}, OHTANI Yoshiaki³, SHOJI Mamoru²,
GOTO Motoshi^{2,4}, KOBAYASHI Masahiro^{2,4}, SAKAI Hikona¹, LHD Experiment Group²
九大総理工¹, 核融合研², 量研機構³, 総研大⁴
IGSES Kyushu University¹, NIFS², QST³, SOKENDAI⁴

水素同位体効果は将来の核融合炉の性能予測や次世代のヘリカル/ステラレータ装置を設計する上で重要な課題の一つである。本講演では大型ヘリカル装置(LHD)にて水素および重水素プラズマにて実施した密度変調実験により評価した粒子拡散係数(D_{mod})と対流速度(V_{mod})の同位体効果について報告する。

密度変調実験の解析では D_{mod} および V_{mod} を評価するためにプラズマ中心から閉じ込め領域の境界までの変調成分の粒子輸送方程式を解く。その際、粒子ソースの形状が入力パラメータとして必要であるが、実験的にこれを評価する手法はこれまで確立されていない。

図1(a)は変調周波数を1.25Hz, 2.5Hzおよび5Hzと変化した場合の変調振幅 $n_{e\ mod}$ の分布である。これより $\rho \geq 0.9$ では変調周波数にかかわらず $n_{e\ mod}$ は一定であることがわかる。一方、 $\rho \leq 0.9$ では $n_{e\ mod}$ が周辺に局在化し、この領域において中性粒子輸送コードEIRENEによって求められた粒子ソース分布に収束することがわかる。これは変調周波数を上げることで内部への輸送の効果が小さくなるためである。EIRENEはダイバータ領域も含めた粒子ソースの分布を出力するため、そのピークは $r_{eff}/a_{99}=1$ の外側である[1]。閉じ込め領域の輸送解析にはこの領域に寄与する粒子ソースを用いる必要があるため、粒子ソースのピーク的位置およびその外側の形状は $n_{e\ mod}$ から評価し、内側は輸送による効果を完全に除外するためにEIRENEの結果を用いた。図1(b)に作成した粒子ソース形状を示す。

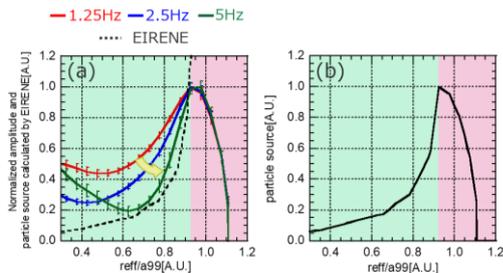


Fig. 1 (a)変調周波数を変化させた場合の変調振幅分布および (b) これらより作成した粒子輸送解析に用いる粒子ソース形状

また、粒子輸送方程式は遺伝アルゴリズムおよび準ニュートン法を用いて解を求める[2]。この手法は与えた D_{mod} および V_{mod} の範囲内で解を幅広く探すため、初期分布を与える必要がない。本解析では D_{mod} および V_{mod} を線形でフィットし、これらを用いて密度変調成分 $n_{e\ mod}$ および平衡成分 n_e の分布を再現できる場合について議論する。図2(a), (b)および(c)は D_{mod} , V_{mod} および位相コントラストイメージング(PCI)により計測した乱流揺動レベル \tilde{n}_e/n_e のヘリカルリップル効果で規格化した衝突周波数 ν_h^* 依存性である。 $\nu_h^* < 0.5$ のデータは少ないが D_{mod} , V_{mod} および \tilde{n}_e/n_e には大きな差は見られない。 $1 \leq \nu_h^* < 5$ では重水素プラズマにおいて D_{mod} が小さく、 \tilde{n}_e/n_e も小さいことがわかった。また、 $\nu_h^* \leq 5$ では D_{mod} が同程度であり、水素プラズマにて \tilde{n}_e/n_e が飽和することで重水素プラズマとの差が小さくなることがわかった。一方、ハッチング部 $0.5 \leq \nu_h^* < 1$ は線形 D_{mod} および V_{mod} により平衡分布を再現できない領域であり、何らかの重要な輸送の情報を含んでいると考えられる。これらのデータの取り扱いについては今後の課題とする。

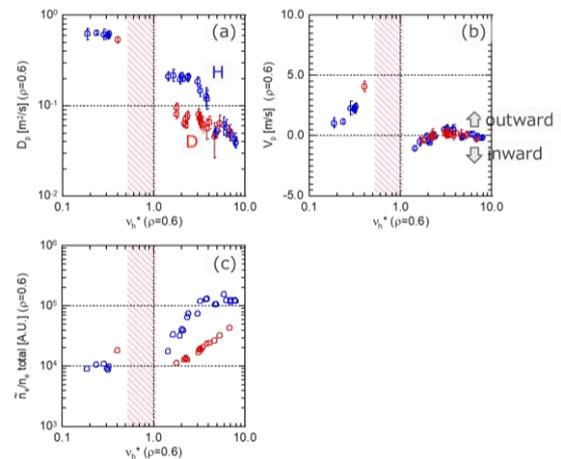


Fig. 2 (a) D_p , (b) V_p および(c)PCIにより計測した乱流揺動レベルの規格化衝突周波数依存性

- [1] M. Shoji et al, J. Nucl. Mater. 313-316 (2003)
[2] Y. Ohtani et al, Plasma Phys. Control. Fusion 62 (2020)