

22Ca05

電子ITB遷移閾値の水素同位体効果

Hydrogen isotope effects in electron internal transport barrier threshold condition

小林達哉^{1,2}, 清水昭博^{1,2}, 西浦正樹¹, 井戸毅³, 佐竹真介^{1,2}, 徳澤季彦^{1,2}, 辻村亨¹,
永岡賢一¹, 居田克巳^{1,2},
T. Kobayashi^{1,2}, A. Shimizu^{1,2}, M. Nishiura¹, T. Ido³, S. Satake^{1,2} et al.

¹核融合研, ²総研大, ³九州大学

¹NIFS, ²SOKENDAI, ³Kyushu Univ.

磁場閉じ込めプラズマの「水素同位体効果」は、燃料ガス質量が大きいほどプラズマ閉じ込めが良くなるという現象であり、スケーリング予測に反する長年の未解決課題である。トカマク装置では閉じ込め時間スケーリング則に加え、閉じ込め状態遷移の閾値パワーに顕著な同位体効果が見られる。本研究では、大型ヘリカル装置 LHD において、電子温度分布に見られる内部輸送障壁 (Internal Transport Barrier; ITB) について、同位体効果を定量化し、その背景物理を議論した。

電子温度の ITB は、温度勾配に明らかな不連続点が見られるため、その存在は一見して明らかである。本研究では、加熱モジュレーション実験を行い、電子温度勾配の応答量から ITB への遷移閾値を定義した。図 1 は、モジュレーション加熱にตอบสนองする電子温度勾配の変化量を、パワー・密度比に対してプロットしたものである。パワー・密度比が低い場合には電子温度勾配の変化量は小さい。一方、あるパワー・密度比閾値を超えると、電子温度勾配の変化量がパワー・密度比に比例して大きくなる。このことは、モジュレーション加熱に同期した、ITB の生成・消滅が起こっていることを意味する。重水素と軽水素でこの閾値を比較した結果、重水素においてより低いパワー・密度比閾値でも ITB が形成されることが明らかになった[1,2]。この閾値の違いは局所輸送係数の分岐によることがわかった。

水素同位体効果の背景物理を解明するため、重イオンビームプローブ(HIBP)を用いた径電場計測を実施した。HIBP の計測位置をプラズマ中心付近に固定し、図 1 の場合と同様に加熱パワーをモジュレーションした。その結果、ITB の生成・消滅が観測される場合に、これと同期した径電場のモジュレーションが現れることがわかった。これまでの研究で、電子 ITB の形成には新古典輸送の電子ルート解への遷移と、それによる正電場構造の形成が重要であることが指摘されている。本

実験で、その電場構造形成に、強い同位体効果が現れることが示された[3]。

同位体効果に対する新古典電場の寄与を明らかにするため、局所的新古典輸送シミュレーションを実施した。その結果、新古典電場の遷移条件に有意な水素同位体効果は見られなかった。このことは、新古典電場に加え、帯状流形成など別のプロセスが同位体効果の説明に必要であることを示唆している。

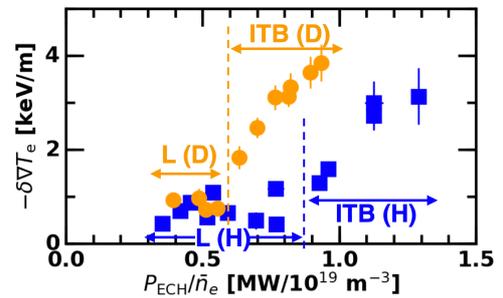


図 1. 電子 ITB のパワー・密度比閾値

- [1] T. Kobayashi et al., Nucl. Fusion **60** 076015 (2020)
- [2] T. Kobayashi et al., Plasma Fusion Res. **15** 1402072 (2020)
- [3] T. Kobayashi et al., submitted to Nat. Commun. (2021)