

LHD の NBI による D-D 核融合反応で非等方に発生したトリトンの軌道解析 Orbit Analysis of Triton Anisotropically Produced in D-D Fusion Reaction Caused by NBI of LHD

本間 崇文¹, 松本 裕¹, 關 良輔^{2,3}, 長壁 正樹^{2,3}, 小川 国大^{2,3}, 磯部 光孝^{2,3}, 山内 有¹, 富岡 智¹
Takafumi HOMMA, Yutaka MATSUMOTO, Ryosuke SEKI, Masaki OSAKABE, Kunihiro OGAWA,
Mitsutaka ISOBE, Yuji YAMAUCHI and Satoshi TOMIOKA

¹北大院工, ²核融合研, ³総研大

¹Hokkaido Univ., ²NIFS, ³SOKENDAI

[緒言] LHDの重水素実験では、バルクプラズマ中の重陽子(D)とNBIによる高速重陽子とのD-D核融合反応、およびDと反応生成物である三重陽子(T)とのD-T反応が確認されている[1]。このD-D反応で生じた1.0 MeVのTのラーマー半径は、D-T反応で生じる3.5 MeVの α 粒子と同程度である。これは、核融合装置における α 粒子の閉じ込めの模擬に、このD-D反応で生じるTが利用できることを示している。この1 MeVのTの発生率は、D(d, n)³HeとD(d, p)T反応の分岐比はほぼ等しいことから、D-D中性子の発生率(S_n^{D-D})から評価できる。また、D-T反応は重心系で相対速度が40 keV程度で最大になるため、D-T中性子は相対速度が40 keV程度のTの存在を示す指標となる。これらを考慮すると、D-D反応とD-T反応で発生した中性子発生率の比(T燃焼率: S_n^{D-T}/S_n^{D-D})が重水素プラズマ中のTの閉じ込めを反映する良い指標となることがわかる。そこでT燃焼率を調べる実験がLHD重水素実験で行われるとともに、磁気座標に基づくGNETコードを用いた解析が行われている。しかしながらGNETによるシミュレーションは、実験結果を十分に再現できていない[2]。原因として、磁気座標系では核融合反応を起こすD, Tの軌道追跡において再突入粒子を損失とみなしていること、およびビームの運動エネルギーを無視して、T発生時の速度分布を等方と仮定していることが挙げられる。本研究では、実座標に基づくモンテカルロコードによって、再突入粒子、およびT発生時の非等方な速度分布を考慮したTの燃焼および軌道の解析を行うことを目的としている。

[Tの空間分布] 単位体積あたりの核融合反応率 S は

$$S = \int \int f_{NB} f_{bulk} V \sigma(V) d\mathbf{v}_{NB} d\mathbf{v}_{bulk}$$

で求められる。ここで、 f は速度分布関数、 v は速度、 V は相対速度、 σ はD-D反応断面積である。添え字のNBはNBによる高速D、bulkはプラズマ内のDをそれぞれ示している。

Maxwell分布を仮定したバルクDプラズマに対して、NBによる高速Dが入射されたときの反応率 S を求めるモジュールを作成し、高速イオンの軌道追跡に基づくモンテカルロコード[3]に導入した。

[重心速度分布] NBIによるDとバルクプラズマのDによるD-D反応では、NBIによるDが高エネルギーであるため、発生するTの速度分布は非等方になると考えられる。そのため、Tの軌道解析を行うためには、D-D反応発生時の高速Dの速度を考慮した重心速度分布を求め、それに基づいてTの初期速度を決定する必要がある。

D-D反応を起こすイオン対の重心速度分布 F_{cm} は

$$F_{cm}(\mathbf{v}_{cm}) = \int f_{NB} f_{bulk}(\mathbf{v}_{NB}, \mathbf{v}_{cm}) V \sigma(V) d\mathbf{v}_{NB}$$

で求められる。ここで、 \mathbf{v}_{cm} は重心速度である。本研究では、重心速度分布 F_{cm} を求めるモジュールを作成し、先のモンテカルロコードに導入した。

[Tの軌道解析] 本研究では、LHD実験で行われた順方向(co)、逆方向(ctr)入射NBIの2つの放電について解析を行った。解析条件として、NBIのポートスルーパワーは1 MWとし、磁気軸位置 $R_{ax} = 3.6$ m、磁気軸上磁場強度 $B_{ax} = 2.75$ Tの真空磁場配位を用いた。まず、NBIによる高速Dの軌道解析を行い、Tの空間分布、およびD-D反応発生時の重心速度分布を求めた。得られた重心速度分布関数からT発生時の速度分布関数を求め、非等方になることを確認した。そして、非等方なTの速度分布関数から初期速度を求め、Tの軌道の解析を行っている。本講演では、これらの結果について報告する予定である。

[参考文献]

- [1] M. Isobe *et al.*, IEEE Trans. Plasma Sci. **46**, 2050(2018).
- [2] K. Ogawa *et al.*, Nucl. Fusion **59**, 076017(2019).
- [3] Y. Matsumoto *et al.*, Proc. ISHW2017, 2-17.