

# NBI 加熱 DT トカマク炉における中性子の放出方向とエネルギー分布

## Neutron emitting direction and energy distribution in NBI-heated DT tokamak reactor

内山大輔、松浦秀明、澤田大輔、中尾安幸

Daisuke Uchiyama, Hideaki Matsuura, Daisuke Sawada, Yasuyuki Nakao

九大院工

Kyushu Univ.

### 1. 諸言

炉心プラズマにおける高速イオンは核融合炉の成立において重要な役割を果たす。NBI 加熱により高速イオンが発生すると中性子放出スペクトルはガウス分布から変化することが知られている。入射ビームエネルギーが高い場合には、エネルギースペクトルの広がりに対応して放出方向の非等方性も大きくなる。エネルギースペクトルの広がりや放出方向の非等方性は、炉壁に影響を与える可能性が考えられ[1]、トカマク炉における中性子の放出を正確に評価することが重要である。トカマク炉では加熱及び電流駆動のために NBI を入射し続けるので、減速成分を含むビーム粒子の核反応から定常的に放出される中性子の評価が必要となる。

これまで 1MeV 以上のビームを想定して、ビーム入射方向と反応生成粒子の放出方向を考慮した 2 重微分放出スペクトルの評価がなされている[2]。しかし、ビーム粒子がプラズマ中で磁場の影響を受けて運動する様子は考慮されていない。本研究では、装置の形やトカマク磁場配位を考慮した上で、プラズマ中でのビーム粒子の運動を考え、中性子の放出方向及びエネルギー分布の評価を行った。減速の過程で、ビーム粒子の軌道が変化するため、ビーム粒子の正確な情報を得るには軌道計算を行う必要がある。今回は、軌道計算は行わずに反応時のビーム粒子の状態を仮定し、ビームの入射方向及びエネルギーが、トカマク炉における中性子放出方向の非等方性に及ぼす影響を定量的に評価したので報告する。

### 2. 計算方法

トカマク磁場配位を想定し、反応時のビーム粒子の位置、速度、ピッチ角（ビーム粒子の速度ベクトルと磁力線とのなす角）を仮定した。反応の微分断面積は重心系で等方的として、実験室系における放出中性子の速度ベクトルを計算し、この速度ベクトルとトロイダル軸とのなす角を中性子の放出角度とした。放出角度の計算において、トリトンの熱運動は無視した。図 1 に体系の模式図を示す。

### 3. 結果・考察

ビームの入射方向が中性子の放出角度分布に及ぼす影響を図 2 に示す。非等方性を評価するために、以下の量を定義した。

$$\xi = \left( \frac{\text{放出中性子数}}{\text{等方的な場合の放出中性子数}} - 1 \right) \times 100[\%]$$

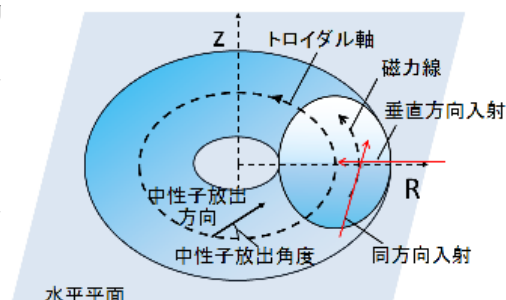


図 1 体系の模式図

ビームを磁力線と同方向に入射させた場合、ビームエネルギーを 1MeV とすると、等方的な放出と比べ、トロイダル軸方向への放出粒子数が 15% 増加することが分かった。磁力線に垂直な入射の場合は等方的な放出が確認できる。この場合、粒子は磁力線に沿って動きにくく、ほぼ同じ位置で磁力線周りを回転する。そのため、磁力線に平行に入射した場合に比べると、ビーム粒子の速度ベクトルと水平平面とのなす角度の取りうる範囲が広がり、等方的な放出になる。同方向入射の場合の、中性子の放出角度と放出エネルギーの関係を図 3 に示す。高エネルギーの中性子が放出角度の小さい方向へ放出される様子が分かる。発表では、入射ビームエネルギーが中性子放出方向の非等方性に及ぼす影響、中性子放出エネルギーについても議論を行う。軌道計算を用いて、軌道の変化を考慮した検討も加える。

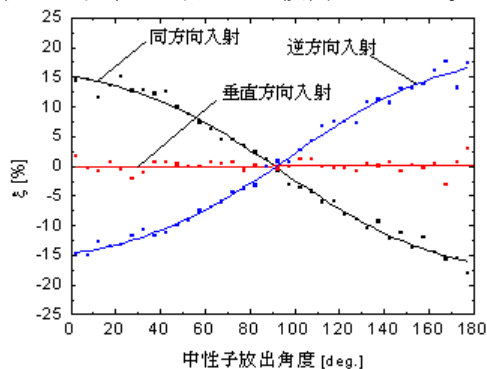


図 2 ビームの入射方向が中性子の放出角度分布に及ぼす影響

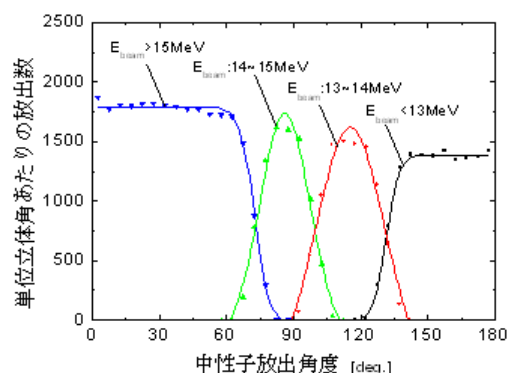


図 3 中性子の放出角度と放出エネルギーの関係（同方向入射）

[1] M. Eldrup, B.N. Sigh, S.J. Zinnkle, T.S. Byun, K. Farrell, J. Nucl. Mater. 307-311 (2002) 912.

[2] H. Matsuura, Y. Nakao, J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol.9 (2010), 48.