

NBI加熱LHD重水素プラズマにおけるイオン減速分布及び真空容器壁入射中性子スペクトルへの磁場配位の影響

Effect of magnetic field configuration on ion slowing-down distribution and incident neutron spectra on vacuum vessel in NBI-heated LHD deuterium plasmas

杉山翔太, 松浦秀明, 後藤拓也^{1,2}, 鈴木康浩^{1,2}, 小川国大^{1,2}, 長壁正樹^{1,2}, 相良明男^{1,2}
 Shota SUGIYAMA, Hideaki MATSUURA, Takuya GOTO^{1,2}, Yasuhiro SUZUKI^{1,2},
 Kunihiro OGAWA^{1,2}, Masaki OSAKABE^{1,2}, Akio SAGARA^{1,2}

九大院工, 核融合研¹, 総研大²
 Kyushu Univ., NIFS¹, SOKENDAI²

トーラス装置では第一壁への入射中性子束や壁負荷が壁面位置によって異なる [1, 2]。これに加えて中性子放出の非等方性や、ヘリカル型装置では複雑な真空容器形状が、真空容器への入射中性子スペクトルの入射位置、角度依存性に影響を及ぼす [3]。中性子スペクトルの真空容器壁面位置及び入射角度依存性を明らかにすることは、中性子計測による高速イオン診断 [4] や炉内機器の保守等を考える上で重要である。NBI加熱等で燃料イオン分布関数に非等方的な高速イオンテイルが形成される場合、核融合反応で生成される中性子放出スペクトルも非等方性を持つ [3, 5]。高速イオンによる核融合反応が熱核反応に比べて支配的なプラズマでは、中性子放出スペクトルはガウス分布とは大きく異なる。また、イオンの運動や散乱による減速は、磁場配位やプラズマ密度・温度等に影響を受けるため、結果としてイオン分布関数の変化を介して入射中性子スペクトルも磁場配位等の影響を受けることが考えられる。従って高速イオン減速分布を正確に評価、考慮した上で中性子スペクトルの解析を行うことが必要であるが、こうした解析はこれまで十分に行われていない。本研究では新たに、粒子軌道解析を行うことで、イオンの散乱による速度変化及びLHD磁場中の運動を考慮して中性子スペクトルを評価できる解析モデルを構築した。これに基づき、NBI加熱LHD重水素プラズマを想定し、幾つかの磁場配位に対してビーム重陽子減速分布及び真空容器壁への入射中性子スペクトルの評価を行う。

平均電子密度 $2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、温度 5 keV、磁気軸位置 3.6 m の LHD 重水素プラズマに 180 keV の重陽子ビームを 5 MW で接線方向に入射した場合を想定して計算を行った。MHD 平衡解析には VMEC を、重陽子イオン発生分布の計算には FIT3D を、粒子軌道解析には DELTA5D コードを使用した。Fig. 1 にプラズマ全体から発生する中性子の二重微分放出スペクトルをエネルギー E_n とトロイダル軸に対する放出角 χ の関数として示す。非等方的なビーム重陽子減速分布の影響により中性子スペクトルにも非等方性が現れており、ビーム入射方向と同方向 ($\chi = 0^\circ$) に高エネルギー成分の大部分が集中している。放出スペクトルは燃料イオン分布関数に依存し、その非等方性は真空容器壁への入射位置及び入射角分布に影響を及ぼす。発表では、壁面位置毎の入射中性子束及び入射角分布を示し、中性子スペクトルへの磁場配位の影響を議論する。

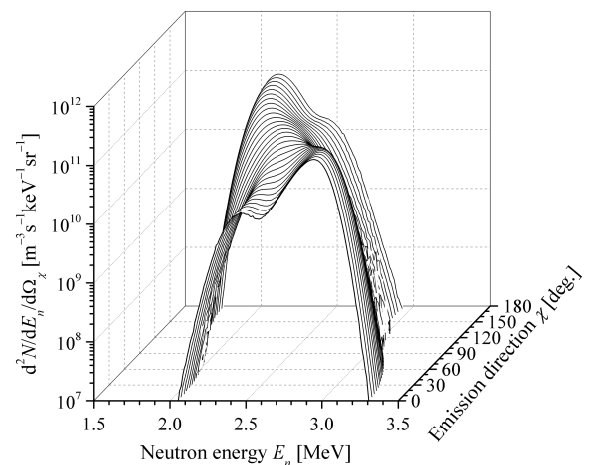


Fig.1 Volume-averaged double differential neutron emission spectrum.

- [1] P. P. H. Wilson, et al., Fusion Eng. Des. **83**, 824 (2008).
- [2] J. C. Rivas, et al., Fusion Sci. Technol. **64** 687 (2013).
- [3] S. Sugiyama, et al., Plasma Fusion Res. **11** 2403049 (2016).
- [4] C. Hellesen, et al., Nucl. Fusion **50** 022001 (2010).
- [5] P. R. Goncharov, Nucl. Fusion **55** 063012 (2015).