

NBI加熱重水素プラズマにおける中性子束空間分布計測 に基づく重陽子速度分布関数の観測法

Deuteron velocity distribution function observation method based on spatial neutron flux profile measurement in deuterium-beam-injected deuterium plasmas

直井基将¹, 松浦秀明¹, 浦川知己¹, 西谷健夫², 小川国大^{3,4}, 磯部光孝^{3,4}, 長壁正樹^{3,4}

NAOI Motomasa¹, MATSUURA Hideaki¹, URAKAWA Tomoki¹, NISHITANI Takeo²,

OGAWA Kunihiko^{3,4}, ISOBE Mitsutaka^{3,4}, OSAKABE Masaki^{3,4}

¹九大院工, ²名大工, ³核融合研, ⁴総研大

¹Kyushu Univ., ²Nagoya Univ., ³NIFS, ⁴SOKENDAI

[緒言]

重水素プラズマでは、放出される中性子はD(d,n) α 反応により生成され、中性子放出スペクトルは重陽子速度分布関数を反映する。ビーム等の影響により重陽子速度分布関数上に非Maxwellian成分が形成された場合、中性子放出スペクトルはGauss分布からビーム入射(反対)方向で高(低)エネルギー側へ歪み[1]、真空容器外の中性子束空間分布にも中性子非等方放出の影響が現れる。近年のLHD重水素実験において、検出器の計測値の差から中性子非等方放出が確認されている[2,3]。重陽子速度分布関数の情報が中性子の到達した位置の情報に残されている場合、真空容器外の中性子束空間分布計測により重陽子速度分布関数の情報が得られる可能性がある。中性子束計測は中性子エネルギー分布の積分値を測定し、検出器を真空容器外に設置可能であるため測定が容易であるが、プラズマから放出された中性子が検出器に入るまでに散乱・減速により情報が失われる。軽水素ビーム入射時の重水素プラズマにおいて、核弾性散乱により燃料イオン速度分布関数上に形成されるノックオンテイルを対象に中性子束空間分布を用いた中性子非等方放出の推定法が提案された[4]。本研究では、プラズマ加熱として一般的に使用される負イオン源重水素ビーム(Negative-NB)を接線方向に入射した時のJT-60SAを想定し、中性子束空間分布計測に基づく高速イオン診断手法の有効性を検討する。

[解析方法]

NBI加熱時におけるビーム入射方向分布とエネルギー分布をもつ2次元重陽子速度分布関数の計算にはFokker-Planck方程式から導かれる解析解を利用した[5]。得られた重陽子速度分布関数に基づいて二重微分中性子放出スペクトル[6]を計算し、二重微分中性子放出スペクトルを中性子源として、Fig. 1に示すJT-60SAの遮蔽ブランケット構成を模擬した体系において汎用中性子輸送計算コードMVP[7]により真空容器外のポロイダル角に対する中性子束空間分布を計算した。核データはJENDL-4.0[8]を使用した。

[検討結果]

本検討では、中性子束空間分布に中性子非等方放出の情報が十分に残っているかを確認し、中性子束空間分布に大きく影響するプラズマパラメータを調べた。Fig. 2にNBIエネルギー E_{NBI} が500 keVの場合の真空容器外の中性子束空間分布を示す。比較のために中性子が等方に放出された場合についても示す。ここで電子温度 $T_e = 5$ keV、電子密度 $n_e = 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、NBIパワー $P_{NBI} = 33$ MWとした。NBIを入射した場合、入射方向の中性子放出が多くなり、赤道面から上部にかけて中性子束が小さくなると予想されるが、その傾向がFig. 2の結果にも現れておりその差は高速イオン診断に適用できる可能性がある。今後はより実際の体系に近づけて解析を行う必要がある。

発表では E_{NBI} 以外のパラメータについても中性子束空間分布への影響を議論する。

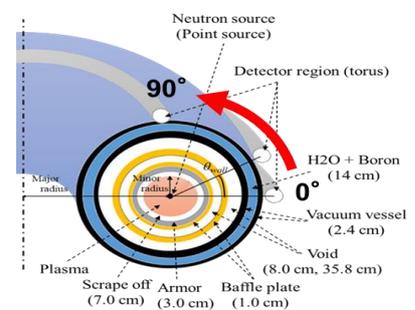


Fig. 1 : Calculation system simulating JT-60SA

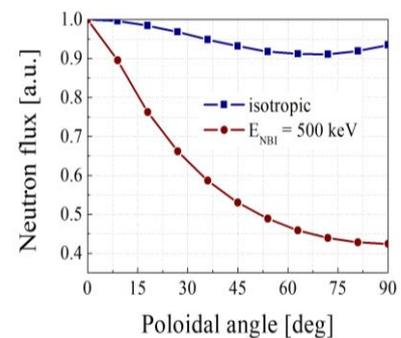


Fig. 2 : Comparison of spatial neutron flux profile for E_{NBI}

- [1] J. Källne, et al., Phys. Rev. Lett. **85** (2000) 1246. [2] T. Nishitani, et al., IEEE Trans. Plasma Sci. **47** (2018) 2301.
 [3] S. Sugiyama, et al., Nucl. Fusion **60** (2020) 076017. [4] T. Urakawa and H. Matsuura, J. Plasma Fusion Res. **16** (2021) 2405064.
 [5] J. D. Gaffey, J. Plasma Phys. **16** (1976) 149. [6] H. Matsuura and Y. Nakao, J. Plasma Fusion Res. **9** (2010) 48.
 [7] Y. Nagaya, et al., JAERI (2005) 1348. [8] K. Shibata, et al., J. Nucl. Sci. Technol. **48** (2011) 1.