

## TST-2 球状トカマクにおける硬 X 線計測システムの開発 Development of a hard X-ray measurement system on the TST-2 spherical tokamak

富樫央<sup>1</sup>, 江尻晶<sup>1</sup>, 高瀬雄一<sup>1</sup>, 辻井直人<sup>1</sup>, 曾根原正晃<sup>2</sup>, 矢嶋悟<sup>2</sup>, 吉田裕亮<sup>2</sup>, 高橋航<sup>1</sup>,  
戸井田和弥<sup>1</sup>, 山崎響<sup>1</sup>, 北山明親<sup>1</sup>, 佐藤暁斗<sup>1</sup>, 武井悠稀<sup>2</sup>, 田尻芳之<sup>1</sup>, 松本直希<sup>1</sup>, Roidl Benedikt<sup>1</sup>  
H. Togashi, A. Ejiri, Y. Takase, N. Tsujii, et al.

<sup>1</sup> 東大新領域, <sup>2</sup> 東大理

<sup>1</sup>Frontier Sci., UTokyo, <sup>2</sup>Science, UTokyo

球状トカマクにおいて効率的な非誘導電流立ち上げを実証するため、TST-2 では低域混成波 (LHW) を用いた実験を行っている [1]。これまでの実験結果から、LHW が生成する少数の高速電子がプラズマ平衡の大部分を担っていることが示唆されている [2]。平衡や LHW の伝搬・吸収を理解し、より高い電流値を達成するためには、高速電子由来の硬 X 線のエネルギー流束スペクトルを計測することが重要である。そこで本研究では、TST-2 において硬 X 線計測システムの開発を行った。

TST-2 では数十 keV の硬 X 線を計測するために 3 mm 厚の薄いホウケイ酸ガラスを計測窓として使用している。この窓を用い、しかも広い範囲での分布計測を可能とするには、システムをコンパクトにして、トロイダル磁場 (TF) コイル内側の空間に配置しなければならない。硬 X 線計測においてはシンチレータと光電子増倍管 (PMT) を用いるのが一般的であるが、PMT のゲインは磁場の影響を大きく受けるため、TF コイル内部に設置することはできない。そこで、アクリルライトガイドを用いて、磁場の影響を受けずに高エネルギー分解能 (誤差  $\pm 10\%$  以下) での分布計測が可能な硬 X 線計測システムを開発した (図 1)。

このシステムを用いてプラズマ計測を行ったところ、高速電子の速度分布関数をマクスウェル分布だと仮定した時の実効的な温度  $T_{\text{eff}}$  [keV] は 10–100 keV 程度であり、プラズマ中心部を臨む視線において、プラズマ電流  $I_p$  [kA] のおおよそ 5 倍となる依存性が示された (図 2)。今回得られた高速電子の実効温度と、トムソン散乱計測や平衡再構成コード EFIT などの結果を併せると、高速電子の実効的な密度は  $10^{15} \text{ m}^{-3}$  のオーダーであり、バルク電子に対する存在比は 0.1 % のオーダーであると計算された。また、LHW によって生成された高速電子がバルク電子の加熱源となり得ることが 0 次元モデルによって示唆された。光線追跡コード GENRAY およびフォッカープランクコード CQL3D を用い、プラズマ電流が実測値 ( $I_p \sim 10 \text{ kA}$ ) を再現した際の硬 X 線のエネルギー流束分布の予測結果と実験結果を比較したところ、分布形状は実験結果と同様に装置中心側の視線ほど高い値となり、絶対値は同オーダーとなった。この時に計算された電流密度は、規格化小半径  $\rho = 0.4\text{--}0.7$  の範囲で高い値となる分布であり、プラズマ周辺部での LHW の吸収が示唆された。

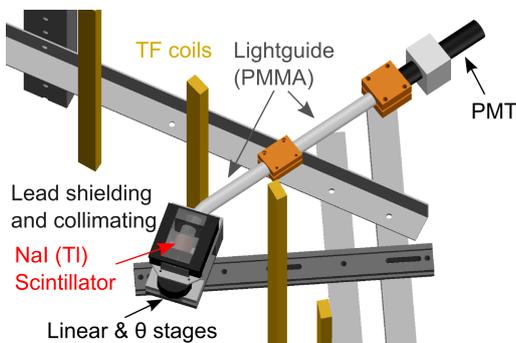


図 1. 開発した硬 X 線計測システムの概略図。

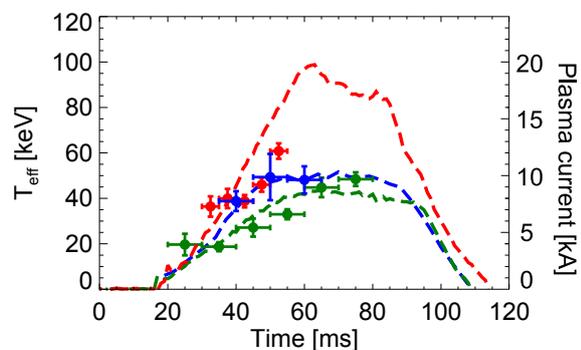


図 2. 高速電子の実効温度 (●) およびプラズマ電流 (破線)。

[1] T. Shinya *et al.*, Nucl. Fusion **55**, 073003 (2015).

[2] H. Togashi *et al.*, Plasma Fusion Res. **10**, 1202082 (2015).