

# 23Pa32

## 球状トカマク中の高エネルギー電子観測用 二次元硬X線計測器開発と初期結果

### Development and initial result of the two-dimensional hard X-ray detector for observing high-energy electrons in spherical tokamaks

王 洋<sup>1</sup>, 恩地 拓己<sup>2</sup>, 花田 和明<sup>2</sup>, 張 逸凡<sup>1</sup>, 関谷 泉<sup>2</sup>, 池添 竜也<sup>2</sup>, 出射 浩<sup>2</sup>  
WANG Yang<sup>1</sup>, ONCHI Takumi<sup>2</sup>, HANADA Kazuaki<sup>2</sup>, ZHANG Yifan<sup>1</sup>, SEKIYA Izumi<sup>2</sup>,  
IKEZOE Ryuya<sup>2</sup>, IDEI Hiroshi<sup>2</sup>  
(1)九大総理工, (2)九大応力研

(1) IGSES, Kyushu Univ., (2) RIAM, Kyushu Univ

#### 1. 研究目的

球状トカマク QUEST では 28GHz-RF 入射により、電子サイクロトロン加熱(ECH)/電流駆動実験が行われている。実験では高エネルギー電子が発生し、相対論的ドップラー共鳴効果を介してプラズマ電流と逆方向(FW)及び同方向(BW)に運動する電子の加熱に差異が来ると、正味の電流が流れる。プラズマ電流発生機構の実験的な解明には、高エネルギー電子の空間・エネルギー分布を理解する必要がある。本研究では制動放射硬 X 線 (HX) (計測エネルギー範囲: 50-200 keV) を観測するための計測器を開発している。

#### 2. 研究方法

HX 線の測定には、二次元検出器 HEXITEC (Quantum Detectors 社製) を利用した。この計測器は CdTe 半導体が 80 × 80 個並んだ X 線計測器アレイであり、エネルギー帯域は 4 - 200 keV である。ピンホールカメラの原理を使って、X 線カウント数及びエネルギースペクトルの空間分布を 5,000 FPS で計測する。QUEST 真空容器内 (R = 1.4 m) の広範囲を計測するために、大半径方向に R = 1.085 m でセンターポスト(CP) 両側を視野としている。ピンホール部はタングステン合金であるヘビーアロイ (厚さ: 20 mm) で作成し、側面遮蔽部には鉛 (厚さ: 60 mm) を設置した。このシールドは 200 keV の X 線を 97%, 500 keV の X 線を 48% 遮蔽でき、HEXITEC をその内部に設置した。

#### 3. 研究結果

HEXITEC の検出性能を調べるため、既設の一視線 (R = 0.6 m: CP の FW 方向) HX 計測 (CdTe 検出器) と同時に測定した。図 1 に、プラズマ電流・ループ電圧、X 線カウント数の時間発展を示す。プラズマは ECH により生成され、プラズマ電流はトロイダル方向時計回りに流れている。X 線はプラズマ生成時に発生し、カウント数とプラズマ電流と共に上昇傾向にある。図 2 に示す HEXITEC 及び CdTe 検出器のエネルギー vs カウント数のスペクトルには、タングステンの特性 X 線 ( $K_{\alpha}$ : 59 keV;  $K_{\beta}$ : 67 keV) を観察でき、高エネルギー電子が QUEST 内部に設置されたタングステンに衝突していることが示唆される。二次元計測から、ECH パワー入射時は局所的な HX 放射が観測されており、真空容器壁 (大気浴射スプレイトングステン)、内側リミッター・外側リミッター (タングステン) などが考えられる。図 3 では CP 上の内側リミッターから局所的な HX 線の放射が観測されている。また、図 3 では、閉磁気面と推定される HX 像が観測された。像には CP の両側で非対称性があり、プラズマ電流を担う電子のドリフト方向 (反時計回り方向) の強度が強い。この非対称性は、高エネルギー電子から放出される制動放射強度の非対称性であると考えられる。閉磁気面内、高エネルギー電子のドリフト方向がトロイダル方向に非対称であり、反時計回りに移動する電子が多いことを示している。これはプラズマ電流を担う電子のドリフト方向と一致するため、高エネルギー電子の運動によってプラズマ電流が維持されている事が示唆される。講演では、実験結果の詳細を述べる。

フト方向 (反時計回り方向) の強度が強い。この非対称性は、高エネルギー電子から放出される制動放射強度の非対称性であると考えられる。閉磁気面内、高エネルギー電子のドリフト方向がトロイダル方向に非対称であり、反時計回りに移動する電子が多いことを示している。これはプラズマ電流を担う電子のドリフト方向と一致するため、高エネルギー電子の運動によってプラズマ電流が維持されている事が示唆される。講演では、実験結果の詳細を述べる。

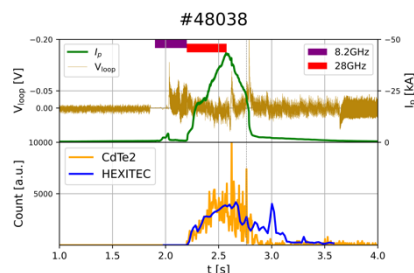


図 1. ショット 48038 の波形

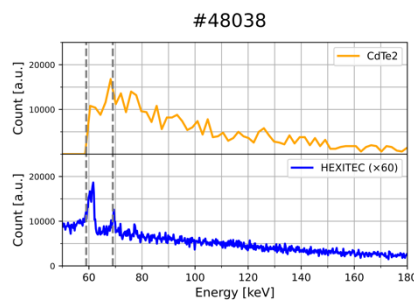


図 2. HEXITEC 及び CdTe 検出器のエネルギー vs カウント数のスペクトル

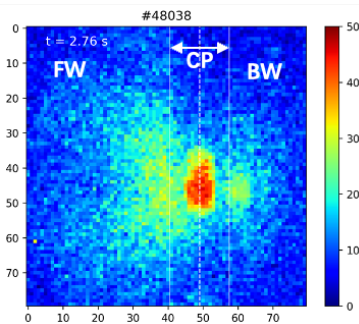


図 3. ショット 48038 の t = 2.76s の画像