

# QUESTにおける電子サイクロトロン加熱によるプラズマ電流立ち上げ時の電子の運動エネルギー変化の観測

小島信一郎<sup>1</sup>, 花田和明<sup>2</sup>, 恩地拓己<sup>2</sup>, 出射浩<sup>2</sup>, 中村一男<sup>2</sup>,  
長谷川真<sup>2</sup>, 永島芳彦<sup>2</sup>, 黒田賢剛<sup>2</sup>, 江尻晶<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院総合理工学府, <sup>2</sup>九州大学応用力学研究所, <sup>3</sup>東京大学大学院新領域創成科学研究科

## 1. 研究背景、目的

球状トカマクでは、中心ソレノイドコイルの断面積が小さくオーミック加熱によるプラズマ電流立ち上げに不向きであるため、九州大学の球状トカマク実験装置QUESTでは、28 GHz第二高調波による電子サイクロトロン加熱(ECH)、電流駆動(ECCD)による非誘導プラズマ電流立ち上げの研究を行っている。電子サイクロトロン共鳴条件は、以下のように記述される。

$$\omega - k_{\parallel}v_{\parallel} - \frac{n\Omega_{ce}}{Y} = 0 \quad (1)$$

ここで、式(1)からわかるように電子の運動エネルギー及びピッチ角に依存するため、共鳴条件に合う高い運動エネルギーを持つ電子(以下テール電子と呼ぶ)は電磁波により加熱される。また、共鳴条件には磁場も含まれており、共鳴の起こる場所にはエネルギー依存性が存在する。このため、どのような電子がどこで電磁波のエネルギーを吸収し、電流駆動に寄与しているのかを調べることは重要である。この目的のため、広範囲のエネルギーを持つ電子からの放射を時間分解能良く観測する必要がある。そこで、時間分解能、空間分解能が高く、赤外光から10 keV程度の軟X線まで計測可能なAXUVフォトダイオードアレイを観測に用いた。比較的低エネルギーで密度の高いバルク電子とテール電子双方からの放射を検出できるAXUVは、トムソン散乱計測、硬X線計測との比較によりどちらからの放射がより主要となっているかが判断でき、プラズマ電流を担う電子のエネルギーを評価できると考えた。

## 2. 計測装置

AXUVは全16chあり、時間分解能は電流-電圧アンプの遮断周波数に依存しており300 kHzである。AXUVの測定視野は広く、真空容器の約半分の領域をカバーし、接線方向から上下に分割するように視線が取られている。トムソン散乱計測は、100 msecおきに測定を行う。測定点は真空容器径方向にR=340, 470, 618, 770, 1082 mmである。

## 3. 実験結果

図1に典型的な波形を示す。予備電離のため、クライストロンにて出力20 kW、周波数8.2 GHzの高周波を真空容器に入射し、一部重畳してジャイロトロンにて出力200 kW、周波数28 GHzの高周波を入射した。28 GHzの第二高調波共鳴層は、大半半径R=320 mm、トロイダル磁場B<sub>T</sub>=0.5 Tに位置しており、電流立ち上げ初期にはこの共鳴位置でプラズマが生成され、電流が駆動され始める。プラズマ電流がほとんど一定である1.92 secから2.2 secまでAXUV信号、電子温度共に増加しており、AXUV信号は、1.97 secにて最大となる。その後、AXUV信号、バルク電子温度共に減少し、硬X線カウント数の上昇が確認された。硬X線はテール電子からの放射を受けているので、バルク電子温度減少後の電流上昇は、テール電子の増加によるものと考えられる。

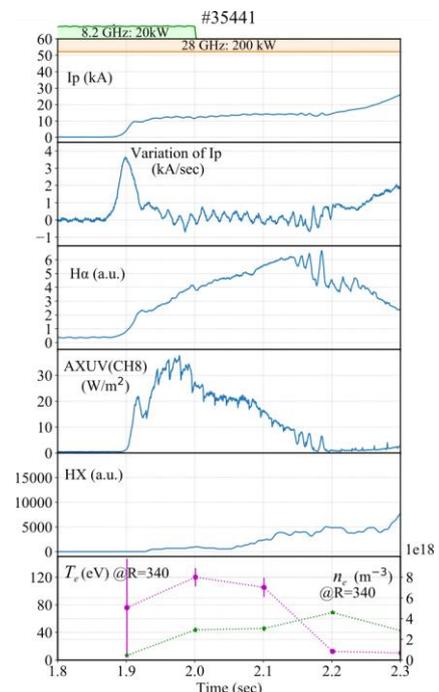


図1: 解析した代表的なショットの時間発展上からプラズマ電流、プラズマ電流微分信号、水素のバルマー系列の発光であるH $\alpha$ 線強度、AXUV信号、軟X線強度、硬X線放射強度、トムソン散乱計測で得られたバルク電子温度・密度