

QUESTにおける斜めECE観測のアダプティブアレイ解析 Oblique ECE adaptive-array analysis in QUEST

坂井聖也¹⁾、出射浩²⁾、福山雅治¹⁾、恩地拓己²⁾、武田康佑¹⁾、張逸凡¹⁾、
ZENNIFA Fadilla²⁾、池添竜也²⁾、花田和明²⁾、長谷川真²⁾、黒田賢剛²⁾
Seiya SAKAI¹⁾, Hiroshi IDEI²⁾, Masaharu FUKUYAMA¹⁾, Takumi ONCHI²⁾, Kosuke
TAKEDA¹⁾, Yifan ZHANG¹⁾, Ryuya IKEZOE²⁾ et al.

¹⁾九大総理工、²⁾九大応力研

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

球状トカマク装置QUESTでは、28 GHz 電子サイクロトロン波 (ECW)によるプラズマ電流立ち上げ、加熱/電流駆動(ECH/CD)を行なっている。ECWの斜め入射により、高速電子を効率よく生成して高電流プラズマを、準垂直入射にて高電子温度プラズマを立ち上げている。準垂直入射による高電子温度プラズマは生成・維持が難しく、電子温度が減少し、プラズマ電流が増加しやすい。

高速電子から相対論的ドップラーシフト共鳴条件を満たす周波数において、比較的強い電子サイクロトロン放射 (ECE)が生じる。その放射率は電子の磁場平行方向の速度成分に大きく依存するため、斜め視野のECE 観測にて、磁場平行方向速度が大きな高速電子の発展を捉えられると考えられる。合成開口 (位相配列) アンテナで、プラズマ電流順・逆方向視野及び、垂直視野のECEを同時観測し、プラズマ電流に寄与する高速電子、バルク電子の発展を捉えるため、3×3 位相配列アンテナシステムを開発した。熱雑音放射を用いた原理実験を経て、ECW を用いたプラズマ電流立ち上げ実験時の ECE 観測を開始した。

3×3 位相配列アンテナシステムの測定周波数範囲は 7~14 GHzで、基本波 ECE の観測位置は、相対論的ドップラーシフト効果を考慮すると、主半径 R が 0.32~0.65 m ($R=0.32$ m はセンターポスト位置)となる。位相配列受信のアダプティブアレイ解析にて、プラズマ電流順・逆方向視野、垂直視野の受信ローブを能動制御する。アダプティブアレイ解析には受信波の位相情報が不可欠で、I/Q 信号をストリーミング受信できるソフトウェア受信機 (SDR)を用いた計測システムを構築した。シングルサイドバンドミキサーを用い、ヘテロダイン検波した 70 MHz の中間周波数帯波を、サンプリングレート 1MS/sで、7MS・7秒間、ECE の I/Q 信号を取得した。

図 1 に28GHz 準垂直入射時のプラズマ立ち上

げ実験時に観測された、1024 点平均のECE強度、プラズマ電流 I_p 、位相配列アンテナの中心ポートを基準とした他ポートの1024 点平均の位相、電子線積分密度 $n_e L$ 、 $R=0.58$ m 位置での電子温度 T_e の時間発展を示す。この放電では準垂直入射にもかかわらず、プラズマ立ち上げ時の電子温度は低いが、3.26 s (3度目) のプラズマ電流減少イベント後、ECE 強度が上昇した。電子温度は、このイベント前に上昇を始めている。高速電子によるプラズマ電流の減少時 (3.26 s) まわりで、バルク電子加熱、及び閉じ込めの変化が起きている。高速カメラにて、電流減少イベント時の強い発光、バルク電子上昇時における発光の様子の変化が観測された。3.26 s 後、ポート信号間位相が変化しており、輻射位置・到来角の変化が示唆される。高速・バルク電子加熱、及びその閉じ込めの変化を議論するため、今後、プラズマ電流減少時の輻射波の到来角変化を検証する。

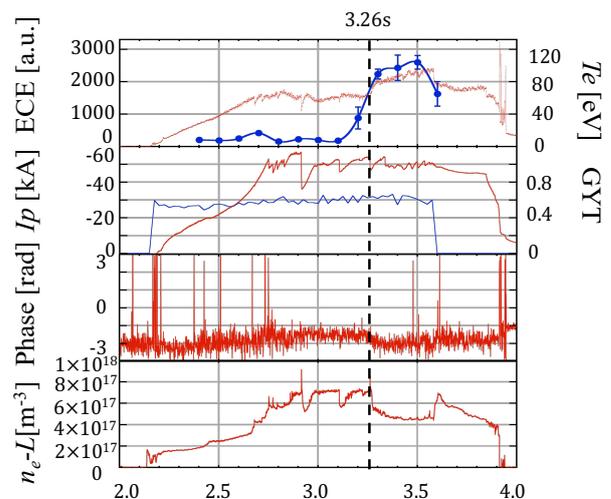


図 1 QUEST 放電時の
プラズマパラメータの時間発展