

JT-60Uにおける遅波のイオンサイクロトロン放射を駆動する高速イオンの同定  
**Identification of Fast Ions Driving Ion Cyclotron Emissions  
 on the Slow Wave Branch in JT-60U**

隅田 脩平<sup>1</sup>, 篠原 孝司<sup>1,2</sup>, 市村 真<sup>3</sup>, ビアワーゲ アンドレアス<sup>1</sup>, 坂東 隆宏<sup>1</sup>, 井手 俊介<sup>1</sup>  
 S. Sumida<sup>1</sup>, K. Shinohara<sup>1,2</sup>, M. Ichimura<sup>3</sup>, A. Bierwage<sup>1</sup>, T. Bando<sup>1</sup>, S. Ide<sup>1</sup>

<sup>1</sup>量研, <sup>2</sup>東大, <sup>3</sup>筑波大プラ研

<sup>1</sup>QST, <sup>2</sup>Univ. Tokyo, <sup>3</sup>PRC, Univ. Tsukuba

高速イオンが駆動するイオンサイクロトロン放射(ICE)の励起過程を理解できれば、核融合炉における高速イオンの診断法として利用できる。一般的なICEは磁気音波型サイクロトロン不安定性(MCI)によって、分散関係が速波に属する波動の励起現象だと考えられている。その一方で、JT-60Uにおいて負イオン源中性粒子ビーム(N-NB)入射時に、遅波に属する波動のICEが観測された[1]。この遅波のICEの場合はMCIではなく、アルヴェンイオンサイクロトロン(AIC)不安定性[2]という、非等方な速度分布を持つイオンによって引き起こされる遅波の不安定性の可能性はある。AIC不安定性は主に磁気ミラープラズマや磁気圏プラズマで観測される不安定性であるが、環状プラズマではまだ報告されていない。そのため、遅波ICEの励起過程の解明は、ICEを用いた高速イオン診断への応用だけでなく、より一般的な高速イオンとイオンサイクロトロン周波数帯波動の相互作用の理解に向けても重要である。本研究の目的は、遅波ICEの励起過程の解明に必須である、駆動イオンを同定することである。

遅波ICEの駆動イオンは、サイクロトロン周波数が観測周波数に近い、DD核融合生成高速Tイオンか、N-NB入射起因の高速Dイオンだと予測される。そこで、粒子軌道追跡コードにより各高速イオンの速度分布を評価し、一様プラズマ近似の分散式計算コード[3]を用いて遅波が不安定になるか調べた。さらに、その分散関係の計算結果と実験観測値の比較により、駆動イオンを同定した。

図1に遅波ICEが観測された放電条件で計算した、様々な周波数での遅波の線形成長率 $\text{Im}(\omega/\Omega_{cd})$ の径方向分布を示す。規格化小半径0.05刻みで、各位置でのプラズマパラメータと高速イオン速度分布を基にして、成長率を計算した。ここでは、遅波の伝搬方向は成長率が最大となる磁力線平行方向を仮定している。DD核融合生成Tイオンは遅波の不安定化に寄与できていない。一方で、N-NB入射Dイオンは高い成長率で遅波を不安定化できることを示している。さらに、規格化小半径0.3~0.5の範囲では、高成長率領域の周波数が観

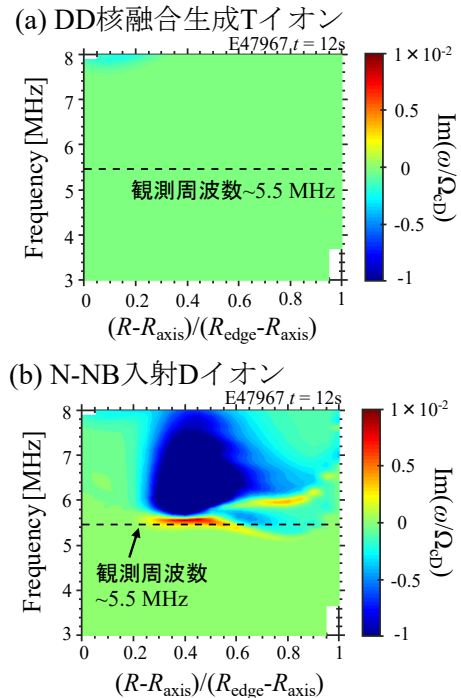


図1. 遅波ICE観測時の(a) DD核融合生成Tイオンと(b)N-NB入射Dイオンの速度分布を用いて計算した、遅波の線形成長率 $\text{Im}(\omega/\Omega_{cd})$ の径方向分布。ここでは、様々な周波数で成長率を計算しており、成長率が正の値は遅波が不安定になることを意味する。横軸の $R_{\text{edge}}$ と $R_{\text{axis}}$ はそれぞれ低磁場側最外殻磁気面と磁気軸での大半径位置 $R$ である。破線は観測周波数( $\sim 5.5\text{MHz}$ )を示している。

測周波数に一致する。以上により、遅波ICEの駆動イオンはN-NB入射Dイオンであると考えられる。N-NB入射Dイオンの速度分布は強い非等方性を有するため、遅波ICEがAIC不安定性で説明できる可能性を初めて示した。

本研究は JSPS 科研費(20K14447)の助成を受けている。また、本研究成果は、日本原子力研究開発機構のスーパーコンピュータ「ICE X」を利用して得られた。

[1] M. Ichimura *et al.*, Nucl. Fusion **48**, 035012 (2008).

[2] G. R. Smith, Phys. Fluids **27**, 1499 (1984).

[3] S. Sumida *et al.*, Proc. 45th EPS Conf. on Plasma Physics (Prague, Czech, 2018) P2.1002. (2018).