

# JT-60U におけるイオンサイクロトロン放射の解析

隅田 脩平, ジャン ソウオン  
筑波大学プラズマ研究センター

等方からずれた速度分布を持つプラズマは、自発的に波動を励起し、その非等方性を緩和する。核燃焼プラズマでは、中心付近で生成された高エネルギーイオンの内、ある範囲のピッチ角を持つ高エネルギーイオンだけはドリフト軌道を描き最外殻磁気面近傍に到達する。そこでの速度分布は非等方になり、イオンサイクロトロン放射(Ion Cyclotron Emission : ICE)と呼ばれる波動が自発的に励起される。ICE は高い放射線環境下においても観測できるため、将来の核燃焼実験における核融合反応率などの受動的なプラズマ診断法の一つとして期待されている。

JT-60U の DD プラズマ実験では、イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)高周波加熱用の複数のアンテナを磁気プローブとして利用することで、これまでに DD 核融合反応生成物(ヘリウム 3、トリチウム、プロトン)に起因する ICE(<sup>3</sup>He)、ICE(T)、ICE(P)とプラズマ加熱に用いた NBI 起因の ICE(D)を同定した[1,2]。測定された ICE の周波数と磁力線方向の波数との分散関係から、ICE(<sup>3</sup>He)と ICE(P)は、JET や TFTR の DT プラズマ実験で観測された ICE( $\alpha$ )[3,4]と同様にアルベン速波に属すること、また、ICE(T)はアルベン遅波に属する波動であることが示唆されている。

ICE の励起機構をより詳細に議論するために、有限なピッチ角を持つ少数の高エネルギーイオンが存在するプラズマ中に励起される波動の分散式を解くコードを開発した。少数イオンの速度分布関数  $f_{\text{minority ion}}$  を、以下の式のように与えた。

$$f_{\text{minority ion}} = \frac{1}{2\pi^{3/2}uv_r} \exp\left(-\frac{(v_{\parallel} - v_d)^2}{v_r^2}\right) \delta(v_{\perp} - u)$$

ここで、 $v_d$  と  $u$  は少数イオンの磁力線に平行方向の速さと垂直方向の速さ、 $v_r$  は磁力線方向の速度の広がりを示し、少数イオンのピッチ角は  $\tan^{-1}(u/v_d)$  で表される。この分散式計算コードに JT-60U の最外殻磁気面付近の典型的なパラメータを代入して計算することで、ICE(<sup>3</sup>He)と ICE(T)はそれぞれアルベン速波とアルベン遅波として不安定となることが明らかとなった。また、少数イオンのピッチ角によって、不安定になる周波数が変化することが分かった。本講演では、この分散式計算コードにより計算された ICE の分散関係の詳細な特徴や、実験で得られた分散関係と比較した結果について報告する。

## 参考文献

- [1] M. Ichimura *et al.*, Nucl. Fusion, **48**, 035012 (2008).
- [2] S. Sato *et al.*, Plasma Fusion Res., **5**, S2067 (2010).
- [3] G. A. Cottrell *et al.*, Nucl. Fusion, **33**, 1365 (1993).
- [4] S. Cauffman *et al.*, Nucl. Fusion, **35**, 1597 (1995).