

# GAMMA 10/PDX における ICRF 差周波波動励起時の 荷電交換中性粒子分析器を用いたイオンエネルギー分布の評価

## Evaluation of ion energy distribution with a Charge Exchange Neutral Particle Analyzer during ICRF Difference-Frequency wave excitation at GAMMA 10/PDX

杉本勇大, 平田真史, Kim Doyeon, 小澤宇旦, 市村真, 江角直道, 東郷訓, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹  
Y. Sugimoto, M. Hirata, D. Kim, T. Kozawa, M. Ichimura, *et al.*

筑波大学プラズマ研究センター  
PRC, Univ. Tsukuba

DEMO 炉実現に向けたプラズマ-壁相互作用の物理解明が急務となっている中で、直線型プラズマ装置はダイバータ模擬装置として活用されている。しかしプラズマパラメータとして、高密度プラズマ( $\geq 10^{19} \text{ m}^{-3}$ )において比較的高いイオン温度( $T_i \sim 100 \text{ eV}$ )が期待されている一方で、このパラメータを達成している直線型装置はまだ無い。

プラズマの加熱方法の1つとして、イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)の遅波が用いられている。これはサイクロトロン共鳴による波動の吸収を利用しており、加熱効率が良いという利点がある。直線型プラズマ閉じ込め装置 GAMMA 10/PDX では、ICRF 遅波を用いた加熱により低密度領域( $< 10^{19} \text{ m}^{-3}$ )で、磁力線垂直方向に数 keV のイオン温度を達成している。また、ICRF 加熱は定常運転に適していることから DEMO 炉のダイバータを模擬した高温高密度直線型装置での加熱方法の候補であると考えられる。しかし、高密度領域( $\geq 10^{19} \text{ m}^{-3}$ )においては、アンテナによるプラズマ中心部での遅波励起が困難になるという問題が指摘されている[1]。また、高密度プラズマにおいて遅波による顕著な加熱効果は現在確認されていない。

そこで適用可能な方法として、高密度プラズマでもアンテナから励起が可能であるアルベン速波を異なる周波数で2つ用い、それらの差周波数を持つ波動(差周波波動)をICRF遅波として励起し、イオンを加熱する方法を検討している。

本実験では、イオンサイクロトロン周波数である 6.36 MHz を持つ差周波波動を励起するため、プラズマ生成に使用している 9.9 MHz の速波に加え、16.26 MHz の速波をプラズマ中に励起させた。これまでの実験で反磁性量の増加や差周波波動の励起が確認されている[2]。そこで本研究では、この ICRF 差周波波動励起時に、荷電交換中性粒子分析器(CX-NPA)を用いたイオンのエネルギー分布の評価を試みた。密度を段階的に変化させたベースプラズマ(w/o)と 16.26 MHz の波動を印加したプラズマ(with 16.26 MHz)の反磁性量、電子線密度、荷電交換中性粒子数を Fig.1 に示す。この放電では、16.26 MHz の

波動を重ねたことによる反磁性量の増大は見られなかったが、電子線密度上昇時、1keV 以上のエネルギー帯に荷電交換中性粒子の顕著な増加を確認した。この現象は中心部のみで観測されており、差周波波動による局所的な加熱の兆候を示唆する現象の1つを捕らえることができた。また、磁気プローブによる波動計測の結果とも比較して議論する。

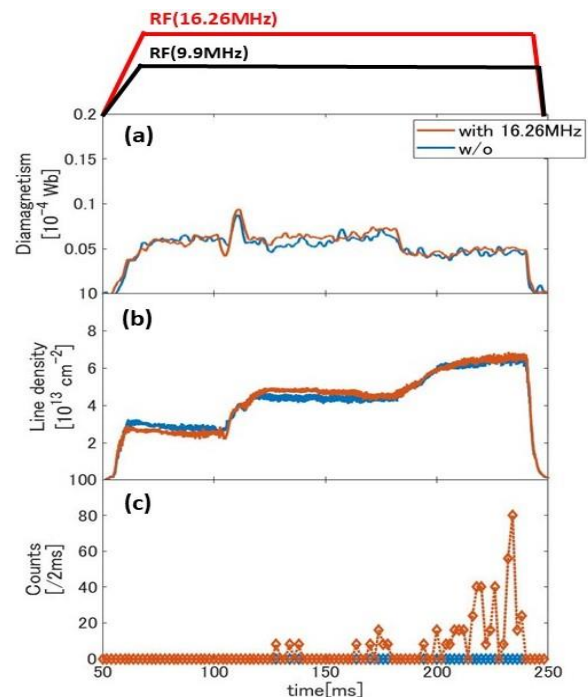


Fig.1 解析に用いた代表的なプラズマの(a)反磁性量、(b)電子線密度、(c)CX-NPAにより得られた荷電交換中性粒子数の和

本研究は NIFS 双方向型共同研究 (NIFS21KUGM166, NIFS22KUGM173)のもと実施されている。

- [1] R. Ikezoe, *et al.*, Plasma Fusion Res. 14 (2019) 2402003
- [2] H. Kayano, *et al.*, Plasma Fusion Res. 16 (2021) 2402045