

22P-3F-07

QUEST での電子サイクロトロン共鳴電子の速度空間制御
による高プラズマ電流・高電子温度プラズマ立ち上げ

Plasma ramp-up with high plasma-current and electron temperature by controlling of EC resonant electron-velocity space in QUEST

出射浩¹⁾, 恩地拓己¹⁾, 福山雅治²⁾ 坂井聖也²⁾, 武田康佑²⁾, ZENNIFA Fadilla¹⁾,
ZHANG Yifan²⁾, 池添竜也¹⁾, 福山淳³⁾, 小野雅之⁴⁾, 江尻晶⁵⁾, 大澤佑規⁵⁾,
Y. Peng⁵⁾, 河野香¹⁾, 井戸毅¹⁾, 假家強⁶⁾, 長谷川真¹⁾, 黒田賢剛¹⁾, 花田和明¹⁾,
東島亜紀¹⁾, 永田貴大¹⁾, 関谷泉¹⁾, 新谷一朗¹⁾, 村上定義³⁾

H. Idei, T. Onchi, M. Fukuyama, S. Sakai, K. Takeda, F. Zennifa, Y. Zhang, R. Ikezoe *et al.*,

¹⁾九大応力研, ²⁾九大総理工, ³⁾京大工, ⁴⁾PPPL, ⁵⁾東大新領域, ⁶⁾筑波大プラセ

¹⁾RIAM, Kyushu Univ., ²⁾IGSES, Kyushu Univ., ³⁾Faculty of Eng., Kyoto Univ., ⁴⁾PPPL, ⁵⁾Dept. Complexity Science and Eng., The Univ. of Tokyo, ⁶⁾PRC, Univ. of Tsukuba

QUEST では、準光学偏波器・強集束ランチャーシステムを開発し、28GHz: Xモードの局所電子サイクロトロン加熱による斜め・準垂直入射で、高プラズマ電流・高電子温度のトカマクプラズマの立ち上げ・維持を目指している。同一の(垂直)磁場配位、ガス供給条件で、斜め入射($N_{||}: 0.75$)時に80 kA程度の高プラズマ電流が立ち上がり、準垂直入射($N_{||}: 0.11$)時は、プラズマ電流が30 kA程度に止まるが、第2高調波共鳴($R=0.32$ m)近くの $R=0.34$ mで、200 eVまでバルク電子温度の上昇が観測された。斜め入射時、エネルギー弁別の硬X線計測カウンタは、50 keV から 200 keV へと高いエネルギーほど時間遅れを伴って増加し、プラズマ電流のランプアップに伴う有効な高速電子生成・加熱が観測された。準垂直入射時は、100 keV 程度の硬X線計測カウンタが顕著に減少する。さらなる垂直磁場、ガス供給調整で、高電子温度となる500 eV までのバルク電子加熱を達成した。

斜め入射、準垂直入射を電子の相対論的ドップラー共鳴条件を満たす共鳴速度空間制御の観点で考察する。相対論的ドップラーシフト共鳴は以下の条件を満たす。

$$\gamma[1 - N_{||}(v_{||}/c)] = nf_{ce}/f, \quad \gamma = (1 + \overline{P}_{\perp}^2 + \overline{P}_{||}^2)^{1/2}$$

ドップラーシフト共鳴効果は磁場に水平方向の屈折率・電子速度成分 $N_{||} \cdot v_{||}$ で表される。相対論効果を示すローレンツ因子は(垂直・水平方向規格化運動量 \overline{P}_{\perp} , $\overline{P}_{||}$) で示されている。入射 $N_{||}$ は伝搬に沿って[$N_{||} R = \text{一定}$] で発展するとし、図1に斜め入射($N_{||}: 0.75$)時、準垂直入射($N_{||}: 0.11$)時の第2高調波($n=2$)共鳴半径 R を示す。[$f=2f_{ce}$] を満たす共鳴位置

が、中心ポスト位置($R=0.22$ m)から0.1 mと近いこともあり、大きな相対論的ドップラーシフト効果から、斜め入射($N_{||}: 0.75$)時に、駆動電流を打ち消すダウンシフト共鳴領域に比べ、電流駆動に有効なアップシフト共鳴領域が広範に現れる。高速電子成分(数%)を考慮した場合でも、第2高調波共鳴での1回通過吸収は20%程度で、通常のFisch-Boozer電流は大きくないが、評価された顕著なアップダウンシフト非対称性から斜め入射($N_{||}: 0.75$)時に高効率電流駆動が見込まれる。一方、準垂直入射($N_{||}: 0.11$)時、アップダウンシフト非対称性は小さくなく、また共鳴条件を満たす実空間領域も狭い。

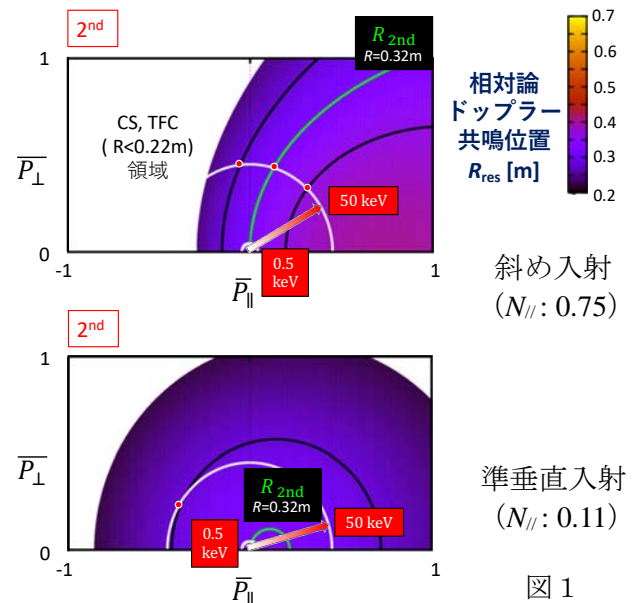


図1

講演では高次共鳴、異なる高調波で共鳴でのダウン・アップシフト共鳴のオーバーラップを含め、相対論的ドップラーシフト共鳴加熱の速度空間での準線形拡散項評価を通じ議論する。