

LHDにおけるECHシステムの高性能化と 大電力アップグレード計画

Improvement of the LHD ECH System and Its High-Power Upgrade Plan

下妻 隆¹, 久保 伸¹, 吉村 泰夫¹, 伊神 弘恵¹, 高橋 裕己¹, 西浦 正樹⁴,
小笠原 慎弥², 牧野 良平², 小林 策治¹, 伊藤 哲¹, 水野 嘉識¹, 岡田 宏太¹,
南 龍太郎³, 假家 強³, 今井 剛³, 武藤 敬¹

SHIMOZUMA Takashi¹, KUBO Shin¹, YOSHIMURA Yasuo¹, IGAMI Hiroe¹,
TAKAHASHI Hiromi¹, NISHIURA Masaki⁴, OGASAWARA Shinya², MAKINO Ryohei², et al.

¹核融合研, ²名大エネルギー理工, ³筑波大, ⁴東大新領域

¹NIFS, ²Nagoya Univ., ³Univ. of Tsukuba PRC, ⁴Univ. of Tokyo

大型ヘリカル装置(LHD)における電子サイクロトロン共鳴加熱(ECH)システムでは、3台の既存77GHzジャイロトロン管に加えて、昨年度新たに周波数154GHz、出力1MWのジャイロトロン管を筑波大学と共同で開発し[1,2]、ECHシステムに導入、LHDでのプラズマ実験に使用した。最大出力は1.16MW、パルス幅1秒を達成している。これにより、77GHz系3台と154GHzジャイロトロン1台からのLHDへの総入射パワーとしては4.4MWが達成された。また高周波数化により、より高いプラズマ密度での加熱と、高電子温度化に大いに貢献した。今後さらに1-2本のメガワット級ジャイロトロン管を増設し、全入射パワーとして6MW以上のシステムの実現を目指してゆく。

図1に、昨年度導入された154GHzジャイロトロンシステムの写真を示す。設計仕様は、周波数154GHz、出力1MW以上（5秒パルス）、0.5MW（定常）である。キャビティでの発振モードはTE_{28,8}、三極管型で変調アノードを持ち、全効率は、電位降下型コレクタにより50%（目標値）となっている。出力窓はCVDダイヤモンド材を用い、管内の不要電磁波を処理するための副窓を備えている。発振動作のために必要な磁場は、無冷媒超伝導マグネットによって発生されている。ジャイロトロンからの出力は、2枚の位相補正鏡からなる準光学結合ユニット(MOU)を介して、直径88.9mmφのコルゲート導波管に導入され、LHD真空容器内の準光学アンテナに導かれている。

図2は、本ジャイロトロンの出力と全効率のビーム電流 I_c 依存性を示している。アノード電圧を2段階に立ち上げる方法により高効率化を図り[3]、 $I_c \sim 50$ Aで、出力1MW、効率37%を達成している。定常運転性能としては、0.35MW出力で30分の運転（管内圧力は飽和している）を達成した。

2012年度のLHD実験においては、154GHzジャイロトロンからのパワー入射により、高密度領域での電子温度を向上でき、 $1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ の電子密度において、中心電子温度13.5keVを達成した。また、77GHzのカットオフ密度を超える $1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ の密度領域においても154GHzのパワー入射によりプラズマ蓄積エネルギーの増大が観測されている。

現在、出力1.2MWを目指した154GHzジャイロトロン2号管を製作中であり、来年度のLHD実験より入射が可能となる予定である。今後、アンテナ系の改良の含め、さらにもう1台ジャイロトロンを増強し、総入射パワー6MW以上のECHシステムとして整備してゆく。

[1] R. Minami, et al., IAEA FEC2012 conf., FTP/P1-20.

[2] T. Kariya, et al., Trans. of Fusion Sci. and Tech. 63 (2013) 265.

[3] H. Takahashi, T. Shimozuma, et al., PFR 7 (2012) 1205154.

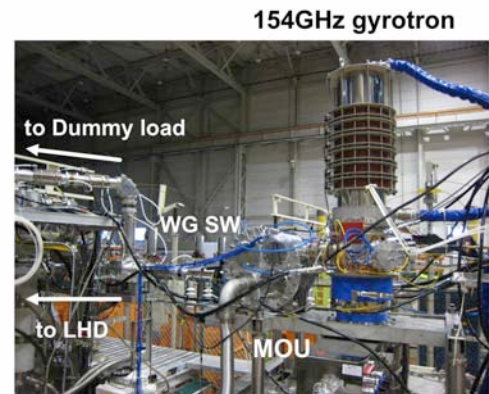


Fig. 1: 154 GHz, 1 MW gyrotron installed in an oil tank with a super conducting magnet. The output power is introduced in the corrugated waveguide through an MOU.

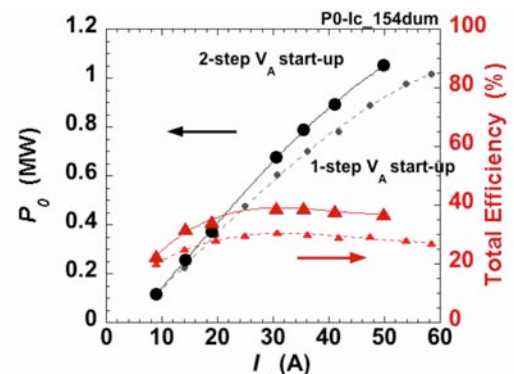


Fig. 2: Gyrotron output power P_0 and total efficiency are plotted as a function of beam current I_c for 1-step and 2-step V_A start-up operations.