

28GHz-1MW ジャイロトロンの長パルス試験及び改良設計 The Long Pulse Test and The Improved Design of 28 GHz 1 MW Gyrotron

中林 英隆¹, 假家 強¹, 今井 剛¹, 江口 濯¹, 南 龍太郎¹, 沼倉 友晴¹,
遠藤 洋一¹, 河原崎 遼¹, 中澤 和寛¹, 浅野徳馬¹, 南斎宏駿¹, 坂本 慶司²
Hidetaka Nakabayashi¹, Tsuyoshi Kariya¹, Tsuyoshi Imai¹, Ryutaro Minami¹,
Tomoharu Numakura¹, Taku Eguchi¹, Yoichi Endo¹, Ryo Kawarasaki¹,
Kazuhiro Nakazawa¹, Asano Tokuma¹, Nanzai Hirotaka¹, Keishi Sakamoto²

筑波大プラ研¹, 原子力機構²
PRC Univ. of Tsukuba¹, JAEA²

1. 研究背景と目的

筑波大学プラズマ研究センターでは、タンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置 GAMMA10 においてジャイロトロンを用いて電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) を行なっている。より高い閉じ込め電位の形成やダイバータ模擬実験における高熱流束生成のために 28GHz-1MW ジャイロトロンの開発を進めている。GAMMA 10 用 28GHz-1MW ジャイロトロンの短パルス (数 ms) 試験においては 1MW 以上の出力を確認している[1]。また、2011 年度における長パルス試験において、出力 0.45MW-パルス幅 2s の発振を達成した[2]。これらの開発成果を踏まえ、28GHz-0.4MW-CW 発振可能なジャイロトロンを新しく開発し、九州大学の球状トカマク実験装置 QUEST において、ECRH/ECCD と電子バーンシュタイン波 (EBW) 加熱実験を行なう計画もある。

本研究では、GAMMA10 用 28GHz-1MW ジャイロトロンの長パルス性能評価試験結果、及び 0.4MW-CW の発振を設計目標とした改良設計について報告する。

2. ジャイロトロンの長パルス性能評価

2012 年度においても、長パルス性能評価試験を続行し、0.54MW-2s の発振を達成した。出力とパルス幅は、電源とダミーロードの容量・耐熱的な限界により制限されており、電源の改造、大電力長パルスダミーロードの整備が、今後の課題である。また、赤外線カメラを用いて 0.45MW-2s 発振におけるサファイア窓の中心温度上昇の測定を行なった結果、最大約 9℃の温度上昇が観測された。

3. ジャイロトロンの改良設計

QUEST で要求される CW 発振や、GAMMA10 で必要な、より高出力・長パルス動作を可能とするため、出力窓、放射器、電子銃の改良設計を行なった。

長パルス試験で得られたサファイアの誘電損失率を用い、窓温度の RF パルス幅依存性を計算した結果、シングルディスク窓を用いた場合、1.5MW-数秒の動作は可能であるが、出力窓の温度が飽和せずに上昇し続けているため 0.4MW-CW の動作は不可能である

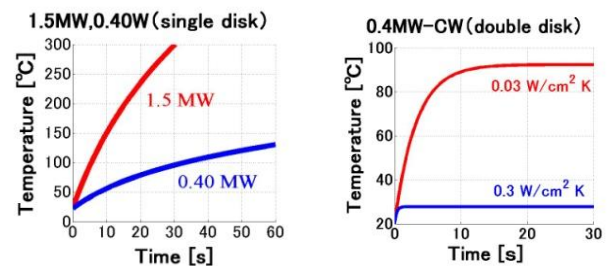


図1 熱伝導方程式によるシミュレーション結果

(a): シングルディスク窓温度上昇のパルス幅依存性

(b): ダブルディスク窓温度上昇の熱伝達係数依存性

ことが分かった (図 1(a))。また、ダブルディスク窓を用いた場合、熱伝達係数を 0.03 [W/cm²K]以上にすることができれば、0.4MW-CW の動作が可能であることが分かった (図 1(b))。この熱伝達係数の値はフルオロカーボン冷却剤を用いれば容易に得ることができる。

CW 発振を行なう上で、RF 回折ロスによるジャイロトロン内部の加熱が問題になると考えられる。放射器の改良設計を行い、放射器から出力窓までの伝送効率を 94.7%から 98.5%に改善した。

NIFS の 77GHz ジャイロトロン用の超伝導磁石 (SCM#1.#3) を用いて、28GHz-1MW ジャイロトロンの短パルス試験を行なった結果、電子銃部のわずかな磁場分布の違いにより、電子銃前面の電子ビームのラミナー性の劣化が起こり、SCM#1 において出力の低下が見られた。カソード角をより深い角度にすることでラミナー性を改善する改良設計を行った。電子銃のシミュレーションより、ピッチファクター $\alpha=1.1\sim1.2$ で分散値<5%の良好なラミナービームを得ることができた。この改善により、高ビーム電流領域においてより高い発振効率を得ることが期待される。

(本研究は、NIFS と筑波大学における双方向型共同研究 (NIFS11KUGM050, NIFS11KUGM053) による。)

[1] T.kariya, et al.: J. Infrared Millim. Waves 32 (2011) 295

[2] H. Nakabayashi, et al.: Plasma Conference 2011 (2011) 22P144-P.