

# 1.3GHz 30MW パルスクライストロンの開発

## DEVELOPMENT OF 1.3GHz 30MW PULSED KLYSTRON

鈴木健一郎<sup>#</sup>, 藤井令史, 大久保良久  
 Kenichiro Suzuki <sup>#</sup>, Satoshi Fujii, Yoshihisa Okubo  
 Canon Electron Tubes & Devices Co., Ltd.

### Abstract

Canon Electron Tubes & Devices is now developing L-band klystron for electron linac, which RF frequency is 1.3 GHz. Initially design target is 25 MW of peak output power and 8 kW of average output power, extension to 30 MW of peak and 60 kW of average will be possible. Existing L-band klystron E37612 (1.428 GHz, 30 MW peak, 11 kW average) is modified into 1.3 GHz operation. 25.3 MW of peak output power will be achieved in condition of 260 kV of beam voltage and 239 A of beam current in 40.8 % of RF conversion efficiency, in addition 31.6 MW of peak output power will be achieved in condition of 280 kV of beam voltage and 267 A of beam current in 42.3 % of RF conversion efficiency.

### 1. はじめに

キヤノン電子管デバイス株式会社(以下、当社)では L-band の電子加速器用 RF 源として RF 周波数 1.3 GHz のショートパルスクライストロン E37507 の開発を行っている。L-band 加速器は S-band 加速器より高デューティでの動作に適しているため RF 源に対して高デューティのニーズがあり、平均 RF 出力電力 60 kW 以上へ拡張可能な設計として開発を進めている。基本設計を SACL A 向け L-band パルスクライストロンの E37612 (1.428 GHz-ピーク RF 出力電力 30 MW-RF パルス幅 6 μs) として、RF 周波数の変更と長パルス運転での安定動作を図る設計を行った。初号機の仕様としてはピーク RF 出力電力 25MW-平均 RF 出力電力 8 kW-RF パルス幅 10 μs をターゲットとしつつ、ピーク 30 MW 出力や平均 60 kW 出力にも拡張可能な設計として開発を進めたので、この結果について報告する。

### 2. 設計概要

設計目標及び基本設計 E37612 のパラメーターを Table 1 に示す。

電子ビーム集束系は、長パルス安定のためビーム径/ドリフト径を細くした。集束コイルと周辺装置の取り合い及び集束コイル全長は基本設計と同じとした。

RF 相互作用部は、RF 周波数を 1.428 GHz から 1.3 GHz に変更するスケールリングを行いつつ、集束コイルの全長を変更しないために空洞配置を調整した。ピーク RF 出力電力の目標は 25 MW であるが、30 MW も出力可能な設計とした。

コレクタ部は、基本設計と共通にして平均 RF 出力電力で 20 kW に相当する熱負荷まで耐えられる容量としたが、冷却能力を強化すれば 60 kW 以上へ拡張可能である。

出力回路系は、当社の 1.3 GHz クライストロン E3736[1]、E37750[2]の設計を参考にして、ショートパルス動作に適した構成とした。

Table 1: Design Parameters

Items	Unit	Design Target E37507	Base Design E37612
RF Frequency	GHz	1.3	1.428
Peak output power	MW	25	30
Average output power	kW	8	11
RF pulse width	μs	10	6
Repetition rate	pps	30	60
Beam voltage (max.)	kV	275	300
Beam current (max.)	A	285	290
Beam pulse width	μs	12.5	8

### 3. 設計結果

#### 3.1 電子ビーム集束系

基本設計からパルス幅を伸ばすことを考慮し、安定度の向上を狙ってビーム径/ドリフト径を細くした。ドリフト径を細くすると、コレクタからの反射電子を低減させることができるとともに、カットオフ周波数を高くすることで高次高調波の影響を受けにくくすることができる。ビーム径を細くするために集束磁場を強くし、集束電極の形状を変更した。計算には DGUN[3]を使用し、RF 相互作用部におけるリップルが 1.6%になる結果が得られ、この時のビーム軌道を Fig. 1 に示す。集束磁場の強化はコイル巻き線の巻き数を増やすことで行い、コイルの分割や配置、全

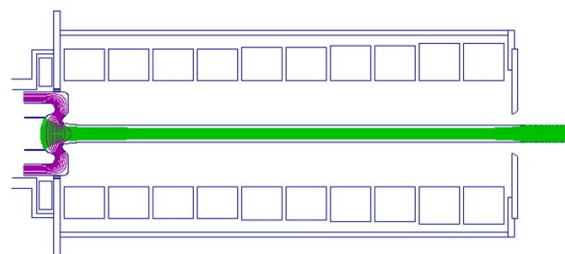
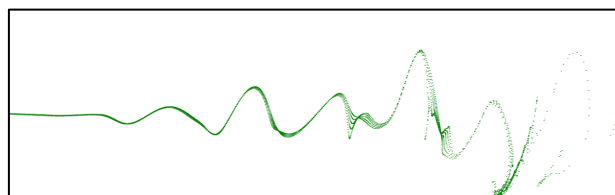


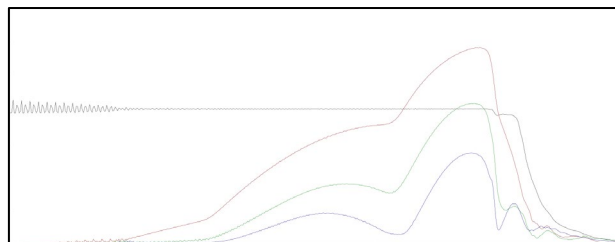
Figure 1: Calculation result of electron beam trajectory.

<sup>#</sup> kenichiro2.suzuki@etd.canon

長は基本設計と同じにした。集束電極表面の電界強度は基本設計の 97%に下がり、パルス幅が伸びても同等の耐電圧性能を期待することができる。

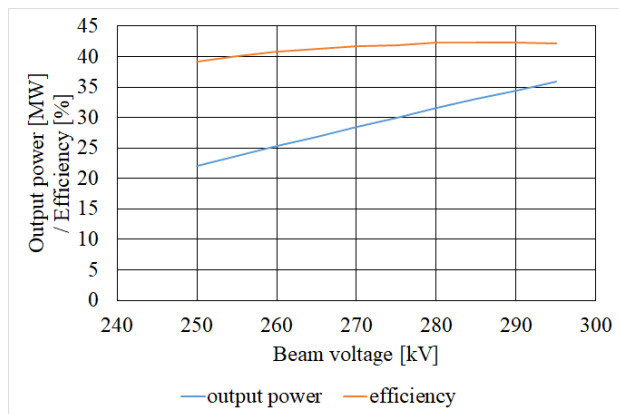


(a) Energy profile of electrons

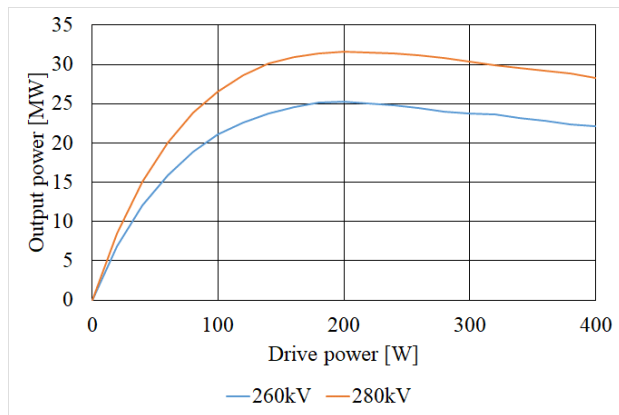


(b) RF current profile growth along beam axis

Figure 2: The result of electron particle simulation.



(a) Beam voltage characteristics



(b) Transfer characteristics

Figure 3: Simulation result of RF amplification characteristics.

### 3.2 RF 相互作用部

基本設計の RF 周波数 1.428 GHz を 1.3 GHz にスケールリングして、空胴パラメーターと配置を調整した。空胴数は 5 つである点と、出力空胴からの取り出しは空胴上部に導波管へのカップリングスロットを設けて集束コイルを切り欠かない点は基本設計と共通とした。

前項でビーム径を細くしたことにより空間電荷効果が強くなるが、これを積極的に利用してコアオシレーションを発生させることで、相互作用部長と RF 変換効率を基本設計と同等にした。シミュレーションには PIC コードである FCI[4]を使用し、ビーム電圧 260 kV の条件でピーク RF 出力電力 25.3 MW-RF 変換効率 40.8%に、ビーム電圧 280 kV の条件でピーク RF 出力電力 31.6 MW-RF 変換効率 42.3%になる結果が得られた。FCI による電子軌道シミュレーション結果を Fig. 2 に、RF 増幅特性のグラフを Fig. 3 に、その他設計結果のパラメーターを Table 2 に示す。

### 3.3 出力回路系

出力空胴からの取り出しは扁平導波管、クライストロン

Table 2: Simulation Results of RF Amplification

Items	Unit	25MW	30MW
Peak output power	MW	25.3	31.6
RF efficiency	%	40.8	42.3
Beam voltage	kV	260	280
Beam current	A	239	267
Peak input power	W	200	200
Gain	dB	51.0	52.0

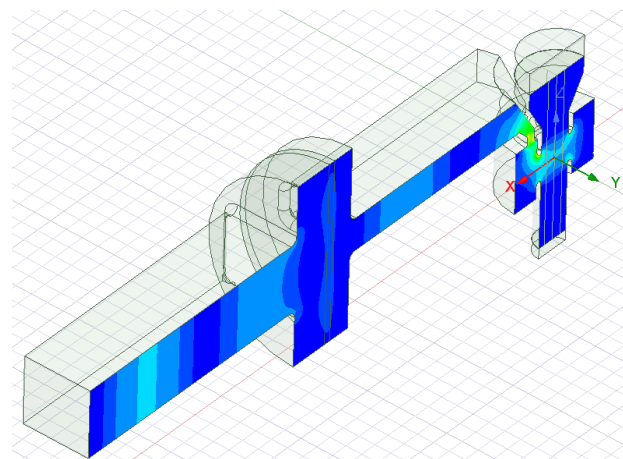


Figure 4: Electric field calculation in RF output section.

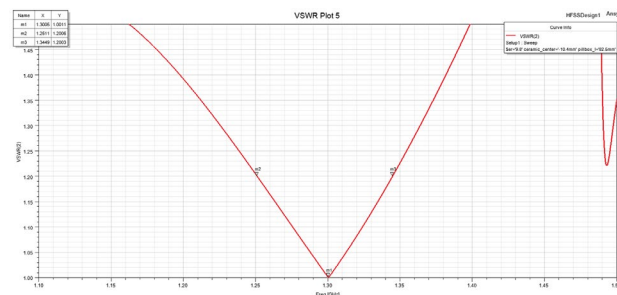


Figure 5: VSWR calculation result of pillbox window.

外部への伝送は WR-650 導波管として、両者をピルボックス窓で接続する構成とした。Figure 4 に電界強度の計算結果を示す。参考とした E3736 では扁平導波管にポストを配置することによって、E37750 ではステップ導波管でサイズを広げたうえでアイリスを配置することによって窓セラミック中の電界強度を下げているが、本開発における設計目標には過剰であるので、窓セラミックを扁平導波管側に寄せた配置にすることによってインピーダンスを整合させた。セラミックは E3736 および E37750 と共通のものを使用し、ピルボックス窓の VSWR は約 100 MHz の範囲で 1.2 以下になることを確認した。Figure 5 に VSWR の計算結果を示す。

セラミック中に発生する熱応力を電界強度から見積もると、本設計では平均 RF 出力電力で 20 kW まで耐えられるが、先述したポストやアイリス、ステップ導波管といった変更を適用すれば 60 kW 以上へ拡張することも可能である。

#### 4. おわりに

L-band 電子線形加速器の高周波源として 1.3 GHz パ

ルスクライストロンの開発を進め、ピーク RF 出力電力 25 MW、平均 RF 出力電力 8 kW を目標として設計を行った。ピーク RF 出力電力はビーム電圧を上げることで、平均 RF 出力電力は冷却能力や電界強度の設計を変更することで向上でき、30 MW-60 kW への拡張も可能である。今後は実管の製作・評価を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] M. Irikura *et al.*, “Development of L-band, 10MW Multi Beam Klystron”, Proc. 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Chiba, Japan, Aug. 2004, pp. 260-262.
- [2] T. Miura *et al.*, “RF SOURCE OF cERL IN KEK”, Proc. 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Hyogo, Japan, Aug. 2010, pp 927-929.
- [3] BINP, VLEPP DGUN User’s Manual.
- [4] S. Shintake, KEK Report 90-3, May 1990.