

DEVELOPMENT OF L-BAND 40MW KLYSTRON

M. Kubosaki^{#A)}, H. Asano^{A)}, Y. Moriguchi^{A)}, K. Yoshida^{A)},
S. Fukuda^{B)}, S. Matsumoto^{B)}, M. Yoshida^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric Corporation

8-1-1 Tsukaguchi-Honmachi, Amagaaski, Hyogo, 661-8661

^{B)} KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Development of an L-band klystron is in progress at Mitsubishi Electric Corp. and KEK. A design of the klystron has been carried out with a base of our S-band klystron PV-3050 especially for an electron gun. 40MW output power is expected.

The klystron is now under testing and an output power of 28MW at a frequency of 1.3GHz has been obtained so far.

Lバンド 40MW クライストロンの開発

1. はじめに

SuperKEKB 用に向けた入射器増強において陽電子収集の効率を上げるため、位相空間の広いLバンド加速管を陽電子ターゲット後の加速ユニットとして使用する計画である。KEKB と電子陽電子入射器の同期は 10.38MHz を基本周波数として逡倍率が 49 : 275 と奇数であり、2バンチの入射に対応するには 2856MHz の 1/2 である 1428MHz では2バンチ目が減速位相になってしまう。そこで基本周波数の 125 倍である 1.3GHz を選択し、クライストロンの開発を行った。2011年6月から KEK にてエージング、試験を開始しており、7月末時点で RF パルス幅 0.1 μ s、出力 28MW を確認した。

2. 設計

2.1 仕様

PV-1040 の主要な仕様及び KEK での実際に使用する運用値を表 1 に示す。

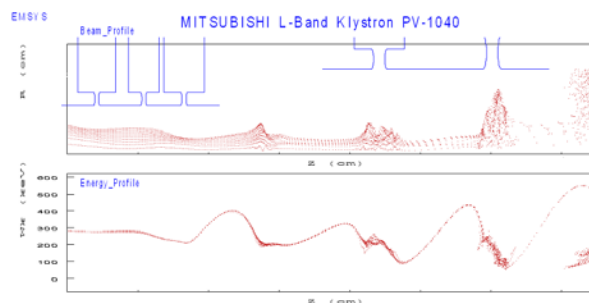
表 1. 仕様

項目	仕様値	運用値
周波数	1300MHz	10.38 \times 125 MHz
出力	40MW 以上	30MW
ビーム電圧	350kV 以下	350kV 以下
ハ ^o -ビ ^o アンス	2 \pm 0.25 μ A/V ^{3/2}	2 \pm 0.25 μ A/V ^{3/2}
RF パルス幅	4 μ s	1.5 μ s
繰返し	50pps	50pps
利得	50dB 以上	50dB 以上
効率	40%以上	40%以上

2.2 空洞設計

本クライストロンは当社の S バンドクライストロン PV-3050 用のタンクや電源系が共有できるようにするために、電子銃部及びビームパイプ径を PV-3050 と同径とする事で、電子銃部の設計は実績のある PV-3050 を踏襲する事とした。しかし Lバンドでは圧縮後のビームの空間電荷による反発力が大きくなるため、出力空洞に向かって徐々にビームパイプ径を拡張する設計とした。

図 1 に EMSYS による本クライストロンのビーム軌道計算結果を示す。電子ビームは出力空洞付近で、半径が大きくなっていることが分かる。



ビーム電圧 : 310kV 入力電力 : 400W 出力 : 54MW 効率 : 49%

図 1 : EMSYS による計算結果

EMSYS によるビーム電圧 310kV での入出力特性の計算結果を図 2 に示す。入力電力 400W でほぼ飽和点であり、出力は 54MW である。仕様に対して出力は十分に満足できることが期待される。

[#] E-mail: Kubosaki.Mitsuru@bc.MitsubishiElectric.co.jp

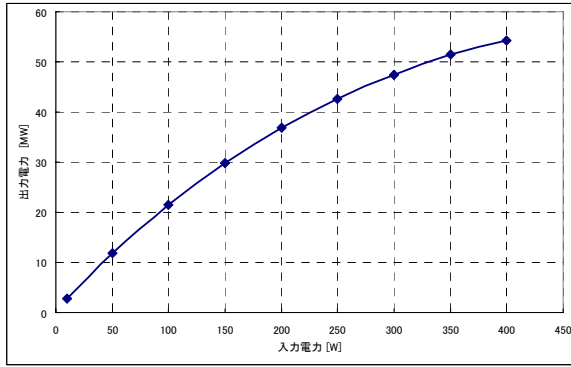


図 2： 入出力特性の計算結果

上記で求めた各空洞のパラメータを実現するための空洞形状を HFSS により求めた。例として、出力空洞の形状を図 3 に示す。

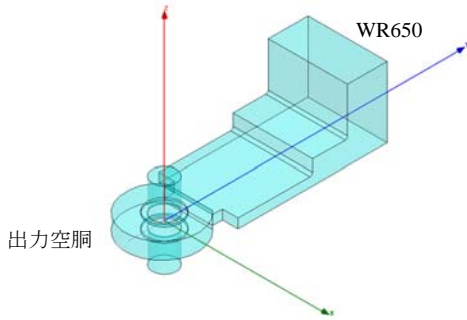


図 3： 出力空洞形状の最適化計算結果

2.3 窓設計

出力窓は KEK で実績のあるピルボックス形状の窓を採用した。図 4 に HFSS で計算した出力窓の形状及び電界強度分布を示す。

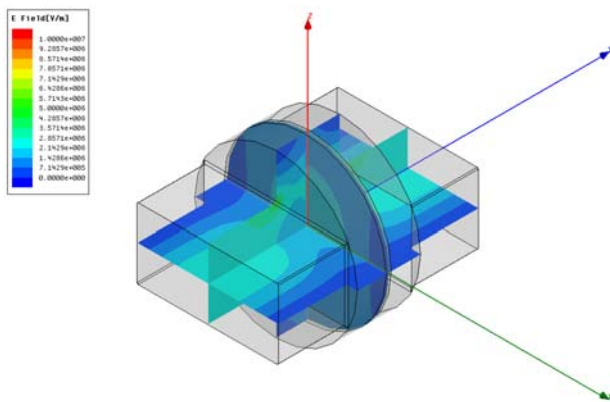


図 4： 出力窓形状および電界強度分布

入力電力：50MW 最大電界強度 10MV/m

セラミックは 99.7%アルミナを用い、最大電界強度は 50MW 通過時で 10MV/m であり、問題ないレベルである。

また、この出力窓について VSWR を求めた結果を

図 5 に示す。マイクロ波周波数が 1.3GHz に対する VSWR は 1.01 以下である。

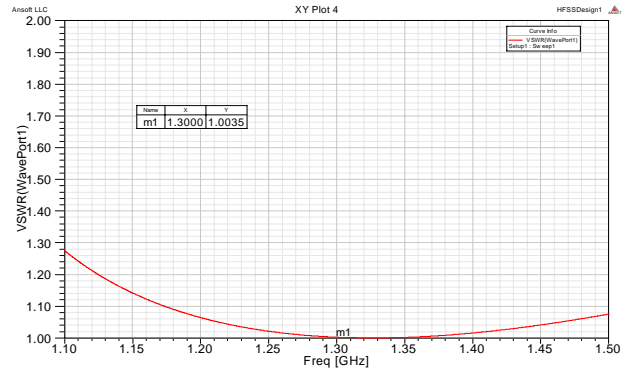


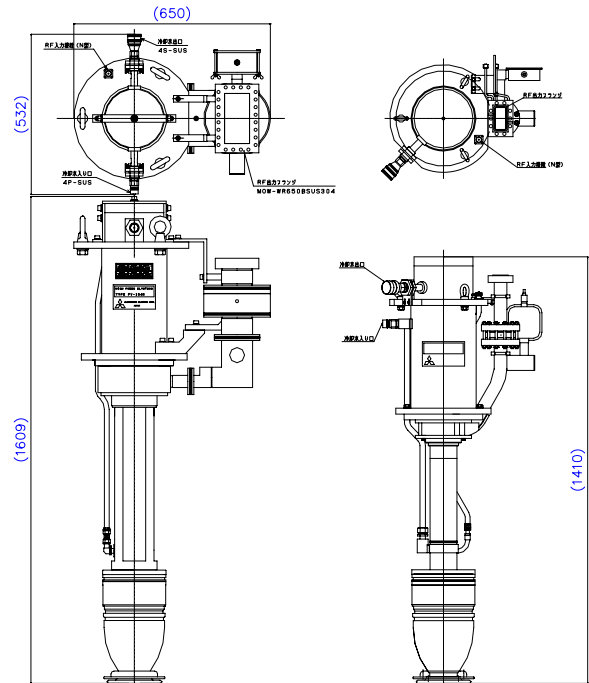
図 5： 出力窓の VSWR 計算結果

2.4 構造設計

図 6 に本 L バンドクライストロン及び S バンドクライストロン (PV-3050) の外形図を示す。

L-Band クライストロン PV-1040 は、全長：1609mm、重量：360kg であり、S-Band クライストロン (全長：1410mm) と比較しても特に大型にはなっていない。

大型の出力窓を搭載するために、頑丈な支えを備え、出力導波管部分に力が掛かることを防いでいる。



L バンドクライストロン (PV-1040)

S バンドクライストロン (PV-3050)

図 6： 外形図

3. 試験結果

2011年6月からKEKでエージングを開始し、7月から出力試験を実施している。今回の試験では出力立体回路系及びダミーロードも新規品のため、出力立体回路の真空度に注意しながら出力確認を行っている。7月末時点での試験結果と設計値との比較を図7に示す。

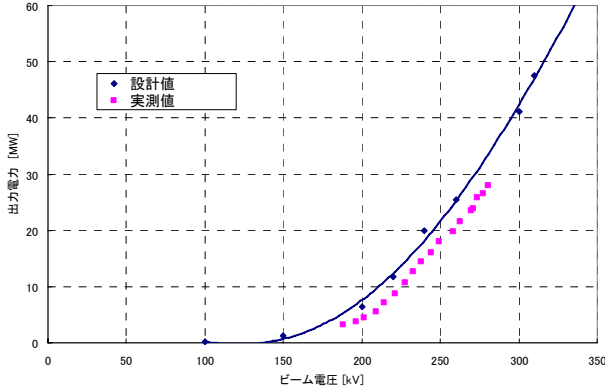


図7： 高圧特性（実測値と設計値の比較）

現時点で280kVの印加電圧、330W入力で28MWの出力を確認している。実測値は設計値と比較し5MW程度低い結果になっているが、ビーム電圧特性としては設計値に似た結果を得ている。試験動作時の各種波形を図8に示す。

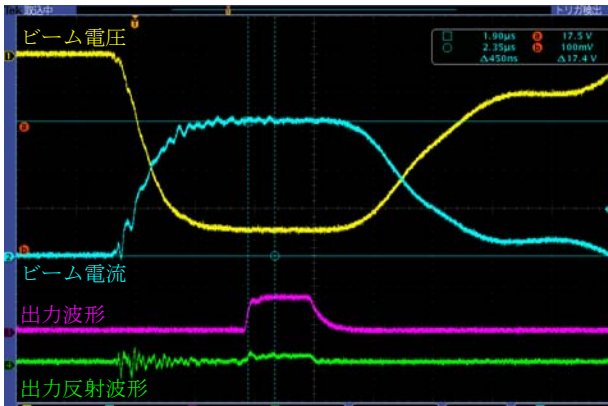


図8： 動作時の各種波形

図9に本クライストロン(PV1040)の外観写真を示す。



図9： L-band クライストロン(PV1040)写真

4. まとめ

SuperKEKB 用に向けた入射器増強において陽電子収集の効率向上に資するためとして、L-band クライストロンを開発した。S-band クライストロン PV-3050 用のタンクや電源系を共有できるようにするため、電子銃はPV-3050のものを踏襲した。

設計は EMSYS、HFSS などのツールを用いて進め、試験ではこれまでのところ 28MW まで得られるようになった。今後は 8 月中を目標に 40MW の出力を確認する。

5. 謝辞

本クライストロンの開発にあたり、高エネルギー加速器研究機構の関係皆様には、設計、試験などの多くの場面において多大なるご支援、ご協力を頂きました。深く感謝致します。

参考文献

- [1] K.Yoshida, et al., "Development of a C-Band 50MW Pulse Klystron using Traveling-Wave-Type Output Structure", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, Japan, August. 2-4, 2006
- [2] Y.Takeuchi, et al., "Development of L-Band Pillbox RF Window", Submitted to the 9th Symposium on Accelerator Science and Technology, KEK, Tsukuba, Ibaraki, Japan, Aug. 25-27, 1993