

# 50MW S-band Pulse Klystron

M.Sakamoto, M.Yoshinao, H.Yonezawa  
K.Ohya and S.Fukuda\*

TOSHIBA Corporation, Electron Device Division  
1385 Shimoishigami, Otawara-shi, Tochigi-ken 324, Japan

\*National Laboratory for High Energy Physics (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

## ABSTRACT:

Development of 50MW S-band pulse klystron has been proceeded for an energy upgrade plan of the KEK linac from 2.5GeV to 8GeV. The prototype klystron showed output power of 51MW with saturated efficiency of 45%, while maintaining a good mechanical compatibility with the existing 30MW klystron. The tube with improved design has produced output power of 52MW with an efficiency of 48%. Output power of 60MW was achieved though low duty cycle operation. In this paper, the design and the test result of the improved klystron are reported.

## 50MW Sバンドパルスクライストロン

### 1. はじめに

高エネルギー物理学研究所 (KEK) では、B-ファクトリ (KEKB) 計画が進行中で現在の2.5 GeVライナックは8GeVへ増強される<sup>1)</sup>。KEKB計画ではSLEDシステムと併用して、常用出力41MW、最大46MWで安定に動作する50MW級のSバンドパルスクライストロンがRF源として使用される<sup>2)</sup>。またライナックの増強は運転を維持しながら行うため、クライストロンの増力に際しても従来のシステムと可能な限り整合性を保つことが求められている。KEKではこれまでに既存の30MW級クライストロンの電子銃の低電界化、高圧絶縁セラミックスの大型化および集束磁界分布の調整等により50MWを越える出力を確認している<sup>3)</sup>。この結果を基に、実機での使用を考慮して信頼性、寿命等を更に向上させた50MW級クライストロン (東芝名称E3730) の開発を行なった。

E3730は試作初号管の試験で出力電力51MW、変換効率45%と概ね良好な結果を得ている<sup>4)</sup>。今回さらなる高性能化 (特に高出力、高効率化) を目指して設計を一部見直し、試作管を製作、試験したので、これらの点を中心に以下に報告する。

### 2. 設計

表1に50MWクライストロンの主要な仕様値を示す。

[ ] 内: 目標値		
動作周波数	(MHz)	2856
出力電力	(MW)	50
ビーム電圧	(kV)	310
パービアンス	( $\mu A/V^{3/2}$ )	2.1
RFパルス幅	( $\mu s$ )	4
ビームパルス幅	( $\mu s$ )	5.5
繰り返し周波数	(pps)	50
効率	(%)	43 [45]
飽和利得	(dB)	51 [54]

#### 2.1. 初期設計と結果

KEKではSLACのXK-5型クライストロンと同様の相互作用部を有する30MW級クライストロンの集束磁界分布等の変更によって50MWを越える出力が得られることが確認されている。従ってE3730の相互作用部及び電子ビームのパラメータは基本的にXK-5と同一とした。

またライナックの運転維持の必要性からE3730は既存の30MW級クライストロンと主要な寸法や周辺機器類を極力共通化できる構造としている。一方高出力化に伴う電子銃の高電圧大電流化に対応するため耐電圧の向上、カソードローディング緩和等の対策を実施している。初期設計は以下の方針に基づき実施した。

- 1) 高周波相互作用部のパラメータはXK-5と基本的に同一とし、既存の集束電磁石は一部部品の交換で共用可能。但し、FCIコード<sup>5)</sup>を用いて離調周波数、出力空洞のQ値等は集束磁界分布とバランスをとるために若干変更。
- 2) スカデートカソードの採用による信頼性の確保、並びにカソード口径の大型化によるカソードローディングの緩和(長寿命化)。
- 3) 電子銃の低電界化、絶縁セラミックの大型化による耐電圧性の向上。
- 4) 出力窓にはTiN膜をコーティングした高純度アルミナセラミックス(HA997:日本特殊陶業(株)製)を用いたロング型ピルボックス窓を搭載し、従来最大比25%増の透過電力に対する耐電力性を確保する。

以上の初期設計に基づき製作した試作初号管の試験では概ね良好な結果を得ている。出力特性はビーム電圧316kVで出力電力51MW、変換効率45%を確認している。また初号管の出力窓には従来実績以上の透過電力に対応するため、ロング型ピルボックス窓を搭載しているが、発熱異常並びに絶縁破壊は認められなかった。しかしセラミックス表面での発光が標準型と比べ長時間持続していたため信頼性に若干の疑問は残る。実用を考えた場合、構造およびTiN膜等をさらに検討してみる必要があると考える。

## 2.2. 設計変更

初期設計に基づいた試作初号管で概ね良好な結果は得られたが、さらなる高効率化および高出力化(60MW以上)を目指し一部設計を見直した。以下に主な設計変更点についてまとめる。

- 1) 出力空洞は電子ビームとの相互作用が適切となるように構造を決定した。

○導波管の影響により不均一な出力空洞の電界分布を、管軸に対し出力空洞外壁を偏心させることにより電界分布を均一に近づけた。

○出力ギャップ先端のRを小さくしてギャップ間隔を広くした。

○出力空洞-コレクタ部における集束磁界の分布を軸対称に近くなる構造とした。

2) 電極表面での電界の集中の緩和、および高真空中での加熱脱ガス処理の強化等により、さらに電子銃の耐電圧特性を向上させた。

3) 発光を抑制するために出力窓には標準型ピルボックス窓を搭載し、従来実績以上での限界値を評価する。また出力窓の熱的負担を軽減するため出力導波管の冷却を実施。

## 3 試験結果

以上の設計変更をもとに製作したE3730の動作試験結果を以下に示す。図1は変換効率、出力電力とビーム電圧の関係で、この時使用した磁界分布を図2に示す。図3はビーム電圧305kVおよび331kVにおける入出力特性を示す。ビーム電圧305kVで出力電力52MW、変換効率48%を達成し、従来より変換効率が約3%向上した。また更なる高出力化を目指した試験ではビーム電圧331kVで出力電力60MW、変換効率47%を得た。このタイプのクライストロンの特徴として、出力電力50MWの最適磁界ではビーム電圧の上昇に伴いボディ損失(RF電力に変換される前のビーム損失)が急激に増大し出力電力の増加が減少する傾向がある<sup>6)</sup>。このため磁界を調整することにより、変換効率、飽和励振電力を50MW出力動作時の特性でほぼ維持しつつ、出力電力60MWを達成することが出来た。但しコレクタ損失の増大等を考慮して60MWの出力動作時はデューティを定格の1/5としている。表2は改良管で確認された特性をまとめたものである。

何れの試験の場合でも入出力特性、入出力パルス波形は滑らかで自然な波形であり、何らかの不安定現象が生じている兆候は認められず、動作は極めて安定である。また電子銃の耐電圧および標準型出力窓の耐電力性は問題はなく、それぞれ最大値でビーム電圧340kV、出力電力60MWでの動作を確認している。

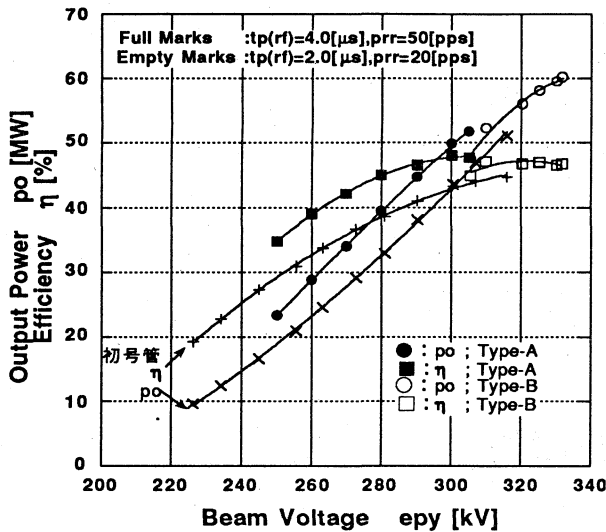


図1 ビーム電圧に対する飽和特性

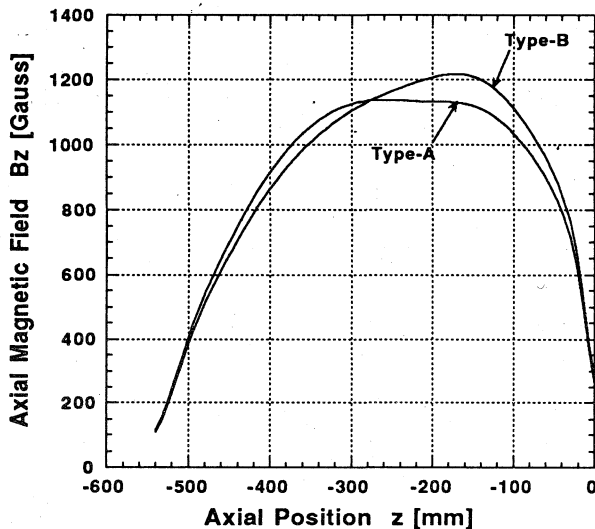


図2 集束磁界分布

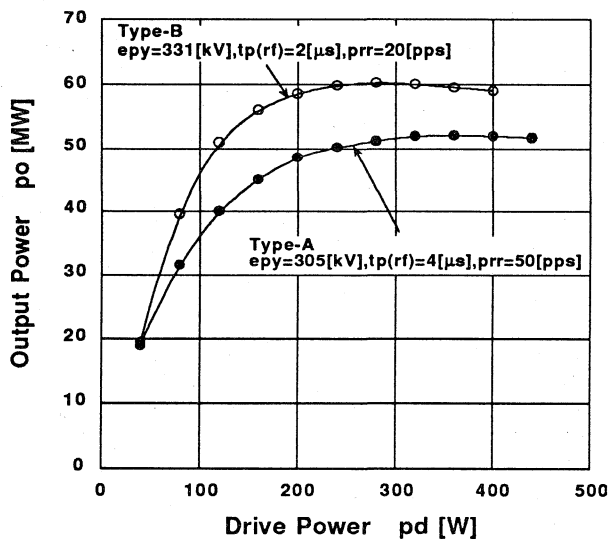


図3 入出力特性

表2 E3730動作例 (改良管)

動作周波数	(MHz)	2856	←
ビーム電圧	(kV)	305	331
ビーム電流	(A)	355	388
パービアンス	( $\mu A/V^{3/2}$ )	2.11	2.04
RFパルス幅	( $\mu s$ )	4	2
繰り返し周波数	(pps)	50	20
出力電力	(MW)	52	60
効率	(%)	48	47
飽和利得	(dB)	52	53
磁界分布		Type-A	Type-B

#### 4. まとめ

50MW SバンドパルスクライストロンE3730は出力空胴の構造の変更等により、52MW出力時で変換効率48%と従来比約3%増の改善を達成出来た。更に定格の1/5のデューティながらも飽和出力60MW、変換効率47%を確認した。これまでに実施した特性確認試験では出力50MWのクライストロンとして電子銃の耐電圧、出力窓の耐電力性とも問題はなく、また増幅動作も安定であることを確認した。今後実負荷により寿命等の評価を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) A. Enomoto : "Reformation of the PF 2.5 GeV Linac to 8 GeV", presented at the 1994 Linear Accelerator Conference, Tsukuba, Japan, August 20-26, 1994.
- 2) S. Anami, et. al. : "Upgrade of the PF Linac RF Source for the KEK B-Factory", Proc. 9th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Tsukuba, Japan, 1993.
- 3) S. Fukuda, et. al. : "60-MW Test using the 30-MW Klystrons for the KEKB Project", presented at the ICFA Workshop on RF sources for Linear Colliders, Montauk, Long Island, New York, U.S.A., Oct.2-7, 1994.
- 4) M.Sakamoto, et. al. : "Development of 50MW S-band Pulse Klystron", Technical Report of IEICE. ED94-110 (1994-12), 1994.
- 5) T. Shintake : "High Power Klystron Simulations Using FCI-Field Charge Interaction Code", KEK Report 90-3, 1992.
- 6) S. Michizono, et. al. : "Performance of the 46MW Klystron for KEK B-Factory", Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, Tsukuba, Japan, 1993.