

# AN S-BAND 100MW PULSE KLYSTRON

Hiroshi YONEZAWA, Setsuo MIYAKE, Katsuhiro GONPEI, Yoshihisa OHKUBO,  
Keiji OHYA, Tadashi OKAMOTO, Hitoshi BABA\*, Shigeru ISAGAWA\*

TOSHIBA Corporation, Electron Tube Division

\* National Laboratory for High Energy Physics, KEK

## ABSTRACT

Development of an S-band 100MW pulse klystron is now under way. The klystron is designed to generate an output power of 100MW in 1  $\mu$ s pulse duration, or 80MW in 4  $\mu$ s. The output power is extracted from a single output cavity via two pill-box type output windows in parallel. Major parameters of the five integral cavities were optimized by the aid of Field Charge Interaction code(FCI).

The design and the test result of the first prototype klystron are reported.

## 1. はじめに

現在 TeV 級電子陽電子衝突型加速器が世界中で検討されている。日本国内においても TRISTAN 加速器の次の加速器として、電子と陽電子をそれぞれ 0.5 TeV まで加速する全長 10 km の JLC (Japan Linear Collider) [1][2][3][4]が検討されている。JLC では高いルミノシティを実現するために、10~30 GeV の大強度ライナックを用いた陽電子発生源が検討されており、この RF ソースとして 100 MW 級の S バンドパルスクライストロンが必要である。東芝では 100 MW の最大出力を持つ S バンドパルスクライストロン E3712 の開発を行っており、試作第 1 号機の設計及び試験結果について報告する。

## 2. 設計の概要

表 1 に E3712 の目標性能を示す。E3712 の動作モードには直接加速管を励振する short pulse 動作 (パルス幅 1  $\mu$ s 出力 100 MW) と、パルス圧縮をもちいてより高い加速エネルギーをえる long pulse 動作 (パルス幅 4  $\mu$ s 出力 80 MW) がある。

2-1. 電子銃 一般的に酸化物カソードのほうが容易に高い放出電流密度を得ることが出来るが、カソード分解の際の大量の放出ガスによって電子銃の内部が汚染されて、耐電圧が低下する。一方含浸型カソードは動作温度が高いため Ba の蒸発が多く、電子銃の耐電圧の低下や電極材料と融点の低い化合物を作り放電時の電極表面のダメージを大きくするなどの問題がある。E3712 では含浸型カソードのなかでも動作温度が低く Ba の蒸発量が小さいために長寿命の期待できるスカンジウム含浸型カソードを採用した。電極形状は、電子軌道のシミュレーションによる評価と共に電極表面での電界強度の評価を行なって決定した。電極表面での電界強度は当社の S バンドクライストロン用電子銃で実績のある電界強度と同等以下となるように電極形状を工夫している。電子銃のハウジングやシステム部分の形状は電子銃の安定動作に大きく影響を与える[5]。E3712 では電子ビームから見た高圧絶縁タンクを含めた電子銃回路全体のインピーダンスを計算し、特定の周波数で共振を起こさないようにしている。

表 1. E3712 目標性能

動作モード	long	short
出力電力 (MW)	80	100
動作周波数 (MHz)	2856	2856
ビーム電圧 (kV)	375	450
ビーム電流 (A)	460	604
RFパルス幅 ( $\mu$ s)	4.0	1.0
ビームパルス幅 ( $\mu$ s)	6.5	3.5
繰り返し周波数 (pps)	50	50
励振電力 (W)	300	375
効率 (%)	46	39

入力空洞

出力空洞

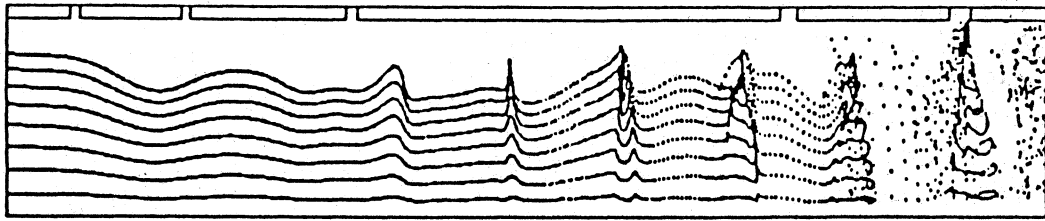


図1. FCIによるクライストロン大振幅動作シミュレーション結果 (スナップショット図)

2-2. 空洞部 各空洞の位置や共振周波数は、まず1次元ディスクモデルシミュレーション[6]により検討し、最終的にはリングモデルによるシミュレーションプログラムであるFCI[7]を用いて検討した。FCIでは電子ビームの分布が3次的に計算されるので、特に集束磁界の分布による利得や効率の変化を知ることが出来る。図1にFCIによって出力された大振幅動作時の電子ビームのスナップショット図の一例を示す。空洞の高周波電圧によって電子ビームが軸方向だけではなくビーム半径方向にも変調を受けていることがわかる。計算の結果、ビーム電圧375kVにて99MW、ビーム電圧450kVにて、140MWの出力が期待できる事がわかった。

2-3. 出力回路 現在のビルボックス形出力窓で実現可能な最大電力は、SLACの5045形クライストロンの実績などから検討すると50MW程度と思われる。また安定なクライストロン増幅動作を行うためには出力空洞の中での電磁界分布が対称的であることが望ましい。このためE3712では出力空洞に2つの独立した出力導波管をそれぞれ180度対向した位置に取付け、1出力空洞2出力導波管2ビルボックス形出力窓の方式を採用し、T回路を用いた出力合成器によって1ポート出力としてある。出力窓セラミックスには99.5%高純度アルミナセラミックスを用いた。マルチパクタ放電による加熱を防止するためTiN薄膜[8]を両面にコーティングし、その耐電力性がレゾナントリングによる大電力試験で確認された出力窓だけを装着している。図2に別途行われたレゾナントリングによる耐電力限界評価試験の結果をRFパルス電力とセラミックス外周部での温度上昇との関係で示す。200MW入力に対しても温度上昇はただか5度C程度であり問題ないことがわかる。

### 3. 実験結果

E3712試作1号機は本年3月に完成しKEK-NIKKO実験棟のクライストロン試験セットを使用して試験を行なった。図3にビーム電圧が370kVの場合の入出力特性を示す。利得はほぼシミュレーションどおりであるが、飽和効率は実験値の方が低い。

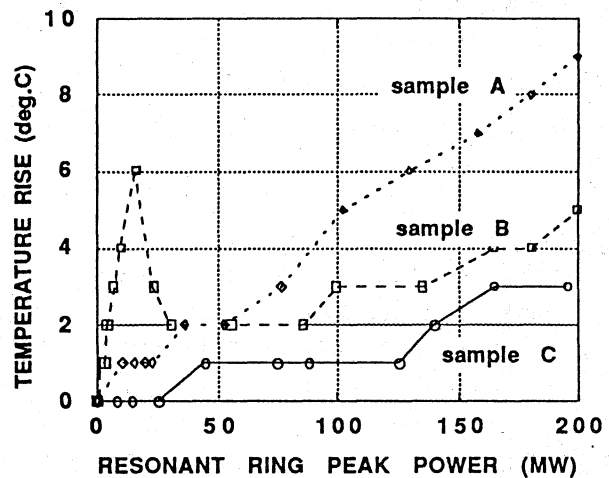


図2. 出力窓の温度上昇 (レゾナントリングによる試験結果—sample A, B, Cの膜厚は夫々60,10,40Å)

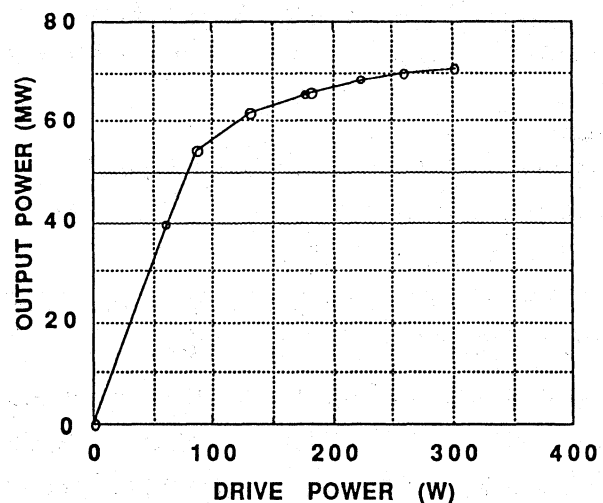


図3. 入出力特性 (ビーム電圧370kV)

データを取得できた最大の出力電力は7.2 MWであった。この時の動作条件を表2に示す。図4には飽和レベルでの出力電力、利得、効率のビーム電圧に対する依存性を示す。ビーム電圧が高くなるにつれて出力電力は次第に増大しており、ビーム電圧450 kVで100 MWの出力はほぼ確実に得られると考えられる。E3712の入出力特性、入出力パルス波形などはいずれも滑らかで自然な波形であり、何らかの不安定性が生じている兆候は現在のところ認められず、極めて安定に動作することが確認できた。動作中の出力窓からは、出力電力数MWのレベルでセラミックスからの脱離ガスの発光と思われる極く弱い青白い発光が認められたが、数10 MW以上の場合にはほとんど発光は認められなかった。今回施したTiNコーティングは出力窓におけるマルチバクタ放電を十分抑制出来たと考える。

#### 4. 結論

リニアコライダ用Sバンド100 MWクライストロンの試作第1号機の実験結果について報告した。残念ながらソケット部の高圧絶縁油が不足していたために、ビーム電圧385 kV付近において電子銃セラミックスにピンホールを生じて、クライストロン内の真空度が劣化してしまった。目標とする動作電圧、出力電力の確認は出来なかったが、7.2 MWという従来当社比3倍、従来の日本最高に対し2倍であるのみならず、従来の実用機世界最高の6.7 MWをしのぐ出力電力が確認できた。現在製作中の試作第2号機で当初の目標性能の達成を目指している。

**謝辞** 本クライストロンの実験に当たってはKEK JLCスタディグループおよび放射光入射器グループの各位に大変便宜を払っていただいた。深く感謝します。

#### 参考文献

- [1] Y.Kimura : KEK Internal 88-2 (1988) pp.11
- [2] K.Takata : Proc. of the Second Meeting on Physics at TeV Energy Scale  
KEK Report 88-10 (1988) pp.330
- [3] G.Horikoshi, Y.Kimura, and M.Yoshioka : KEK Reprint 88-73 (1988)
- [4] Y.Kimura, K.Takata, and M.Yoshioka :  
Proc. of the 1987 ICFA Seminar on Future Perspectives in High Energy Physics, 232(1987)
- [5] 米澤、岡崎、渡部、電気通信学会研究会資料 : ED85-115 (1985) pp.7
- [6] H.Yonezawa and Y.Okazaki : SLAC TN-1984-5 (1984)
- [7] T.Shintake : 1989 Particle Accelerator Conference (Chicago) 1989 D-3
- [8] 齊藤芳男、他 : 真空29 (1986) pp.149

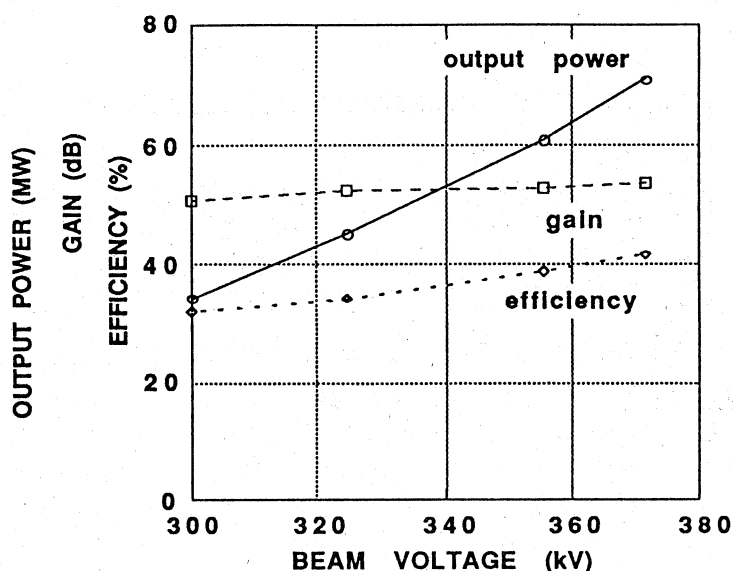


図4. 出力電力、利得、効率のビーム電圧に対する変化

表2. 7.2 MW出力時の動作条件

ビーム電圧	(kV)	380.0
ビーム電流	(A)	472.9
パービアン	( $10^{-6}$ )	2.02
繰り返し周波数	(pps)	20
パルス幅	( $\mu$ s)	1.142
出力電力	(MW)	7.20
電力利得	(dB)	54.9