

60Mw S-band Pulse Klystron

Mitsunori Sakamoto, Hiroshi Yonezawa, Keiji Ohya,
Nobuyuki Shirai and Tadashi Okamoto

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

Abstract :

60Mw S-band pulse klystron has been under development for use of RF source of linear accelerators. A prototype klystron was built, and tested. RF output power of 62Mw was achieved at beam voltage of 347kv with saturated efficiency of 47% .

60Mw 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用加速器、放射光光源装置などの加速器では、より高い加速エネルギーまたは高強度ビームの実現が追及されている。このため線形加速器の励振源であるパルスクライストロンも、より大出力が求められている。弊社では、現在までにSバンド(2856MHz)で、世界最大出力の100Mw級大電力パルスクライストロンE3712の開発に成功しており⁽¹⁾⁽²⁾、各方面で使用されている。

一方、加速器を増力する際には、加速器施設との適合性を重視することが導入コスト低減を図る上で重要である。Sバンド出力電力60Mw級のパルスクライストロンE3726は、加速器を新設、増力する場合に好適な出力電力が得られることを目的として開発したものである。今回、試作管を設計、製造、評価したので以下に報告する。

2. 設計概要

表1にE3726の目標性能を示す。E3726は100Mw級大電力パルスクライストロンE3712で培われた設計、製造技術を駆使することにより高効率で安定な動作を実現することを目標とした。

2.1 電子銃

電極形状の決定に際しては、電子ビーム軌道シミュレーションの評価とともに、電極表面での電界強度の評価を行った。電極形状を工夫し、電極表面での電界の集中を防ぎ耐電圧安定性の確保を図った。またガンオシレーション防止のため低インピーダンスの電子銃構造とした。カソードには直径90mmの東芝製Irコートディスベンサ型を採用することにより、比較的低温度での動作を可能とし、長寿命化を狙っている。

表1 E3726目標性能

動作周波数	f _o	(MHz)	2856
出力電力	P _o	(Mw)	60以上
ビーム電圧	e _{py}	(kv)	340
ビーム電流	i _k	(a)	397
RFパルス幅	τ _{p(rf)}	(μs)	2.0
ビームパルス幅	τ _{p(epy)}	(μs)	4.0
繰り返し周波数	p _{rr}	(pps)	50
効率	η	(%)	45以上
飽和利得	G	(dB)	53以上

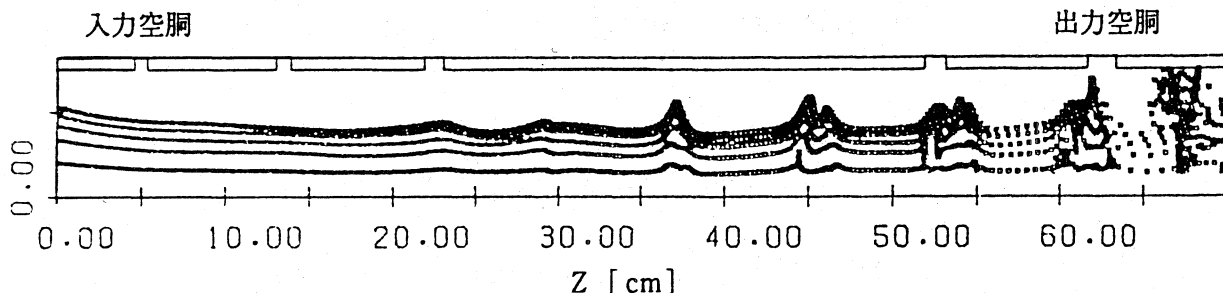


図1 FCIシミュレーション結果 (スナップショット図)

2.2 高周波相互作用部

高周波相互作用部は5空胴で構成され、1次元ディスクモデルシミュレーション (JPNDISK)⁽³⁾ 及び、2.5次元FCIシミュレーション⁽⁴⁾ により空胴の位置や各空胴のパラメータを最適化した。図1にFCIの計算例を示す。計算の結果、ビーム電圧340kVにおいてJPNDISKでは78Mw、FCIでは69Mwの出力が期待できる。

2.3 出力回路

E3712と同一構造のピルボックス型出力窓を採用し、単一出力窓、単一出力ポートとした。この出力窓は、以前KEK殿の御協力のもとに実施したレゾナントリングでの試験で200Mw入力までの耐電力性が検証されている。⁽⁵⁾

3. 試験結果

E3726の試作1号機 (図2) は一昨年に完成し、昨年7月に評価試験を実施した。

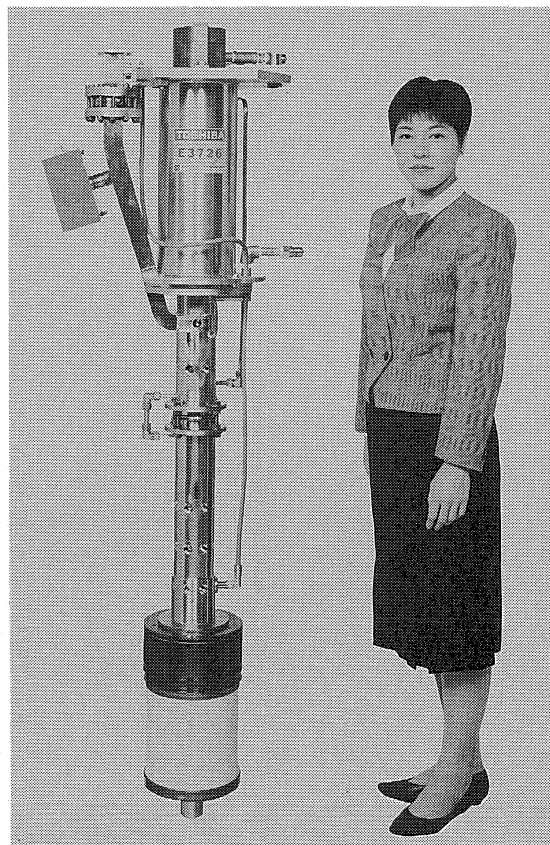


図2 E3726試作1号機

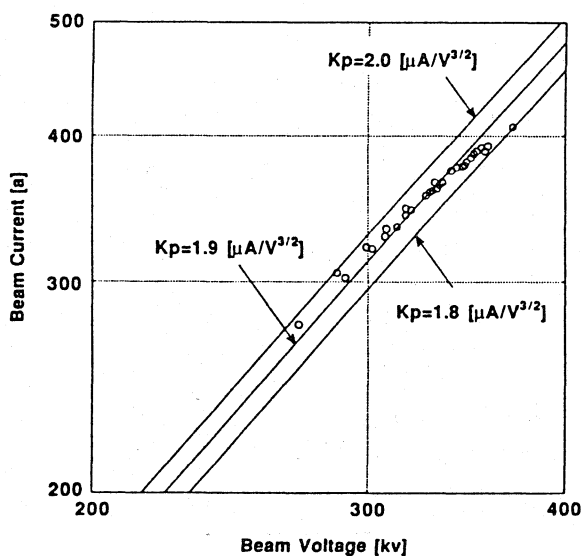


図3 電圧電流特性

3.1 耐電圧評価

カソードヒータを点火しない状態で動作パルス幅より短い ($\sim 1\mu\text{s}$) パルス電圧を印加して電子銃の耐電圧を評価した。結果最大電圧450kVまで安定に電圧を印加することができた。

3.2 電子銃の電圧電流特性及び安定性

図3に電子銃の電圧電流特性を示す。定格電圧340kVでパービアンスは設計値 ($2\mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$) より若干低いもののほぼ良好な結果を得た。またガンオシレーション等の発振現象の兆候はなく安定に動作していることを確認した。

3.3 RF出力の測定及び安定性

図4にビーム電圧が347kVの場合の入出力特性を示す。図5には飽和レベルでのビーム電圧に対する出力電力、効率、利得の変化を示す。ビーム電圧347kVで飽和出力62Mw、効率47%であった。この時の動作条件を表2に示す。高パリアンスが求められる大電力パルス管のなかでは47%と高効率を達成できた。さらに入出力特性、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。最終的にRFパルス幅は出力46Mwレベルで最大約3 μ sまで伸ばし、出力窓の耐電力性の評価を行った。

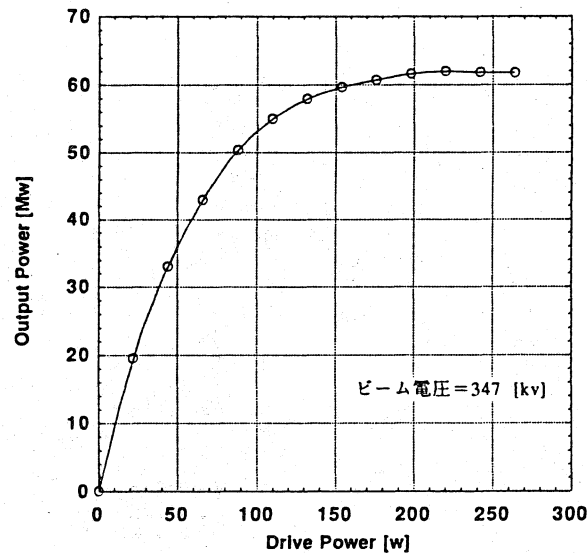


図4 入出力特性

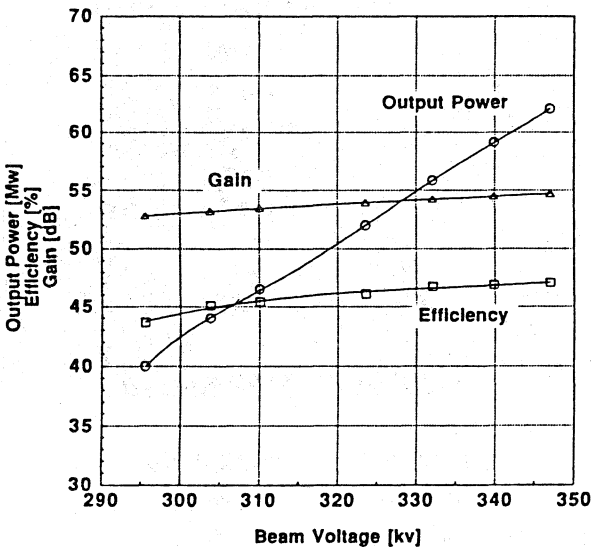


図5 ビーム電圧に対する飽和特性

表2 E3726動作例

動作周波数	f_0	(MHz)	2856
ビーム電圧	e_{py}	(kV)	347
ビーム電流	i_k	(A)	380
RFパルス幅	$\tau_{p(rf)}$	(μ s)	1.0
繰り返し周波数	p_{rr}	(pps)	50
出力電力	P_o	(Mw)	62
効率	η	(%)	47
飽和利得	G	(dB)	54.7

3.4 技術課題

試験終了後、出力窓セラミックスにクラックが確認されたことから出力窓の信頼性を向上させることが課題である。今回のクラックの原因はセラミックス表面に多数の細なゴミが存在していたためと考えられる。実際の動作環境ではゴミの発生もある程度は止むを得ないのでより耐電力の優れたロングピルボックス型出力窓を採用すべく開発中である。現在VSWR特性の評価を終えており、今後レゾナントリングにて耐電力性の検証を行う予定である。

4. まとめ

60Mw SバンドパルスクライストロンE3726の試作管を設計、製造、評価した。試験の結果、E3726はビーム電圧347kVにおいて飽和出力62Mw、効率47%を達成し、極めて安定に増幅動作を行うことを確認した。さらにRFパルス幅を広くした動作条件に対応するために、耐電力性に優れている新開発出力窓（ロングピルボックス型）を搭載するなどの改良を加えた試作2号機について検討している。

参考文献

- 1) 米澤、三宅、他、第14回ライナック研究会(1989)pp.228
- 2) 大久保、他、第15回ライナック研究会(1990)pp.236
- 3) H.Yonezawa, Y.Okazaki:SLACTN-1984-5(1984)
- 4) T.Shintake:1989 Particle Accelerator Conference (Chicago) 1989 D-3