

A 60MW PULSE KLYSTRON

Kazutaka Hayashi, Toshiji Tanaka, Hiroshi Iyeki

Mitsubishi Electric Corporation, CEW

8-1-1 Tsukaguchi Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661

Abstract:

A high power klystrons is needed as an RF source for linear accelerators in high energy physics reserch. A 60MW S-band pulse klystron is under developing. A prototype tube had been built, and 60.5MW peak power was measured at 352kVbeam voltage. The results of the prototype tube are discussed in this paper.

Sバンド60MW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の線形加速器は、より高い電子・陽電子のエネルギーを必要としている。現在、高エネルギー物理学研究所（KEK）の放射光・トリスタン入射器である、400m線形加速器のクライストロンとして、弊社製PV-3030Aが使用されている。Sバンド(2,856MHz)で、そのパルスピーク出力は33MWである。PV-3030Aは、現在、KEKとの協力の元に、電子銃電極を改良し、高電圧印加と磁界最適化を行い、より高出力を得るための試験が行われている^{1) 2)}。

さらに大出力クライストロンとして、このPV-3030Aをベースに、Sバンド60MWの出力をめざしたクライストロンの開発を行っている。今後計画される高エネルギー加速器の建設や増強（例えばKEKの入射器のエネルギー増強）のための大出力クライストロンとなることを目標とする。60MW出力のクライストロンを設計、試作したので、その結果を報告する。

2. 設計

2.1 目標

大電力クライストロンにおいて困難な点は、ビーム電圧上昇に対する電子銃の耐電圧、及び、大電力高周波電力に起因する出力窓や空洞の耐電力である。ビーム電圧上昇に伴い、新たに高電圧試験装置が必要となったり、大型化したいサイズが使用建屋や製造設備により制約されるといった問題も生ずる。小型で、単一出力窓のクライストロンで、60MWを実現することを目標とした。表1に、60MWクライストロンの開発目標値を示す。現状のPV3030Aクライストロンの特性値と比較してある。デューティを半分として、高出力ながら、小型、単一出力窓が可能と考えた。

(単位)	PV3030A	60MW klystron
周波数 (MHz)	2856	2856
ピーク出力 (MW)	33	60 以上
デューティ	0.0004	0.0002
効率 (%)	44	45
飽和利得 (dB)	51	53
ビーム電圧 (kV)	265	350
ビーム電流 (A)	285	414

表1. 60MWクライストロン開発目標

2.2 試作管設計

電子銃は、当初パービアンズ $2.3\mu AV^{-3/2}$ と少し高めに設定して、ビーム電圧を低くしようと設計した。しかし、電極表面電界強度はほとんど変わらなかった上に、ビーム電流増大による電子ビーム集束の困難さから、試作管ではパービアンズを $2.0\mu AV^{-3/2}$ に設定した。カソードは、PV3030Aと同様に、低温動作が可能なSc入りの含浸型カソードを用いた。

本体空洞部は、5つの空洞より構成される。クライストロンの特性は空洞パラメータに加え、電子ビームの軌道に密接につながっているため、磁界分布によって、利得や効率が大きく変化する。当初、PV3030Aと同様な磁界分布（Brillouin磁界に近い分布）での集束を考えていたが、ビーム軌道のシミュレーションにより、カソード部に磁界をしみ込ませただけに変化する磁界分布の方がビーム集束性が良いことが分かった。さらに、KEKの協力によりFCIコード³⁾を用いて、磁界分布を考慮した2.5次元PICモデルのクライストロン特性のシミュレーションを行なった。図1に計算例を示す。その結果、60MW出力は得られるが、利得が低いことが予想された。

出力窓は、緻密で高純度なアルミナセラミックス（UHA99:日本特殊陶業社製）を用いて、ピルボックス寸法を決めた。窓破壊についての知見を得るために、窓内部の電磁界解析を行った⁴⁾。ロウ接の検証、レゾナントリング試験による耐電力の検証を行った。

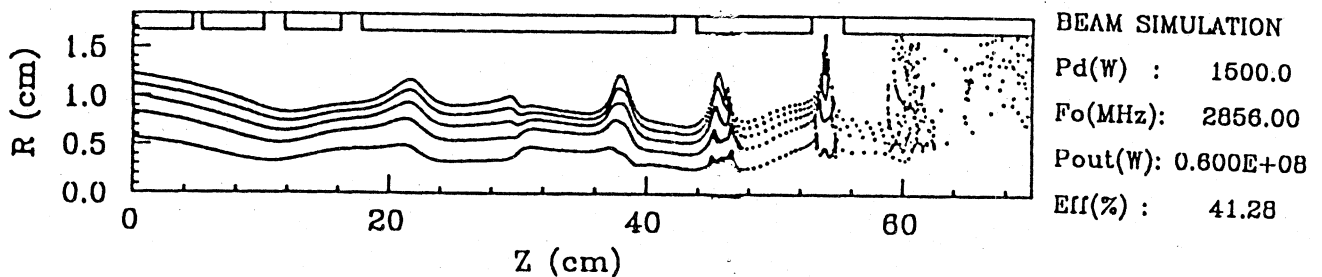


図1. FCIシミュレーション結果

3. 試作管試験結果

図2に、試作管とPV-3030Aの写真を示す。図3に、ビーム電圧に対する出力特性を示す。ビーム電圧352kVで尖頭出力60.5MWを得た。この時の効率は42%、利得は46dBであった。入出力特性は図4に示す。

必要な出力を得るためには、磁界分布とビーム軌道が重要である。電子ビームを太くかつ、波打ちを少なくするようにして、利得と出力を稼ぐ必要がある。しかし、ドライブ入力が増加するに従い集束したビームのビーム径が大きくなり、ドリフトチューブ壁に衝突して、出力が伸びない事が、シミュレーションで明らかになった。このため、出力空洞部の磁界強度を増やして、出力が増大するよう、磁界分布を調整した。この磁界調整と、出力の変化は、シミュレーションと定性的に一致した。電子銃からのビーム入射条件設定が、今後のシミュレーション

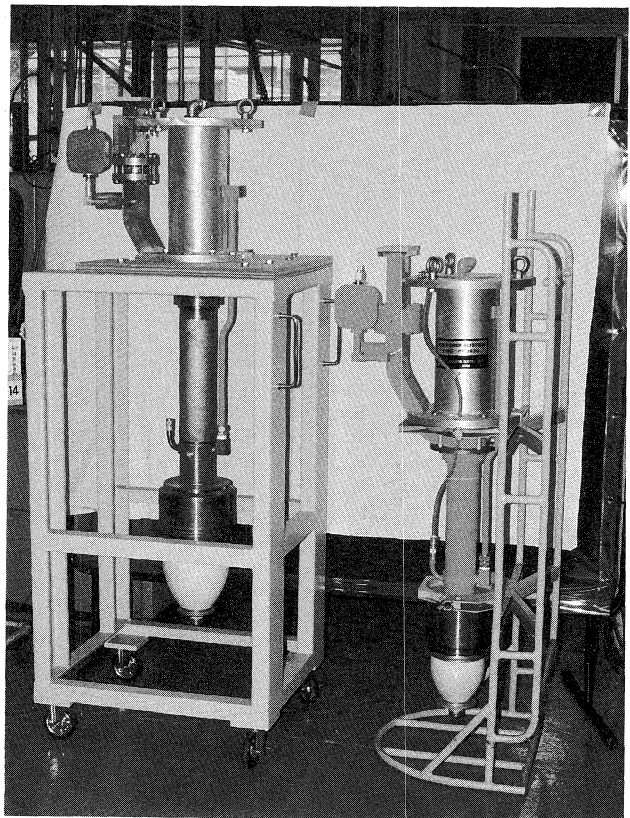


図2. 試作クライストロンとPV-3030A

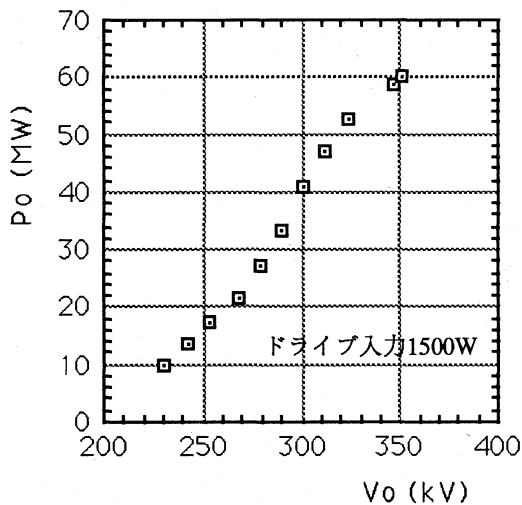


図3. ビーム電圧と出力

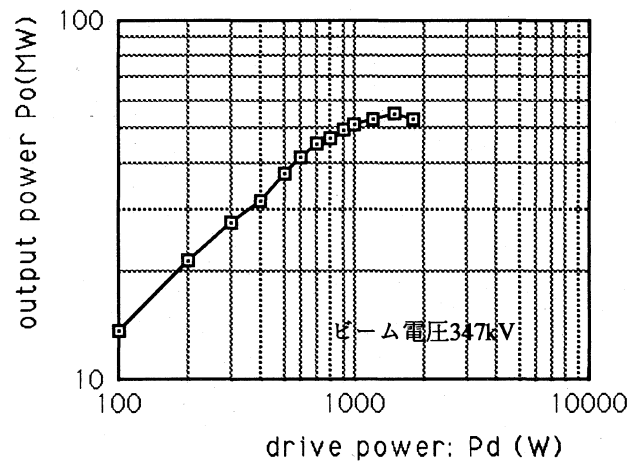


図4. 入出力特性

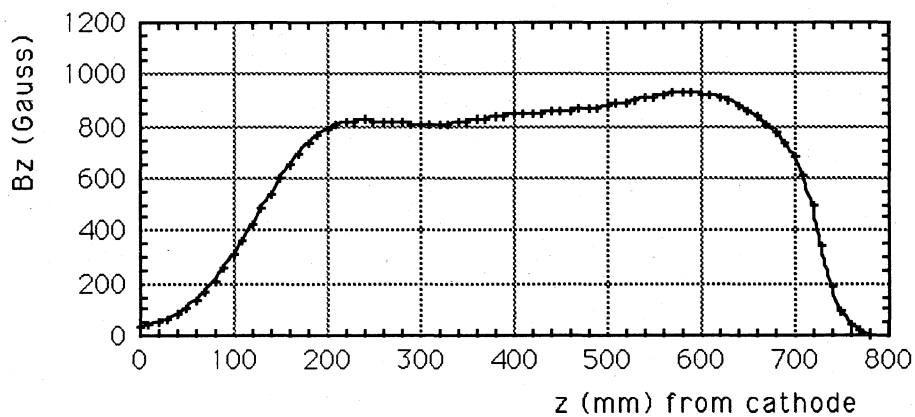


図5. 磁界分布

の課題である。図5には、尖頭出力60.5MWを得た時の磁界分布を示す。

試作管の問題点は、利得不足と、入力空洞部にマルチパクらしい不安定現象が生じたことであつた。さらに、デューティを上げた試験による、出力窓等の耐電力の確認も、残された課題である。この試作管の結果をもとに、利得の向上と、小型化をめざした製品化設計を行った。FCIコードによるシミュレーションでは、利得の向上は確認されている。

4. まとめ

Sバンド60MWクライストロンを設計・試作した。試作管の試験の結果、ビーム電圧352kVで尖頭出力60.5MWを得た。出力を得るためには、磁界分布とビーム軌道が重要であることがわかつた、また、測定結果は、シミュレーション結果と定性的に一致した。試作管の結果をもとに、小型化と利得の向上などの改良を盛り込んだ60MWクライストロンの製品化設計を行った。今年中に組立、試験を行う予定である。

シミュレーションや窓改良など、本開発に、御助言や御指導頂いたKEK放射光入射器グループの各位に深く感謝いたします。

参考文献：

- 1) 中尾、穴見、斉藤；「クライストロン電子銃周辺の改良及びパワーテスト」第15回ライナック研究会 (1990)
- 2) 福田、中尾、斉藤、道園、穴見；「KEK PV3030A2 Sバンド大電力クライストロンのシミュレーションとテスト」第17回ライナック研究会 (1992)
- 3) T. Shintake, "High-power Klystron Simulations using FCI - Field Charge Interaction Code", KEK Report 90-3 May (1990)
- 4) 林、家喜；「大電力高周波窓」第16回ライナック研究会 (1991)