

[P7-24]

High-power tests of a klystron beam-test-tube and an anode modulator

M. Kawamura, S. Fukuda, S. Anami, M. Ono, C. Kubota, T. Takenaka, S. Miyake*, M. Sakamoto* and Y. Ichikawa**

KEK, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, Japan

*Toshiba Corporation, Display Devices and Components Company, 1385, Shimoishigami, Ohtawara-shi, Tochigi-ken, 324-8550, Japan

**Hitachi Works, Hitachi, Ltd., 1-1, Saiwaicho 3 chome, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 317-0073, Japan

Abstract

In the low energy section (less than 200 MeV) in the proton linac for the Japanese Hadron Facility (JHF), the modulating-anode type klystrons, whose frequencies are 324 MHz, will be used as rf sources. The first klystron and the first set of power supplies for klystrons are being fabricated.

Prior to them, a klystron beam-test-tube and an anode modulator, which are the prototypes of the klystron and the power supply, were fabricated and high-power tests were carried out. In this paper the test results are reported.

クライストロン・ビームテスト管およびM・アノードパルス変調器の大電力試験

1. はじめに

JHF 陽子リニアックのうち 200MeV までの低エネルギー部においては、その加速高周波源として周波数 324MHz のモジュレーティングアノード (M・アノード) 型パルスクライストロンが採用される。そのクライストロン及びクライストロン電源システムを現在開発中である。最近、それらのプロトタイプとしてクライストロン・ビームテスト管およびM・アノードパルス変調器を製作し、大電力試験を行ったので報告する。

2. クライストロンおよびクライストロン電源システムの概要と開発

2-1. クライストロンの概要と開発

324MHz クライストロンの仕様を表1に示す⁽¹⁾。クライストロンを構成する種々の要素の中で、RF窓と、電子銃およびコレクタ部は特に重要であり、開発初期の段階においてまずプロトタイプを製作して性能を確かめ、その結果をクライストロンの設計に反映させる必要がある。RF窓についてはKEKBのカップラで実績のある同軸セラミックの構造を考へており、既に432MHzにスケールダウンしたものでKEKの旧テストスタンド⁽²⁾⁽³⁾にて大電力試験を行い、その性能を確認した⁽¹⁾⁽⁴⁾。

次に電子銃およびコレクタ部のプロトタイプであるビームテスト管⁽⁵⁾⁽⁶⁾を製作した。ビームテスト管は電子銃部、コレクタ部、イオンポンプの他、M・アノード電極、集束コイルおよびバックリングコイル、冷却水管より構成される。コレクタ部の各位置での温度の測定が可能のように24点の熱電対が取り付けられている。従来のテストスタンドでは、クライストロンカセットはM・アノードパルス変調器と共通のオイルタンクに収納されていたが、新規クライストロンは長大(約4.4m)である事、などに

表1. クライストロンの仕様⁽¹⁾

項目	単位	定格	動作時(飽和状態)
周波数	MHz		324
ピーク出力電力	MW	3.0	2.5
ビームパルス幅	μs		700
RFパルス幅	μs	650	(フラットトップ: 620)
繰返し	pps		50
RFデューティ	%		3.25
カソード電流	A	50	45
カソード電圧	kV	110	102
M・アノード電圧	kV	93	86
パワーストレンス			1.37×10^{-6}
効率	%		55
利得	dB		46
空洞数			5
入/出力結栓			N型/WR-2300
RF窓			同軸セラミック窓
据付方向			水平方向
ビーム集束			電磁石

よりバックリング等の容易さを考慮して、カセット部のオイルタンクを分離し、水平方向に据え付けられたクライストロンと一体となる構造にした。従って、ビームテスト管およびカセット部オイルタンクも水平方向に据えられている。オイルタンクとM・アノードパルス変調器の間は3本の同軸ケーブルRG-220/Uで接続し、ケーブルカセットには Isolation Products, Inc. のD-117-BA(最大定格150kV)を用いている。オイルタンクには絶縁油中の真空脱法を行うための排気ポートやバクサーバタンクも備えてある。

ビームテスト管は98年秋に完成し、同年11、12月に旧テストスタンド

に取り付けて、印加カソード電圧最大110kV、繰返し50ppsまでの大電力試験を行った。その時のカソード電圧・電流波形を図1に示す。この時のイオン電流は約0.1 μ Aであった。最大定格に到達するまで約40時間掛かった。エッジ途中でコックの付け根部分と集束コイルとの接合部分から強い放射線(約200 μ Sv/h)の発生を観測したので鉛シールドを施した。この時の諸データはクライストロン1号機的设计に反映されている。

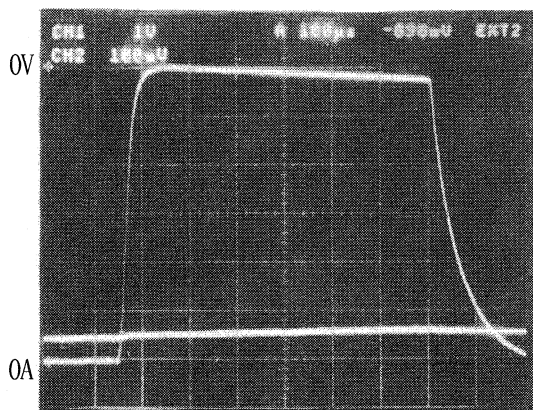


図1. 旧テストスタンドでの試験結果
(カソード電圧110kV、繰返し50pps)

上：カソード電流、8A/div.
下：カソード電圧、20kV/div.
100 μ s/div.

2-2. クライストロン電源システムの概要と開発

クライストロン電源システムの開発は、1GeV陽子リアクの研究段階から継続して行われ、94年にはKEK内に432MHzのテストスタンド⁽²⁾⁽³⁾が完成している。200MeVリアクでは20台のクライストロン稼働し、それに対し5台の直流電源、20台のM・アノードパルス変調器が必要となる⁽⁵⁾が、そのシステムは旧テストスタンドの実績をもとに新たに提案され⁽⁶⁾、98年より開発が開始された⁽⁵⁾。99年1月末にはM・アノードパルス変調器の1号機が完成した。

M・アノードパルス変調器の仕様を表2に示す⁽⁵⁾⁽⁶⁾。全体は絶縁油タンク内に納められる。パルス出力の立上り、立下りにおいては各部に発生する浮遊容量が影響する。スイッチング素子に四極管を用いる場合ヒータンス、G1、G2電源等が必要になるが、四極管カソード側が接地電位に対してマイナスの電位差を持ち、かつパルス出力中はクライストロンカソードに対しても電位差を持つので、これら四極管電源等はタンク内で更に外形400 \times 340 \times 500 mm の導電体のボックス内に納められる。そのためボックスとタンク外壁(接地電位に固定)との間に浮遊容量が発生するので立上り時間、立下り時間を減らすにはタンクを小さくすることが不可欠となる。また出力同軸ケーブルの浮遊容量も影響するので、出来るだけ短くすることが望ましい。新規パルス変調器ではG2電源専用のトランスをなくす、配置を見直す等の検討を行った結果、1200 \times 1000 \times 1400 mm のタンクとなった。また出力ケーブルは長さ2m

表2. M・アノードパルス変調器の仕様⁽⁵⁾⁽⁶⁾

項目	定格
kly.アノード電圧	~85kV(カソード電圧100kV時), ~93kV(カソード電圧110kV時)
抵抗性バック回路電流	1A
kly.アノード電流	100mA以下
立上り時間	50 μ s以下(10-90%)
立下り時間	150 μ s以下(90-10%)
スイッチング素子	TH5188(Thomson)
kly.逆バイアス電圧	-2, -2.5, -3kV(対カソード電圧)
kly.ヒータ入力電力	~AC300W
kly.カソード シリーズ抵抗	14 Ω

とした。現在タンクの更なる小型化のため、スイッチング素子を半導体に変更することも検討中である。

3. クライストロン・ビームテスト管およびM・アノードパルス変調器の大電力試験

大電力試験は、高圧を供給する直流電源には旧テストスタンドの直流電源⁽²⁾⁽³⁾を、またM・アノードパルス変調器には今回製作したものを用いた。試験時の現場写真を図3に示す。

図4、5に最大定格設定時(カソード電圧110kV、パルス幅~700 μ s、繰返し50pps)のカソード電圧、電流、M・アノード電圧波形の写真を示す。カソード電圧波形から確認できるパラメータは、パルス半値幅720 μ s、フラットトップ部605 μ sである(ゲート幅設定値685 μ s)。立上り時間(10-90%)は32 μ s、立下り時間(90-10%)は183 μ sとなる。立上り、立下り時定数を計算すると、それぞれ15 μ s、83 μ sとなる。旧テストスタンドでの時定数(23 μ s、178 μ s)⁽⁷⁾と比較すると、それぞれ35%、53%の減少となっている。しかし表2の定格値より立下り時間が22%大きい。更なる検討が必要と言える。

波形写真のカソード電圧、カソード電流からビームテスト管のパーベアンスを算出すると1.24 $\times 10^{-6}$ となった。カソード電圧を変化させながらパーベアンスを算出すると、50kV以上で1.22~1.25 $\times 10^{-6}$ となることが確認され、設計値より約10%低い値となった。ヒータ電流を10%程度増加させたがカソード電流は増加せず、空間電荷制限領域であることを確認した。

同測定時にコック部分の温度上昇の分布も調べたので図6に示す(条件、横置き、カソード電圧110kV、カソード電流46.6A、パルス幅~700 μ s、繰返し50pps、冷却水流量170l/min.)。比較のため縦置きした場合(条件、縦置き、カソード電圧110kV、カソード電流47.3A、パルス幅~680 μ s、冷却水流量150l/min.)も示した。一ヶ所で30 $^{\circ}$ Cの温度差がある以外は10 $^{\circ}$ C以内の差になっており、ピーク値でも90 $^{\circ}$ C以下の温度上昇となっている。よって定格値以下ならばビームテスト管は縦置きでも横置きでも

問題無く使用できることが確かめられた。上記条件のもと横置き状態でコレクタ冷却水に消費されるエネルギーは、冷却水流量170l/min.、温度上昇15.8℃から187kWと算出される。

4. まとめ

大電力試験の結果、クライストロン・ビームテスト管およびM・アノードパルス変調器が所期の性能を満たしていることが確かめられた。

クライストロン1号機は6月上旬にKEKに納入される予定で、今夏試験を行う。クライストロン電源システムは現在製作中で、今年度末に納入される予定である。

参考文献

(1)S.Fukuda et al., Proc. of the First Asian Part. Acc. Conf. (1998), pp.112-114.

(2)M.Ono et al., Proc. of IEEE Particle Acc. Conf. (1993), pp.1163-1165.

(3)M.Kawamura et al., Proc. of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan(1995), pp.266-268.

(4)M.Kawamura et al., Proc. of the 23th Linear Accelerator Meeting in Japan(1998), pp.246-248.

(5)'The Second International Advisory Committee Meeting for JHF Accelerator', December 7-9, 1998, KEK, Tsukuba, Japan.

(6)'JHF Design Study Report', JHF Project Office, KEK Report 97-16, 1998.

(7)M.Kawamura et al., Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan(1993), pp.202-205.

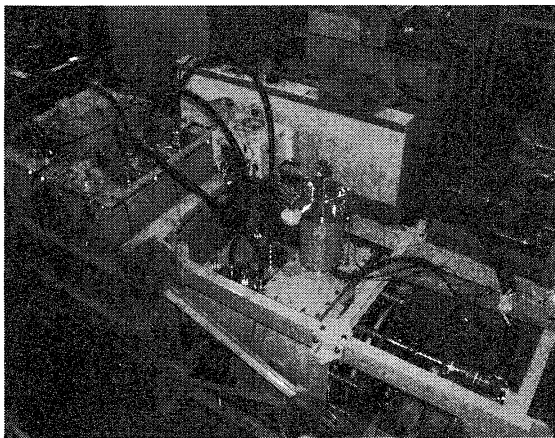


図3. 大電力試験時の現場写真
(左、M・アノードパルス変調器、右、クライストロン・ビームテスト管)

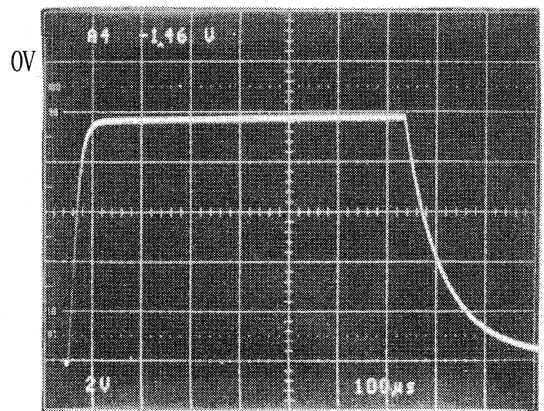


図5. 大電力試験結果(2)
M・アノード電圧、20kV/div.
100μs/div.

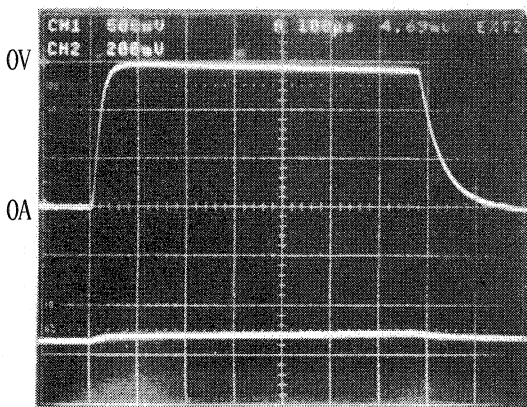


図4. 大電力試験結果(1)
上：カソード電流、16A/div.
下：カソード電圧、20kV/div.
100μs/div.

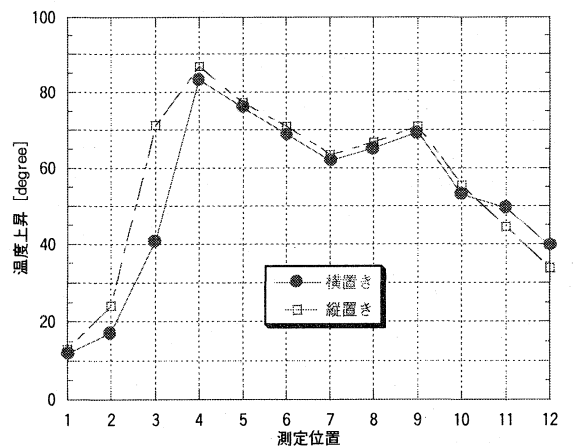


図6. 大電力試験結果(3)
コレクタ部の温度上昇分布。横軸は数字が増えるにつれ電子銃から遠ざかる位置を示す。