

## Performance of the 46 MW klystron for KEK B-factory

Shinichiro MICHIZONO, Katumi NAKAO, Hiroyuki HONMA, Yoshio SAITO,

Shigeki FUKUDA and Shozo ANAMI

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

1-1 Oho, Tukuba, Ibaraki 305, Japan.

### ABSTRACT

An upgraded klystron was tested and an output power of 51.5 MW was obtained at a beam voltage of 310 kV and an rf pulse width of  $4\mu\text{s}$ . The insulating ceramic, rf window ceramic and focusing magnetic field were improved for this klystron. In this paper, the klystron output power and temperature rise of the rf window due to the transmission of larger rf power were reported.

### KEK Bファクトリー用46MWクライストロンの出力試験

#### 1. 序論

Bファクトリー計画では、ライナックは2.5 GeVから8.0GeVにエネルギー増強される。SLEDによるパルス圧縮を用いる場合、クライストロンからは高周波パルス幅 $4.0\mu\text{s}$ 、繰り返し50ppsで最大46MW（通常41MW）の出力が必要となる[1]。現在ライナックで使用されている30MWクライストロンは、その計算機シミュレーション及び、短パルス高電圧試験から、集束磁場分布、印加電圧の変更で上記の仕様が満足できる可能性があることがわかった[2]。その場合、現在のパルストランスタック、パルストランス、電磁石等はそのまま、若しくは一部を改良することで継続して使用ができる可能性も出て来た。

今回は、電子銃絶縁セラミック及び高周波出力窓を改良したクライストロンを使いBファクトリー計画で必要とされる定格に近いところまでテストしたので、その出力特性や高周波窓の温度上昇などについて報告する。

#### 2. クライストロンの試験システム

##### 2.1 クライストロン

試験に使用したクライストロンは、ライナックで使用されているSバンドパルスクライストロン(PV3030-A2)を改良したものの(PV3030-A3)である(Fig.1)。主な改良点は、(1)絶縁セラミックを約15%大きくし310kV程度まで印加可能にしたこと(スペースの関係で今まで内蔵していたコロナリングは磁石側の構造で代用した。)、(2)高周波出力窓の材質を高純度緻密で誘電損失が小さく(tan

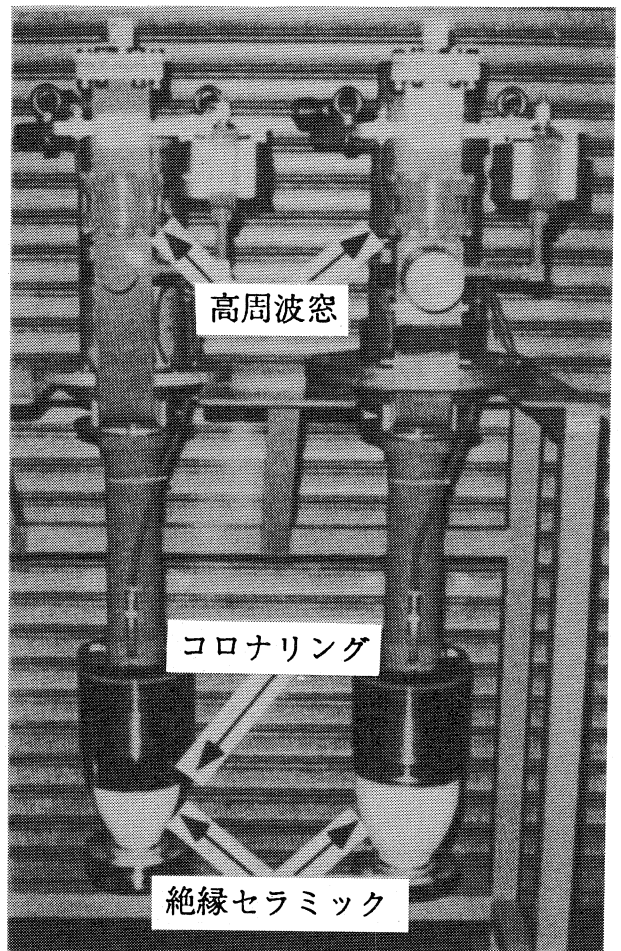


Fig.1 現在ライナックで使用中のクライストロン(PV3030-A2) (左)と今回試験したクライストロン(PV3030-A3) (右)

$\delta \sim 5 \times 10^{-5}$ ) 大電力通過に実績のあるセラミック (日本特殊陶業製HA-997) [3]にして大電力長パルスの高周波通過に耐え得るようにしたことである。その他の高周波空洞の構造等は今までのものと同じである。

## 2.2 パルストランス、集束磁石

現在ライナックで使われているパルストランスは1:12の昇圧比であるが、試験用モジュレータからの出力の上限はモジュレータのサイクロンの仕様(最大順方向アノード電圧50kV)により制限されているため、昇圧比を1:13.5に変更し330kVまで印加可能にした。長パルス(ビームパルス幅 $5.5 \mu\text{s}$ )にするために、モジュレータは20段からなるPFN 2台を並列にしている[4]。現在のパルストランスは、比較的大きいコアを使用しているのでコアバイアスなしで270kVまで使用できる。従って長パルスの場合問題になるコアの飽和については、新たにコアバイアスをかける(Fig.2)ことにより解決できる事が期待され、実際にテストで確かめた。パルストランス内での耐圧空間を考慮するとパルストランスタンク全体の高さは約10cm高くなるので、従来使用していたオイルタンクにアル

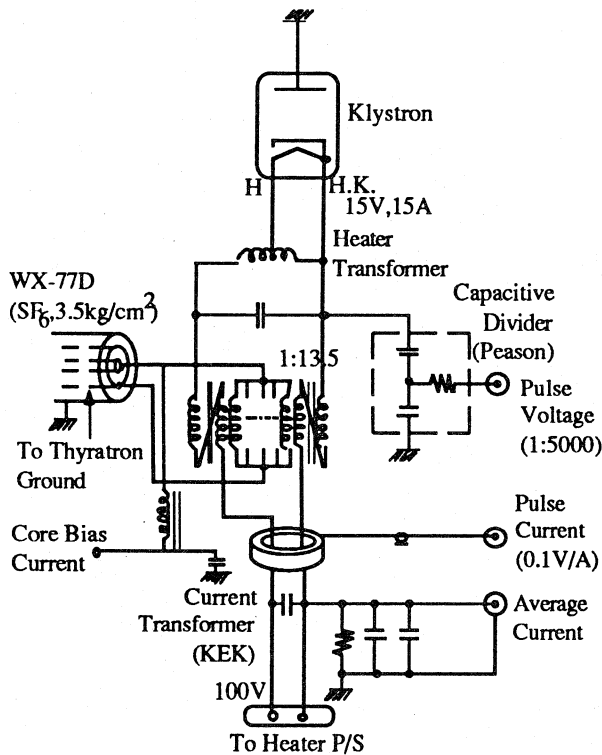


Fig.2 今回改造したパルストランスの最式図

ミニウムの延長リングをつけている。

現在、ライナックのクライストロンでは、クライストロン用集束磁石として電子線形加速器用に永久磁石(41個)が、また陽電子加速器用に電磁石(7個)が使用されている。永久磁石で得られる最大磁場は1150ガウスであるが、テストでは最適磁界は1200ガウス前後であり、改良型クライストロンでは電磁石を用いる必要がある[2]。今回のテストでは、陽電子加速器用の電磁石を使用し電磁石電源はクライストロンの出力空洞付近の磁場を十分変化できるように強化した。

## 2.3 試験に用いた計測系

試験に用いた高周波電力の測定系のブロック図をFig.3に示す。高周波はクライストロンの窓、真空導波管、高周波窓を通してSF6で加圧されているダミーロードで消費される。ダミーロードは20l/minの冷却水を流しており、水晶温度計で測定した入口と出口の水温の差から高周波出力を求めている。高周波出力の波形は真空導波管中の60dBの結合度を持つベアホールカップラーを通して観察される。パルス電圧と電流の波形はCD(Capacitive Divider)及びCT(Current Transformer)を通して観察している。Fig.4に電圧、電流、高周波出力(P)波形を示す。真空導波管部分はターボポンプとイオンポンプで排気されており、到達圧力は $1 \times 10^{-8}$ Torr以下でありエージング中も $1 \times 10^{-6}$ Torr以

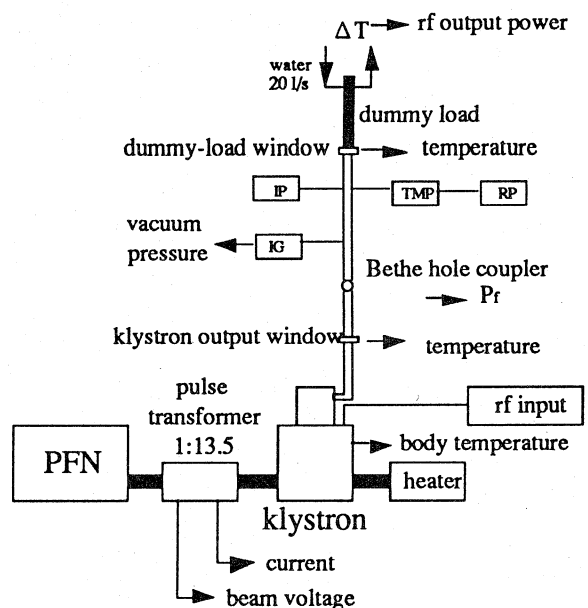


Fig.3 クライストロン試験計測のブロック図

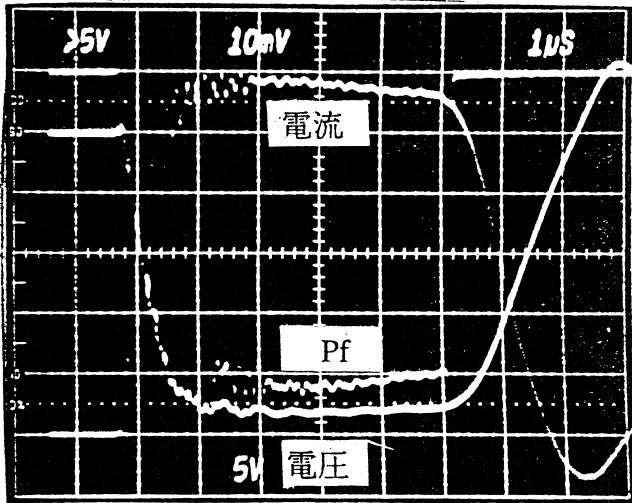


Fig.4 ビーム電流 (上), 電圧(300kV) (下) およびクライストロンからの高周波出力波形 (Pf) (中). 横軸は $1\mu\text{s/div}$ .

下となるようにしている。

電子ビームのドリフト管壁でのロス、クライストロン出力空洞付近の冷却水パイプに水晶温度計を取り付けモニターできるようにした。

クライストロン及びダミーロードの高周波窓にはKタイプの熱電対を取り付け、高周波通過による温度変化を測定した。

### 3. 試験及び結果

試験はモジュレーターの電流入力ラインの制約のため繰り返し20ppsで310kVまで、40ppsで305kV、50ppsで300kVまでの条件で行われた。Fig.5に磁場分布と高周波出力の関係を示す。通常の定格値260kVでの最適磁界では、ビーム電圧が高くなるに従って、高周波出力の増加は少なくなり同時にドリフト管壁の温度が上昇しビームが管壁にあたっていき事がわかった。出力空洞付近の磁場を強くしビームを絞ったところ出力が大きくなり、更にビームを絞ると出力は減少した。これは、ドリフト管壁にあたらぬ程度で高周波出力が最大となる最適なビーム径が存在する事を示している。従って、ビーム径が大きくビームがドリフト管壁にあたると空洞と相互作用するビーム電流が減少して出力も小さくなり、また、ビーム径が小さすぎると空洞とのカップリングが小さくなると考えられる。今回の試験ではこのような磁場の調整により310kVでFig.5の磁場分布(6)の場合51.5MWの出力

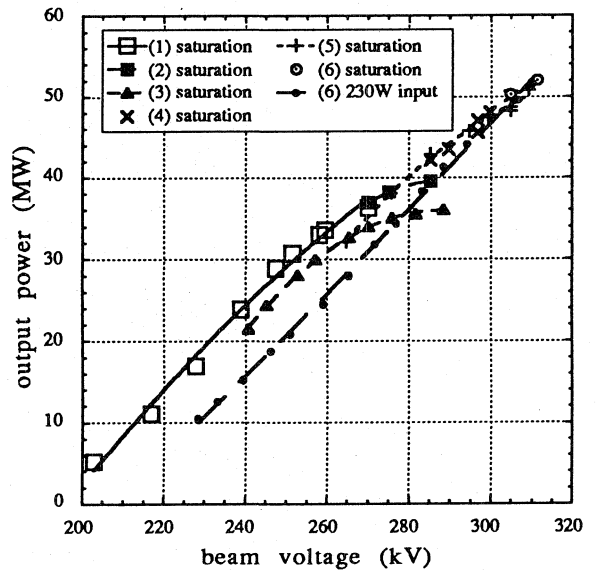
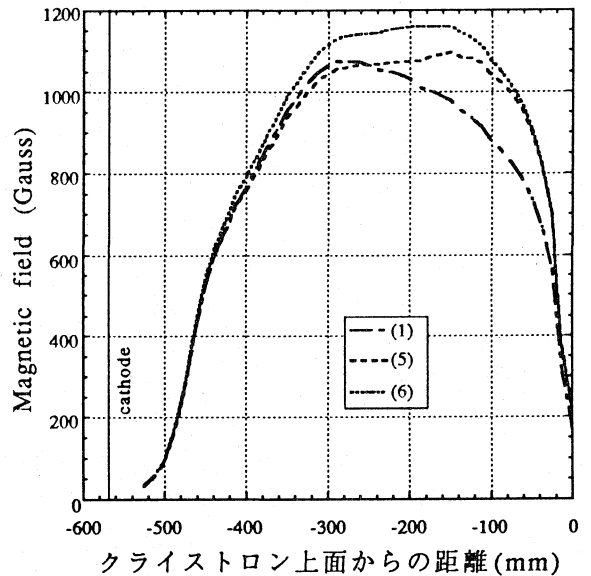


Fig.5 磁場分布と高周波出力との関係

が得られた(効率44%)。試験中は絶縁セラミックに放電等の現象は観察されず、セラミックの大型化により少なくとも310kV程度まで安定に印加可能である事がわかった。

高周波出力窓の温度をFig.6に示す。高周波パルス幅 $4\mu\text{s}$ 、繰り返し40ppsの場合、クライストロンの窓で室温(27°C)に比べ最大20度の温度上昇が観察された。クライストロンの出力導波管は冷却されていないので導波管からの熱流入も温度上昇に寄与していると思われる。Fig.6でダミーロードの高周波窓の温度上昇が小さいのは、片側がSF<sub>6</sub>で加圧されているのでガスの対流があるため

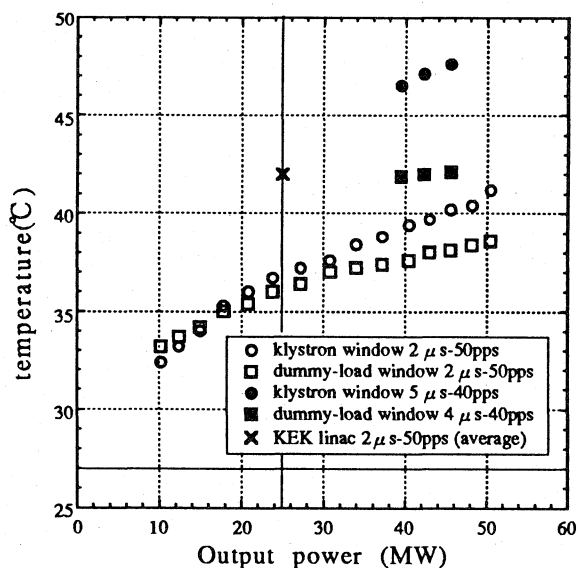


Fig.6 高周波窓の温度上昇

と考えられる。現在ライナックで使用中のクライストロン高周波窓(WESGO AL300;  $\tan \delta \sim 3 \times 10^{-4}$ , 又はAL995;  $\tan \delta \sim 1.4 \times 10^{-4}$ )では、25MW,  $2 \mu$ s-50ppsの時の温度上昇は平均して約15度で、中には40度以上の温度上昇を示すものがある。これに比べ今回の窓の温度上昇は約半分で、高周波窓材料の変更が有効であると結論できる。

#### 4. 結論及び将来計画

現在のクライストロンを改良する事によりBファクトリー計画に十分な51.5MW (高周波パルス幅  $4 \mu$ s) の出力を得られることが今回の試験で確認できた。この時の最適集束磁界は最大で1200ガウ

ス弱であった。短時間の試験結果ではあるが、絶縁セラミックの大型化により少なくとも310kV程度までの印加が可能である事が一応確認された。また、高周波窓の改良により、温度上昇は現在のクライストロンの約1/2に抑えられた。

今回試験したクライストロンは、現在SLEDを負荷としてライナックで運転しており、長時間運転での評価を行なっている。更に数本の改良型クライストロンを試験し、性能のばらつき等も検討する予定である。

改良型クライストロンは、現在使用中のクライストロンよりビーム電流が大きいため、カソードの寿命を考慮してカソード径のみを現在の80mmから85mmにする事も検討しており、現在計算機シミュレーションが進められている。

#### 謝辞

今回の試験にあたっては、三菱電機の林和孝氏から、有益な助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] S.Anami et al., 第9回加速器科学研究発表会予稿。
- [2] S.Fukuda et al., 第17回リナック技術研究会予稿集(1992),P.162.
- [3] S.Michizono et al., 第17回リナック技術研究会予稿集(1992),P.183.
- [4] H.Honma et al., 本研究会予稿。