

21-P3

Development of RF Source of the Linac for KEKB-project

Shigeki FUKUDA, Katumi NAKAO, Yoshio SAITO, Shinichiro MICHIZONO,

Shozo ANAMI and Isamu SATO

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

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

ABSTRACT

The KEKB-project (B-Factory project) requires an energy upgrade of the KEK linac from 2.5 GeV to 8.0 GeV. For this project, new 50-MW klystrons were designed and manufactured, based on the modification of the existing 30-MW klystron. We obtained good results for 50-MW klystrons; more than 50 MW output power less than 300 kV and 46-49% efficiency. The 50-MW klystron and the upgraded 30-MW klystron (MELCO PV3030A3) are compatible with the focusing electromagnet and the socket, if an auxiliary coil in the cathode region is changed.

KEKB計画のためのライナックRF源の進展

1. 序論

KEKB計画 (Bファクトリ計画) で使用される大電力マイクロ波源としては、最大出力46MW (通常出力41MW) の大電力パルスクライストロンとSLEDの組み合わせを採用し、電子線形加速器のエネルギーを2.5GeVから8.0GeVに増強する[1][2]。大電力パルスクライストロンについては、従来使用してきた30MWクラスのクライストロンに関する一連の性能向上のためのテストの結果、集束磁界の最適化をはかりながら印加電圧を上げることにより50MW以上の出力が達成されることが実証された[3]。この仕事は旧来のクライストロン、集束磁石、ソケットおよび油タンク等の設備をできるだけ活用し、コスト的にも十分配慮した点が特徴である。

クライストロンに関しては必要電力が達成できただけでは不十分であり、信頼性、寿命等の要求に対しても十分な性能を有していなければならない。そこで今までの一連の成果を基に改善すべき点を盛り込んだ50MWクラスのクライストロンの仕様を作成し、それを基にKEKで設計を行った。平成5年度に試作が2メーカーで行われ所定の性能が得られた。今回はこのKEKB用の50MW大電力クライストロンを中心に報告する。

2. 50MWクライストロンの設計

前回報告されたように[4]、30MWクライストロンにおいて、単に高圧絶縁碍子を大型化し、コロナリングを外付けにしたPV3030A3管は、高純度セラミックHA997を用いたRF窓を搭載することで出力

51.5MW (パルス幅4 μ s、繰り返し50pps) のテストが終了し、そのままKEKB用に十分使えることが分かった。

一方で長期にわたりPV3030A3をKEKBに使用するに当たっては2~3の検討すべき点が存在した。その第一点は、PV3030A3のカソードの口径が80mmであり、310kV印加した時のカソード上での平均ピーク電流密度が標準値 (ここでは、寿命的に実績のある約6.6A/cm²を基準に考えている) よりも高くなり、寿命の点で心配であること。第二点としては、この管がもともと永久磁石集束を想定して設計されたSLAC-XK5をベースにしており、全長の制限から第一空洞とアノード先端の間の長さがマイクロ波的に見て若干短いことが上げられる。この結果、基本周波数が電子銃部にわずかに漏れている。

カソードの口径を大きくすると電子銃自身は完全に再設計する必要があり、またその結果、電子流が旧型と必然的に異なることから、この改造はほぼ新しいクライストロンの設計と同等の労力がかかる。そこでこの機会を利用して、信頼性の上げられる所は積極的に取り込んで設計を行った。留意した点は以下の通りである。

(1) クライストロン本体 (マイクロ波相互作用領域、または空洞関係パラメータ) はPV3030A3と同じにする。

(2) 電子銃カソードの口径を85mmと大きくし、平均ピーク電流密度を下げ、寿命の点で考慮する。

(3) 電子銃のハウジングを大きくとり、耐電圧

上ゆとりをもたせ、また低電界型電極を用いて放電のトラブルを避けるようにする。更に高圧絶縁碍子もPV3030A3より一回り大きくして耐電圧的なマージンを増やした。

(4) 電子銃のアノード先端から第一空胴までの距離を40mm長くし、マイクロ波の漏れを少なくした。

(5) 用いる集束磁石の本体を変えず、電子部付近の磁場は補正用コイルを従来型のコイルと入れ替えるだけで所定の磁場を発生できるようにした。これによってPV3030A3と集束磁石が共用できるようにした(図1参照)。

(6) 印加電圧が高くなったのでX線シールドを強化した。シールドの形状については、従来型を踏襲した。

以上の方針に従って再設計が行われた。クライストロン電子銃部の外形はΦ210(旧型はΦ190)、ビーム集束電極の外形はΦ144(旧型Φ132)、また各電極の最大電界は、管に310kVかけた時に、ビーム集束電極、アノード電極で、それぞれ22.0

kV/mm、21.4kV/mm(旧型ではそれぞれ24.8kV/mm、23.5kV/mm)である。空胴配置はXK-5と同じであるが、離調周波数はわずかに変えた。FCIプログラムによるシミュレーションでは310kVで最大約51MWが期待できる。また利得はドリフト管径が途中から変っていて、シミュレーションではこのことが反映できないので、正確には予測しづらいが今までの実験と計算を元に判断すると51.4dB程度が期待できる。これは十分実用範囲と思われる。集束電磁石の補助コイルにより、カソードを中心とした磁界を適当に変えることで、PV3030A3のテスト結果とほぼ同じ性能を得ることが出来るという結果を得た。出力窓は1コのセラミック窓で取り出すので、1個あたりの負担としては、他のクライストロンと比べて大きく、信頼性の高いものが要求される。図1に両者を集束磁界の違い、磁石との相関関係などをまとめて示した。

3. 50MWクライストロンの試験結果

平成5年度、試作品として東芝のE3730、および三菱電機のPV3050という型名でそれぞれ2本ずつ製造された。現在工場での試験が終了し、納入された段階である。各社の仕様については、カソードは本所より支給したので、電子銃は同一設計となっている。空胴関係パラメータはXK-5を基本にして、そこからのわずかな違いは許容した。またマイクロ波窓や高圧絶縁セラミックの形状等については各社の設計したものを搭載してもよいという条件を付けた。その結果、2社のクライストロンの間には、はわずかに構造の異なっている所がある。東芝の場合は、マイクロ窓としては所謂ロングビルボックス型の窓を搭載しており、また高圧絶縁セラミックはほぼストレートに近い円筒状である。両社の試作クライストロンの試験結果は概ね良好であり、またシミュレーションと良く合う結果を得た。PV3050の場合を例にとると1本目は308kVで51MW、効率46.5%、利得は52.3dBであった。この場合は、最適集束磁界は設計値とほぼ同等であった。東芝E3730の場合、316kVで51.1MW、効率44.7%、利得は51.2dBであった。三菱2本目として、若干パービアンスを高めのクライストロン(2.19μA/V^{3/2})を製造してもらった結果、297kVで51.8MW、効率49%、利得51.1dBという、良好な結果が得られた。効率が上がったのは、明確な理由があるのか、またはばらつきの範囲内で

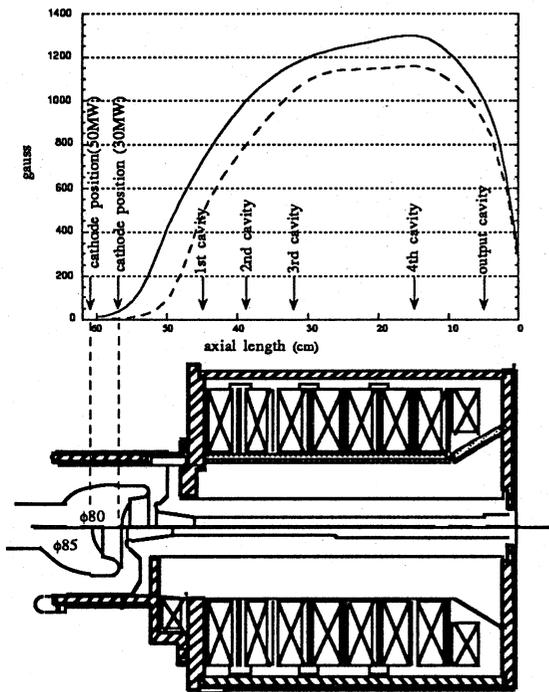


図1 新旧クライストロンの比較。磁場は実線が50MW管、破線がPV3030A3用である。磁石との相関関係では、上半分がPV3030A3の場合、下半分が50MW管である。

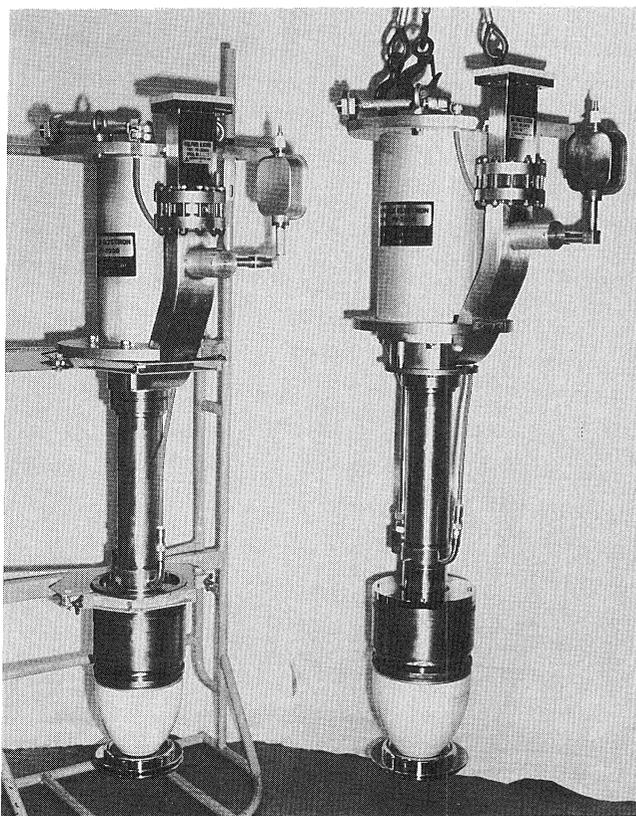


写真1 PV3030A3 (左) および PV3050 (右)

あるか現在の所ははっきりしないが、高効率化を実現するために、今後も更に調べる必要がある。KEKでの受け入れテストはまだテストベンチの整備もあって行われていないが、近いうちに両社のクライストロンの特性を比較している調べる予定である。特に電圧の測定精度は効率の値の算出に重要であり、両社の効率の違いを評価する上でも注意深く行う必要がある。またこの管は耐圧的にゆとりが十分あるので、印加電圧をさらに上げて出力電力がどこまで出るかも調べる予定である。又効率の上昇にも関心を持っている。これら一連の試験は今年度夏までに行い、今年度から始まったKEKB 5ヵ年計画に組み込む予定である。写真1に三菱のPV3030A3とPV3050の写真を示した。

4. マイクロ波源の周辺機器の改造

KEKB計画では建設期間である5ヵ年の間も放射光の実験は継続されるため、3ヵ月ごとに建設と運転を繰り返すという難しい方法を取ることになっている。この特殊事情のために大電力クライストロンは2段構えで準備することになる。一つは現

在も継続運転している関係上、昨年来続けた来た従来型クライストロンの増強版PV3030A3を使用していくこと、もう一つはこの計画のために新たに開発された50MW管を使用することである。いずれにしても集束電磁石の本体は共用でき、補助磁石の交換だけで両者は互換性を有するのでソケット上の問題は少ない。また50MWクライストロンの全長が長くなったためにパルストランスタンクの内部が窮屈になり改造の方法を検討していたが、基本的に従来と外形上変化の無い内部改造にめどがついた。従って、ほぼ2種類のクライストロンが並用して使用されても従来のセットと同様に扱える。タンク内の改造は前回の報告にあるようにパルストランスの巻線比を1:13.5に巻変えること、コアバイアスをつけること[4]の他に、ヒータートランスや高圧プッシングの改善をはかって内部のスペースファクターを上げた。パルストランスについては巻線比は同じであるが、一次巻線数を変えたものやオート巻、イソ巻と巻方を変えたモデルを試作しており、その評価テストを行う予定である。

現在クライストロンギャラリーではPV3030A3のセット2台をSLEDシステムと組み合わせて運転中である。そのうちの1台はクライストロンからの出力48MWで加速した時、エネルギー利得は179MeVを得た。SLEDの増倍係数は $M=1.85$ となり、設計値通りの結果を得ている[5]。以上の結果を総合するとKEKB計画に対するマイクロ波源の基本的な改造、設計については、概ね問題がなく順調に進んでいると言える。

参考文献

- [1] A.Enomoto et al., "Linac Upgrade Plan for the KEK B-Factory", Proc. 1993 Particle AccConf., Washington, USA, May 1993.
- [2] S.Anami et al., "Upgrade of the PF Linac RF Source for the KEK B-Factory", Proc. 9th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Tsukuba, Japan, 1993.
- [3] S.Fukuda et al., "Upgrade of an RF Source of the Linac for the B-Factory Project", Proc. 1993 Particle Acc. Conf., Washington, USA, May 1993.
- [4] S.Michizono et al., "Performance of the 46MW Klystron for KEK B-Factory", Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, Tsukuba, Japan, July 1993.
- [5] H.Hanaki et al., "Use of SLEDs for High Gradient Acceleration", to be presented in LINAC94 Conference, Tsukuba, Japan, August 1994.