

PRESENT STATUS & IMPROVEMENTS
OF KLYSTRON PV-3030A

K.Hayashi H. Ieki, T. Onodera & PF Injector RF Group *
Mitsubishi Electric Corporation, Communication Equipment Works
* National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

ABSTRACT:

Mitsubishi klystrons(PV-3030A) have been used in KEK PF injector linac since 1979. Failure mode analysis was made. Improvements which were made to reduce fault rate and present status are reported.

1. はじめに

三菱電機では、KEK PF injector linac 用に、クライストロンPV-3030Aを開発、1979年度より納入開始し、1982年6月の定常運転開始より、3年間経過した。本Linacでは、クライストロンを41本使用しており、クライストロンの管内放電による停止は、システムの安定動作に大きな影響を及ぼす。Linacシステムとしてみた安定性については、KEKで調査されている。このたび納入したおのおののクライストロンについて、安定性を調査し、安定動作をめざして行ってきた改良の効果について評価してみた。

2. クライストロンの現状

1979年度より、1984年度まで計79本納入した。表1に示すように、うちわけは、PF injector linac で現在動作している本数は41本、取り払われたものが25本、他は positron injector linac 用、resonant ring 用、または保守、受入検査中など、13本となっている。故障に対しては、分解、調査を行い、後で述べる改良を順次行っている。

表1 クライストロン稼働状況及び故障モード解析 1985.5.1現在

| 納入年度 | | '79 | '80 | '81 | '82 | '83 | '84 |
|-------------------------------|------------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|------------|
| 本数 | | 4 | 20 | 20 | 9 | 13 | 13 |
| living tube (waiting tube) | | 1 (0) | 9 (0) | 13 (0) | 5 (0) | 13 (1) | 13 (12) |
| failed tube | | 3 | 11 | 7 | 4 | 0 | 0 |
| 故障 モード | フィラメント 短絡/断線 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 電子銃 インシュレータ ヒューズ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | RF窓 破損 | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 耐圧不良 | 1 | 6 | 3 | 4 | 0 | 0 |

3. fault rate 調査

クライストロン及びRF系を保護するために、インターロック系が設けられており、クライストロンまたはRF系の異常を感知して、クライストロンを停止させるようになっている。全てが、クライストロン管内放電に起因するものではないが、単位時間当りのこの停止回数をfault rateと呼び、この回数を1本毎に調査することにより、クライストロンの管内放電の目安とすることにした。1982年10月より1985年5月までクライストロンおのおのについて、PFN 充電電圧Es (Beam電圧に比例する) と、そのときのfault rateとを調査し、KEKの運転スケジュールのひとくぎりである3つの期間 (1月-3月, 5月-7月, 10月-12月) の平均値を求めた。fault rateが高くなると、Esを下げ、fault rateを減らす運転方式であるため、fault rate, Es両方で評価した。

Esの目安として、40kV (Beam電圧約240kVに対応する)、fault rateの目安として0.1回/hrの線を引いて、クライストロンを分類した。使用時間が問題にならないように、全クライストロンとも使用2000hr前後のデータを基にプロットしたものが、Fig.1である。このうち領域A、領域Bのものについて注目してみると、表2のようになる。耐圧改良推進中の83,84年度納入のクライストロンについてみると、高圧で安定な領域Aに入るものが増えてきている。また、領域Aにいたものは、運転時間が増大(8000hr以上)しても、かなり安定であり、生き残る率が高いのに対して、領域Bにいたものは、寿命終止になる率が高い。現在クライストロン1本当りのfault rateの平均値は、0.05回/hrまで下がってきている。

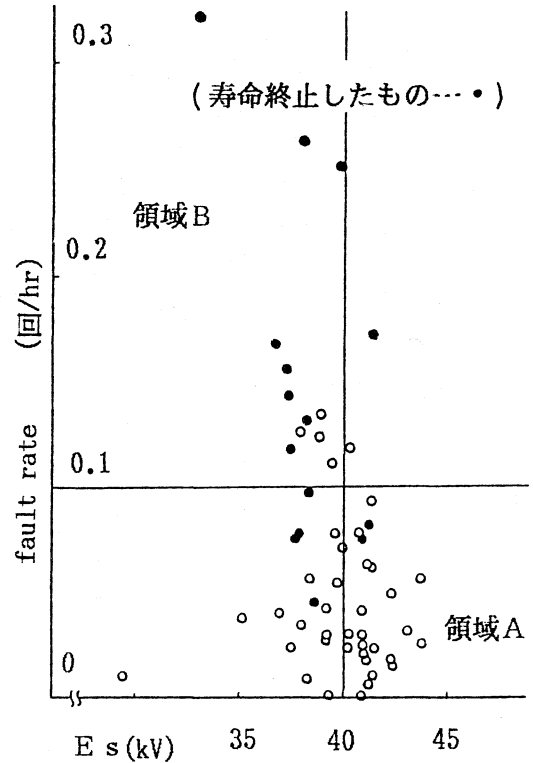


Fig.1 各klystronに対するfault rateとEs (2000hr 後)

表2 2000hrにおけるクライストロンの高圧安定性と生存率

| 納入年度 | '79 | '80 | '81 | '82 | '83 | '84 | |
|--|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 使用2000hr living tube本数 | 2 | 15 | 18 | 8 | 12 | 1 | |
| '85.5.1 現在 生存 寿命 | 1 1 | 9 6 | 13 5 | 5 3 | 12 0 | 1 0 | |
| 現在 生存 寿命 それぞれに対しての 2000hr当時の領域 Fig.1 参照 | A | 0 0 | 5 2 | 7 0 | 2 0 | 7 0 | 0 0 |
| | 他 | 0 1 | 3 1 | 2 3 | 3 3 | 4 0 | 0 0 |
| | B | 1 0 | 1 3 | 4 2 | 0 0 | 1 0 | 0 0 |

waiting tubeは含まず

4 改良

表1のFailure modeに対し、次の対策をとってきた。電子銃部インシュレーターのピンホールに対しては、インシュレーターの形を円筒形からオワン形に変え好結果を得た。

残る故障モードのうち重大な問題として耐圧不良と窓のピンホールがあげられる。

窓のピンホールは、KEKのような真空-真空系では、なかなか故障が発見しにくい。故障のメカニズムが明確でないため、的確な対策が打てないが、窓材料の選定やコーティング技術により、改良を進めている。

耐圧不良については、電子銃の構造設計、熱設計、材質選定から製造プロセスまで総合的にとらまえる必要がある。83、84年度には(1) ウェーネルト部の形状をなめらかにして電界の集中をへらす (2) ウェーネルト表面の研磨 (3) ウェーネルト材質をSUS304LからSUS316Lに変更 (4) 部品真空処理の強化 (5) ウェーネルト温度を低減する構造の採用 (6) 電子銃サブアセンブリーを高真空中で長時間ヒーター点灯、ウェーネルトRF加熱等の改善を進めた。その結果、工場試験では高圧上昇時間の短縮などに効果がみられ、改良クライストロンは、いまだKEKでの運転時間は短いもののFault rate減少に寄与しているものと思われる。その他、初期の耐圧不良原因の一つに、コレクター溶融による電子銃部汚染があった。これは永久磁石の強い反転磁場のために電子が再収束された為である。コレクター周囲に磁気シールドを設けることでこのトラブルを解決した。

一方、別のアプローチの方法に、クライストロンの効率を上昇させ、より低い印加電圧で同じRF出力を得る方法がある。その手段として出力空洞を出力導波管側と反対方向に偏心させた。コールドテストの結果同心の場合と比較してGap内の電界分布は平坦化し、それに伴う中心電界上昇がみられる。

高圧試験の結果、効率は若干改善された。これは同出力を得る為に印加電圧を引き下げることができることを示している。

5 まとめ

(1) 改善に対する効果はFault rateでみた場合あまり明確に表われなかったが、平均的には良くなっていることがわかった。耐圧不良に対する改良が主として83年、84年度で行われた為にそれ以前のクライストロンと比較するには、まだ稼働本数、時間ともに不足している。また複数の改良を平行に実施した為に因果関係を特定するのを難しくした。

(2) 出力空洞偏心化は効率の向上に確かな感觸を得ることができた。

(3) 今回は耐電圧について検討を加えたが加速器の安定した運転の為には出力波形及び出力などのバラツキを少なくするなど、クライストロンの安定性を高める必要がある。

最後に、この報告にあたって田中先生をはじめとするKEKの先生方の御指導を頂き感謝致します。