

Maintenance Activity of RF Sources in KEK Electron-Positron Linac

Y.Imai^{1,A)}, H.Kumano^{A)}, T.Tofuku^{A)}, T.Morotomi^{A)}, M.Akemoto^{B)}, H.Katagiri^{B)}, T.Shidara^{B)}, T.Takenaka^{B)},
H.Nakajima^{B)}, K.Nakao^{B)}, H.Honma^{B)}, T.Matsumoto^{B)}, S.Michizono^{B)}, Y.Yano^{B)}, S.Fukuda^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Fifty-nine high-power klystrons and modulators are used at KEKB injector linac. Both klystrons and thyratrons (switching tubes for the modulators) are key components of the rf sources and the stable operation of these tubes are required for stable beam operation. Rf windows in waveguide system are also important for the klystron exchange during beam operation. The routine checkup (such as pulse waveforms) and fault statistics are utilized for the proper maintenance work. These maintenance activities play an important role for minimizing operational loss-time.

KEK 電子陽電子入射器における高周波源の維持管理

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器では4つの異なるリングへのビーム入射を行なっている。その高周波源としてクライストロンギャラリーに大電力クライストロンが59台設置されており、年間約7,000時間の長期連続運転を行なっている^[1]。これまでは1時間程度の頻度での入射で、入射の間には高周波源の点検が可能であったが、2004年1月からKEKBリングへの連続入射が始まり^[2]、高周波源の停止を伴うような点検は難しくなった。このため、不具合の事前予測は重要となってきた。

本稿ではクライストロン、高周波窓、サイラトロンの維持管理について述べる。

2. クライストロンアセンブリ

2.1 概況

大電力クライストロンの仕様は周波数2856 MHz、平均パルス出力電力41 MW、RFパルス幅4 μs、繰り返し50 ppsとなっている。特に入射器電子銃付近、陽電子発生部付近でのクライストロンアセンブリの故障は加速器の運転停止となるため、重点的な点検が必要となる^[3]。

2.2 使用状況及び撤去原因

クライストロンアセンブリは主にクライストロン(KLY)、パルストランス(PT)、集束電磁石(MAG)、タンクで構成されている。(図1)

このクライストロンアセンブリの使用状況及び2000年度以降撤去したものの使用時間を図2に示す。

運転使用中のクライストロンアセンブリは、

40,000～45,000時間運転している台数が最も多い。これはKEKB入射に伴うビームエネルギー増強時、クライストロンアセンブリを19台増設したことが反映されている。

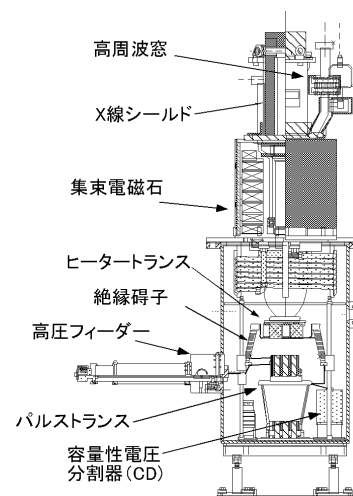


図1：クライストロンアセンブリ構成図

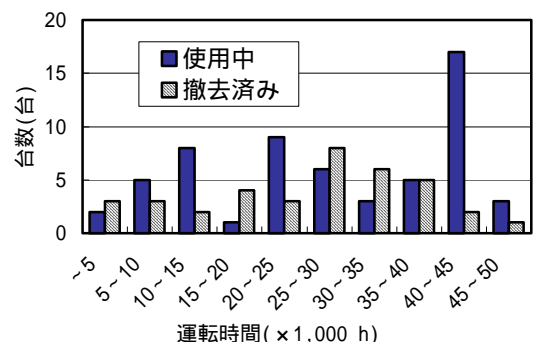


図2：クライストロン運転使用時間分布

¹ E-mail: yimai@post.kek.jp

表1：2000年度以降撤去したクライストロンアセンブリの撤去原因と年度毎の台数

年度	2000	2001	2002	2003	計	
アセンブリ交換数	9	9	10	9	37	
アセンブリ交換理由	エミッション減少	2	1	0	2	5
	KLY発振等	0	1	2	0	3
	KLYヒーター断線	0	0	0	1	1
	PT不具合(タンク内放電含む)	4	3	3	2	12
	MAG不具合	0	2	0	3	5
	絶縁油劣化	0	0	3	0	3
	KLY窓リーク(撤去後確認)	1(4)	2(1)	1(2)	1(1)	5(8)
	その他	2	0	1	0	3

表1に2000年度以降撤去したクライストロンアセンブリの撤去原因と年度毎の台数を示す。

年間平均10台程度のアセンブリ交換を行っており、クライストロン本体と他のアセンブリに起因するものの数はほぼ同数である。また、交換時に高周波窓のリークが確認されるものもある。アセンブリ交換理由のその他には、不具合は無いが運転の都合上交換した箇所が含まれている。

表2：クライストロンアセンブリの不具合内容と点検項目

不具合内容	不具合事前予測のための点検項目	故障原因他
KLY電子銃放電	・インターロック作動履歴確認	Oxideカソードを使用していた頃は第1の交換理由であったがBIカソードに変更後放電頻度は激減した。
エミッション減少	・dip test (ヒーター電圧を下げた時のパービアンスの変化を測定) ^[4] ・パービアンス測定	長時間運転(通常約3万時間以上)によりカソードからのエミッションが減少する。
KLY発振	・RF出力波形確認	長時間運転後、自励発振や寄生発振(高周波を入力した場合発振が重畳される)が生じる。
KLYヒーター断線	・インターロック作動履歴確認	機械的振動や発熱によりカソードヒーターが断線する。
PT放電	・タンク内絶縁油劣化確認 ・インターロック作動履歴確認	碍子の放電による破損やパルストランスタングの冷却水Oリングの経時劣化による漏水に起因する。
MAG地絡	・抵抗(地絡)測定	磁石内の冷却水配管からの水漏れにより磁石の絶縁が低下する。絶縁抵抗が低くなると定格電流を流すことが出来なくなる。
高周波窓不具合	・温度、放射線測定	クライストロンを交換した際にリークが明らかになることがある。まれに放電による破損で高周波が出力されなくなることもある。
その他	・フィーダ - ガス圧点検 ・RF反射波形確認 ^[5] ・電磁石電源校正	

2.3 維持管理

クライストロンアセンブリの不具合事前予測のため、様々な項目において年3回定期点検を行なっている。表2に過去に発生した主な不具合内容とこれに対応した点検項目を示す。

パルストランス放電はクライストロンタンクに使用している冷却水配管接続部のOリング劣化による水漏れが原因で発生することが多くなってきたため、アセンブリ組み立て時にパーツ交換及び加圧試験を実施することにより、この不具合の発生減少に努めている。

3. 導波管高周波窓

3.1 概況

高周波窓は真空を保持し高周波を通過させる為に用いられ、クライストロンの出力部と導波管部に使用されている。導波管高周波窓は、クライストロンアセンブリ交換の際、ビームラインを大気解放することなく作業が出来るようにするため設置されている。加速器運転中に不具合の発生したクライストロンアセンブリを交換する際は、導波管高周波窓にリークが発生していない事が条件になるため、データ測定により高周波窓の不具合を事前に把握し長期メンテナンス時に交換しておくことが重要となる。

3.2 使用状況及び撤去原因

図3に導波管窓の現在の使用状況及び1998年度以降撤去したものの使用時間を示す。

導波管窓の主な交換理由はリーク、X線発生、VSWR多発、汚れ、温度上昇、寿命に分けている。使用している窓の平均運転時間は33,000時間、交換窓の平均寿命は19,000時間である。

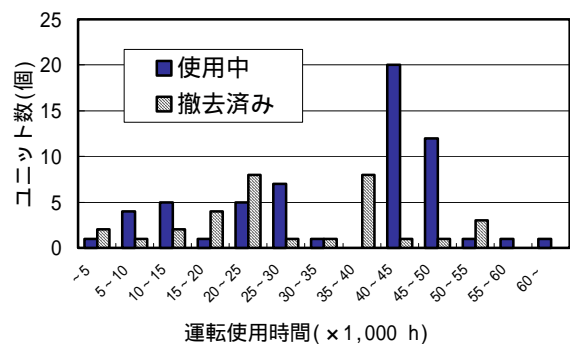


図3：導波管窓運転使用時間分布

3.3 維持管理

不具合を事前に把握するために年3回窓温度測定を行なっている。窓温度が低くても窓の真空リークがあるものや温度が高くても正常に動作しているものがあるが、経験的に温度が上昇していくものは破壊につながる事が分かっている^[6]。定期的に測定を継続して温度上昇が認められる場合には早めに交

換を行なっている。しかし、これ以外にも破壊の原因があると考えられるため、まったく兆候がなく、偶然リークが見つかることも多い。これを考慮して、入射器電子銃付近等の重要な場所について、長期メンテナンス期間中にクライストロンと導波管窓間の窒素パージを行なって高周波窓のリークの有無を確認している。

また、過去に破壊された窓のうち、放射線が強く発生したものがあつたため、放射線も窓温度と同時に測定を行なっている。

4. サイラトロン

4.1 概況

クライストロン電源の高圧パルスのスイッチとして45 kV、4.5 kAをスイッチングする水素サイラトロンが使用されている。サイラトロンの維持において重要な事は安定した加速器運転のためにサイラトロンの動作を安定に保つ事及び保守費軽減のために出来るだけ長く使用する事である。そのためには定期点検、調整を欠く事が出来ない。更に、定期点検、調整により、不具合の前兆をいち早く捉え、早めに事前交換を行なう事も重要である^[7]。

4.2 使用状況及び故障

図4にサイラトロンの現在の使用状況及び1998年度以降故障したものの使用時間を示す。

平均寿命は約30,000時間であり、現在30,000時間以上使用されているサイラトロンが15台と全体の約1/4を占めている^[8]。

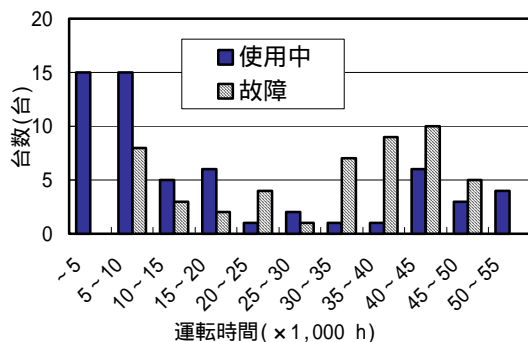


図4：サイラトロン運転使用時間分布（初期不良により設置直後に故障したものは含まず）

入射器電子銃付近、陽電子発生部付近等の故障は加速器の運転停止を伴うため、不具合の前兆発生の有無に関わらず早期事前交換を行なっている。

サイラトロンの主な故障として耐圧不良、リザーバガス減少、補助グリッドの放電、アノード部放電、異常ノイズ発生が挙げられる。

4.3 維持管理

水素サイラトロンは内部の水素ガス圧が高過ぎると自己放電を起して連続導通状態となる。一方、低

過ぎれば放電開始のタイミングが一定とならずに遅れやジッタを引き起こす。この水素ガスを調整するためにリザーバ電圧調整を行なう。リザーバ電圧の最適値は経時変化するため定期的に調整する必要がある。

調整方法は、年1回、リザーバ電圧を上げ下げして、連続導通状態（上限値）、大きなジッタ（30ns以上）が発生する状態（下限値）を探し、その平均値を最適値とする方法が採用されている。年3回ジッタの測定を行なうことにより、ジッタが大きくなっている場合にはリザーバ電圧を上げる処置を行っている。また、加速器運転中に連続導通状態となりインターロックが作動する事が多発した場合は、リザーバ電圧を下げる処置を施している。

その他に、点弧タイミング、補助グリッド電圧測定も年3回実施し、不具合の事前予測に努めている。

最近、納入時の初期不良による早期交換が度々発生したため、本年度からテストベンチにおいて性能試験及び数十時間のランニング試験を行なった。これにより、交換時から動作の安定したサイラトロンの使用が可能となった。

5. まとめ

過去の蓄積データをもとに定期的な点検を行なうことで、トラブルの早期発見及び対処を行なっている。これにより、加速器停止を伴う突発的なトラブル件数は年々減少してきている。

安定した加速器運転のためには、今後もデータを蓄積させ、不具合特定の精度を更に高めるよう努めていく必要がある。

参考文献

- [1] 小川雄二郎, “KEK電子・陽電子入射器の現状”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003, pp.10-12.
- [2] Y.Ogawa, “Present status of the KEK electron/positron injector linac”, presented in this meeting.
- [3] 諸富哲夫, 他, “KEKリニアックにおけるクライストロンアセンブリ及び高周波窓の維持管理”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003, pp.333-335.
- [4] K.Nakao, et al., “Results of High-Power klystron Dip Test in the KEK Linac”, presented in this meeting.
- [5] H.Katagiri, et al., “Data taking system of the RF measurements at KEK e-/e+ injector linac”, presented in this meeting.
- [6] S.Michizono, et al., “RF-windows used at the KEKB linac”, Appl. Surf. Sci., 169-170, 2001, pp.742-746.
- [7] 国安祐, 他, “KEK 8GeV Linac サイラトロン運転管理”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003, pp.342-344.
- [8] 明本光生, 他, “KEK 8GeV リニアックでのサイラトロン使用状況”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003, pp.321-323.