

Maintenance Activity of Klystrons and Thyratrons in KEK Electron-Positron Linac

Yasuo Imai^{1,A)}, Masao Baba^{A)}, Hiroki Kumano^{A)}, Tomoyuki Toufuku^{A)}, Tetsuo Morotomi^{A)}, Mitsuo Akemoto^{B)},
Hiroaki Katagiri^{B)}, Tetsuo Shidara^{B)}, Tateru Takenaka^{B)}, Hiromitsu Nakajima^{B)}, Katsumi Nakao^{B)}, Hiroyuki Honma^{B)},
Toshihiro Matsumoto^{B)}, Shuji Matsumoto^{B)}, Hideki Matsushita^{B)}, Shinichiro Michizono^{B)}, Takako Miura^{B)},
Yoshiharu Yano^{B)}, Mitsuhiro Yoshida^{B)}, Shigeki 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

Sixty high-power high-power klystrons and modulators are used at KEKB e-/e+ 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 replacement 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クライストロン およびサイラトロンの維持管理

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っている。その高周波源として60台の大電力クライストロンがクライストロンギャラリに設置されており、年間約7,000時間の連続運転が行われている^[1]。運転中に高周波源の不具合が発生すると加速器運転の停止となる場合もある為、不具合の事前予測及び対処が重要となっている。本稿ではクライストロン、導波管高周波窓、サイラトロンに関する統計、維持管理について報告する。

2. クライストロンアセンブリ

2.1 概況

クライストロンアセンブリは主にクライストロン、パルストランス、集束電磁石、タンクで構成されている^[2]。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 μ s、繰返し50 ppsである。

2.2 使用状況及び撤去原因

図1に現在のクライストロンの使用状況及び2000年度以降故障により撤去したクライストロンの使用時間分布を示す。故障クライストロンの平均運転時間は約29,000時間であるのに対し、運転使用中であ

るクライストロンアセンブリの平均運転時間は約37,500時間である。これは、クライストロンの寿命が長くなり、アセンブリの交換を伴う不具合も減少していると言える。現在使用中のクライストロンは60,000~65,000時間運転しているものが最も多くなっている。

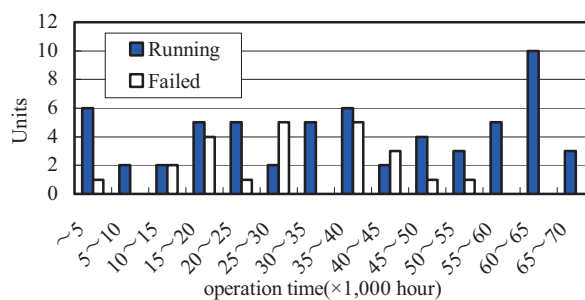


図1 クライストロン運転使用時間分布

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交換台数を示す。交換したアセンブリのうちクライストロン故障による交換は23台である。交換理由のうちクライストロン故障に該当する項目は、エミッション減少、KLY発振等、KLYヒーター断線、KLY窓リークである。ただし、2004年度以降、導波管作業時にKLY窓リーク発見し

¹ E-mail: yimai@post.kek.jp

た場合、他の理由がない限り再度真空引きし運転使用を継続している。

表1：クライストロンアセンブリの交換台数

年度	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	計	
交換数	9	9	10	8	6	6	5	53	
交換理由	エミッション減少	2	1	0	2	3	2	3	13
	KLY 発振等	0	1	2	0	0	0	0	3
	KLY ヒーター断線	0	0	0	0	1	1	0	2
	KLY 窓リーク	1	2	1	1	0	0	0	5
	MAG 不具合	0	2	0	3	1	2	2	10
	絶縁油劣化	0	0	3	0	0	0	0	3
	PT 不具合	4	4	3	2	0	1	0	13
	その他	2	0	1	0	1	0	0	4

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。

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 ^[3] ・パービアンズ測定	長時間運転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ックの冷却水の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	クライストロンや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。
パルス欠け多発	・RF波形欠け計数測定	パルス欠けの頻度が増加するとビームに影響が出る。
その他	・RF反射波形確認 ・電磁石電源校正	

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、クライストロン出力部と導波管部に使用されている^[4]。

3.2 使用状況及び撤去原因

図2に現在の導波管高周波窓使用状況及び1998年度以降撤去したものの使用時間分布を示す。

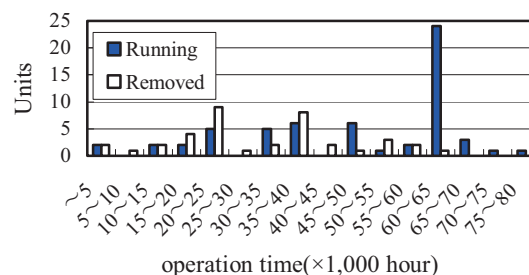


図2 導波管高周波窓運転使用時間分布

現在使用中の導波管高周波窓は、60,000～65,000時間使用しているものが最も多い。運転使用中である導波管高周波窓の平均運転時間は、約48,500時間である。また、撤去済み導波管高周波窓の平均運転時間は約30,500時間である。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、寿命である。

3.3 維持管理

定期的に導波管高周波窓とクライストロン窓の温度測定及び放射線測定を実施し、上昇傾向にあるものを保守期間に事前交換している^[5]。その他に、全く兆候が無く偶然リークが見つかることもある。これを考慮して、入射器電子銃付近等の故障は加速器の運転停止を伴うため、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。

導波管高周波窓の初期不良を防ぐ為、設置前にレゾナントリングを用いた大電力試験を行っている。以降、設置直後故障による交換は発生していない。

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を使用している^[6]。

4.2 使用状況及び撤去原因

図3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分布を示す。

現在使用しているサイラトロンの平均使用時間は

約26,500時間である。故障サイラトロンは計66本で平均使用時間は約32,500時間である。ただし、製造上及び取り扱い上の不良、使用中の使い方の不適、不注意などによるものは除外した。

サイラトロンの主な故障原因は耐圧不良、リザーバガス減少、補助グリッドの放電、アノード部放電、異常ノイズ発生である。

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。

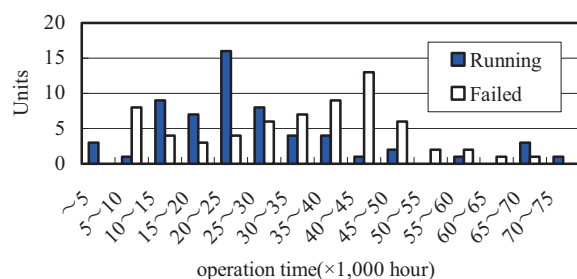


図3：サイラトロン運転使用時間分布

4.3 維持管理

サイラトロン内部の水素ガスを調整するために年1回リザーバ電圧調整を行なっている^[7]。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。そのため、年3回ジッタの測定を行ない、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、連続導通状態となりインターロックの作動が多発した場合には、リザーバ電圧を下げる処置を施している。

また、2001、2003年に初期不良による早期交換が続出したため、2004年度からテストベンチにおいて受け入れ試験を行なっている^[8]。受け入れ試験実施以降、故障による早期交換は発生していない。

その他、年3回点弧タイミング、補助グリッド電圧の測定による異常の有無の確認、また特定のインターロック作動履歴やリザーバ、キープアライブ電圧等の調整履歴を定期的に確認している。

5. その他

5.1 維持管理

安定した加速器運転を行なうため、過去のトラブルを基に今まで述べた項目以外にも様々な定期点検やメンテナンスを行なっている。

主な項目として、加速器運転時に高圧電源ラインのナイフスイッチ温度測定、IVR 温度測定、各種FANの動作点検、サブブースター関連の各種点検、フィーダーガス圧点検、長期保守期間にクライストロン電源内の清掃および点検、各種モジュールの動作点検、各種インターロック用リレー動作点検が挙げられる。

また、放射線安全作業として定期的に放射線線量測定を行ない高線量の箇所には鉛シールドの強化や、

フェンス設置による立ち入り制限を行なっている。

5.2 トラブル調査及び対処

様々な点検やメンテナンスを行なっているにも、運転時にトラブルは発生している。

トラブル発生時、Web上での波形監視等により早期原因究明に努め、迅速かつ安全に処置を行なえるよう、過去のトラブルを基にしたトラブル毎の対処手順書の作成や現物での技術指導、手順書や予備品リスト等のオンライン化を行なっている。不具合の症状が軽度な場合にはトレンドグラフ等を用いて状態を監視しながら適当な調整を行ない、2週間毎に行なわれている短期保守日に修理や交換等の処置を行なっている。

6. 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不具合の早期発見及び、対処が可能となっている。今後もデータを蓄積していくことにより、不具合事前予測の精度を高めるよう努める。

参考文献

- [1] Y.Ogawa, "Present Status of the KEK Electron/ Positron Injector Linac", Proc. of the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2007.
- [2] H.Kumano, et al, "Maintenance Activity of RF Sources in KEK Electron-Positron Linac (II)", Proceedings of the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2006, pp.850-852.
- [3] K.Nakao, et al., "Results of High-Power klystron Dip Test in the KEK Linac", Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2004, pp.272-274.
- [4] T.Toufuku, et al, "Maintenance Activity of Klystrons and RF Windows at KEK e+/e- Linac", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2005, pp.278-280.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Y.Imai, et al., "Maintenance Activity of RF Sources in KEK Electron-Positron Linac", Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2004, pp.317-319.
- [8] M.Akemoto, et al, "Present Status of Thyratrons in The KEKB LINAC", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2005, pp.E4-E6.