

MAINTENANCE ACTIVITY OF HIGH-POWER RF SYSTEM IN KEK ELECTRON-POSITRON LINAC

Masao Baba^{1,A)}, Yasuo Imai^{A)}, Tomoyuki Toufuku^{A)}, Hiroki Kumano^{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)}, Takako Miura^{B)}, Shinichiro Michizono^{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 klystrons are operated at KEK injector linac. In order to keep the high availability of the beam injection, regular check-up and maintenance works play an important role. The failures of klystron-assembly, operational statistics of klystrons and rf windows are summarized. The degradation of knife switch and electric connectors due to long time operation is also reported.

KEK 電子陽電子入射器における大電力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ーに設置されており、年間約7,000時間の連続運転が行なわれている¹⁾。加速器の長期連続運転により発生する不具合も増加しており、不具合の事前予測と対処が重要となる。本稿ではクライストロン、サブブースター用クライストロン、導波管高周波窓に関する統計、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

クライストロンアセンブリはクライストロン、パルストランス、タンク、集束電磁石で構成され、仕様は周波数2856MHz、平均パルス出力電力40MW、RFパルス幅4 μ s、繰り返し50ppsである²⁾。図1に現在のクライストロンの使用状況及び2000年度以降交換したものの使用時間分布を示す。

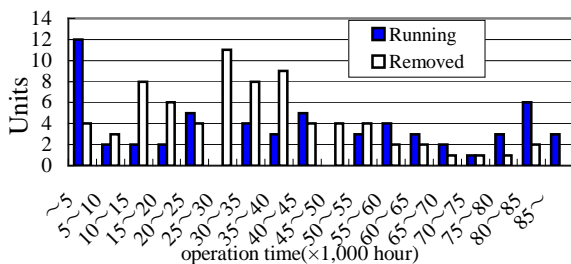


図1：クライストロン運転使用時間分布

現在使用中クライストロンの平均運転時間は約47,000時間であり、85,000時間以上継続して使用しているものも存在する。また、故障クライストロンの平均運転時間は約31,500時間である。表1に2000年度以降除去したクライストロンアセンブリの除去原因と年度毎の交換台数を示す。

表1：クライストロンアセンブリの交換台数

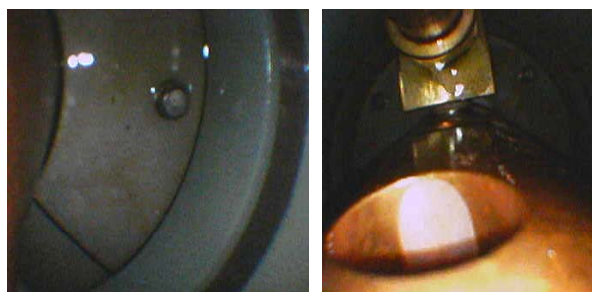
年度	アセンブリ交換数	交換理由							
		エミッション減少	クライストロン発振等	ヒーター断線	クライストロン(除去後確認)	高周波窓リーク	集束電磁石不具合	絶縁油劣化	PT不具合
2000	9	2	0	0	1(4)	0	0	4	2
2001	9	1	1	0	2(2)	2	0	3	0
2002	10	0	2	0	1(2)	0	3	3	1
2003	8	2	0	0	1(1)	3	0	2	0
2004	6	3	0	1	0(2)	1	0	0	1
2005	6	2	0	1	0(1)	2	0	1	0
2006	5	3	0	0	0(1)	2	0	0	0
2007	7	1	1	0	0(1)	1	0	0	4
2008	1	0	0	0	0	1	0	0	0
2009	13	0	0	0	0	9	0	0	4
計	74	14	4	2	5(14)	21	3	13	12

¹ E-mail: babam@post.kek.jp

2009年度は集束電磁石不具合によるクライストロンアセンブリ交換数が9台である。その内訳は集束電磁石内ケーブル断線による不具合が1台とケーブル断線が発生したものと同型の集束電磁石を使用するユニットの事前交換が5台である。他3台は絶縁不良が確認されたものである^[3]。

その他の交換理由では、クライストロン内部真空悪化による交換が1台あり、アセンブリを解体して調査を行なった。碍子等の目視確認は異常が無かったが、クライストロンに通水したところ真空圧力が悪化し、通水を停止すると真空圧力が回復した。この結果、クライストロン内部の冷却水路でリークがあることが判明した。

集束電磁石には、クライストロンや集束電磁石の冷却水が水漏れした際にパルストランスタンク内に水が入らないように、水抜き穴を用意している。水抜き穴から液体が漏れているものがあつたため、集束電磁石点検の一環として内視鏡による観察を行なった。パルストランス内の絶縁油量が多かつたため、集束電磁石の水抜き穴近くのレベルまで油面が来ているもの等があつた。図2は何れも内視鏡による点検で確認された異常時の写真である。図2(a)はクライストロンアノード付近に油の漏れ、図2(b)はクライストロンの冷却水配管からの水漏れの例である。図2(b)は冷却水配管上に水滴がある事で水漏れを特定出来た。このように内視鏡で集束電磁石内側を観測して液漏れを確認出来、交換したものが3台あつた。



(a)油量過多 (b)水漏れ
図2：集束電磁石内側油量過多と水漏れの様子

3. サブブースター用クライストロン

クライストロンギャラリーに8台のサブブースターと呼ばれるクライストロンドライブ用のクライストロンを設置している^[4]。サブブースター用クライストロンの仕様は、周波数2856MHz、平均パルス出力電力70kW、RFパルス幅4 μ s、繰返し50ppsである^[5]。図3に現在のサブブースター用クライストロンの使用状況及び2000年度以降撤去したものの使用時間分布を示す。サブブースター用クライストロンの平均運転時間は約42,000時間である。また、撤去クライストロンの平均運転時間は約43,000時間である。サブブースター用クライストロンの不具合予測のために、常時RF入出力電力値をモニターし、定期的にパルス電流、電圧とRF出力波形の確認を行

なっている。2009年度のサブブースター用クライストロン交換は無かつた。

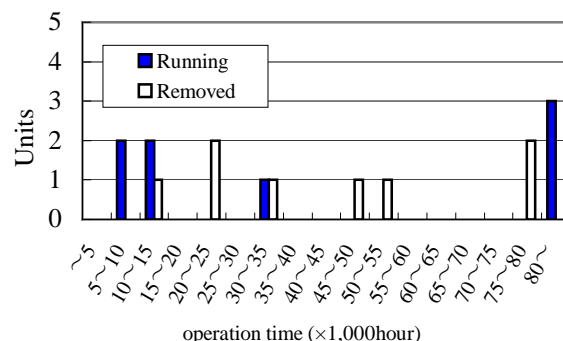


図3：サブブースター用クライストロン運転使用時間分布

4. 導波管高周波窓

導波管高周波窓はクライストロン等の高周波回路で、真空を保持し高周波を通過させる為使用される。図4に現在の導波管高周波窓の使用状況及び1998年度以降撤去したものの使用時間分布を示す。現在使用中の導波管高周波窓は75,000~80,000時間使用しているものが最も多く、平均運転時間は約56,000時間である。撤去済み導波管高周波窓の平均運転時間は約33,000時間である。2009年度は2個の交換を行なっている。これは、長時間運転に使用したことによる事前交換である。過去に行なつた導波管窓の主な交換理由は真空リーク、X線発生、VSWR多発、汚れ、温度上昇、寿命である^[6]。

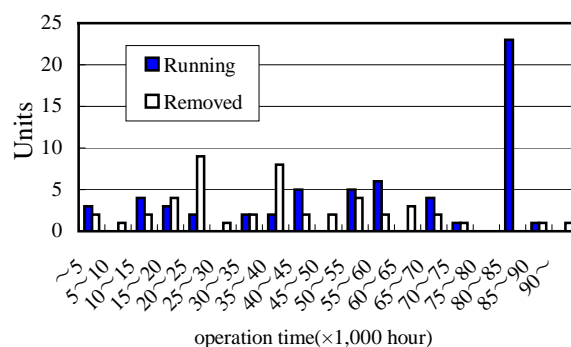


図4：導波管高周波窓運転使用時間分布

5. 維持管理

5.1 概要

安定した加速器運転を継続するため、過去の事例を基に定期点検やメンテナンスを行なうことで不具合の早期発見を行なっている。最近では長期間運転に起因する不具合の一つとして温度上昇によるコネクタ、端子等の溶融及び断線が問題になっている。

これらは表面温度を定期的に測定することで不具合の兆候を把握出来、事前交換を行なうことで運転停止を伴う不具合発生を防いでいる。この測定は加速器運転時に行なわれ、事前交換判断の一つとして有効である。

5.2 高圧ライン3相200V用ナイフスイッチ

大電力クライストロン電源で使用している高圧ラインのナイフスイッチが経年劣化による温度上昇により、溶融及び断線に至る事があった。図5に温度上昇が原因でヒューズ断線に至ったナイフスイッチの一例を示す。この事例では、ナイフスイッチのV相とW相の発熱が異常に高くなったため、スイッチカバーが破損し、ヒューズも溶融している。この事例を基に隔週でナイフスイッチの温度測定を行なっている。測定はサーモグラフィを用い、視覚的な温度変化と最高温度を測定し、事前交換の判断材料としている。図6にナイフスイッチ交換前と交換後の温度測定時のサーモグラフィ画像を示す。ナイフスイッチはサーモグラフィの部分最高温度が80°Cに達したのから順次交換をしており、昨年度は18台の交換実績があった。



(a) ナイフスイッチカバー (b) ヒューズ溶断
図5：温度上昇により断線したナイフスイッチ

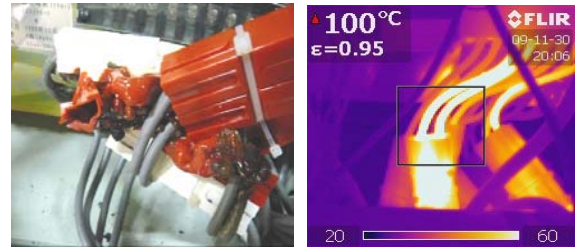


(a) 交換前 (b) 交換後
図6：ナイフスイッチ交換前と交換後の表面温度変化

5.3 集束電磁石電源ケーブルコネクタ

集束電磁石電源はクライストロンアセンブリ1式に9台使用しており、1台の電源ラックに収納して使用している。各集束電磁石電源の入力と出力ケーブルには脱着が容易なコネクタを使用しているが、コネクタ内部の接触不良等による発熱が原因でコネクタが溶融し、断線する事例があった。図7に溶融したコネクタと温度上昇しているサーモグラフィ画像を示す。このような不具合の場合、目視点検での早

期発見が困難な為、サーモグラフィを使用した表面温度の測定を定期的に行ない、温度が上昇している箇所は電源ケーブル及びコネクタの事前交換を行なう事で対処している。このコネクタは使用開始から13年余経過しているが、10年経過した段階ではこのような不具合は発生しなかった。今後も温度測定を継続して、温度上昇傾向から不具合の早期発見に努める。



(a) 溶融したコネクタ (b) コネクタの表面温度
図7：内部温度上昇により溶融したコネクタと温度上昇傾向のサーモグラフィ画像

6. まとめ

過去の蓄積データから定期的な点検を行なう事で不具合の早期発見及び対処が可能となっている。これにより、加速器停止を伴う突発的なトラブルは年々減少してきている。一方で、長期間稼働している事が原因で起こる新たな不具合の増加が予想されるため、様々な点検データの蓄積を続ける事で、今後も加速器の安定した運転が行なえるように努める。

参考文献

- [1] A.Enomoto, "Status Report: KEK e+/e- LINAC", Proceedings of this Meeting.
- [2] 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.
- [3] T.Toufuku et al., "Maintenance Activity of Klystrons and Thyratrons in KEK Electron-Positron Linac (II)", Proceedings of the 33th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2008, pp.864 - 866.
- [4] I.Sato et al., "放射光入射器増強計画", KEK Report 95-18,1996.
- [5] H.Kumano et al., "Maintenance Activity of RF Sources and RF windows in KEK Electron-Positron Linac", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting in Japan, 2009, pp.1090-1092.
- [6] Y.Imai et al., "Maintenance Activity of Klystrons and Thyratrons in KEK Electron-Positron Linac", Proceedings of the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2007, TP18.