

## MAINTENANCE ACTIVITY OF RF SOURCES AND RF WINDOWS IN KEK ELECTRON-POSITRON LINAC

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

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd.

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

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

### Abstract

Sixty high-power klystrons and rf windows, eight sub-booster klystrons are used at KEKB e-/e+ linac. Operational statistics of klystron assemblies, sub-booster klystrons and rf windows are summarized. After long rf operation, several klystrons show water-leakage, where high X-ray was irradiated. The water seal-tape replaced by X-ray-tight seal.

## KEK電子陽電子入射器における高周波源および高周波窓の維持管理

### 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ーに設置されており、年間約7,000時間の連続運転が行われている<sup>1)</sup>。加速器の連続運転には、高周波源の不具合事前予測、対処および長期間稼働による不具合の対処が重要である。

本稿ではクライストロンアセンブリ、サブブースター用クライストロンおよび導波管高周波窓に関する統計、維持管理についてまとめる。

### 2. クライストロンアセンブリ

図1に現在のクライストロンの使用状況及び2000年度以降故障したものの使用時間分布を示す。現在使用中のクライストロンは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47,000時間である。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。2008年度のクライストロンアセンブリ交換数は1台のみであり、集束電磁石のコイルとアース間の抵抗測定を行い絶縁不良が確認されたものである。これは、クライストロン、パルストランス等に不具合が無いため、集束電磁石のみ交換してクライストロンギャラリーに再設置し、現在も運転を継続している。

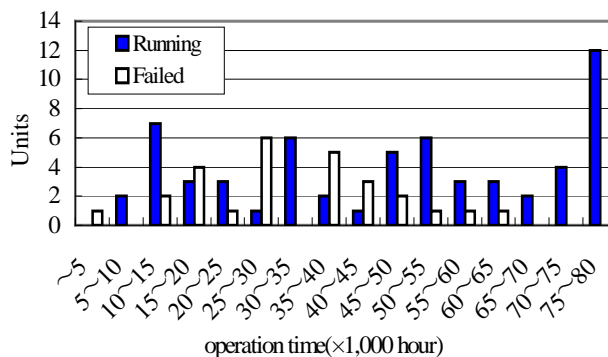


図1：クライストロン運転使用時間分布

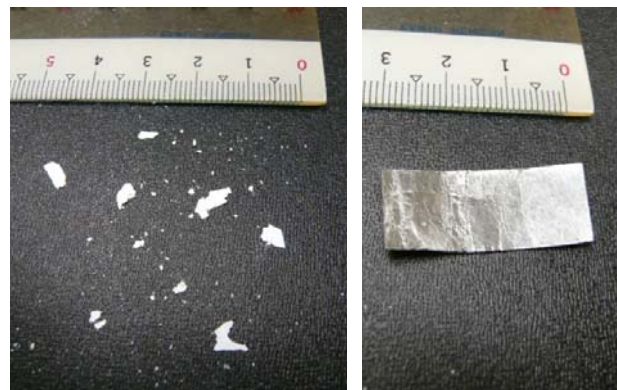
集束電磁石不具合原因の一つとして、クライストロンからの水漏れがある。クライストロンコレクタ部の冷却水配管に使用しているシールテープが放射線により劣化した事が原因と推測される。クライストロンの平均運転時間は年々延びていることから、今後クライストロンコレクタ部の水漏れが増えると予想できる。この水漏れを防ぐにはシールテープの素材を変更する必要がある。

今まで使用してきたテフロン素材シールテープの切れ端と、グラファイト素材シールテープの切れ端を運転中のクライストロンコレクタ部に入れて、放射線による劣化度合いを調べた。調査結果を表2に示す。テフロン素材のものは、約500時間経過後に弾力性が弱くなり、弱い力で引っ張ってもすぐに切

<sup>1</sup> E-mail: hkumano@post.kek.jp

れるようになった。約2,000時間経過後には弱い力を加えともろく崩れ、約6,000時間経過後には指で摘むと粉状になることが分かった。グラファイト素材のものは、約6,000時間経過してもシールテープの劣化が無く、テフロン素材のものよりも放射線による劣化は少ないことがわかった。現在も調査は継続している。これより、クライストロンコレクタ部の冷却水配管でテフロン素材のシールテープを使用していたもの全台数を、グラファイト素材のシールテープに交換した。

その他、クライストロンアセンブリの不具合事前予測のためにDip test<sup>[2]</sup>、パービアンズ測定、RF出力波形確認等を定期的に行っている<sup>[3]</sup>。



(A) (B)

図2：クライストロンコレクタ部に6,000時間入れたシールテープ  
(A)テフロン素材 (B)グラファイト素材

表1：クライストロンアセンブリの交換台数

年度	年度別交換数	交換理由							
		エミッション減少	クライストロン発振等	クライストロンヒータ断線	高周波窓リーク(撤去後確認)	集束電磁石不具合	絶縁油劣化	パルストランス不具合	その他
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(0)	1	0	0	0
計	61	14	4	2	5(14)	12	3	13	8

表2：シールテープの放射線による劣化調査結果

シール素材	クライストロン運転時間 (hour)		
	500	2,000	6,000
テフロン	弾力性が弱い 引っ張ると すぐに切れる	弱い力でも ろく崩れる	指で摘むと 粉状になる
グラファイト	劣化無し	劣化無し	劣化無し

### 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<sup>[4]</sup>。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4μs、繰返し50ppsである。

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年度以降故障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35,000時間である。また、故障クライストロンの平均運転時間は約43,000時間である。

表3に2001年度以降撤去したサブブースター用クライストロンの撤去原因と年度毎の交換台数を示す。2008年度は3台のサブブースター用クライストロンの交換を行った。故障内容にあるエミッション減少は、クライストロンの寿命によるものである。

サブブースター用クライストロンの不具合事前予測のためにRF出力電力モニター、RF出力波形確認等を行っている。

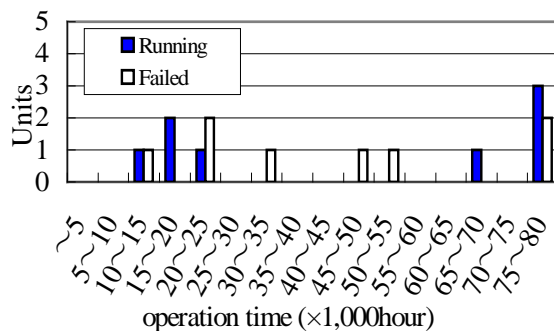


図3：サブブースター用クライストロン運転使用時間分布

表3：サブブースター用クライストロンの交換数

年度	交換理由					
	年度別交換数	エミツション減少	クライストロン発振	クライストロン放電頻度多い	ヒーター断線	その他
2001	1	0	0	0	1	0
2002	1	1	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0
2005	2	0	1	1	0	0
2006	0	0	0	0	0	0
2007	1	0	0	1	0	0
2008	3	2	0	1	0	0
計	8	3	1	3	1	0

#### 4. 導波管高周波窓

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54,000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36,000時間である。

2008年度は4個の高周波窓を交換している。導波管窓の様式を変更するために1個撤去した。VSWR多発のため1個交換を行った。しかし、VSWR多発の原因は導波管内真空引き用イオンポンプ故障による真空悪化であったことが後で分かっている。その他2個は、長時間運転に使用したことによる事前交換である。

導波管高周波窓の不具合事前予測のために放射線測定、窓温度測定、リークの有無確認等を定期的に行っている<sup>[5]</sup>。

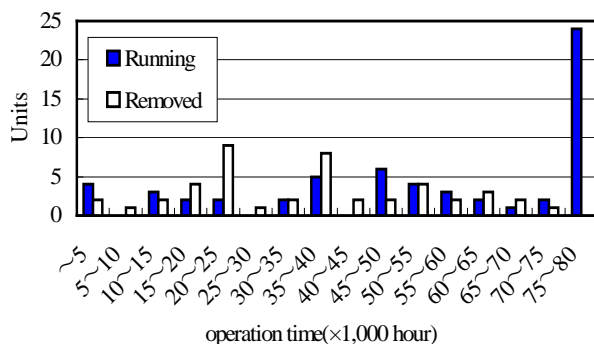


図4：導波管高周波窓運転使用時間分布

#### 5. 集束電磁石電源

集束電磁石電源はクライストロンアセンブリ1体に9台使用している。図5に2002年度以降の集束電磁石電源故障分布を示す。2005年度から2007年度にかけて電源故障数が増加しており、故障原因の多くはファンの停止によるものであった<sup>[6]</sup>。このことから、2008年度の長期メンテナンス時に全ての電源に対してファンの交換を行った。

2008年度の電源故障数は12台であった。ファンの停止によるものは5台であり、その他7台は基板素子の不具合によるものである。長期メンテナンスでのファン交換以降、電源故障数は減少している傾向にあるが、今後も経過観察が必要である。

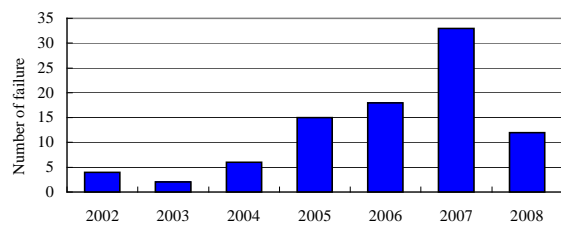


図5：集束電磁石電源故障分布

#### 6. まとめ

過去の蓄積データから定期的な点検を行う事で不具合の早期発見及び対処が可能になり、加速器停止を伴う突発的なトラブルは年々減少している。長時間運転しているクライストロンや導波管高周波窓が増えているため、運転統計やデータの蓄積による不具合事前予測の精度を高め、今後も加速器の安定した運転が行えるように努める。

#### 参考文献

- [1] Y. Ogawa, "Present Status of the KEK Electron/ Positron Injector Linac", Proceedings of this Meeting.
- [2] 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.
- [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] S. Fukuda, et al., "放射光入射器増強計画", KEK Report 95-18, 1996.
- [5] 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.
- [6] 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.