

## Maintenance Activity of Klystrons and Thyratrons in KEK Electron-Positron Linac ( II )

Tomoyuki Toufuku<sup>1,A)</sup>, Yasuo Imai<sup>A)</sup>, Hiroki Kumano<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 modulators are used at KEKB e-/e+ linac. Operational statistics of klystron assemblies, rf windows and thyratrons are summarized. After long rf operation, several klystrons show water-leakage, where high X-ray was irradiated. The water seal-tape was analyzed and replaced by X-ray-tight seal. Failures of magnet power supplies have been increased due to the lifetime of fans. The failure statistics are also described.

## 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 (II)

### 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おり、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いる。年間約7,000時間の連続運転が行われており<sup>[1]</sup>、長期間稼働している事が原因で起こる不具合も増加している。本稿ではクライストロンアセンブリ、導波管高周波窓、サイラトロンに関する統計、増加してきている集束電磁石電源の不具合について報告する。

である<sup>[2]</sup>。2007年度は7台のアセンブリの交換を行った。その他の項目の4台は、クライストロン入力空洞付近にある冷却水配管部分からの水漏れ及び水漏れ跡が交換理由である。クライストロンの通水試験時にこの部分から水漏れが起きた事があった為、ファイバースコープを使用して集束電磁石の内側を観察し、異常が確認されたクライストロンアセンブリの交換を行った。このクライストロンに関しては冷却水配管部分の手直しを行った後に再利用する予定である。

### 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65,000～70,000時間使用しているものが最も多く、平均運転時間は約40,000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交換理由と年度毎の交換台数を示す。高周波窓リークにある撤去後確認の内訳は、高周波窓リークとは別の理由でクライストロンアセンブリの撤去を行ったが、その時に高周波窓リークが発見されたものである。集束電磁石不具合は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

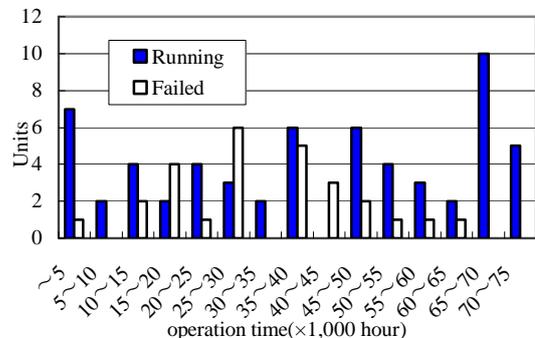


図1: クライストロン運転使用時間分布

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

表1：クライストロンアセンブリの交換台数

年度	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
計	60	14	4	2	5(14)	11	3	13	8

維持管理として長期メンテナンス時に集束電磁石の抵抗測定を絶縁抵抗計で1000Vの電圧を印加して行い、絶縁不良が確認されたクライストロンアセンブリの交換を行っている。正常時のコイル、アース間の抵抗は2000M $\Omega$ だが、異常時はテスター測定で30k $\Omega$ まで下がるものもある。異常と判断されたものでも完全に絶縁不良を起こしておらず、正常時と変わらない動作が可能であるが、時間が経てば完全に絶縁不良を起こす為、事前交換を行っている。絶縁不良になる原因として集束電磁石本体の水漏れによる場合とクライストロンからの水漏れが原因の場合がある。2000年度以降集束電磁石不具合が原因で交換した台数が11台あり、集束電磁石が原因のものが7台、クライストロンからの水漏れが原因と思われるものが4台(コレクター冷却水配管部分3台、温度センサー取り付け部分1台)あった。

図2にクライストロンコレクター部の水漏れ箇所を示す。水漏れが起こる箇所は、放射線防護用鉛に囲まれた冷却水配管の部分であり(図2-c)、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。長期メンテナンス時に運転使用中のクライストロンを確認すると、4台にコレクター部分から水漏れの形跡が確認された(図2-d)。手直しを行うには放射線防護用鉛(重量125kg)を取り外して作業を行う必要があり、その準備を進めている。また、冷却水配管部手直しには放射線に耐性のあるシールテープに交換する予定である。

その他の維持管理としてクライストロンアセンブリの不具合事前予測のための Dip Test<sup>[3]</sup>、パービアンズ測定、RF出力波形確認等の様々な項目において年3回定期点検を行っている<sup>[4]</sup>。

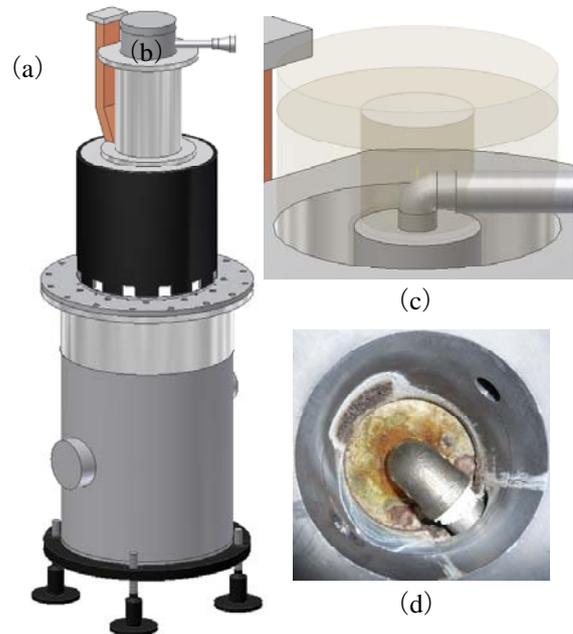


図2：クライストロンコレクター部の水漏れ箇所

- (a) クライストロンアセンブリ全体図
- (b) クライストロンコレクター部
- (c) (b)を拡大し、鉛を半透明にした状態。
- (d) コレクター部分からの水漏れ写真

### 3. 導波管高周波窓

図3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70,000~75,000時間使用しているものが最も多く、平均運転時間は約51,500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33,000時間である。2007年度は3個の交換を行っている。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<sup>[5]</sup>。

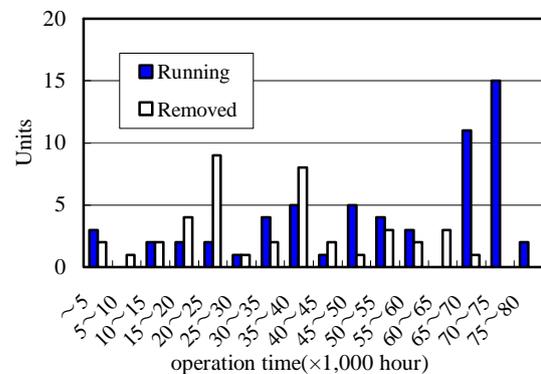


図3：導波管高周波窓運転使用時間分布

#### 4. サイラトロン

図4に現在のサイラトロンの使用状況及び1998年度以降故障したものの使用時間分布を示す。現在使用中のサイラトロンは25,000～30,000時間使用しているものが最も多く、平均使用時間は約26,500時間である。また、故障サイラトロンの平均使用時間は約33,000時間である。2007年度は18台のサイラトロンを交換しているが、これは早期事前交換<sup>[6]</sup>の8台を含めた数である。サイラトロンの故障が原因で交換した台数は10台であった。

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<sup>[7]</sup>。

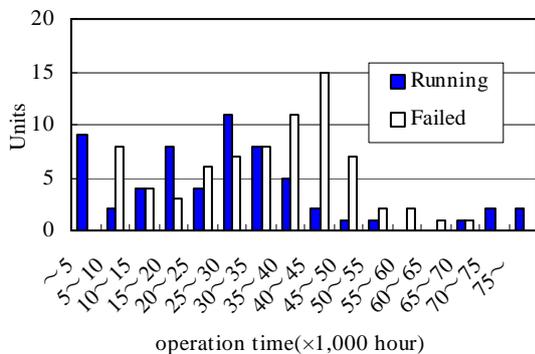


図4：サイラトロン運転使用時間分布

#### 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。集束電磁石電源が故障するとインターロックが作動し加速器運転の停止となる場合もある為、安定に動作する事は重要である。

図5に2002年度以降の集束電磁石電源故障分布を示す。2005年度から故障台数が徐々に増えている。その為、2005年度の長期メンテナンス時に集塵用フィルターの交換を行った。2006年度は前年度とほぼ同じ台数が故障している。2007年度には故障台数が33台と大きく増加した。

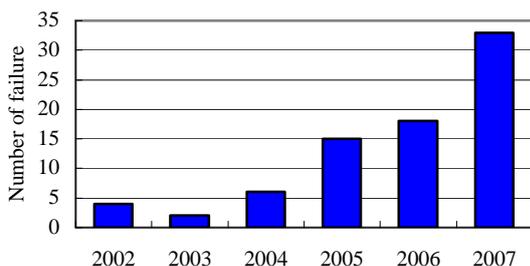


図5：集束電磁石電源故障分布

2005年度からの故障理由のほとんどはファンの停止によるものであった。ファンのMTBFは70,000時間とのデータがあり、運転開始から10年以上(70,000時間以上の運転時間)経過していることを考慮すると今後もファンの寿命によるものと思われる電源の故障台数が増えると予想される為、長期メンテナンス時に予備電源も含めて全てのファンを交換する準備を進めている。

#### 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。しかし、長期間稼働している事が原因で起こる不具合は増加してきている為、今後もデータの蓄積を行い、増加傾向のある不具合にはすばやい対応を行い、安定な加速器の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", Proc. of the 33th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2008.
- [2] 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.
- [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] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.