

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

Tomoyuki Toufuku ^{#,A)}, Yasuo Imai^{A)}, Hiroki Kumano^{A)}, Masao Baba^{A)}, Tetsuo Morotomi^{A)},
 Dai Arakawa^{B)}, Mitsuo Akemoto^{B)}, Hiroaki Katagiri^{B)}, Tetsuo Shidara^{B)}, Tateru Takenaka^{B)},
 Hiromitsu Nakajima^{B)}, Katsumi Nakao^{B)}, Shigeki Fukuda^{B)}, Hiroyuki Honma^{B)}, Toshihiro Matsumoto^{B)},
 Shuji Matsumoto^{B)}, Hideki Matsushita^{B)}, Takako Miura^{B)}, Yoshiharu Yano^{B)}, Shinichiro Michizono^{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 klystrons are used at the KEK electron-positron linac. These klystrons had been operated for ~7,000 hours per year. After the East-Japan large earthquake occurred on 11 March 2011, recovery works have been carried out. Replacement of the klystron assemblies, statistics of the klystrons, waveguide windows and thyratrons are summarized. We investigated the insulation resistance of the magnet power supply of 60 units. A lot of magnet power supply was poor insulation. In this paper, these statistics and maintenance works are 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 (II)

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器では、高周波源として約 60 台の大電力クライストロンを 1997 年～2010 年まで年間約 7,000 時間の連続運転を行っていた^[1]。

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の後、1 ヶ月半の復旧作業を経て 2 つのリングへの入射が必要となる 3 つのセクター(25 台)を立ち上げて入射を開始、その後、残り 5 つのセクター(35 台)に関しても RF コンディショニングを行ない異常が無い事を確認した。現在は 2 つのリングへの入射に必要な 3 つのセクターの連続運転と並行して、東日本大震災の復旧作業及び SuperKEKB へのアップグレード作業を行なっている^[2]。

本稿ではクライストロン、サイラトロン、導波管高周波窓に関する統計、クライストロン用電磁石電源の維持管理等について報告する。

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^[3]。

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。現在使用中クライストロンの平均運転時間は約 49,000 時間であり、85,000 時間以上継続して使用している台数が一番多い。また、故障クライストロンの平均運転時間は約 36,000 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。

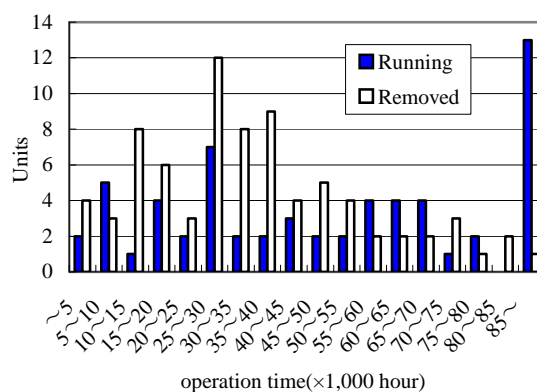


図 1 : クライストロン運転使用時間分布

2010 年度はクライストロン印加電圧測定用の容量分圧器が短絡した事による交換が 1 台であった。図 2 に短絡した容量分圧器を示す。容量分圧器の上蓋が傾き両電極が短絡している。これは長期メンテナンス中に作業のためアセンブリ内の絶縁油を抜き出し、作業後再注入した際に容量分圧器の上蓋が傾いてしまった為に発生した。このようになった原因としては、経年劣化により容量分圧器上蓋の接着剤の粘着力が弱くなった事が考えられる。

2011 年度は 4 台の交換を行なった。交換の内訳はヒーター断線が 1 台、高周波窓リークによるクライストロン内部真空悪化が 1 台、集束電磁石の絶縁不良による交換が 1 台、クライストロンとヒータートランスの接触部近辺にススが付着していたため交換したものが 1 台である。

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 | 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 | 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 | PT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 |
| 2009 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0(0) | 9 | 0 | 0 | 4 |
| 2010 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0(0) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2011 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1(0) | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 計 | 79 | 14 | 4 | 3 | 6(14) | 22 | 3 | 13 | 14 |



図 2：短絡した容量分圧器

クライストロン内部真空悪化は東日本大震災時に発生した^[4]。このユニットでは加速管と導波管内の真空を区切る手段として、2008 年より導波管バルブを用いている。バルブはクライストロン交換などの真空作業時以外は常時開放している。

このユニットのクライストロン高周波窓は震災前からリークは確認されていたが、運用上問題なかったためそのまま使用していた。しかし、震災時に加速管内が大気開放された事で導波管、クライストロ

ン管内も大気開放された。この影響でクライストロン用イオンポンプが使用不能に陥り、クライストロンの交換を余儀なくされた。

3. サイラトロン

図 3 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の平均使用時間は約 25,500 時間である。また、故障サイラトロンの平均使用時間は約 34,000 時間である。

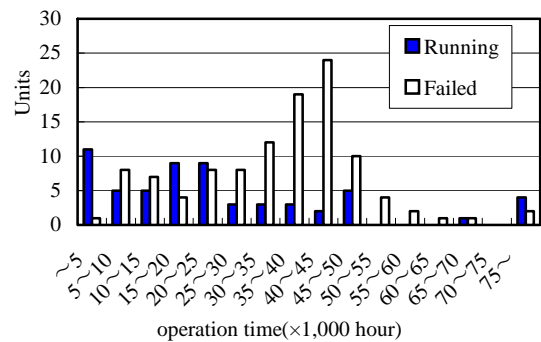


図 3：サイラトロン運転使用時間分布

故障によるサイラトロンの交換台数は 2010 年度が 12 台で 2011 年度は 3 台であった。2011 年度の交換台数が大きく減少しているのは、3 つのセクター(25 台)しか連続運転を行なっておらず、また、運転時間も地震のために短くなったからである。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。

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。

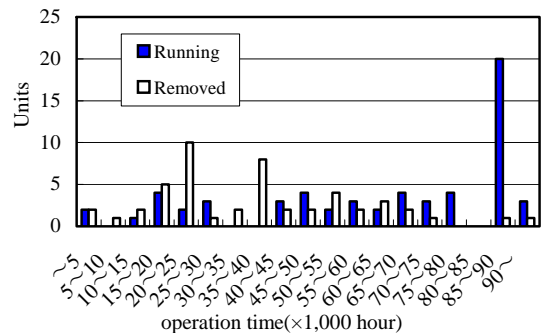


図 4：導波管高周波窓運転使用時間分布

現在使用中の導波管高周波窓は 85,000～90,000 時間使用しているものが最も多く、平均運転時間は約 63,000 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 37,000 時間である。

2010 年度の交換は無く、2011 年度は東日本大震災から復旧した後の RF コンディショニング時に導波管高周波窓での放電による VSWR 多発^[4]が発生し、2 台交換した。撤去済み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。

5. 集束電磁石電源

KEK 電子陽電子入射器ではクライストロン 1 体に対し集束電磁石電源を 9 台使用している^[5]。約 60 台のクライストロンが稼働している為、集束電磁石電源は合計で約 540 台を使用している。

東日本大震災の被害により集束電磁石電源を 9 台修理に出したところ 3 台が電源内部で絶縁不良を起こしている事が判明した。修理に出した電源の 3 割が絶縁不良を起こしていた為、運転で使用している電源についても調査をする事とした。電源メーカーの指導の下、入力端子と接地間、出力端子と接地間にそれぞれ 500V 印加し絶縁抵抗を測定した。絶縁抵抗試験器もメーカーが使用している物を使用した。絶縁抵抗の測定結果を表 2 に示す。

表 2：絶縁抵抗測定結果

| 測定数 [台] | 20MΩ ~30MΩ [台] | 10MΩ ~20MΩ [台] | 5MΩ ~10MΩ [台] | 1MΩ ~5MΩ [台] | 1MΩ 以下 [台] |
|------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|------------------|
| 406 | 12 | 26 | 41 | 61 | 45 |

総数 540 台に対して測定数は 406 台と少ない。これは、1 つのコイルに対し電源を 2 台並列接続して使用している箇所があり、それらは 2 台接続したまま測定を行なった為である。メーカーでは絶縁抵抗の劣化と判定する基準値を 30MΩ 以下としているため、これに倣って 30MΩ 以下の台数をカウントした。この結果、測定した台数の 45%にあたる 185 台が該当した。半数近くの電源がメーカー基準値以下となっていることから、今後このまま使用を続けた場合、多くの電源故障が発生することが想定されるため、早期に改善する事とした。絶縁抵抗劣化の要因は、主に電源内部に付着した埃等であるため、これを解消するには電源を解体し内部を洗浄する必要がある。ただし、この作業には時間を要するため、絶縁抵抗の低い電源から段階的に洗浄を行なっていく方針とした。2011 年 7 月までに、主に 1MΩ 以下の約 40 台の洗浄を完了した。今後も順次洗浄を行っていく。

図 5 に 2002 年度以降の集束電磁石電源の故障分布を示す。2005 年度に集塵用フィルターの交換を行なっている^[5]。2007 年度にファン故障による故障台数が急増した為、2008 年度に全数のファン交換を行なった^[6]。2010 年度から故障台数が増加している。ファン故障による台数も半数近く見られた。2011 年度は東日本大震災による被害や、絶縁不良の調査をした影響と思われる故障が大半である。3

つのセクター(25 台)しか連続運転を行っていない事もあり、運転中の故障台数は少ない。2008 年度に全数ファンを交換したが、その後もファン故障の割合がなくなるのは電源が絶縁不良を起こしている事も要因の 1 つになっていると考えられる。今後も計画的に絶縁不良を起こしている電源を改修していく予定である。

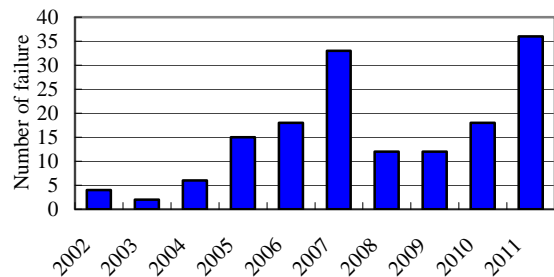


図 5：集束電磁石電源故障分布

6. まとめ

東日本大震災の影響で多くの機器に被害が出たが、復旧作業を経て、現在では 60 台全ての高周波源が正常に動作するまでに至った。

今年度は多数の集束電磁石電源の絶縁抵抗劣化が判明した。台数が多い為、計画的に改善していく必要がある。

定期的に各種点検を行ない、トラブルの早期発見及びメンテナンスにより、加速器停止を伴う突発的なトラブルは減少傾向にある。しかし、長期間稼働による経年劣化が原因で起こるトラブルが増加傾向にある。今後も安定した加速器運転を継続できるよう、様々な点検、データの蓄積を続けることにより、トラブルの兆候を早期に捉え、適切な処置を施していく必要がある。

参考文献

- [1] T.Miura, "Present Status of the KEK Electron/ Positron Injector Linac", Proceedings of this Meeting.
- [2] T.Higo, "Linac Upgrade for SuperKEKB", Proceedings of this Meeting.
- [3] 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.
- [4] Y.Imai, et al., "Recovery Efforts of RF Sources at KEK Electron-positron Linac due to East Japan Large Earthquake", Proceedings of the 36th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2011, TUPS151.
- [5] 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.
- [6] H.Kumano, et al., " MAINTENANCE ACTIVITY OF RF SOURCES AND RF WINDOWS IN KEK ELECTRON-POSITRON LINAC", Proceedings of the 34th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2009, FPACA55.