

KEK 電子陽電子入射器における高周波源の運転保守(Ⅱ)

OPERATION AND MAINTENANCE ACTIVITY OF RF SYSTEM IN KEK ELECTRON-POSITRON LINAC(Ⅱ)

東福知之^{#,A)}, 今井康雄^{A)}, 馬場昌夫^{A)}, 熊野宏樹^{A)}, 諸富哲夫^{A)}, 荒川大^{B)}, 明本光生^{B)C)}, 片桐広明^{B)}, 設楽哲夫^{B)C)}, 竹中たてる^{B)}, 中島啓光^{B)}, 中尾克己^{B)}, 福田茂樹^{B)C)}, 本間博幸^{B)}, 松本利広^{B)C)}, 松本修二^{B)C)}, 松下英樹^{B)}, 三浦孝子^{B)C)}, 矢野喜治^{B)C)}, Qiu Feng^{B)C)}, 道園真一郎^{B)C)}, Tomoyuki Toufuku^{#,A)}, Yasuo Imai^{A)}, Masao Baba^{A)}, Hiroki Kumano^{A)}, Tetsuo Morotomi^{A)}, Dai Arakawa^{B)}, Mitsuo Akemoto^{B)C)}, Hiroaki Katagiri^{B)}, Tetsuo Shidara^{B)C)}, Tateru Takenaka^{B)}, Hiromitsu Nakajima^{B)}, Katsumi Nakao^{B)}, Shigeki Fukuda^{B)C)}, Hiroyuki Honma^{B)}, Toshihiro Matsumoto^{B)C)}, Shuji Matsumoto^{B)}, Hideki Matsushita^{B)}, Takako Miura^{B)C)}, Yoshiharu Yano^{B)C)}, Feng Qiu^{B)C)}, Shinichiro Michizono^{B)C)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

^{C)} Department of Accelerator Science, Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

Abstract

Sixty high-power klystrons are used at the KEK electron-positron linac. The upgrade work to SuperKEKB was started from 2011. Presently 24 units have been operated to inject to the two rings (PF, PF-AR) for 5,100 hours last year. The other 36 units are operated irregularly for SuperKEKB upgrade work and beam commissioning. Those units have been operated 2,300 hours of about half time of continuous operation units. In this paper, these statistics and operation maintenance works are reported.

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器では、高周波源として 60 台の大電力クライストロンを使用している。2011 年度より SuperKEKB へのアップグレード作業が開始され、現在は 2 つのリングへの入射に必要な 24 台のみ連続運転を行っている。2013 年度は約 5,100 時間の運転が行われた。残りの 36 台は SuperKEKB へのアップグレード作業とビームコミッショニング^[1]の為、不定期的な運転となっており、連続運転場所の約半分の 2,300 時間の運転が行われた。

本稿ではクライストロン、サブブースタークライストロン、サイラトロンに関する統計や運転保守について報告する。

2. クライストロンアセンブリ

Figure 1 に現在使用している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。現在使用しているクライストロンの平均運転時間は約 49,000 時間である。100,000 時間以上使用しているものが 2 台あり、これらは KEKB 運転が開始された 1998 年から使用しているものである。撤去したクライストロンの平均運転時間は約 37,000 時間である。

2013 年度は以下の原因により交換を行った。

- 集束電磁石の絶縁不良^[2]
- クライストロンヒーター電流低下インターロックの多発
- クライストロン内部真空悪化

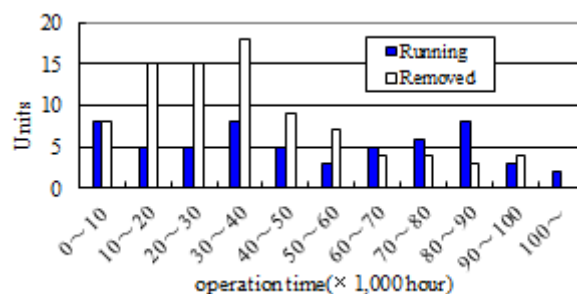


Figure 1: Klystron operation hour-of-use distribution.

集束電磁石の絶縁不良による交換は、夏期メンテナンスの定期点検により発覚したものであり運転に害害はなかった。

クライストロンヒーター電流低下インターロックの多発による交換は、ヒーター電流が完全に流れなくなる前に事前交換を行った。Figure 2 にヒーター電流低下インターロックの動作分布を示す。

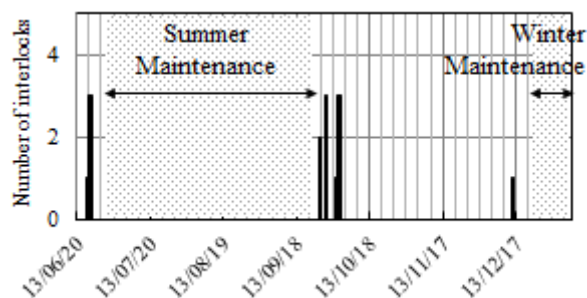


Figure 2: Heater current Lower Limit interlock distribution.

[#] toufuku@post.kek.jp

最初にヒーター電流低下のインターロックが動作したのは6月24日だった。連続して3回動作したが、7月1日からはじまった夏期メンテナンスまでの数日間は異常なく運転を行えた為、夏期メンテナンスでの交換は見送られた。夏期メンテナンス期間が終了し、9月24日に運転が開始されてから3日間は異常なく運転を行えていたが、9月27日から同様の症状が発生し断続的に2週間程度続いた。その後は不定期な運転ではあったが2か月間異常なく運転が行えた。冬期メンテナンス前に再度症状が発生した為、冬期メンテナンス時に事前交換が行われた。

クライストロン内部真空悪化による交換は、クライストロンイオンポンプ電流が5.5mAまで増加した為、交換に至った(通常は3.5kV、0μA)。イオンポンプ本体の高圧コネクタに力を加える事で印加電圧、電流が大きく変化する事が調査中に判明した。イオンポンプ本体に不具合が発生したものと推測している。

3. サブブースタークライストロン

KEK電子陽電子入射器ではクライストロンドライブ用として8台のサブブースタークライストロン(以下サブブースター)を使用している^[3,4]。サブブースターの仕様は周波数2856MHz、平均パルス出力電力70kW、RFパルス幅4μs、繰返し50ppsである。

Figure 3に現在使用しているサブブースターの使用状況及び2000年度以降交換したものの使用時間分布を示す。

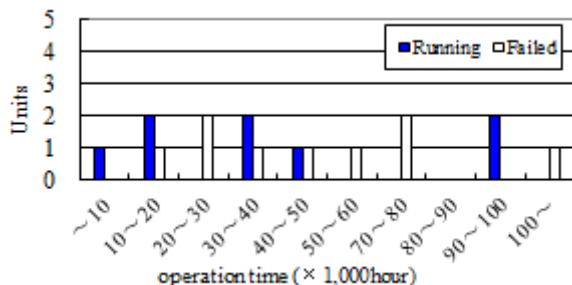


Figure 3: Sub-Booster Klystron operation hour-of-use distribution.

現在使用しているサブブースターの平均運転時間は約42,000時間であり、撤去品の平均運転時間は約50,000時間である。

2013年度はエミッション減少により1台の交換を行った。11月13日に出力が減少しているとの報告を受け調査を行った。Figure 4に2005年6月から取得しているパービアンスの履歴を示す。パービアンスが徐々に減少しており、エミッション減少の兆候が見られた。サブブースターの交換作業には3時間から5時間が必要であり、この間はビーム運転が不可能となる。ヒーター電流の調整により約1か月後の冬期メンテナンスまで交換時期を引き延ばせないか調査を行った。Figure 5にヒーター電流調整時のパービアンスの変化を示す。調整前のヒーター電流

はパービアンスの落ち込みの大きい0.81Aで使用されていた。落ち込みの少ない0.9Aまで上げる事で安定動作する事を期待したが、翌日には内部真空悪化及び出力変動が起こるようになった為、再度調整を行った。

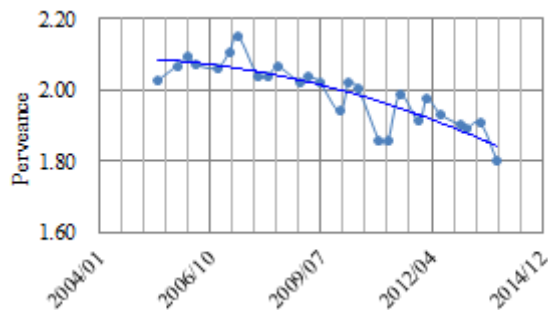


Figure 4: Perveance history.

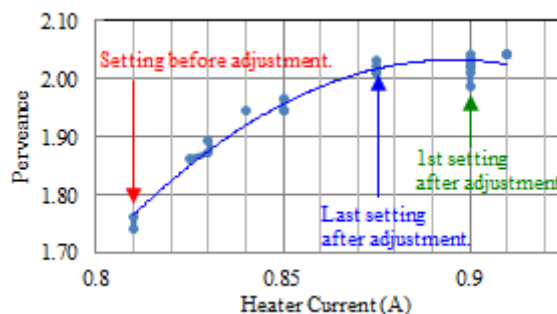


Figure 5: Changes in the Perveance at the time of the heater current adjustment.

内部真空悪化はヒーター電流を0.875Aに下げる事で治まり、出力変動は入力電力を調整する事により治まった。出力変動の症状は前日のヒーター電流調整時から起こっており、入力電力の調整により変化する事が分かっていた為、安定な出力が得られる領域を拡げる為に磁場調整を行った。Figure 6に磁場調整後の入出力特性と安定領域の変化を示す。

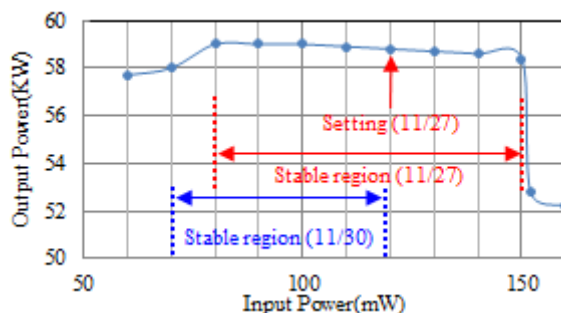


Figure 6: Input output characteristic after the magnetic field adjustment, and change of the stable region.

入力電力80mW~150mWで安定な出力が得られるようになり、入力電力120mWで使用する事とした。しかし2日後の11月30日に再度、出力変動が起こり入力電力の調整を行う必要が生じた。この時の出力の安定な領域は70mW~118mWであっ

た。時間の経過と共に特性が変化しており、安定な運転が行えないと判断し、冬期メンテナンスを待たずに交換を行った。交換後、安定に運転が行えるようになった。

4. サイラトロン

Figure 7 に現在使用しているサイラトロンの使用状況及び 1998 年度以降交換したものの使用時間分布を示す。

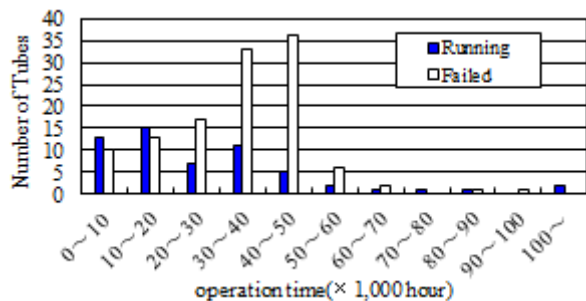


Figure 7: Thyatron life time profile.

現在使用中のサイラトロン平均運転時間は約 28,000 時間であり、交換したものの平均運転時間は約 34,000 時間である。

2013 年度は 3 台の交換を行った。下記にその詳細を示す。

(1) KL_44_B 型式 L4888B 運転時間 14,000 時間

Figure 8 にサイラトロン自爆によるインターロックの動作分布を示す。交換前にインターロックの動作回数が増加している事が分かる。リザーバー電圧を下げてもインターロックの動作頻度は治まらなかった。リザーバー電圧を下げた事で動作が不安定になった可能性があり、逆にリザーバー電圧を上げてみたが症状は治まらなかった。最終的にキープアラブ電流が流れなくなり交換を行った。

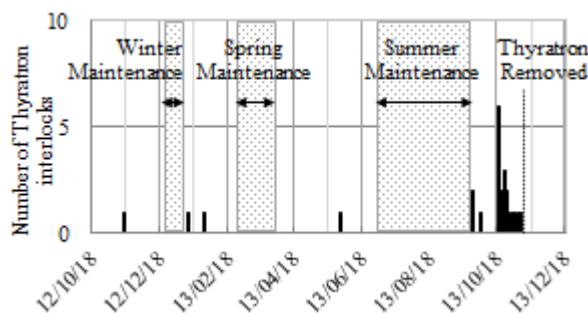


Figure 8: Thyatron interlock profile.

(2) KL_B2 型式 L4888B 運転時間 48,000 時間

リザーバー電流低下のインターロックが動作し、現場確認を行った時に補助グリッド(G1)の放電^[5]が発覚し交換を行った。

(3) KL_23 型式 L4888B 運転時間 10,000 時間

高圧印加直後に過電流のインターロックが動作して停止する状況だった。サイラトロンを切り離して

高圧を印加したところ、正常に動作した為、サイラトロンが異常と判断して交換を行った。

5. 運転保守

KEK 電子陽電子入射器では高周波源を 60 台使用しており、安定かつ安全に運転を行う事が重要である。安定かつ安全に運転を行う為に、2011 年以前から高圧電源ラインのナイフスイッチや IVR 本体、集束電磁石電源コネクタの温度測定^[6]をサーモグラフィにより定期的に行っているが、2011 年以降に以下の項目も追加した。

- 実験分電盤端子台
- IVR 端子台
- KLY 電磁石電源入力端子台
- インバーター電源用 200V-400V 昇圧トランス
- インバーター電源入力端子台
- サブブースター高圧ラインナイフスイッチ

これらは過去に不具合の起こった場所や現在すでに温度の高い場所等である。重大な不具合を未然に防ぐべく定期的な温度測定により不具合の兆候を早期に捉えられるように努めている。

6. まとめ

ここ数年 SuperKEKB へのアップグレード作業の為、高周波源の連続運転時間や稼働台数が少なく、クライストロン及びサイラトロン等の交換台数は少ない傾向にあった。アップグレード作業が進むにつれ、徐々に運転時間や稼働台数も増えてきており、交換台数が徐々に増加していくものと予想される。その為、不具合の兆候を見逃さないよう日々の保守作業に取り組み、今後も安定な加速器の運転が行えるように努めていく。

参考文献

- [1] M.Satoh, et al., "Present status of SuperKEKB injector linac commissioning", Proceedings of this Meeting.
- [2] 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.
- [3] I.Sato, et al., "放射光入射器増強計画", KEK Report 95-18, 1996.
- [4] 松本利広, 他, "KEKB 用 60kW ドライバークラストロン調整のための位相測定", Proceedings of the 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Sep.9-11,1997, Sendai, Japan.
- [5] 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.
- [6] M.Baba, et al, "MAINTENANCE ACTIVITY OF HIGH-POWER RF SYSTEM IN KEK ELECTRON-POSITRON LINAC", Proceedings of the 35th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2010, THPS046.