

Maintenance Activity of RF Sources in KEK Electron-Positron Linac (II)

Hiroki Kumano^{1,A)}, Yasuo Imai^{A)}, Tomoyuki Toufuku^{A)}, Minoru Mayama^{A)}, Tetsuo Morotomi^{A)},
Hiroaki Katagiri^{B)}, Tateru Takenaka^{B)}, Katsumi Nakao^{B)}, Toshihiro Matsumoto^{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 high-power klystrons and rf windows are used as rf sources at KEKB e+/e- linac. The statistics of klystrons and rf windows are utilized for the proper maintenance work. These maintenance activities play important role for minimizing operational loss-time. The maintenance activity of klystrons is Dip test and rf pulse shortening measurement, etc. The rf window is processed with a high power test in order to reduce the conditioning time.

KEK 電子陽電子入射器における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、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^[1]。運転中に高周波源の不具合が発生すると加速器運転の停止となる場合もある為、不具合の事前予測及び対処が重要となっている。本稿ではクライストロン、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

2.1 概況

クライストロンアセンブリは主にクライストロン、パルストランス、集束電磁石、タンクで構成されている^[2]。クライストロンの仕様は、周波数2856MHz、平均パルス出力電力41MW、RFパルス幅4 μ s、繰返し50ppsである。

2.2 使用状況及び撤去原因

図1に現在のクライストロンアセンブリ使用状況及び2000年度以降撤去したものの使用時間分布を示す。現在使用中のクライストロンアセンブリは、55,000~60,000時間運転しているものが最も多い。運転使用中であるクライストロンアセンブリの平均運転時間は、約35,000時間である。また、撤去済みクライストロンアセンブリの平均運転時間は、約26,000時間である。

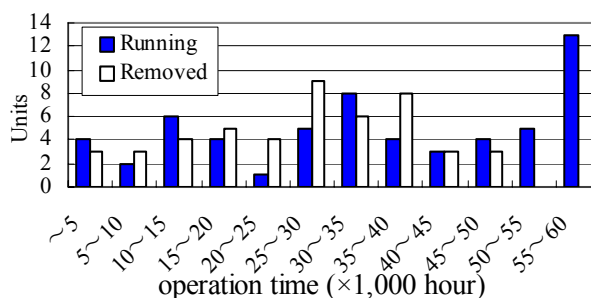


図1 クライストロン運転使用時間分布

表1 クライストロンアセンブリの交換台数

| 年度 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 計 | |
|----------|-------------------|------|------|------|------|------|----|----|
| アセンブリ交換数 | 9 | 9 | 10 | 8 | 6 | 6 | 48 | |
| 交換理由 | エミッション減少 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 | 10 |
| | KLY 発振等 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | KLY ヒーター断線 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | PT 不具合 (タンク内放電含む) | 4 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 13 |
| | MAG 不具合 | 0 | 2 | 0 | 3 | 1 | 2 | 8 |
| | 絶縁油劣化 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | KLY 窓リーク | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| その他 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | |

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。交換理由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。クライストロンアセンブリ交換となる不具合を事前予測する為、次に述べるような維持管理作業を行っている。

¹ E-mail: hkumano@post.kek.jp

2.3 維持管理

クライストロンのエミッション減少の兆候を捉える為、定期的にDip試験を行っている^[3]。この試験は、運転中のクライストロンヒーターを60秒間通電停止することによりカソード表面温度を変化させて、エミッション低下量を測定する。クライストロンギャラリー4セクターにおけるDip試験結果履歴を図2に示す。

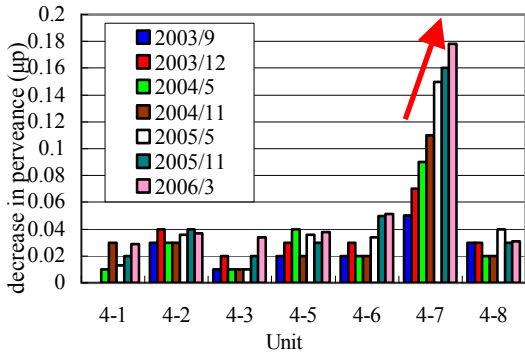


図2 Dip試験の結果履歴

4-7ユニットでは、パービアンズ低下量が運転時間と共に増加していることが分かる。パービアンズ低下量が増加しているクライストロンでは、ヒーター電圧に対するパービアンズの変化を測定する。図3に4-7ユニットにおけるヒーター電圧に対するパービアンズの変化測定履歴を示す。一定値から大きく減少し始めるポイントがヒーター電圧の動作点(110V)に近づいており、エミッション減少が確認された。このクライストロンアセンブリは、今夏の長期メンテナンス時に交換する予定である。

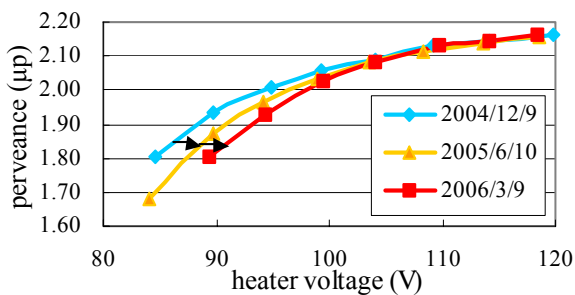


図3 4-7ユニットにおけるヒーター電圧に対するパービアンズの変化測定履歴

運転中であるクライストロンの中には、RF出力波形に欠けが見られるものがある^[4]。RF波形欠けの例を図4に示す。RF入力波形、高圧波形には欠けが見られないが、RF出力波形にのみ欠けが見られる。原因は特定出来ていないが頻度が増えたと運転にも影響が出る為、2005年から波形診断用FPGAボードを用いてRF波形欠け計数測定を行っている。RFパルス欠け計数測定結果履歴の一部を図5に示す。C-8ユニットでは、全測定において10パルス/時間以上

発生している。最も欠けが多くあった約20パルス/時間でも全パルス数の0.01%の頻度である。通常のKEKB連続入射では入射頻度が10Hz程度であるため、入射に与える影響はさらに小さく、現状ではこのパルス欠け現象が運転の大きな妨げになっていない。この現象がクライストロンの経年劣化によるものか及び原因追求の為、今後もデータを蓄積していく。

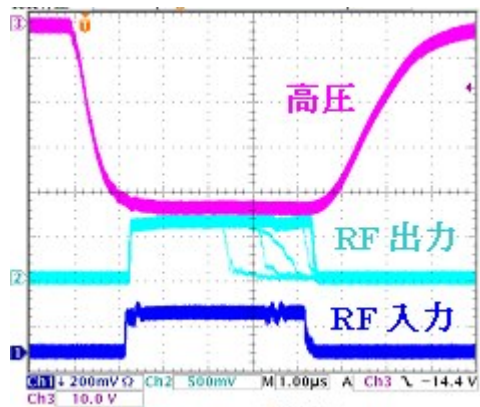


図4 RF波形欠けの様子

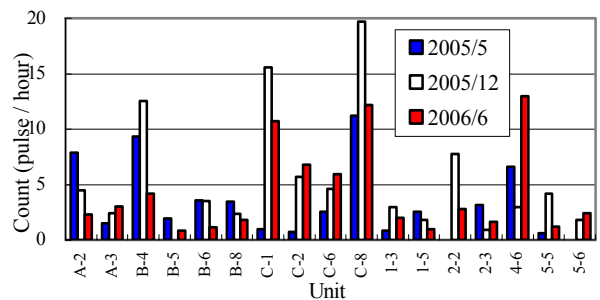


図5 RFパルス欠け計数測定結果履歴

その他、集束電磁石の絶縁抵抗測定、タンク内絶縁油目視点検、各種波形確認等を定期的に行っている。

3. 導波管高周波窓

3.1 概要

高周波窓は真空を保持し高周波を通過させる為に用いられ、クライストロン出力部と導波管部に使用されている。クライストロンアセンブリ交換の際、導波管高周波窓があるのでビームラインを大気開放することなく作業が出来る。しかし、導波管高周波窓にリークが無いことが絶対条件となる。この為、高周波窓の不具合事前予測が重要である。

3.2 使用状況及び撤去原因

現在の導波管高周波窓使用状況及び1998年度以降撤去したものの使用時間分布を図6に示す。現在使用中の導波管高周波窓は、55,000~60,000時間使用しているものが最も多い。運転使用中である導波管

高周波窓の平均運転時間は、約43,000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30,000時間である。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。

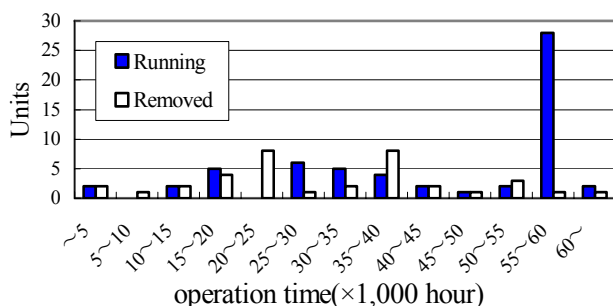


図6 導波管高周波窓運転使用時間分布

3.3 維持管理

導波管高周波窓の初期不良を防ぐ為、レゾナントリングを用いた大電力試験を行っている^[5]。大電力試験では、高周波窓のセラミック表面で見られる発光の写真撮影、スペクトル測定を行っている。図7に大電力試験中の高周波窓発光の様子を示す。ロウ付け部分に不具合がある場合は、その部分からの一次電子発生が多くなる為に局所的な発光が見られる。

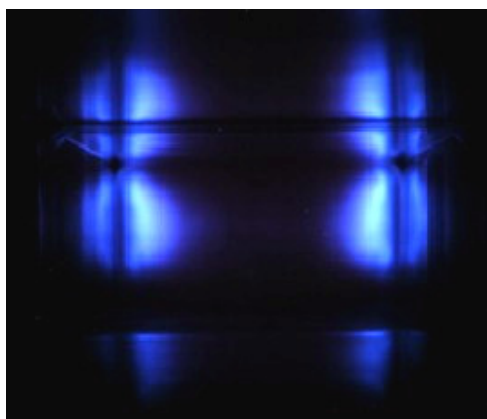


図7 高周波窓発光の様子(通過電力100MW)

レゾナントリング試験中の発光スペクトルを図8に示す。310nm付近のピークはアルミナセラミックの酸素欠陥に電子が1個捕獲されたF⁺中心と呼ばれるものである。これは、アルミナセラミックに通常見られる欠陥であり、安定なものである。694nmのピークはクロムの不純物準位によるものである。局所的な溶融が生じたり、材料自体に問題がある場合にはこれらのピークのほかに410nm付近にピークを持つF中心（アルミナセラミックの酸素欠陥に電子が2個捕獲された状態）が現れる^[6]。レゾナントリング試験では、F中心が現れないこと、発光パターンに異常が無いことを確認してクライストロンギャラリに設置するようにしている。

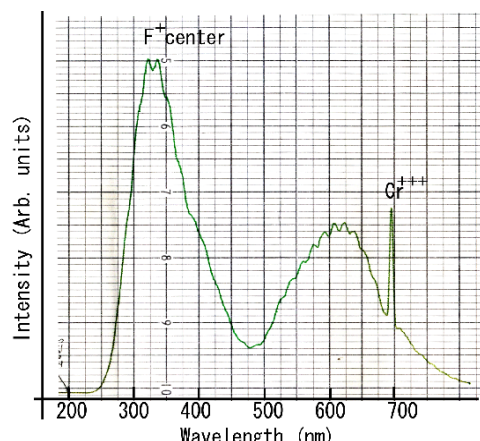


図8 レゾナントリング試験中の発光スペクトル
(通過電力50MW)

運転に使用している窓に関して、経験的に温度上昇している窓は破壊につながる事が分かっている。過去に破壊された窓で放射線が強く発生したものもあった。その為、定期的に導波管高周波窓とクライストロン窓の温度測定及び放射線測定を実施し、上昇傾向にあるものを保守期間に事前交換している^[7]。その他に、全く兆候が無く偶然リークが見つかることもある。その為、長期メンテナンス時にクライストロンと導波管窓間の窒素ページを行って高周波窓のリークの有無を確認している。

4. まとめ

過去の蓄積データをもとに定期的な点検を行うことで不具合の早期発見及び、対処が可能となっている。今後もデータを蓄積して、不具合事前予測の精度を高めていくよう努める。

参考文献

- [1] Y.Ogawa, "Present Status of the KEK Electron/ Positron Injector Linac", Proc. of the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2006.
- [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] 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] M.Yoshida, et al., "Study on Klystron RF Pulse Shortening and Development of Waveform Diagnostic FPGA Board", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2005, pp.308-310.
- [5] T.Toufuku, et al., "Maintenance Activity of Klystrons and RF Windows at KEK e+/e- Linac", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2005, pp.278-280.
- [6] S.Michizono, et al., "Dielectric Materials for Use as Output Window in High-power Klystrons", IEEE Trans Electr Insul 28(1993), pp.692-699.
- [7] 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.