

Maintenance Activity of Klystrons and RF Windows at KEK e+/e- Linac

Tomoyuki Toufuku^{1,A)}, Yasuo Imai^{A)}, Hiroki Kumano^{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 at KEKB e+/e- linac. The statistics of klystrons and rf windows are summarized. The replacement of a klystron is now mainly decided by an emission decrease (dip test). Emission tests, where the heater voltages are changed during rf operation, are carried out for the klystrons with the deeper dip. It is confirmed that the deeper dip klystron has a tendency of lower electron emission from its cathode. The rf window is processed with a baking and a high power test in order to reduce the conditioning time.

KEK 電子陽電子入射器におけるクライストロン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ビーム入射を行う為の高周波源としてクライストロンギャラリーに59台、低速陽電子実験用に1台、計60台の大電力クライストロンを使用しており、年間約7,000時間の連続運転を行っている^[1]。2004年1月からKEKBリングへの連続入射が始まったことにより、不具合を事前に予測し保守期間に対処を行うことが重要となっている。

本稿ではクライストロンアセンブリ、導波管高周波窓に関する統計、運転状況および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

大電力クライストロンの仕様は、周波数2856MHz、平均パルス出力41MW、RFパルス幅4 μ s、繰り返し50pps となっている。クライストロンアセンブリは、大電力クライストロン、パルストランス、集束電磁石、タンクの組み合わせで構成されている^[2]。クライストロンアセンブリの故障は加速器運転の妨げになる為、不具合を事前予測し対処する事が重要である^[3]。

2.2 使用状況及び撤去原因

現在のクライストロンアセンブリの使用状況および、2000年度以降撤去したものの使用時間を図1に示す。運転時間が 45,000時間以上のクライストロンが20本以上あるが、これらはKEKB入射に伴う

ビームエネルギー増強時（1998年）前後に設置したものである。交換したクライストロンアセンブリの年度毎の台数及び主な撤去原因の内訳を表1に示す。

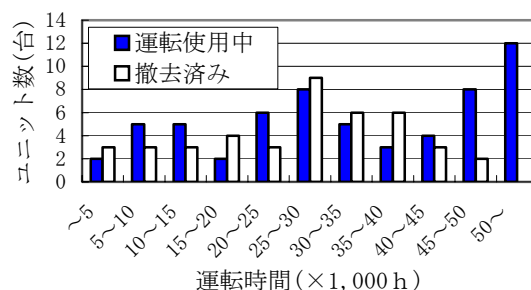


図1：クライストロン運転使用時間分布

表1：2000年度以降交換したクライストロンアセンブリの交換理由と年度毎の台数

年度	2000	2001	2002	2003	2004	計
アセンブリ交換数	9	9	10	8	6	42
交換理由						
エミッション減少	2	1	0	2	3	8
KLY 発振等	0	1	2	0	0	3
KLY ヒーター断線	0	0	0	0	1	1
PT 不具合 (タンク内放電も含む)	4	3	3	2	0	12
MAG 不具合	0	2	0	3	1	6
絶縁油劣化	0	0	3	0	0	3
KLY 窓リーク	1	2	1	1	0	5
その他	2	0	1	0	1	4

¹ E-mail: toufuku@post.kek.jp

2.3 維持管理

クライストロンを長時間使用した場合、カソードの活性度が低下してエミッション減少となり交換することとなる。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^[4]。このDip試験では、運転中のクライストロンのヒーターを短時間（1分）切ることによりカソード表面温度を変化させ、その際のエミッションの変化を見る。運転時間と共に低下量が増えてきているものに関しては保守期間の交換候補にしている。運転中のクライストロンのヒーター電源を切るため細心の注意が必要だがビーム運転の合間に短時間で測定出来るため2003年から測定を行っている。

試験データの一部を図2に示す。1-4、1-6 Unit はパービアンスの低下量が徐々に増加しており、これらは交換の候補となる。

時間経過と共にパービアンスの低下量が大きくなったクライストロンのデータを図3に示す。Dip試験の結果、エミッション減少の兆候がみられたクライストロンはヒーター電圧に対するパービアンスの変化を測定する。一定値から大きく減少しはじめるポイントがヒーター電圧の動作点に近づいていた場合、最終的にエミッション減少と判断し交換を行う。

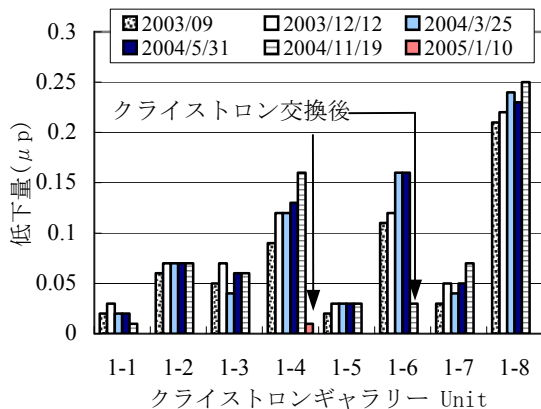


図2：クライストロンギャラリー Unit でのパービアンス低下量の履歴

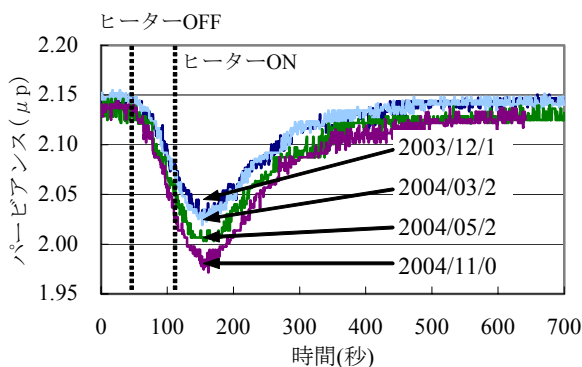


図3：Dip 試験時のパービアンスの履歴 (1-4 Unit で測定)

測定結果からエミッション減少と判断され、交換に至ったクライストロンのデータを図4に示す。エミッション低下が進んでいる事が確認でき、Dip試験のような簡易試験がエミッション減少の判断に有用である事が確認できた。

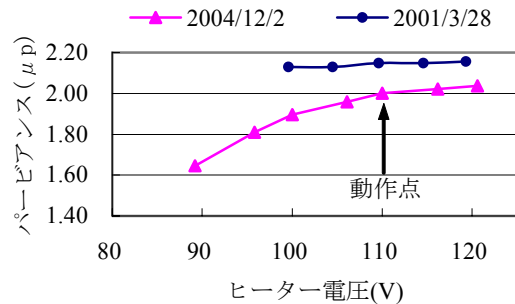


図4：ヒーター電圧に対するパービアンスの変化の履歴 (1-4 Unit で測定)

その他、不具合の事前予測の為、RF波形のパルス欠け調査^[5]や、集束電磁石の抵抗測定^[2]、タンク内絶縁油目視点検^[2]等を定期的に行っている。

3. 導波管高周波窓

3.1 概況

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。導波管高周波窓はクライストロンアセンブリ交換の際、ビームラインを大気開放することなく作業が出来るようにする為に設置されている。加速器運転中に不具合の発生したクライストロンアセンブリを交換する際は、導波管高周波窓にリークが発生していない事が絶対条件になる為、不具合を事前予測する事は重要である。

3.2 使用状況及び撤去原因

現在の導波管高周波窓の使用状況および、1998年度以降撤去したものの使用時間を図5に示す。

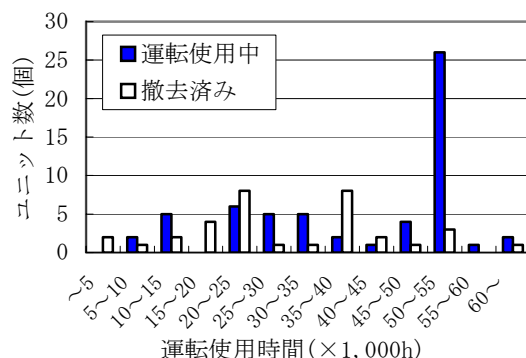


図5：導波管高周波窓運転使用時間分布

50,000～55,000時間使用している個数が多いが、これはKEKB入射に伴うビームエネルギー増強時に多く設置したことが反映されている。

3.3 維持管理

3.3.1 真空中での導波管高周波窓ベーキング

クライストロンギャラリーで新規に導波管高周波窓を設置する場合、導波管高周波窓セラミック表面のコンディショニングに長時間が必要となる。コンディショニング時間の低減を目的として導波管高周波窓を事前にベーキングしている。専用のベーキング炉では、導波管高周波窓を4個一度にベーキングすることができる。ここでは90℃にて10時間程度のベーキングを行う。ベーキング後の到達圧力は 10^{-8} Pa台である。ベーキング後にリークテストを行い、レゾナントリング試験までは除湿器内に保管される。

3.3.2 レゾナントリングを用いた大電力試験

過去に、新規設置した導波管高周波窓が高周波コンディショニング期間中にVSWRが高くなり撤去に至ったことがあった。このような初期不良を防ぐ為、設置前にレゾナントリング（クライストロンから出力された高周波を同期・重畳することにより、クライストロン出力の数十倍の通過電力試験を可能にする装置（図6））を用いた大電力試験を行っている。

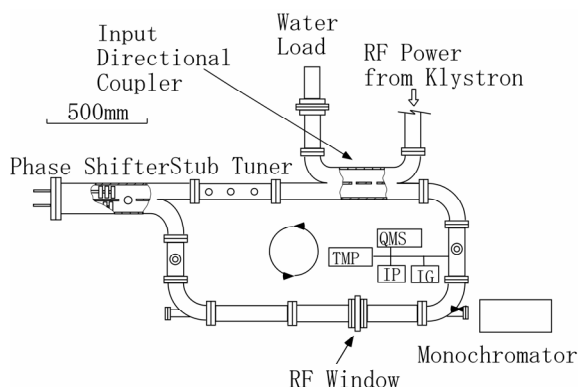


図6：レゾナントリング概略図

この試験では、100MW（パルス幅 $2\mu\text{s}$ 、繰り返し50pps）までの高周波試験を行う。クライストロンギャラリーでの通過電力（平均41MW）の2倍以上の通過電力試験を行うことにより、高周波窓の異常を短期間に判定できる。大電力試験中はセラミック表面で観察される発光（アルミナのルミネッセンス）の写真撮影、スペクトル測定を行う。表面が局所的に破壊され溶融している場合は、F中心酸素欠陥に起因する発光が見られる^[6]。また、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ために局所的な発光が見られる。このような発光パターンの異常やスペクトル異常により高周波窓の不具合を事前に確認することができる。

この試験にて異常が見られなかった導波管高周波窓を新規設置の際には使用している。

3.3.3 温度測定、放射線測定

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。また、過去に破壊された窓で放射線が強く発生したものがあつた。その為、年3回、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]。

3.3.4 その他

導波管高周波窓の破壊には、まったく兆候がみられず、偶然リークが見つかることもある。これを考慮して、入射器電子銃付近の重要な場所について保守期間中にクライストロンと導波管高周波窓間の窒素パージを行いリークの有無を確認している^[2]。

4. まとめ

過去の蓄積データをもとに定期点検および解析を行い、トラブルを事前に予測し対処することで、加速器停止を伴う突発的なトラブルは年々減少し、新規設置前に十分な試験を行うことで初期不良の発生も減少してきている。

長時間稼動しているクライストロンや導波管高周波窓も多くなっており、安定した加速器の運転を行う為には今後もデータ蓄積し、不具合の事前予測の精度を更に高めていく必要がある。

参考文献

- [1] Y.Ogawa, “Present Status of the KEK Electron/Positron Injector Linac”, presented in 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] Y.Yano, et al., “Present status of RF trip at the KEK Electron/Positron Injector Linac”, presented in this meeting.
- [4] 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.
- [5] M.Yoshida, et al., “Study on Klystron RF Pulse Shortening and Development of Waveform Diagnostic FPGA Board”, presented in this meeting.
- [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.