

[12P-29]

## THYRATRON PERFORMANCE IN THE KEK 8GEV LINAC

M. Akemoto<sup>\*)</sup>, H. Honma, T. Shidara and S. Anami

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

### Abstract

The 8 GeV Linac at the KEK has been in continuous operation for the KEKB experiment since September 1998. Total 59 units of klystron modulators are under continuous operation. The accumulated high-voltage run-time of the modulators has reached approximately 11,000 hours in March 2000. This paper describes lifetimes and failure modes of the thyratrons that are used as a modulator switch during the operation.

### KEK 8GeV リニアックでのサイラトロン使用状況

#### 1. はじめに

KEK 8 GeV リニアックは 1998 年秋より B 物理実験のために、8 GeV の電子ビームと 3.5GeV 陽電子ビームを KEKB リングへ入射を開始して以来今日まで順調に運転されている。[1] リニアックは RF 源として最大 50MW、パルス幅 4 $\mu$ s のマイクロ波を出力する S バンドクライストロンを使用し、59 台のクライストロン電源が設置されている。クライストロン電源の運転時間（高圧印加時間）は約 11,000 時間（1998 年 9 月から 2000 年 3 月 17 日まで）になる。

本稿では、この間に於けるクライストロン電源に使用されているサイラトロンの使用状況（交換及び故障等）を報告する。クライストロン電源の故障の概況については、本研究会の別稿で報告しているのでそちらを参照して下さい。[2]

#### 2. クライストロン電源

KEKB への増強にあたり、クライストロン電源は従来の電源を改造することによって増強された。[3] クライストロン電源はラインタイプ電源で、2 並列に接続された 20 段のパルス成形回路（PFN）、サイラトロンスイッチとパルストランスで構成される。表 1 にクライストロン電源の主な仕様を示す。

#### 3. サイラトロン

これまでサイラトロンは KU-275C(Triton 社製、前

ITT 社)及び F175 (Triton 社製)を使用してきたが、KEKB への増強(繰り返しが 25Hz から 50Hz に増加し、パルス幅が 3.5 $\mu$ s から 5.6 $\mu$ s と広くなり、アノード電流は 3.5kA から 4.8kA に増加した。)から、3 種類のサイラトロン、CX2410K (Marconi 社製、前 EEV 社)、F241 (Triton 社製)、L4888B (Litton 社製)に変更された。どのサイラトロンも 2 ギャップで、水素ガス封入されたセラミクス管で、ほぼ同じサイズで、取り付けフランジが共通になっている。表 2 に 3 種類のサイラトロンの主な仕様の比較を示す。

表 1 クライストロン電源の主な仕様

最大ピーク電力	108MW
最大平均電力	30kW
パルストランス昇圧比	1:13.5
出力パルス電圧	22.5kV
出力パルス電流	4800A
PFN総容量	0.6 $\mu$ F
パルス立ち上がり時間(10-90%)	0.8 $\mu$ s
パルス平坦度(ピークからピーク)	0.3%
パルス半値幅	5.6 $\mu$ s
サイラトロンアノード電圧	45kV
サイラトロンアノード電流	4.8kA
サイラトロン平均アノード電流	1.3A
パルス繰り返し	50Hz

<sup>\*)</sup> M. Akemoto, 0298-64-5200-4246, mitsuo.akemoto@kek.jp

表2 サイラトロンと比較

	CX2410K	F241	L4888B
ヒータ (Vac/Aac)	6.3/75	6.3/65	6.3/70
リザーバ (Vac/Aac)	5.0/17.5	4.5/15	4.5/20
最大アノード電圧(kV)	60	50	50
最大アノード電流(kA)	15	10	10
最大平均アノード電流(A)	10	8	8
アノードヒーティング 係数( $10^9 \cdot V \cdot A \cdot pps$ )	300	250	400

#### 4. サイラトロン使用方法

##### 4.1 サイラトロン駆動回路

サイラトロンは絶縁碍子でフランジ接続され、横方向からファンで空冷されている。図1にサイラトロン駆動回路を示す。サイラトロンのトリガー方式は、図1のようにグリッドトリガーパルスは、補助グリッド(G1)にキープアライブ用DC 励起とトリガーパルスを印加し、コントロールグリッド(G2)にはパイ遅延回路で遅延されたトリガーパルスを印加する標準的で簡単なトリガー方式を採用している。

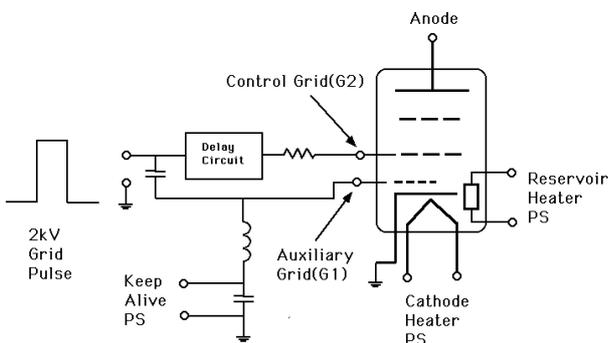


図1 サイラトロン駆動回路

##### 4.2 レンズング

レンズングは、サイラトロンを正常にまた安定に動作させるために必要な調整である。KEK ではリザーバ電圧を上げ下げして、連続導通状態（上限値）とジッターが発生する状態（下限値）を探し、その平均値を最適設定値とする方法が採用されている。[4] 調整は0.2V 刻みで、また管内の放電状態を安定化させるために10分間の間を置きながら行われる。調節時間は1台につき約2時間程度要する。調整後、ジッターは通常、10ns 以下に押さえら

れる。この調整は、リニアック全サイラトロンに対して最低年1回実施している。

#### 5. サイラトロンの使用状況

##### 5.1 サイラトロン運転時間分布

現在（2000年3月17日）、CX2410Kを20本、F241を18本、L4888Bを21本合計59本がクライストロン電源に組み込まれ運転に使用されている。図2にそれぞれのサイラトロンの運転時間（高圧印加時間）分布を示す。図に示されるように、最小1,500時間から最大24,000時間まで幅広く、15,000時間を頂点とした時間分布をもっている。但し、B用に本格運転開始してまだ11,000時間程度であるため、これ以上の運転時間をもつサイラトロンについては、以前の運転条件で運転されている。サイラトロンの種類による固まりの分布になっているのは、KEKでは単年度ごとに入札によるサイラトロン購入を行っているため、その年度で交換するサイラトロンの種類が限定されるためである。

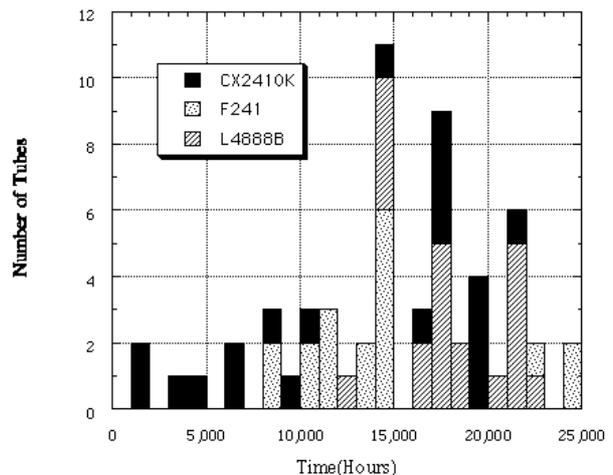


図2 サイラトロン運転時間分布  
(2000年3月17日現在)

##### 5-2 サイラトロンの故障

1998年9月から2000年3月17日までに11本のサイラトロンが故障によって交換された。但し、この数には、ヒータ線の断線等のサイラトロンの寿命に直接関係しない故障による交換の数は除外した。

表3に故障の内訳を示す。主な故障は、耐圧不良で全体の約9割を占める。これは所定の充電電圧で、正常使用することが出来ない場合の故障を言う。こ

の場合、交換前に必ずリザーバ電圧調整が行われるがこの調整で自爆や大きなジッター（数 10ns 以上）を押さえることができない。アノード部放電は、サイラトロンのアノードに取り付けられている放熱用フィン部で放電するもので、最初は小さい放電であったが時間が経つに従って大きな放電音と光りを発するようになった。

表 3 故障の内訳

	CX2410K	F241	L4888B
耐圧不良	3	2	5
アノード部放電	0	0	1
計	3	2	6
平均寿命 (時間)	11,475	7,232	9,497

図 3 に故障サイラトロンの寿命分布を示す。約 18,000 時間の 1 本を除けば、3 種類のサイラトロンとも、10,000 時間前後に分布している。まだ統計数が十分でないこと、また収集されたデータの中にはまだ KEKB 運転条件でない以前の運転条件で運転されたものも含まれており、同じ運転条件での比較ができないことから、まだサイラトロンの種類による寿命の有意差は言えない。

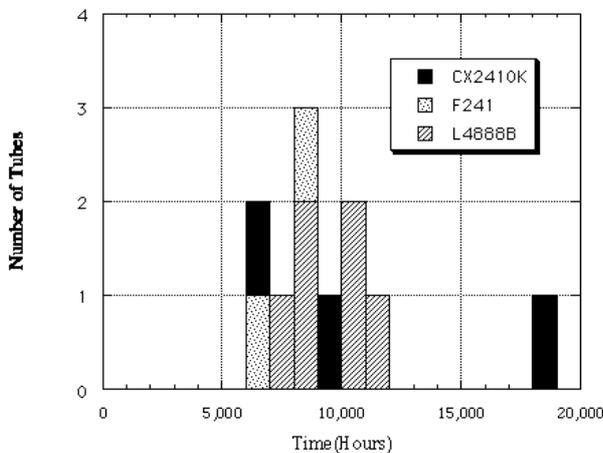


図 3 故障サイラトロンの寿命分布

これまでに発生した他のトラブルをサイラトロンの種類別にまとめると以下の通り。

(1) CX2410K は 1995 年度から購入された。使用中にヒータ線の取り付けネジが弛んでファイヤーしなくなる故障が 2 件、使用当初から自爆が多発しこれを押さえることができないことから初期不良品

とおもわれものが 1 件あった。後者はその後 Marconi 社で再検査されたが問題がないということで KEK に戻された。

(2) L4888B は 1994 年度から購入された。初期においては 2 件の製造上の不具合があった。1 件目はアノードキャップ部で熱歪みによるリーク故障が 2 本起きた。その後、その部分の設計変更が行われた。2 件目は短時間（寿命が 1,200 と 1,700 時間）で耐圧不良となる故障が 2 本あり、分解調査の結果、アノードとグラジエントグリッド間のセラミック内壁面に金属付着物そして内部電極とセラミックの中心軸が出ていないことが確認された。原因として、内部電極が正しい位置関係になっていないために、アーク放電がおき、それによってセラミック内壁面に金属物が付着し、耐圧が劣化したと推測された。その対策として、部品組み立て時に使用する取り付けジグが改善された。1996 年度では、カソードヒータが内部断線する故障が 1 本あった。

(3) F241 は 1993 年度から購入されているが、特に問題は起こっていない。

## 6. まとめ

KEK 8GeV リニアックのクライストロン電源は 59 本のサイラトロンを使用して運転されている。サイラトロン交換は、年間約 7 本程度となっている。今後もサイラトロンの運転データは蓄積され、サイラトロンの性能評価及び運転管理に活用される。

## 参考文献

- [1] T. Matsumoto, "Recent Results of the Commissioning for the KEKB Injector Linac," Proc. of this meeting.
- [2] H. Honma et al., "Troubles about Operation of the KEKB Injection Linac Klystron Modulator," Proc. of this meeting.
- [3] H. Honma et al., "Upgrade of the PF 2.5GeV Linac Klystron Modulator for the KEKB," KEK Preprint 94-146, 1994.
- [4] H. Iijima et al., "Hydrogen Thyatron Ranging (Tuning Method of Reservoir Voltage) of Klystron Modulator," Proc. of the 16th Linear Accelerator Meeting in Japan, (1991)139-141.