

## PRESENT STATUS OF THYRATRONS IN THE KEKB LINAC

Mitsuo Akemoto<sup>1</sup>, Hiroyuki Honma, Hiromitsu Nakajima, Tetsuo Shidara, Shigeki Fukuda  
High Energy Accelerator Research Organization(KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

The KEKB Linac 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 48k hours in June 2005. This paper describes lifetime and reliability of the thytrons that are used as a modulator switch during the operation.

### KEKBリニアックに於けるサイラトロンの現状

#### 1. はじめに

KEKB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3.5 GeV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<sup>[1]</sup>。リニアックはRF源として最大50 MW、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48k時間（1998年9月から2005年6月1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）、サイラトン受入れ試験及び最近確認されたサイラトロンのアノード遅延時間の異常特性について報告する。

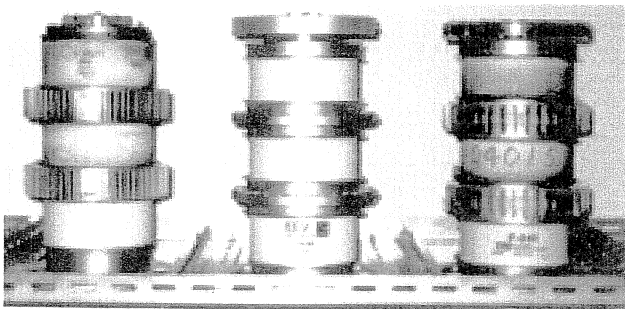


図1：サイラトン  
(右からF241, CX2410K, L4888B)

#### 2. サイラトロンの使用状況

##### 2.1 電源とサイラトン

KEKBクライストロン電源の主な仕様を表1に示す<sup>[2]</sup>。サイラトロンは図1に示すように3種類、CX2410K（e2V社製、前EEV社）、F241（Triton社製）、L4888B（Litton社製）を使用してい

る。どのサイラトンも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。

##### 2.2 サイラトン運転時間

現在（2005年6月1日）、CX2410Kを37本、F241を4本、L4888Bを18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1.6k時間から最大60.0k時間まで幅広く、約13k時間に大きなピークを持つ時間分布をもっている。このピークは加速器運転に重要なクライストロン電源に使用されているサイラトン9本を加速器の信頼性向上のために約10k時間間隔で事前交換しているためによるものである。但し、B用に本格運転開始して総計約48k時間であるので、これ以上の運転時間をもつサイラトンについては以前の運転条件も含まれている。

表1：クライストロン電源の主な仕様

最大ピーク電力	108 MW
最大平均電力	30 kW
パルストランス昇圧比	1:13.5
1次側出力パルス電圧	22.5 kV
1次側出力パルス電流	4800 A
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
サイラトンアノード電圧	45 kV
サイラトンアノード電流	4.8 kA
サイラトン平均アノード電流	1.3 A
パルス繰り返し	50 Hz

<sup>1</sup> E-mail: mitsuo.akemoto@kek.jp

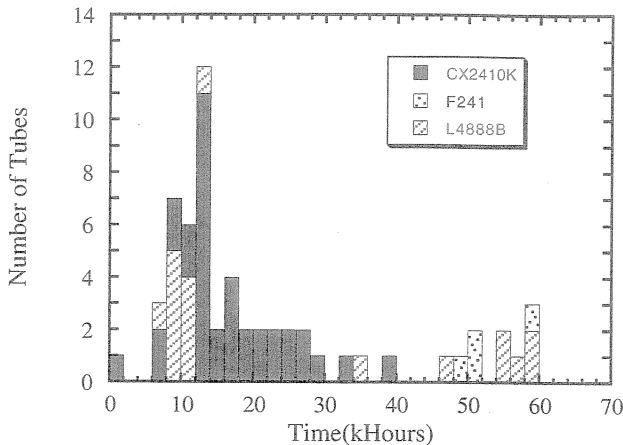


図2：サイラトロンの運転時間分布  
(2005年6月1日現在)

### 2.3 サイラトロンの故障

1998年9月から2005年6月1日までに57本のサイラトロンの故障によって交換された。但し、この数には、製造上及び取り扱い上の不良、使用中の使い方の不適、不注意などによるものは除外した。

図3に故障サイラトロンの寿命分布を示す。また、表2に種類別の統計を示す。3種類のサイラトン各々、ばらつきの大きい寿命分布になっている。また全体、種類別共に短寿命と長寿命のグループに別れているように見える。これは個々の品質のばらつきが大きいことが伺える。短寿命のグループの特徴は寿命が種類に関わらず約10k時間付近を中心としていることである。平均寿命はサイラトロンの種類に大きな差はなく約30k時間である。

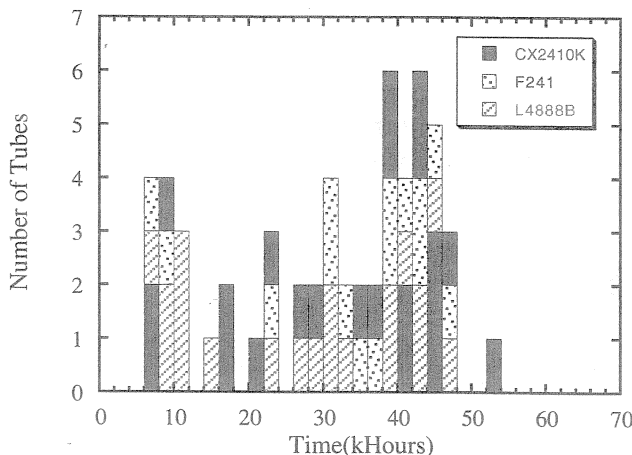


図3：故障サイラトロンの寿命分布

表2：故障サイラトロンの統計

	CX2410K	F241	L4888B
最小(K時間)	6.0	6.4	7.9
最大(K時間)	52.3	47.4	46.9
点数	22	15	20
平均(K時間)	32.2	33.3	27.0

### 3. サイラトロンの受入れ試験

これまでサイラトン納入時の検査は、外観検査と簡単なヒータの導通試験のみであった。検査後は一旦ストックされ、サイラトン交換時に現場のクライストロン電源で初めて使用するやり方であった。これまでこのやり方で、現場交換時に使用不能のものはほとんどなかった。ところが、2001、2003年度に納入したサイラトン(同じ製造会社)は交換時に不良なものが続出した。そのためその年度のサイラトン全てを実運転試験を行い調査したところ、各々、9/11(82%)、3/11(27%)が不良品であることが判明した。不良項目は耐圧不良とアノード遅延時間の異常特性(4章で述べる)であった。そのため、今後円滑なサイラトン交換ができるように、また、長期間未使用後のクレームは納入業者との保証問題になってしまうので、2004年度より納入時に速やかに受入れ試験を実施することにした。

受入れ試験はKEKBリニアックと同仕様の電源(クライストロン組立て準備室)を使用してPFN電圧は42kVで、リザーバ電圧値はメーカー指定値で2時間以上のエイジングを施した後、10時間以上の連続運転を行い下記の事項を同時に満足したサイラトロンを合格とした。

- (1) ブレークダウン率が0.1回/時間以下であること。
  - (2) ジッターが20ns以下であること。
  - (3) アノード遅延時間の特性が正常であること。
- また、同時にレンジング<sup>3)</sup>(リザーバ電圧調整)も実施してサイラトロンの動作安定領域を確認している。

### 4. アノード遅延時間の異常特性

図4にサイラトロンのトリガー入力電圧波形(パルスドライバー出力波形)とクライストロンカソード電圧波形の例を示す。PFNの設定電圧は42kVである。アノード遅延時間はトリガー入力電圧波形の立ち上がり電圧パルスが最大電圧の25%の点を超えた時点よりクライストロン電圧が最大電圧の25%の点を超えた時点間の時間とここでは定義する。図5に正常なサイラトロンのアノード遅延時間特性を示す。リザーバ電圧を高くすると管内のガス圧力が上がりより高い電流の立上り率が得られ、アノード遅延時間はリザーバ電圧に比例して図に示すように緩やかに減少する。通常、遅延時間の変化幅は1Vのリザーバ電圧変化に対して約300ns程度である。また時間的な変動はない。

図6に今回、アノード遅延時間の異常特性が認められたサイラトロンの各リザーバ電圧でのアノード遅延時間の時間変動の例を示す。図で示すように、アノード遅延時間がある時定数をもって時間とともに大きく変動し大きいものでは約1μsに達し、その変動幅はリザーバ電圧に比例して大きくなる傾向にある。このサイラトロンには総計約60時間のエイジングを実施したが、リザーバ電圧4.6V(メーカー指定値)でブレークダウン率が0.89回/時間で、またこ

の異常特性は改善しなかった。

現在、不良なサイラトロン5本は製造会社に戻され、原因究明のために試験、調査が続けられている。特筆すべきことは2001年度のモデルより補助グリッドG1とカソード間の距離を接近させる設計変更（G1とコントロールグリッドG2との距離は離れる。図7を参照。）があったことである。製造会社はこの変更によって、G1の電圧を下げることで、それによってカソードの消耗を抑えられ、サイラトロンの寿命が伸びることを期待して設計変更を行ったものであった。しかし、このグリッドの位置の変更はグリッドとカソード間の放電開始に直接影響するもので、アノード遅延時間のドリフトに影響を与える。従って、この変更は、グリッドのドライバー系を含めて安定動作を十分確かめて変更されなければならない。この変更が今回の不良原因と大きく関係していることは間違いない。

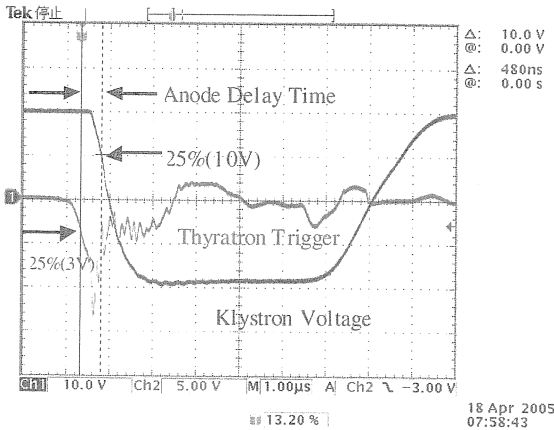


図4：サイラトロンのトリガー入力電圧波形とクライストロンカソード電圧波形

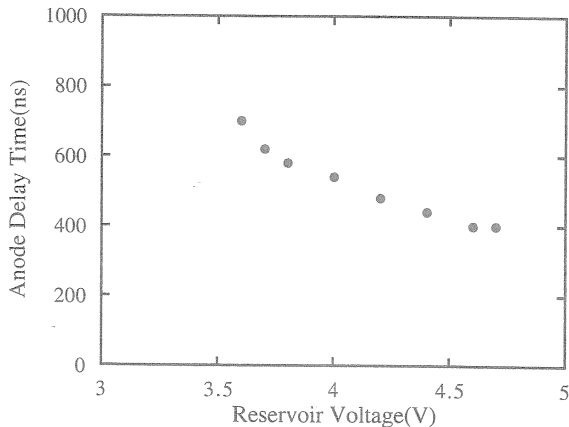


図5：正常なサイラトロンのアノード遅延時間特性

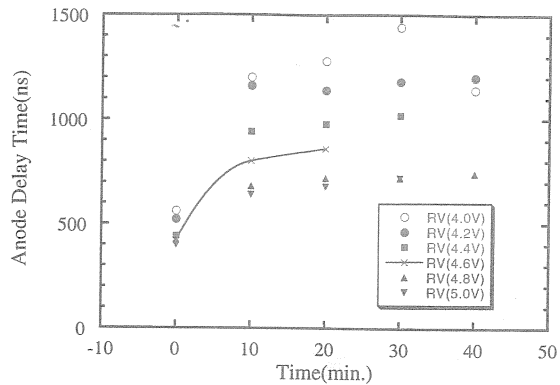


図6：不良サイラトロンのアノード遅延時間の時間変動

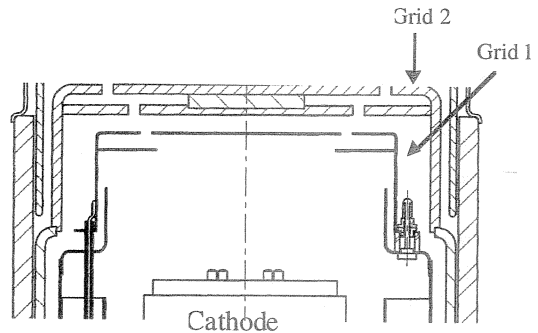


図7：カソード、グリッド近傍の断面図

## 5. まとめ

KEKB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順調に運転されている。現在、サイラトロンの平均寿命は約30k時間である。2004年度より、円滑なサイラトロン交換を進めるために納入時に実運転による受入れ試験を実施している。

## 参考文献

- [1] 小川雄二郎, “KEK電子陽電子入射器の現状”, in these proceedings.
- [2] H. Honma, et al., “Upgrade of the PF 2.5 GeV Linac Klystron Modulator for the KEKB”, KEK Preprint 94-146, 1994.
- [3] 明本光生、他, “KEK8GeVリニアックでのサイラトロン使用状況”, Proceedings of the 26<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug.1-3, 2001.