

KEK 8GeV リニアックでのサイラトロン使用状況

明本光生¹、本間博幸、中島啓光、設楽哲夫、福田茂樹
高エネルギー加速器研究機構
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

KEK 8 GeV リニアックは 1998 年秋より B 物理実験のための電子・陽電子ビームの供給を開始してから、運転時間は約 3 万 2 千時間（2003 年 3 月 4 日現在）になる。このリニアックでは 59 台のクライストロン電源が使用され、そのスイッチとして 45 kV、4.5 kA をスイッチングするサイラトロンが使われている。この間に於けるサイラトロンの寿命及び故障等の使用状況について報告する。

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 3.5 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^[1]。リニアックは RF 源として最大 50 MW、パルス幅 4 μ 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 3 万 2 千時間（1998 年 9 月から 2003 年 3 月 4 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。

2. サイラトロンの使用状況

2.1 サイラトロン

KEKB クライストロン電源^[2]では、図 1 に示すように、3 種類のサイラトロン、CX2410K（E2V Technologies 社製）、F241（Triton ETD 社製）、L4888B（Litton 社製）を使用している。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。サイラトロンの主な仕様を表 1 に示す。

2.2 使用中のサイラトロン運転時間

現在（2003 年 3 月 4 日）、CX2410K を 31 本、F241 を 15 本、L4888B を 13 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 1,000 時間から最大 45,000 時間まで幅広く、約 9,000 時間と 37,000 時間で二つのピークを持つ時間分布をもっている。第一のピークは KEKB のための増設によるものであり、第二のピークは事前交換（詳細は 4 章で述べる。）によるものである。但し、B 用に本格運転開始してまだ総計 3 万 2 千時間であるため、これ以上の運転時間をもつサイラトロンについては、以前の運転条件が含まれている。

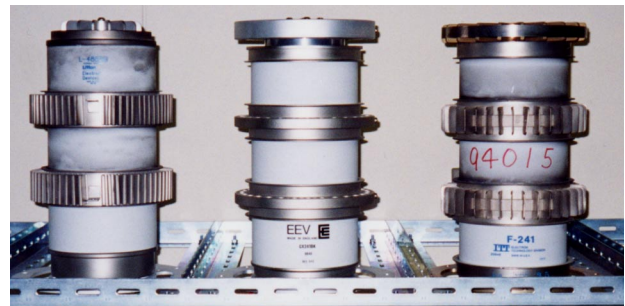


図 1：サイラトロンの写真
（右から F241, CX2410K, L4888B）

表 1：サイラトロンの主な仕様

	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
最大ピークアノード電圧(kV)	60	50	50
最大ピークアノード電流(kA)	15	10	10
最大平均アノード電流(A)	10	8	8
最大アノードヒーティングファクター($10^9 \cdot V \cdot A \cdot PPS$)	300	250	400

¹ E-mail: mitsuo.akemoto@kek.jp

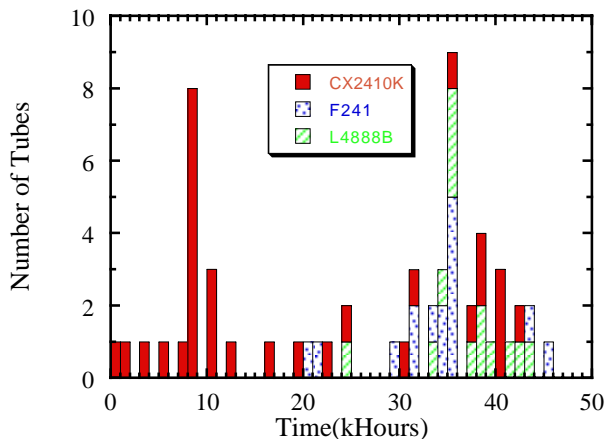


図2：サイラトロン運転時間分布
(2003年3月4日現在)

3. サイラトロンの故障

3.1 故障の分類

1998年9月から2003年3月4日までに25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、製造上の不良、取り扱いの不良、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。故障内容から、5つのタイプに分類しその特徴を下記にまとめる。

(1) 耐圧不良^[3]

所定の充電電圧で、使用することが出来ない場合の故障。過電流インターロックが多発する。リザーバ電圧調整を行っても、自爆や大きなジッター（数10ns以上）の改善がみられないもの。

(2) リザーバガス減少

リザーバガス減少に起因する故障。スイッチングが不安定で大きなジッターを伴い、最悪点弧しなくなる。リザーバ電圧がほぼ上限値に達している。この故障の前兆として、キープアライブ電流が低下したり、流れなくなったりする。寿命時に見られる故障である。

(3) 補助グリッドの放電

補助グリッド(G1)の接続端子でアーク放電する故障である。今のところ、CX2410Kのみ起きている。

(4) アノード部放電

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アーク放電が発生する。構造的接続不良によるものと考えられる。

(5) 異常ノイズ発生^[4]

周りの電子機器にノイズ障害を与える。比較的長時間使用したサイラトロンで起こり、ノイズの強度がリザーバ電圧で変わる。

表2に故障サイラトロンの内訳を示す。主な故障は、耐圧不良とリザーバガス減少で全体の約8割を占める。

表2：故障サイラトロンの内訳

故障項目	CX2410K	F241	L4888B	計(割合)
耐圧不良	4	3	7	14(56%)
リザーバガス減少	3	2	2	7(28%)
補助グリッドの放電	2	0	0	2(8%)
アノード部放電	0	0	1	1(4%)
異常ノイズ発生	0	0	1	1(4%)
計	9	5	11	25(100%)
平均寿命(千時間)	20.9	22.0	18.9	

3.2 故障内容と寿命

図3に故障サイラトロンの寿命分布を示す。3種類のサイラトロンとも、データ数がまだ少ないためか、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1万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関係なく約2万時間である。しかし、現在使用中のサイラトロン運転時間(図2参照)を見ると、3万時間以上のものが33本あり、これらを含めると平均寿命は約3万時間になる。

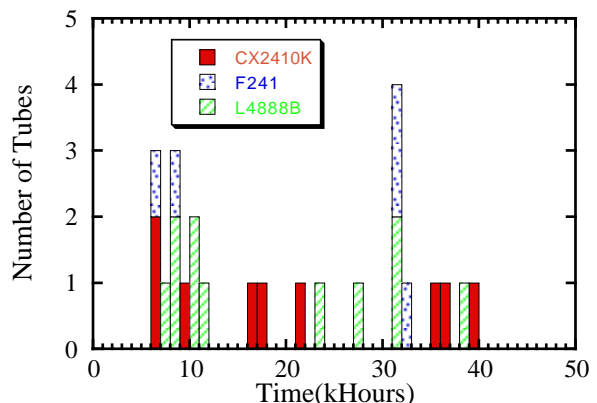


図3：故障サイラトロンの寿命分布

図4に、故障内容と寿命との関係をサイラトロンの種類別で示す。この図から、サイラトロンの種類に関係なく、耐圧不良は短寿命のグループに、またリザーバガス減少は長寿命のグループに属していることが分かる。

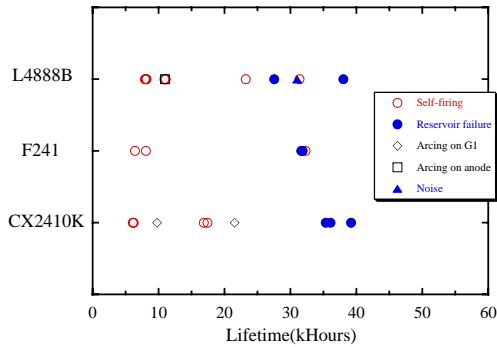


図4：故障内容と寿命の関係

4．サイラトロンの交換

現在、サイラトロンの平均寿命は、約3万時間と予想され、リニアックの年間運転時間は約7千時間なので、年間の平均交換数は14本となる。しかし、現在使用中の運転時間分布を見ると、3万時間以上のものが33本ありこれらが近く寿命を迎えるため、今年度は多数の交換が見込まれる。

本リニアックは営業用であるため寸刻も休むことなく運転を続けることが求められる。そのためには、サイラトロンの故障に伴う運転停止は極力避けなければならない。従って、運転及びビーム性能と直結するサイラトロンに対しては、高い信頼度を保証する必要がある。そこで、電子入射部と陽電子入射部の前段及びビームエネルギー圧縮システムのクライストロン電源に使用されているサイラトロン計9本を定期的に事前に交換している。交換の周期はこれまでに蓄積された故障サイラトロンの統計から約1万時間（約1年間おき）程度とし、交換したサイラトロンはスタンバイ可能な電源で再使用される。

5．サイラトロンの管理^[5]

サイラトロンをできるだけ長く使用することは保守費の軽減のために重要である。しかし、寿命ぎりぎりまで使用すると、突然の重故障で交換が必要となった時、特にスタンバイの電源がない場合その交換のために1-2時間、ビーム運転を停止させることになりかねない。従って、サイラトロンの運転管理として重要なことはサイラトロンの故障診断で、重故障になる前に、交換することである。これまでの使用経験から、サイラトロンの重故障の前兆としては、特定のインターロックが頻発したり、リザーバ電圧やキープアライブ電流が異常値を示したりすることが分かっている。現在、使用中のすべてのサイラトロンに対して、試験性能データ、インターロ

ック動作履歴、リザーバ電圧調整履歴及び運転履歴をデータベース化して、データを一元管理するサイラトロン管理システムを開発中である。図5にサイラトロン管理システムの構成図を示す。このシステムはデータベース化したデータを多次元時系列分析によってサイラトロンの寿命を予測し、交換の時期を決定するものである。このシステムを活用して、交換の判定基準を確立し、的確なサイラトロンの交換ができるようにしたい。

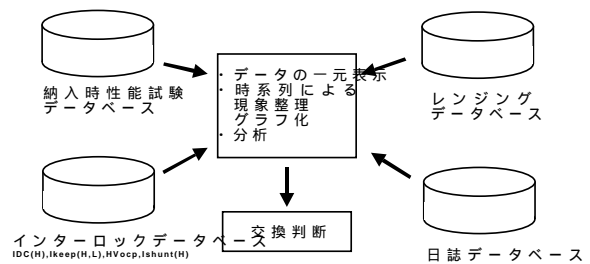


図5：サイラトロン管理システムの構成図

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] M. Akemoto, et al., “Thyratron Performance in the KEK 8 GeV Linac”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, (2001)213-215.
- [4] M. Akemoto, et al., “Thyratron Performance in the KEK 8 GeV Linac”, Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, (2002)317-319.
- [5] 国安祐, 他, “KEK 8 GeV Linac サイラトロン運転管理”, in these proceedings.