

# クライストロン電源の火災対策の検討

## CONSIDERATION OF FIRE MEASURE OF KLYSTRON POWER SUPPLIES

川村真人<sup>#, A)</sup>, 中島啓光<sup>A)</sup>, 夏井拓也<sup>A)</sup>, 松本修二<sup>A)</sup>, 本間博幸<sup>A)</sup>, 明本光生<sup>A)</sup>,  
今井康雄<sup>B)</sup>, 東福知之<sup>B)</sup>, 馬場昌夫<sup>B)</sup>, 諸富哲夫<sup>B)</sup>

Masato Kawamura<sup>#, A)</sup>, Hiromitsu Nakajima<sup>A)</sup>, Takuya Natsui<sup>A)</sup>, Shuji Matsumoto<sup>A)</sup>, Hiroyuki Honma<sup>A)</sup>,  
Mitsuo Akemoto<sup>A)</sup>, Yasuo Imai<sup>B)</sup>, Tomoyuki Toufuku<sup>B)</sup>, Masao Baba<sup>B)</sup>, Tetsuo Morotomi<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> KEK, High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd

### Abstract

This article mentions two reports. The first one is the recovery of klystron power supplies (modulators) for the KEK electron-positron injector linac after taking carbon soot. At night on April 3 of this year, there was a serious fire at the Nextef facility which is near the klystron gallery. Carbon soot covered the power supplies and so on. The soot is liable to cause discharge of the power supplies. It was decided to clean all the components as quickly as possible. The restart of power supplies achieved on April 22 (19 days after), the beam injection in superKEKB ring on April 25 (22 days after). The second one is the consideration of fire measure of the power supplies for the future. The cause of the fire was identified to be an ignition of pulse-forming-network capacitor in a Nextef modulator. As soon as possible, the installation of the surveillance cameras in the klystron gallery should be done, and the installation test of the fire detection should be begun.

### 1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器[1]では、大電力パルスクライストロン約 60 台と、そのクライストロンに大電力を供給する同数のクライストロン電源(モジュレータ、以下「入射器 Kly 電源」と記す)[2][3]を終夜連続運転している。

今年 4 月 3 日夜、電子陽電子入射器棟南端の加速管組立室にある Nextef(New X-band Test Facility)[4]のクライストロン電源(Nextef Kly 電源)[5]が焼損した。火元はパルス成形回路(PFN)コンデンサであった。幸い負傷者は出なかったが、焼損の際に煤が大量に発生し、加速管組立室のみならず、シャッターの隙間を通して、地上で隣接するクライストロン組立ホール(Kly 組立ホール)の全部、及びその先のクライストロンギャラリー(Kly ギャラリー)の一部に煤が飛散した。

煤が電源の導電部に付着すると放電を起こし易くなる。入射器グループは、入射器を可能な限り早急に復旧する事を目指し、煤の機器への付着状況確認の後、業者や SuperKEKB グループの協力を得ながら煤除去の清掃作業を行った。その結果 4 月 22 日(火災から 19 日後)入射器機器の再立上げ、25 日(同 22 日後)SuperKEKB への再入射を果たした。

入射器 Kly 電源については、PFN コンデンサが火元となった Nextef Kly 電源とは別種類のもの(入射器 Kly 電源がセラミック製であるのに対し、Nextef Kly 電源用がプラスチック製であった、等)であり、運転の再開が認められた。一方、当該電源は、運転時に高電圧(最高 50kV パルス電圧)を発生する機器のため、今後新たな火災対策が求められている。

本報告では、先ず入射器 Kly 電源の復旧作業と、今年 4 月末から 7 月初めまでの運転期間中の Kly 電源の監視、および電源 HV down 時の対応について述べる。

次に入射器 Kly 電源の火災対策について、現在までの検討状況を述べる。

### 2. KEK 入射器 Kly 電源の火災復旧と運転

#### 2.1 入射器 Kly 電源の被災状況と復旧

火災現場の加速管組立室は 2 階分の高さがあり、地下部入射器、地上部 Kly 組立ホールの各々南側と隣接している。

入射器の南端部は J-ARC と呼ばれる半円弧状のビームラインであり、J-ARC 直前の上流側を B セクター、直後の下流側を C セクターと呼ぶ。B、C セクターは更に各々 8 ユニット(1 ユニットは 2m 加速管 4 本で構成)に分けられ、ユニット名は上流から数字が付けられている。すなわち、J-ARC に近い箇所から、B セクターは(上流に向かって)B-8 ユニット、B-7 ユニット、…、B-1 ユニットで構成され、C セクターは(下流に向かって)C-1、C-2、…、C-8 ユニットで構成される。

一方地上部は、Kly ギャラリーの南側が Kly 組立ホールに隣接している。Kly ギャラリーには約 60 台のクライストロンと Kly 電源がある。加速管 1 ユニットに 1 クライストロンおよび 1 Kly 電源が対応する。以下、例えば B-1 ユニットに対応する Kly 電源を KL\_B1 ステーションの Kly 電源と記す。

煤の付着は、火元に近いほど多く、遠くなるにつれ少なくなる状況だった。また大部分の装置には FAN が付いており運転中は外気を吸い込むので、煤が内部まで入り込んでいた。確認の結果、KL\_B8~B4、KL\_C1~C6 の 11 ステーションは電源筐体の内部清掃が必要だった。また組み込みユニット(De-Q'ing トリガユニットや IVR コントローラなど)について、KL\_B8~B6、KL\_C1~C3 の 6 ステーションは全ユニットの、KL\_B5~B3、



Figure 1: Cleaning work of klystron power supply performed by wearing protective clothing.

KL\_C4~C7 の 7 ステーションは一部ユニットの、内部清掃が必要だった。

更に煤の成分を分析したところ、フタル酸ビス(2-エチルヘキシル) (Bis(2-ethylhexyl) Phthalate、和名別名フタル酸ジオクチル) [6]が含まれることが分かった。これはプラスチックの可塑剤として使われる化学物資で、プラスチック製の Nextef Kly 電源用コンデンサが燃焼したために発生したと見られる。防護措置として、入射器棟内で煤を取扱う作業は、保護衣・防毒マスク・ゴーグル・手袋・靴カバーを着用して行う事となった。また組み込みユニットの清掃など、業者に入射器棟外での作業を発注する際には、化学物質の情報を提供し、必要な措置を講じるよう依頼した。

Figure 1 に Kly ギャラリー内での入射器 Kly 電源清掃作業の様子を示す。

電源管体の内部清掃は 4 月 9 日から 12 日まで、組み込みユニット清掃は 8 日から 19 日まで、各々行われた。立上げ前点検は 17 日から 19 日まで行われた。

諸々の状況を考慮し、KL\_B8、B7 の 2 ステーションを運転せずに入射器を再立ち上げる事となった(J-ARC 部のビームエネルギーは 1.5GeV から 1.35GeV に減少)。清掃が必要だった KL\_B6~B3、KL\_C1~C8 の 12 ステーションは 23 日に様子を見ながら立上げを行い、特に不具合は見られなかった。PFN 部や IVR 部を赤外線センサで温度測定したところ約 62~3°Cだった。その他は前日 22 日に立上げた。

## 2.2 復旧後の運転

火災の反省から、4 月末から 7 月初めまでの運転では、入射器 Kly 電源が HV down した際は Remote 操作せず、現場に行って電源の様子を確認しながら Local で再立上げを行った。

KL\_C1~C7 について、Web カメラを設置して入射器制御室から常時監視を行った(Figure 2 参照)。

更に Kly 電源で火災が発生した際の操作手順について、Kly 電源担当者以外でも操作できるように、制御盤内の操作ボタンや分電盤の位置を記した説明書を制御盤前面に貼った(運転期間中に B、C セクターのうち 14 ステーションで実施)。

## 3. KEK 入射器 Kly 電源の火災対策の検討

まず、これまでに KEK 電子陽電子入射器に来所し、現場確認ののち示された、2 社の提案を示す。

ニッタン(株) [7]より火災検知システムについて提案があった。「機器内組み込み用火災検知システム」で使用する煙検知器の新型タイプは、感度補正機能が付いており、6 時間毎に自動で感度を補正し、非火災報を低減する機能を備える。他に「スタンドアロン型超高感度センサ」が提案された。部屋全体にサンプリングパイプを敷設して空気を吸い込みセンサの検知部へ運ぶ。センサでは 6 段階の感度切り替えが可能である。

次に(株)ニチボウ[8]より電源不要の自動消火装置「ファイアレイス」の提案があった。筐体内に、高性能消火剤(Novec1230)を充填したセンサチューブを張り巡らせておく。火災が起きセンサチューブの最も温められた箇所にて穴が開くと、消火剤が噴出して火を消し止める仕組みである。消火剤に速乾性があるので電源の火災に最適との事であり、既にバスに搭載された実績がある。

これらのシステムは何れも、性能面は問題無いと見られるが、入射器の約 60 ステーション全てに導入するには相応の予算が必要である(特に「スタンドアロン型超高感度センサ」、「ファイアレイス」は 1 ステーション 100 万円程度)。

また 7 月に開かれた今年の KEKB Accelerator Review Committee では、延焼や煤の飛散を防ぐため、Kly ギャラリーをバリアで仕切ることが提案された。実現するには予算、施設部との議論、等が必要となる。



Figure 2: Surveillance video of klystron power supply.

入射器 RF グループでは、対策として監視カメラを増設し、全ステーションの監視を目指している。また「機器内組み込み用火災検知システム」(1 ステーション 10 万円程度)をテストする方針である。

その他、Kly 電源筐体の熱を放出する天井部 FAN の作動継続が延焼を助長したと見られるので、火災検知時は天井部 FAN を停止するようにシーケンスの見直しを検討する。また、夏期シャットダウン中に、操作手順説明書を全ステーションに貼る。

#### 4. まとめ

今年 4 月 3 日夜に KEK 加速管組立室で発生した火災への対応について、本報告では入射器 Kly 電源に限定して報告した。

火災復旧は煤の除去作業が主となり約 3 週間の短期間で果たされ、7 月初めまで重大な故障もなく運転が行われた。

一方、Nextef Kly 電源の焼損を教訓とした火災対策はまだ始まったばかりであり、短期で出来る対策と長期かつ費用のかかる対策との両方を考慮しながら、適宜可能な対策を講じる必要がある。

#### 参考文献

- [1] R. Zhang *et al.*, “KEK 電子陽電子入射器の現状”, FSPI003, this meeting.
- [2] M. Akemoto, “サイクロトロンスイッチを使用した大電力パルス電源の現状”, J. Particle Accelerator Society of Japan, Vol. 7, No.1, 2010, pp.15-24;  
<https://www.pasj.jp/kaishi/cgi-bin/kasokuki.cgi?articles%2F7%2Fp015.pdf>
- [3] M. Akemoto *et al.*, “KEK 電子・陽電子入射器用クライストロン電源の現状”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, pp. 476-479;  
[https://www.pasj.jp/web\\_publish/pasj2018/proceedings/PDF/WEPO/WEPO60.pdf](https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2018/proceedings/PDF/WEPO/WEPO60.pdf)
- [4] T. Higo *et al.*, “KEK における X バンド高電界加速への研究開発”, J. Particle Accelerator Society of Japan, Vol.6, No.3, 2009, pp.202-212;  
<https://www.pasj.jp/kaishi/cgi-bin/kasokuki.cgi?articles%2F6%2Fp202.pdf>
- [5] M. Akemoto *et al.*, “GLCTA の X バンドクライストロン用パルス電源”, Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Japan, Aug. 4 - 6, 2004, pp. 87-89;  
[https://www.pasj.jp/web\\_publish/pasj1\\_lam29/WebPublication/5A08.pdf](https://www.pasj.jp/web_publish/pasj1_lam29/WebPublication/5A08.pdf)
- [6] 例えば東京化成工業(株)の Website;  
<https://www.tcichemicals.com/eshop/ja/jp/commodity/PO297/>
- [7] <https://www.nittan.com/>
- [8] <http://www.nitibou.co.jp/>