

京大複合研電子線型加速器施設の現状

STATUS OF KURNS-LINAC

阿部尚也[#], 高橋俊晴, 堀順一, 木野村淳, 籾内敦, 阪本雅昭, 吉野泰史, 高見清

Naoya Abe[#], Toshiharu Takahashi, Jun-ichi Hori, Atsushi Kinomura, Atsushi Yabuuchi, Masaaki Sakamoto, Hirohumi Yoshino, Kiyoshi Takami

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University

Abstract

KURNS-LINAC has been in operation for nearly 60 years. It is the oldest linear accelerator in active operation in Japan. In FY2023, the control system was updated to enable automatic startup of the accelerator. In addition, the modified plastic insulator was installed so that it could measure the voltage of the injector. In the past, damage to insulators due to discharges has occurred several times, so as a countermeasure, the central conductor was covered with semiconducting fiber and the resin ring was added. It is expected that the electric field strength will be mitigated and the occurrence of corona discharge will be reduced. Meanwhile, a series of troubles occurred around the No. 2 modulator, including the high-voltage transformer failure, the DeQing charging current measurement monitor resistor failure, and the high-voltage cable discharging. All of these have now been resolved.

1. はじめに

京都大学複合原子力科学研究所電子線型加速器施設(以下ライナック)は、1965年に設置された施設であり、稼働する線型加速器としては国内最古の加速器を有している。国内では数基しかないLバンド帯域の周波数を使用した電子線型加速器であり、大電流を加速できることを生かし、出力は小型加速器としては国内有数の出力を誇る。

非常に古いマシンではあるが、加速器の利用用途は多岐にわたっており、設置当初から利用されている定常的な中性子源である原子炉(以下KUR)と相補的なパルス中性子源としての利用や高エネルギー電子線源に加え、1990年ごろから、X線源、放射光線源として利用されるようになり、近年は低エネルギー電子線源や微弱ビーム電子線源として利用されるようになった。2023年度に引き続きKUR停止後[1]に向けた陽電子線源としての利用も徐々に進行している。また、研究所に設置していたコバルト60γ線照射設備の廃止[2]による代替使用も検討されており、今後ますます活発な利用が期待される加速器である。

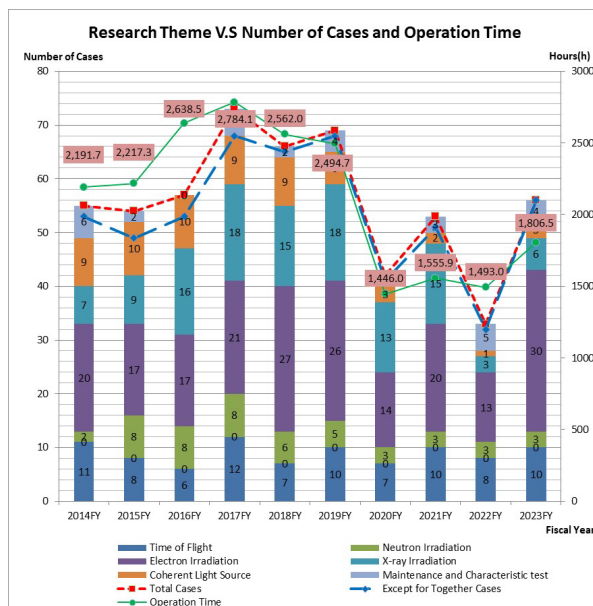


Figure 1: Research theme V.S. number of cases and operation time.

2. ライナックの利用状況

ライナックの過去10年の利用状況を示したグラフをFig. 1に示す。2023年度の運転時間は以降で述べる更新やトラブルもあり、コロナ禍前に記録していた2,000時間を若干下回る1,806.5時間であった。実験形態別利用状況は陽電子線源としての利用が復活した以外は、例年とあまり変化なく、放射線損傷→核データ→放射線測定→RI製造・放射化分析→放射光源→陽電子線源の順であった(Fig. 2)。

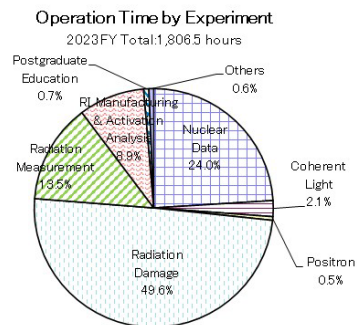


Figure 2: Operation time by experiment.

[#] abe.naoya.6u@kyoto-u.ac.jp

3. 制御系更新

3.1 背景

2022 年度に、主にリレー制御から PLC 制御に変更する更新を実施した[3]が、一部インターロックについてはペンディングになっており、マスクした状態で加速器運転を続けていた。インターロックをマスクしていると制御系において加速器を自動起動できない仕様としているため、本来の性能が発揮できない状況となっていた。

3.2 更新

ペンディングになっていたインターロックを見直し、デバイスの追加や加速管毎にインターロックを統一した。結果、通常運転である高エネルギー用のモジュレータを 2 基全て起動するパターンに加えて、低エネルギー用のモジュレータ 1 基のみ起動するパターンにおいても自動起動ができるようになった(Fig. 3)。



Figure 3: Automatic startup by the control system.

3.3 更新後の評価

高電圧部分を除いた加速器の自動起動が可能となったことで、通常加速器起動を実施するスタッフの負担が軽減された上、加速器利用者が起動することになっても非常に簡便で使いやすいとの評価を頂いており、更新の甲斐があった。

4. インジェクタ高電圧測定碍子の更新

4.1 背景

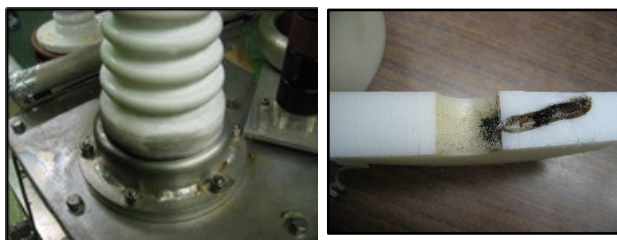
現在使用しているインジェクタは 2005 年に導入されたものである。導入当初からジュラコン碍子によるインジェクタの高電圧測定を実施することを試みていたが、放電が多く、すぐに碍子を改造更新することとなった。しかし、改造を試みた碍子も 1 年ほどで損傷しており、現在まで測定を断念していた。

今回は、過去の経験を活かし、問題点をできるだけ解消した碍子を導入しようと試みた。

4.2 更新

テフロン製の碍子では超高電界が発生しやすいと考えられ、実際、すぐに黒色粉末が発生した(Fig. 4(a))ため、材質はジュラコン製とすることとした。また、過去の故障

原因と考えているボイド(Fig. 4(b))がないことを X 線や超音波による検査を実施した。中心導体には半導体繊維を巻き付け、オイルタンクとの接面部に 230 mmφ の絶縁樹脂リングを追加することで電界強度を緩和し、三重点が発生しないよう試みた(Fig. 5)。今後、碍子の状況を注視し、対策の効果が出ていることを期待する。



(a) Damage caused by a triple junction. (b) Damage caused by a void.

Figure 4: Previously occurring insulator damage.



Figure 5: New insulator.

5. No.2 モジュレータ周辺の不具合

5.1 状況

2023 年度は No.2 モジュレータ周辺で故障が相次いで発生した。600 V/13 kV 高圧トランスの損傷、高電圧ケーブルの PFN 筐体導入部付近での放電、DeQing 充電電流モニター抵抗の損傷である。これらの故障で No.2 モジュレータを使用できない期間は、低エネルギー実験を前倒しで埋め合わせたが一歩実験は中止せざるを得なかった。

5.2 600 V/13 kV 高圧トランス損傷

当該トランスは IVR で調整した 460 V~600 V の三相交流電圧を十数 kV に昇圧させるトランスである。2022 年度のモジュレータ更新時に更新したトランスであり、損傷は使用から 1 年半程度の 2023 年 8 月に発生した。

損傷は高電圧の二次側で発生しており、発熱による銅の溶着が確認された(Fig. 6)。原因は損傷個所付近でのレアショートと推定しており、初期不良の一環であると考えている。

対応としては電線を細くし、巻き方を変更することで層間電圧を低くした代替機への更新を行った。

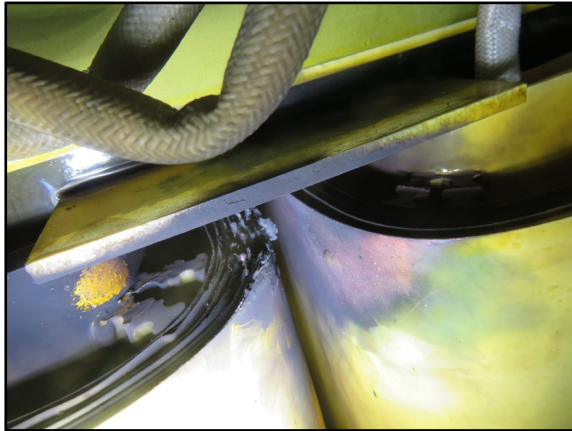
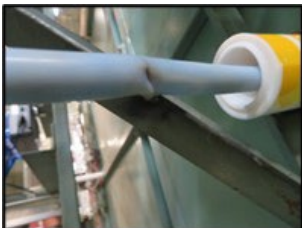


Figure 6: High voltage transformer damaged area.

5.3 高電圧ケーブルの放電

2023年10月の加速器起動中にモジュレータ過電流が発生して起動できなくなった。現場確認にてPFN 筐体内部で放電することが判明した。放電箇所はLアングルに固定していた部分で保護のテフロンチューブを貫通して放電していた(Fig. 7(a))。また、筐体導入部でも放電の痕跡が見られた。過電流が発生する前に徐々に耐電圧が低下していたものと思われる。

対応として電界強度を下げるために筐体導入部の貫通孔を別場所で拡大し、ケーブルから銅パイプに変更した(Fig. 7(b))。



(a) Damage caused by discharge.



(b) After electric field strength relaxation.

Figure 7: High voltage cable of No.2 modulator.

5.4 DeQing 充電電流モニター抵抗損傷

当該抵抗はコンデンサクリップによる DeQing にてモジュレータ電圧の安定化が行われているときに、コンデンサに充電される電流を測定するモニターである。加速器起動時に DeQing が働いていないことで現場調査した結果、モニター抵抗が発熱により大きく損傷していた(Fig. 8)。

当初、発熱原因が不明であったが、発熱に対応するために 10 W から 100 W の抵抗に変更した。熟考した結果、5.3 による過電流による回り込みの電流が当該抵抗を発熱させていると推定され、5.3 で対応しているため今後同様の事象は発生しないと考えている。

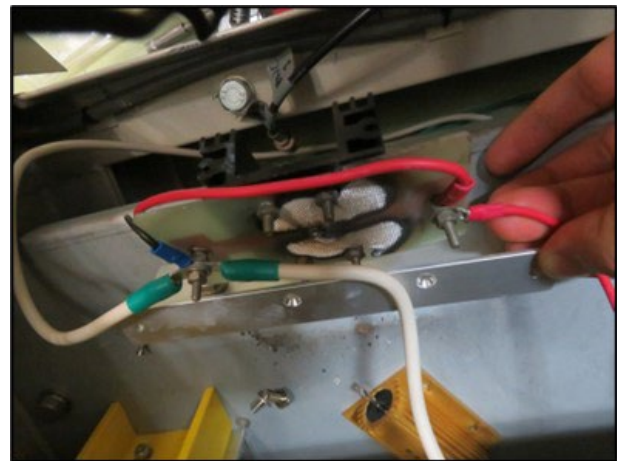


Figure 8: DeQing charging current measurement monitor resistor.

参考文献

- [1] 京都大学研究用原子炉 KUR の今後の取り扱いについて – 新たな複合原子力科学の展開を目指して.
<https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/archives/15848>
- [2] https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/info_20220331.pdf
- [3] N. Abe *et al.*, “京大複合研電子線型加速器の現状”, Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 29 - September 1, 2023, Funabashi, pp. 1085-1087.