

京大複合研電子線型加速器施設(KURNS-LINAC)の現状

STATUS OF KURNS-LINAC

阿部尚也#, 高橋俊晴, 堀順一, 木野村淳, 藪内敦, 吉野泰史

Naoya Abe#, Toshiharu Takahashi, Jun-ichi Hori, Atsushi Kinomura, Atsushi Yabuuchi, Hirohumi Yoshino

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University

Abstract

The operating time of the KURNS-LINAC in fiscal year 2024 exceeded 2,000 hours, recording the highest operating time since the COVID-19 pandemic. However, two troubles occurred. The first trouble was a failure of the modulator charging voltage stabilization device (DeQing device). The failure was caused by discharge from the high-voltage cable and a failure of the optical signal module. The second trouble was the deterioration of the vacuum near the electron gun. This was caused by high-voltage application or increased emission.

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、設置から 60 年を迎える(設置開始:1965 年)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、加速管を除いて周辺機器は更新・改造を実施しており、加速器の利用用途は多い。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(30 MeV)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(<10 MeV)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。現在も 2023 年度から開発が進められている KUR 停止後[1]に向けた陽電子線源としての開発が引き続き進行しており、他にも近年医療照射にて注目を集めている FLASH 効果が確認できる超高線量率照射(UHDR)[2]について、ライナックでの動物実験を含めた照射実験が実施されており、今後も活発な利用が期待される加速器である。

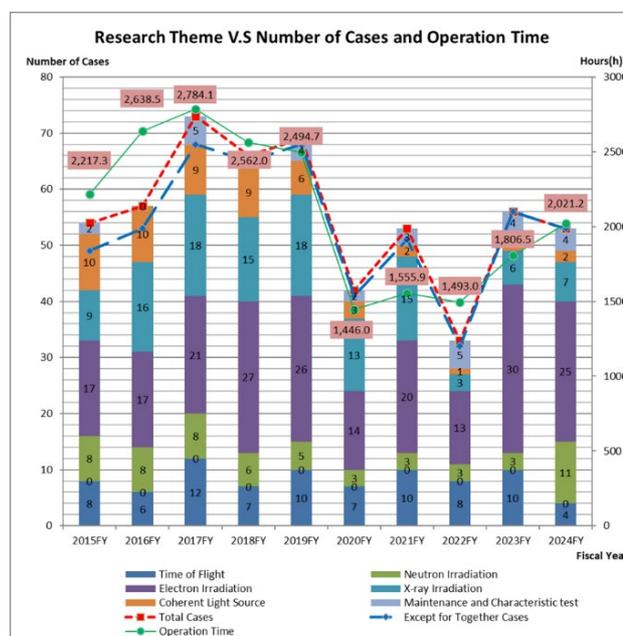


Figure 1: Research theme V.S. number of cases and operation time.

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。2024 年度の運転時間は、コロナ禍以降では最大の 2,021.2 時間であり、2,000 時間を上回った。利用件数は若干減少したものの、50 件近辺で推移している。実験形態別利用状況は、放射線損傷→核データ→放射線測定→RI 製造・放射化分析→陽電子線源→放射光源の順であった(Fig. 2)。

Operation Time by Quantum Beam

2024FY Total: 2021.2 hours

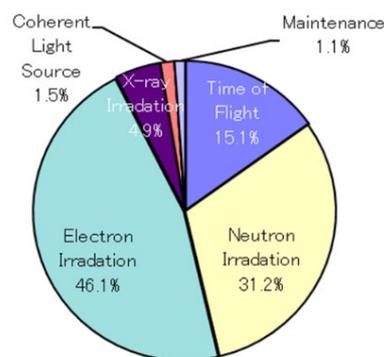


Figure 2: Operation time by experiment.

3. No.1 モジュレータ充電電圧安定化装置 (DeQing 装置) 故障

3.1 概況

加速管 No.1(加速管上流が No.1、下流が No.2)用モ

abe.naoya.6u@kyoto-u.ac.jp

ジェレータ(以下 No.1Mod.) 充電電圧安定化装置の DeQing 装置において故障が相次いだ。2024 年 6 月に No.1DeQing 装置過電流によるマシン停止が発生した。2025 年 4 月には No.1DeQing 装置不動作が確認された。

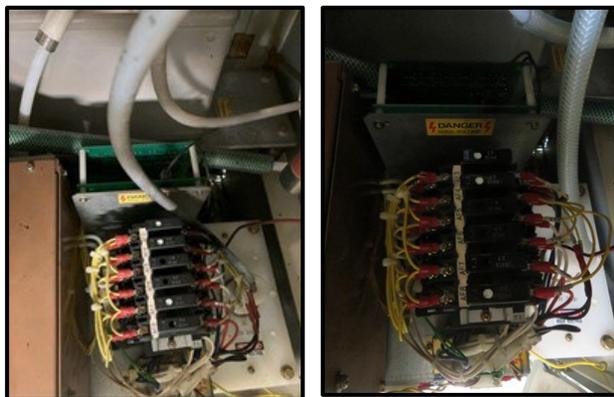
3.2 No.1DeQing 装置過電流によるマシン停止

2024 年 6 月の加速器起動時において、No.1Mod. の高電圧を印加したところ、モジュレータ過電流のインターロックによりマシン停止となった。インターロックリセットにより解除できたため、モジュレータ高電圧印加を再び実施したが、先と同様にマシン停止となった。インターロックにはモジュレータ過電流に加えて No.1DeQing 異常が追加された。そのため、No.1DeQing 装置を確認したところ、内部ヒューズが複数切れており、装置内に異常があると判断した。共同利用実験再開を優先するため DeQing 装置を切り離れたところ、正常起動可能となった。

後日に DeQing 装置を調査した結果、モジュレータからの高電圧ケーブルが内部ヒューズ付近に異常接近しており、当該箇所では放電による損傷を発見した (Fig. 3 (a))。損傷したケーブルやヒューズホルダーを交換し、切れたヒューズを交換したが、DeQing 装置の電源が印加した瞬間に再びヒューズが複数切れてしまった。

損傷箇所や回路図からブリッジダイオードの損傷が疑わしく、実際にダイオードに電圧を印加したところ、数 V 程度の低い電圧で A オーダーの電流が流れてしまうことが判明した。そのため、当該ダイオードが原因として交換したところ、正常動作となった。

一方、放電対策として、高圧ケーブルが低圧部に接近しないようケーブルタイやブレードホースによる隔離を行っている (Fig. 3 (b))。



(a) Damage caused by discharge. (b) After electric field strength relaxation.

Figure 3: DeQing of No.1 modulator.

3.3 No.1DeQing 装置不動作確認

2025 年 4 月の加速器起動時において、No.1Mod. に DeQing 装置からの再充電が行われていないことが判明した。前日の運転では問題なかったため、起動時に何らかの故障が発生したものと思われる。実際、起動時において原因不明(再現性がなく、ログも異常がないため)の No.1Mod.再起動が発生している。

調査の結果、光信号送信モジュール TOTX170 及び TOTX170A が故障していることが確認された。いずれも

代替品と交換して対応した結果、正常動作するようになった。前後関係から起動時の原因不明の No.1Mod.再起動の際に光信号モジュールが故障したものと考えているが対応策がなく、様子見の状態である。

4. 電子銃付近での放電による真空悪化の頻発

4.1 背景

2022 年に実施したモジュレータ更新[3]の際の立ち上げ時に、加速管 No.1 上流の RF 窓 (Fig. 4(a)) が損傷し、導波管内の SF₆ ガスが加速管内に流入した。大気圧状態になったため、電子銃からのエミッションが無くなり、電離真空計のフィラメントも断線した。ターボポンプによる加速管の加熱や電子銃近辺の配管のベーキングを実施し、電子銃再活性化を根気よく続けたことにより、運転を再開することはできたが、RF 窓損傷前の真空状態より 1 桁近く悪い真空状態での再開となっていた (電子銃出口電離真空計真空度・損傷前: 3×10^{-8} Pa \Rightarrow 再開後: 2×10^{-7} Pa)。共同利用実験再開を優先するためにこのような対応となった。

4.2 現状

再開直後は No.1 加速管入口付近の真空悪化が目立っていたが、少しずつ解消の方向に向かっている。一方、電子銃高電圧印加による電子銃付近の真空悪化は、当初 70 kV 程度から段階的に上昇させることで抑えることができたため、90 kV での運転が可能であった。しかし、2024 年度後半からは一度真空悪化が発生すると、電子銃高電圧を運転していた電圧まで印加しようとする放電による真空悪化が頻発し、数 kV 下げないと運転できない状態となった。特に 90 kV まで印加しようすると即時に真空悪化が発生するため、現状では 88 kV までの印加にとどめるようにしている。加えて、パルス当たりの電流が大きいショートパルス(2 nsec~22 nsec)での運転で特に真空悪化が頻発している。

4.3 今後の検討事項

真空状態が改善すれば、放電の発生を抑えられると思われるため、電子銃付近のベーキングを再び実施することを検討している。

また、電子銃グリッドカソードアセンブリ YU156 (Fig. 4(b)) の交換も検討している。2009 年にヒーター断線による交換を実施して以降、15 年以上交換を実施していないものであり、表面状態が劣化している可能性が



(a) RF window. (b) YU156 cathode-grid assembly.

Figure 4: Possible causes of vacuum deterioration near the electron gun.

ある。しかし、交換を実施するにあたっては1か月程度の
運転停止が見込まれ、マンパワー不足でもあり実施には
慎重を期したい。

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] Favaudon, V. *et al.*, Ultrahigh dose-rate FLASH irradiation increases the differential response between normal and tumor tissue in mice, *Sci. Transl. Med.*, 6, 245ra93 (2014).
- [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.