

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, 藪内敦, 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 FY2022, work was carried out to renew the PFN modulator, mainly as a measure against the disposal of PCB equipment. In FY2023, control system renewal work was carried out as a measure against age-related deterioration. In the use of KURNS-LINAC, animal experiments were started in FY2022. As for the use of positrons, which had been used previously, the installation of a slow positron beamline is underway.

1. はじめに

京大複合研電子線型加速器施設(以下ライナック)は設置より 60 年近く経過しており、現役で稼働している加速器としては日本で最も古い線型加速器である。古い加速器であるが、必要に応じて徐々に更新を続けており、2022 年度は PCB 機器処理対策を主とした、PFN モジュレータ更新工事を実施した。2023 年度も経年劣化対策として制御系更新工事を実施している。

施設利用に関しては、ライナック設置当初は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が主であったが、1990 年ごろから実験の多様化が進み、現在では中性子源や電子線源のみならず、X 線源、放射光線源、微弱ビーム電子線源として利用されるようになった。更には KUR 停止後[1]に向けた新規利用が検討されており、2022 年には動物実験が開始された(Fig. 1(a))。また、以前に利用を試みていた陽電子線源に関しても、新規装置の開発に着手しており、線型加速器固有のパルス陽電子源の特徴を生かした空孔型欠陥の過渡測定を目指している(Fig. 1(b))。



(a) Animal experiment. (b) Positron beamline.

Figure 1: New experiments.

2. 2022 年度の KURNS-LINAC の利用

2022 年度のライナックの利用グラフを Fig. 2 に示す。

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

2022 年度はコロナ禍の影響前と比較して運転時間及び利用件数が減少しているが、先に述べた PFN モジュレータ更新工事が半年間実施されたためであり、停止期間を考慮すると稼働率は遜色ないものとなった。2023 年度においても制御系更新工事が実施されたため、運転時間が減少する見込みである。

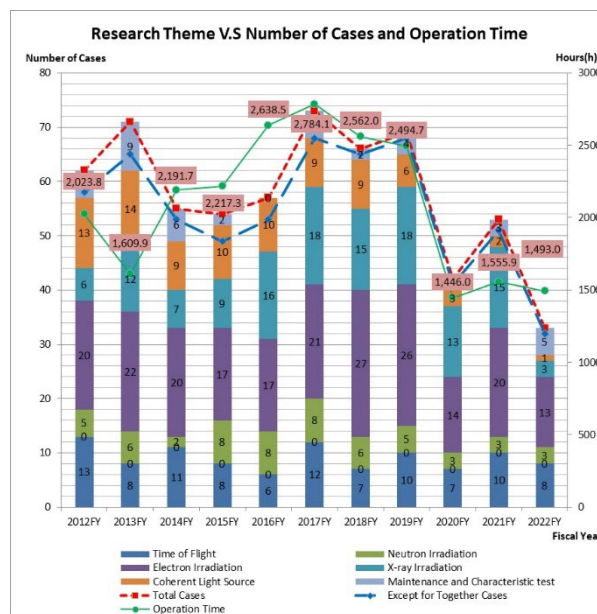


Figure 2: Research theme V.S. number of cases and operation time.

3. モジュレータ更新

3.1 ライナックモジュレータの履歴

ライナックのモジュレータは 2 基あり、1968 年の設置当初はアメリカ製の 1 基 (No.1) を使用し、1972 年のエネルギー増強の際にもう 1 基 (No.2) 増設した。その後、クライストロン変更に伴い、No.2 を当時の技術職員の手で

1984年に更新。1987年にNo.1をニチコン製のモジュレータに更新している(Fig. 3)。



(a) No.1 modulator. (b) No.2 modulator.

Figure 3: Modulators.

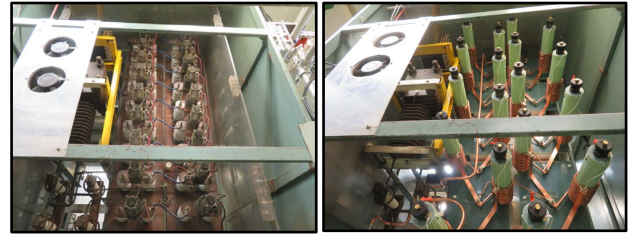
3.2 PCB 調査

PCB(ポリ塩化ビフェニル)は、化学的に安定な物質である上に、不燃性や絶縁性の高さからトランスやコンデンサなど広く使用されていたが、発がん性などの有害性が大きく、1972年に使用禁止となった。そのため、1972年以降に製造された機器については問題がないように思えたが、非意図的な PCB 混入が長く続いており、ライナックの保有する機器のほとんどが PCB 汚染の否定できない機器となった。1972年以前に製造された PCB 濃度の高い(50%~100%)の機器は高濃度 PCB 廃棄物、50 mg/kg(ppm)以上の廃棄物を低濃度 PCB 廃棄物として区別されている[2]。

ライナックにある機器が PCB 廃棄物であるかどうかを区別するための調査を試みた。3.1で示した通り、1972年以前の機器も存在しており、モーターに使用されているコンデンサや高圧電源のコンデンサに高濃度 PCB 廃棄物に該当するものが発見された。これらは使用していなかったため早期に処分を実施した。トランス類は再利用可能な状態で油を一部抜き取った調査が実施できた。結果は残念ながら大半の機器が低濃度 PCB 廃棄物として処分する必要がある状態であり、再利用できる機器は一部にとどまった。一方、コンデンサ類は油を抜き取る際に封入が破れてしまうため、たとえ PCB の汚染がなくても再利用ができないため、PCB 混入の恐れのない極一部の新しいコンデンサ以外、すべて更新しなければならなくなった。そのため、モジュレータを全面的に更新することとした。

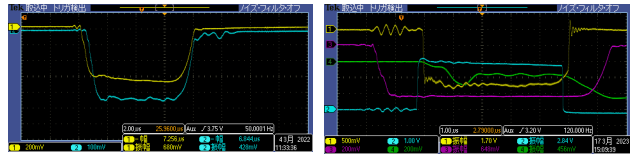
3.3 モジュレータ更新

モジュレータを更新するに当たっては、PCB 機器処理が主な目的であるが、増強することも重要であり、出力パルスの振動をできるだけ抑えることと、パルス幅の拡大を目標にした。パルストランスをタンクごと更新することで、パルスの大きな振動を減らした。また、パルス調整の際に、低電圧にて大まかな調整を行うことで、高電圧で微調整のみで済むため、作業の効率化・安全化を実現できた(Fig. 4)。調整前・調整後の RF 出力波形を Fig. 5 に示す。



(a) Before renewal. (b) After renewal.

Figure 4: PFN.



(a) Before renewal, Yellow: No.1 modulator (6 μ sec) Blue: No.2 modulator
(b) After renewal, Purple: No.1 modulator (7 μ sec)

Figure 5: Output RF power.

また、PFN コンデンサにおいては、他施設でコンデンサが起因の火災が発生している[3]ことから、温度監視が必要であると考え、大半のコンデンサに熱電対を取り付けて温度監視を行っている。現在まで 40°C を超える発熱は発生しておらず、コンデンサの使用温度範囲(60°C)内に十分に収まっている結果となっている。

他に、Short パルス設定時に使用するコンデンサの段数を 8 段から 7 段に少なくすることで、最大繰り返し数の増加を見込んでいるが、現在はトリガージェネレータの設定が対応しておらず、実際に増加可能かは確認できていない。

3.4 更新後のトラブル

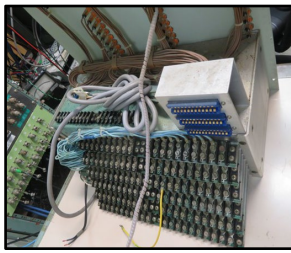
モジュレータ更新後、No.1 の高圧スイッチング時のノイズに悩まされるようになり、制御室のロガーがデータ取得できなくなったり、真空計の値が正しく表示されなくなったりするなどの影響が出ている。

ロガーや真空計側のノイズフィルターを増強して多少の改善は見られたが、モジュレータ側の接地の見直しなどの根本的対策は、ほとんど効果が見られない状態である。今後は、ノイズ発生源を明確にする調査を行ってから、根本的対策を講じる予定である。

4. 制御系更新

4.1 背景

ライナックの制御系は 1972 年のエネルギー増強時に一人の技術職員の手によって整備されたが、整備直後にその技術職員が転職された。図面はある程度残っていたが、不明な部分も多く不調の都度、配線を追っての調査で対応してきた。しかし、経年劣化による配線の液化、脆化がかなり進行してきたこと(Fig. 6)や、インターロックが不明であることによる不安もあり、全面更新を行うこととなった。



(a) Back side.



(b) Blue liquid.

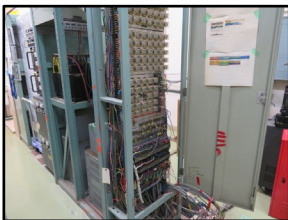
Figure 6: Old operation panel.

4.2 PLC 制御への変換

これまでの制御系はリレー回路にて制御していたが、臨機応変な対応を実施しにくいことから、PLC 制御を主とした制御に変更した (Fig. 7)。

4.3 電気配線

電気配線は先述の通り、経年劣化が著しく可能な限り更新を行った。更新する配線は火災対策として、耐熱性の電線へ変更した (Fig. 7)。



(a) Before renewal.



(b) After renewal.

Figure 7: Control box.

4.4 インターフェース

操作に関しては、従来の押しボタン式からタッチパネル式に変更した。また、制御室のみならず、現場であるマイクロ波室でも操作可能とし、トラブル対応を容易にできるようにした。

加えて、利便性向上のため加速器一時停止ボタンを新設して、高圧 OFF 操作を簡易にできるようにした。狙い通り、加速器利用者からは、このボタンの評判は非常に良く、新設した甲斐があった (Fig. 8)。



Figure 8: New operation panel (Red: Button of temporary shutdown of accelerator).

謝辞

モジュール更新及び制御系更新は株式会社パルスパワー技術研究所生駒直弥氏、佐藤良太氏、徳地明氏の全面的な協力のもと実施されました。ここに厚く御礼申し上げます。

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] 環境省: PCB 廃棄物収集・運搬ガイドライン(案), <https://www.env.go.jp/info/iken/h151222b/chap01.pdf>
- [3] K. Furukawa *et al.*, “KEK 電子陽電子入射器における火災と安全”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, July 31 - August 3, Kyoto, Japan, 2019, pp. 1091-1095.