

京都大学複合研電子線型加速器施設（ライナック）の保守管理

○阪本雅昭^{#A)}、高橋敏晴^{A)}、阿部尚也^{A)}、高見清^{B)}

^{A)}京都大学複合原子力科学研究所

^{B)}株式会社 NAT

概要

京都大学複合原子力科学研究所電子線型加速器施設（ライナック）は、設置から約60年経過した国内で稼働する線型加速器で最も古い装置である。大電流でエネルギー可変範囲の広いビームを供給できる等のユニークな特徴から、これまで共同利用・共同研究拠点の装置として多種多様な利用が行われてきた。コロナ禍前の2019年度までは運転時間が年間約2500時間に上り、来年度以降はその基準に回復することが予想される。このように今後も活発な利用が見込まれる点を評価され、複数の大規模な改修を行うことができた。本発表では、ライナックの特徴と利用に関する紹介、改修の一つである加速器制御系と配線更新の際に起きたトラブル（冷却水流量低下）への対応について報告する。

1. はじめに

設置当初のライナックは定常的中性子源である研究炉の相補的なパルス中性子源としての利用が主であった。その後、比較的小型の加速器ながらも大電流でエネルギー可変範囲の広いビームを供給することができるユニークな特徴と装置担当者の努力により、実験の多様化が進んだ。現在では中性子や電子線だけでなくX線や放射光の利用も行われるようになった。加えて、今後予定されている研究炉の停止に向けて、新たな利用の開拓が模索されている。2022年度から、動物や細胞等の生物に電子線を照射する実験を開始した。加えて、低速陽電子発生のための装置開発が進められている。

このように、今後も活発な利用が見込まれることを評価され、複数の大規模な改修を行うことができた。2022年度はPCB使用機器の処理を目的としたPFNモジュレータの更新工事、2023年度は加速器制御系と配線更新工事を行なった。

2. ライナックについて

ライナックのビームスペックを表1に示す。各種ビーム性能を幅広く変化することができる。この特徴を活かし、表2に示すようにユーザーのニーズに

合わせた様々な実験の提供が可能である。

年度別の運転時間と利用件数の推移を図1に示す[1]。2022~2023年度は改修工事の影響で運転時間が少ないが、来年度以降はコロナ禍前である2019年度以前の水準（約2500時間）に戻ることが予想される。大型加速器と異なり、ライナックは相乗り実験が難しい単一ユーザーマシンのため、ユーザー毎にビーム条件の変更・調整、実験準備や片付けを要する。その中で多くの利用と運転時間を捻出するために1年間ほぼマシンタイムが埋まり、年度初めしかまとまった保守の期間が取れないのが現状である。

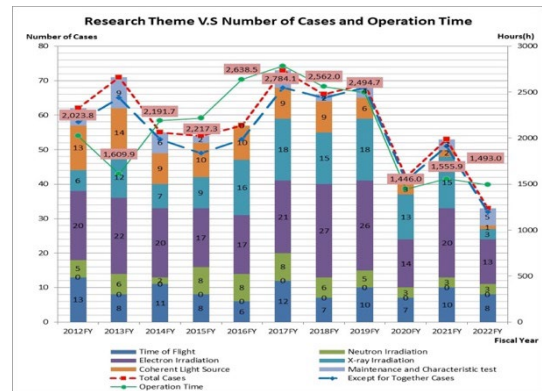


図1. ライナックの運転時間と利用件数

表1. ライナックのビームスペック

運転モード	定常モード (Long パルス)	過渡モード (Short パルス)	
		MOS FET	アバランシェトランジスタ
パルス幅	0.1~5.0 μ s	33, 47, 68, 100 ns	2, 5, 10, 15, 22 ns + シングルパルチ
エネルギー	6~30MeV	20~40MeV 前後	
繰り返し	1~180Hz (間引きで1Hz未滿も可能)	1~360Hz (間引きで1Hz未滿も可能)	
出力	~10kW (ピーク電流 500mA)	~7kW (ピーク電流 5A)	
その他	低エネルギー (~20MeV 前後まで) の微弱ビーム		

表2. 発生できる量子の内訳

種類	中性子	電子線	制動X線	コヒーレント放射光	陽電子
発生方法	Taへの電子線照射による核反応	電子線を試料に直接照射	Ptへの電子線照射による核反応	Al薄膜への電子線照射による遷移放射	Wへの照射による対生成反応
主な用途	核データ測定、RI製造、イメージング、検出器校正	放射線損傷、化学変化、検出器校正	RI製造 (¹¹ C, ⁶¹ Co など)、材料改質	分光装置、物質同定	開発中

3. 加速器制御系と配線の更新

3.1 更新の経緯

ライナックの制御系は、1970年代に一人の技術職員の手により整備された。その後担当した職員が退職したため詳細な情報が入手できず、残された図面と実際の回路に相違点が多数あることから、トラブル時には現場の配線を追っての調査を余儀なくされていた。また、リレー回路による制御のため、加速器の運転で重要なインターロックの変更や追加が難しかった。加えて、高経年化による配線の劣化が進行していたため、短絡や接触不良、火災の恐れも考えられた。そこで、制御系と配線の更新を行なった。

3.2 リレー回路から PLC 制御へ

以前のリレー回路による制御(図2)では図面が不正確で現状の把握が難しく、制御系の変更も困難であった。PLCを主とした制御にすることにより、インターロックの動作状況が分かりやすく、追加や変更が容易にできるものとなった(図3)。

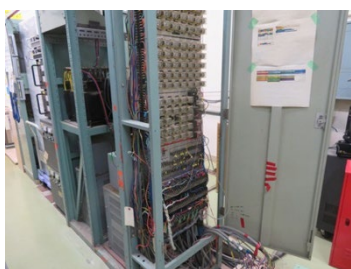


図2.旧制御盤



図3.新制御盤

3.3 操作用インターフェース更新

以前の押し釦とトグルスイッチによる操作パネル(図4)から、タッチパネルによる操作インターフェース(図5)へと変更した。一つのタッチ操作で複数の項目をシーケンシャルに作動させることができるため、立上げや運転時の操作が大幅に簡略化された。ユーザーにも操作しやすくなったと好評である。

また、以前はインターロックの情報がネオンランプで表示されており、点灯状況が見にくく不便であった。今回の更新ではタッチパネルにインターロック発生の履歴を含めた情報が表示されるようになったため、トラブル原因調査の迅速化に役立っている。

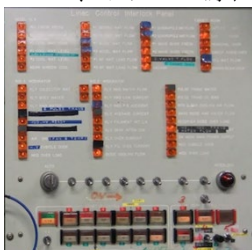


図4.旧操作パネル



図5.新操作インターフェース

3.4 配線更新

ライナックの配線は、古いものでは設置当初のものが存在し、後から追加された配線も加わって使用不使用・新旧入り乱れた複雑な状態となっていた。そ

こで、制御系だけでなく動力系も含めて配線の整理と更新を行なった。近年、加速器施設での火災が多数報告されていることから、耐火性の配線を採用した。

4. 更新後のトラブル

4.1 冷却水の流量低下

冷却水を循環させるポンプに三相交流電力を供給するための配線も更新を行なったため、試運転時にポンプの回転方向の確認を試みた。ポンプはキャンドモータタイプで回転軸がケース内に密閉されているため、回転方向を目視することができない。経験上、油回転ポンプ等の真空ポンプは逆相で給電するとモータが逆回転し、吸気と排気の方法も逆になることを知っていた。そのケースと同様に考えて、水が系統を流れる向きをモータの回転方向の判断材料とした。今回の場合は吐き出し側の流量計のフロートが押し下げられることなく正の値を示したため、水が系統を流れる向きについて配線更新前後で変化はなく、モータの回転方向も問題はないと判断した。

ところが、冷却水流量低下のインターロックが働き、冷却対象付近のセットポイント付き流量計において流量が通常時の半分以下に低下していることがわかった。このままでは更新工事後の動作確認が完了せず、インターロックが働いているので通常運転を行うこともできない。直近に共同利用運転の再開が迫っていたため、原因の検討をしつつも、まずは本来2系統に分岐する冷却水を1系統に集約することで流量を増やした(図6)。次に、今まで安全側に余裕をみていた流量の下限設定値について、冷却対象の熱負荷(クライストロンのコレクタ冷却など)を計算して機器の動作に問題がないことを確認したうえで、最低限必要な値に再設定した。これにより、インターロック条件をクリアして1系統冷却で済む実験条件の運転(加速管2本のうち1本のみ使用)を実施できるようになった。

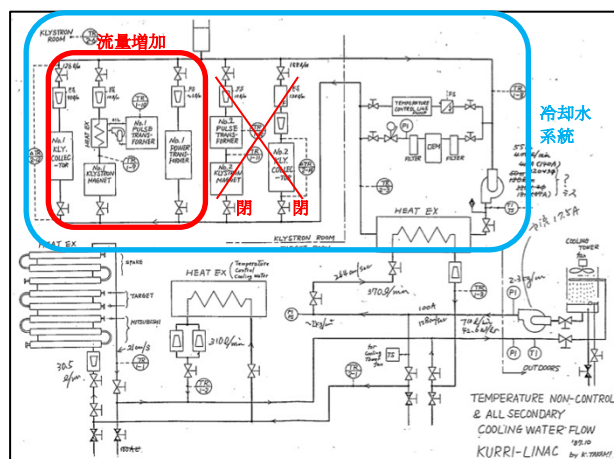


図6.冷却水系統図

使用していたポンプは1971年製で、50年以上不具合なく使用していたことになる。普段は運転が休日を除いてほぼ毎日あり、今回工事のために数ヶ月間停止していたことから、久しぶりの再起動時に故障した可能性が考えられた。2系統の冷却が必要な実験

条件の運転までそれほど時間がないこともあり、予備機の確保を兼ねて新しいポンプの手配を決定した。

4.2 ポンプ内部調査

ポンプを取り外して内部を確認すると、インペラに異物が挟まっていた(図7、図8)。異物の材質は軽いゴムのようなもので、磁石が埋め込まれていた。過去に使用していた流量計やレベルスイッチから外れたフロートが冷却系統に残留した可能性が考えられるが、由来は不明である。

異物を取り除いて試運転を行ったところ、流量は回復しなかった。利用運転まで時間がないこともあり、原因調査を一旦中断して運転を再開し、新しいポンプの到着を待つこととした。

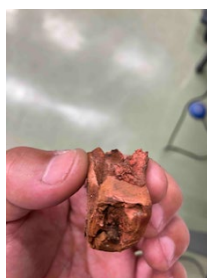
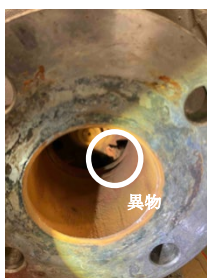


図7. ポンプ吸込み口 図8. 取り出した異物

4.3 ポンプ交換と流量低下原因の判明

新しいポンプへの交換が完了し、試運転を行った。新しいポンプは回転方向を目視することができるので確認すると、逆転で動作していることがわかった。電源配線はポンプ交換前と同じ順に結線していたことから、この時点で初めて、取り外したポンプは配線更新後に逆転で使用していたことがわかった。ポンプ側の結線の2線を入れ替えて運転するとポンプは正転し、冷却水の流量も元通りに回復した(図9、図10)。

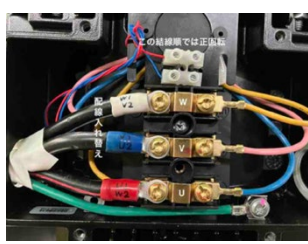


図9. ポンプ結線(逆転) 図10. ポンプ結線(正転)

4.4 原因の考察と相回転の確認

これまでの結果から、冷却水の流量が低下した原因はポンプの回転方向が逆転していたからということになる。そこで、ポンプを逆転で使用しても水を吐き出す方向が変わらない理由を考えてみた。

油回転ポンプ等の真空ポンプは、ポンプ内壁を摺動するペーンが吸込み側から導入した空気を掻き出して吐き出し側に送る。よって回転方向が逆になると吸込みと吐き出しの方向が逆になる。一方、今回問題となった冷却水ポンプ(図11)のように遠心力を利用して水を送り出すポンプは、インペラが逆転しても回転軸方向から吸い込んで円周方向に水を吐き出すことに変わりはない。よって、正転・逆転で吐き

出し効率、つまり流量に違いはあっても、同じ向きに水が流れることがわかった。

冷却水ポンプには分電盤から電磁開閉器を経て電力が供給される。今回の工事で、電磁開閉器の2次側からポンプ間のみ配線の更新を行なった。新旧配線で結線の順が変わったことにより、ポンプに逆相で給電されるようになったことが想像された。そこで、検相器を用いて電磁開閉器の1次側の相回転を確認したところ、逆相となっていた(図12)。この部分は今回の配線更新工事の対象外であったため、昔から何らかの理由により逆相で電磁開閉器1次側に結線されていたことになる。工事前の状態は、それを分かった上でポンプが正転となるように2次側を結線していたようである。

今回の配線更新の際、工事業者が相回転の確認をしている姿を見た記憶はなく、我々の方でもチェックすべき項目としてリストアップしていなかった。相回転の確認は三相交流電源配線の工事をした際に必ず行うべきことである。しかし、今回は制御系の更新作業と同時並行で作業を行なっていたため、確認と指示徹底ができていなかった。



図11. 取り外したポンプ



図12. 相回転の確認

5. まとめ

今年度、ライナックでは加速器制御系と配線の更新を行なった。長年修理や改造を積み重ねて複雑になっていた部分の整理と高経年化対策、操作性や信頼性の向上を実現することができた。

冷却水流量低下の原因は、工事の際の確認不足とポンプに関する知識の無さにある。急なスケジュール変更で多方面に迷惑をかけることとなった。一方で、装置担当者としては勉強になったし、インフラを含めた装置全体のことを考える良いきっかけとなった。

ライナックは設置してから約60年経過している。やるべきことはいくらかもあるが、利用が多く保守の時間が限られている。優先順位をつけて少しずつ改善作業を続けていきたい。

参考文献

- [1] N.Abe, et al., "Status of KURNS-LINAC", Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TFSP09. 2023