

京大炉電子線型加速器の現状

STATUS OF KURRI-LINAC

阿部尚也[#], 高橋俊晴, 堀順一, 窪田卓見, 阪本雅昭, 高見清

Naoya Abe [#], Toshiharu Takahashi, Jun-ichi Hori, Takumi Kubota, Masaaki Sakamoto, Kiyoshi Takami

Kyoto University Research Reactor Institute

Abstract

Operating time of KURRI-LINAC was 2,271.3 hours in 2015FY, exceeded in 2014FY. Radiation damage and radiation measurement were 24%, RI manufacturing & activation analysis and coherent light source and nuclear data were about 15%, the percentage of the operating time. KURRI-LINAC was occurred the leak of cooling water frequently. The flow switch and the flowmeter were exchanged and overhauled. And the crimp socket was used to the leak from the plumbing of the cooling water, but were unsuccessful a part of the leak. Because the socket was unsuitable for the circular leak, so the plumbing welded in the solder. On the other hand, KURRI-LINAC took the measure of shut-down of No.1 modulator breaker, and replaced 12m measurement room for the galvalume steel sheet.

1. はじめに

京大炉電子線型加速器(以下京大炉ライナック)は、1965年3月に建設開始のLバンド帯(1300.8 MHz)の加速器である。1968年から現在まで全国共同利用設備として稼動を続けている。稼動当初は、正式名が中性子発生装置である通り、定常的な中性子源である原子炉(KUR)と相補的なパルス中性子源としての利用を主とし、他に電子線照射や制動X線照射の利用も行われてきた。近年では、1990年開始の放射光実験に加え、2008年に10MeV以下の低エネルギー電子線照射としての利用が開始、2012年にはマイクロ波電界放出を利用した微弱ビーム実験が行われるようになり、多種多様のビーム源として非常に活発に利用されている。

また、研究のみならず産学連携及び人材育成においても活躍の場は多く、利用開始時から学生実験を実施している他、民間企業との共同研究をここ数年に渡り実施している。

加速器建設より50年が経過した古いマシンではあるが、中小型加速器としては有数の、最高出力6kW以上を営業運転可能な貴重なマシンである。

京大炉ライナックの現在のスペックをTable 1に示す。

Table 1: Electron Beam Specification

Beam Energy	46 MeV (No load), 30 MeV (MAX Power)	
Drive Mode	Long Pulse	Short Pulse
Repetition Rate	1~140 Hz, Single Shot, Partial Driving	1~300 Hz, Single Shot, Partial Driving
Pulse Width	0.1~4 μ s	2~100ns, Single Bunch
Maximum Peak Current	500 mA(4 μ s)	5 A(100ns)
Maximum Average Current	280 μ A(4 μ s)	100 μ A(100ns)

2. 京大炉ライナックの運転時間と利用状況

京大炉ライナックにおける2015年度の運転時間は2014年度の運転時間を上回る2,271.3時間に達し、二千時間を上回る高水準での運転が引き続き行われた。

利用放射線種別の運転時間では、中性子利用が最も多く、35%超であり、電子線利用が30%程度、X線利用が16%、放射光利用が15%であった(Figure 1)。

利用形態としては、放射線損傷とイメージングを含んだ放射線計測が24%で並び、RI製造・放射化分析、放射光源、核データがそれぞれ15%前後の利用であった(Figure 2)。

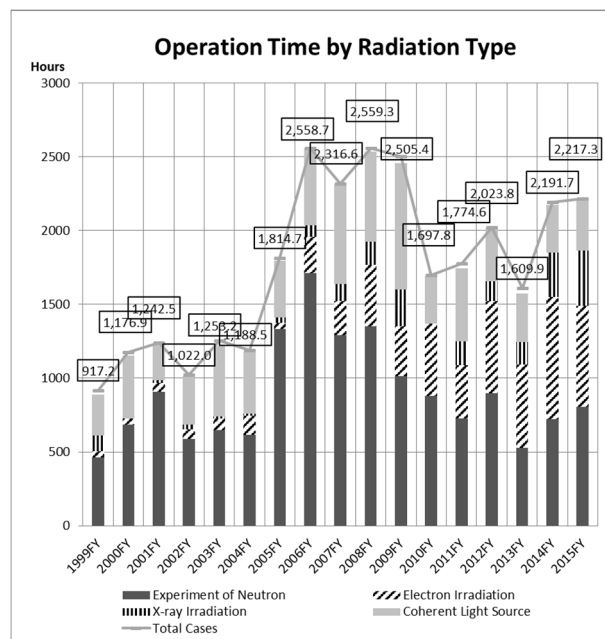


Figure 1: Operation time by radiation type.

[#] abe@rri.kyoto-u.ac.jp

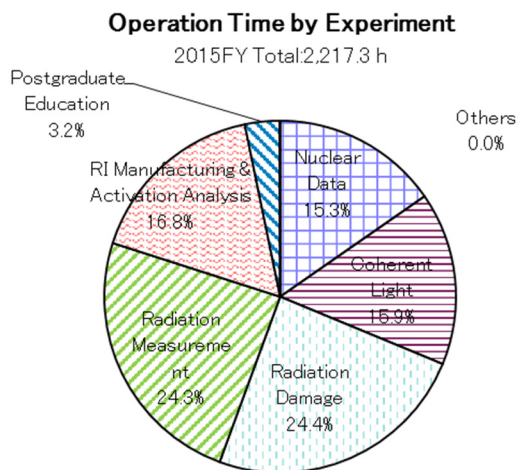


Figure 2: Operation time by experiment.

3. 保守作業

3.1 冷却水配管周り

2015年度、京大炉ライナックでは1次冷却水配管機器のトラブルが相次いで発生した。2015年5月のNo.1クライストロンボディ冷却水流量計の不調を皮切りに、6月にNo.2加速管RF窓冷却水入口フロースイッチからの漏水、8月にNo.1加速管RF窓冷却水出口流量計からの漏水、9月にNo.1クライストロン収束マグネット冷却水流量低下が発生した。いずれのトラブルも運転に支障の無い様、応急処置で対応していたが、これらの機器が30年以上使用されており劣化が著しいこと、また章3.3で後述する2016年1月から2月前半までの運転停止期間があることから、この期間に冷却水配管機器の交換及びオーバーホールを実施した。機器の交換が困難な箇所については銅配管を一部更新して対応した。対策を行った箇所をTable 2にまとめた。

代表例として、Figure 3にはNo.1加速管RF窓冷却水出口流量計の交換前後の様子を示した。左の交換前ではゴムパッキンの劣化によって漏水が止まらなかったため、パテにより漏水を止めていた。右の交換後では流量計の長さが短くなった分、配管の調整を行っている。Figure 4にはNo.1クライストロンボディ冷却水流量計(左)及びNo.1クライストロン収束マグネット冷却水流量計(右)のオーバーホール前後の様子を示した。左のオーバーホール前では、ボディ冷却水流量計のストッパーのゴム栓が浮いており、収束マグネット冷却水流量計の壁面が錆によってほぼ覆われている状態であった。右のオーバーホール後ではどちらも改善されている。

Table 2: The Measure of the Leak of Cooling Water

対応箇所	装置	対応
入射部装置	流量計・配管	交換
No.1 加速管水負荷	流量計	交換
	グローブバルブ	交換
No.1 加速管 RF 窓	流量計・配管	交換
No.2 加速管水負荷	流量計	交換
	フロースイッチ・配管	交換
	ボールバルブ×2	交換
	グローブバルブ	交換
No.2 加速管 RF 窓	流量計×2・配管	交換
	フロースイッチ×2・配管	交換
	ボールバルブ	交換
	グローブバルブ×2	交換
No.2 加速管冷却水配管	ボールバルブ・配管	交換
No.1 クライストロンボディ	流量計	O.H
No.1 クライストロン収束マグネット	流量計	O.H
No.1 クライストロンコレクタ	流量計	O.H
No.1 モデュレータトランス	流量計	O.H
非温調系冷却水配管	流量計	交換

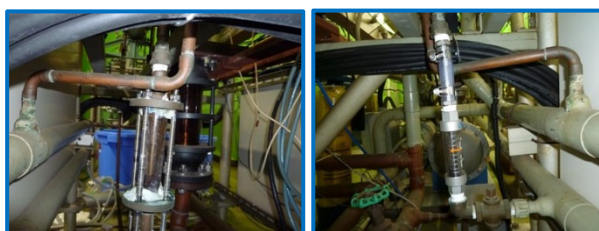


Figure 3: Exchanged flowmeter (left: before, right: after).

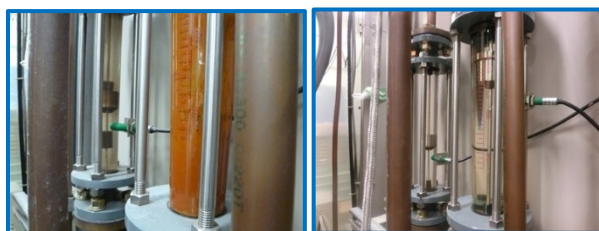


Figure 4: Overhauled flowmeter (left: before, right: after).

作業終了後に、No.1 クライストロン冷却水流量計周り

では、流量計オーバーホール作業中の負荷が原因と思われる漏水が配管の数箇所から確認されるようになった。応急処置として、銅配管用圧着ソケット(継手・直管兼用型)を使用して漏水を止める試みをした結果、1箇所を除いて漏水を止めることができた。残った1箇所は配管が完全に抜ける状況になっていたため、本来使用したソケットは使用できない状態であったが、作業時は気付かず漏水を止めようと試み続けた。その結果、運転中にソケットごと抜け、多量の漏水が発生した。Figure 5 左の写真の中央の黒の物体がソケットであり、完全に抜け落ちているのがわかる。よってこの箇所のソケットによる対策を諦め、ハンダ溶接を行った。Figure 5 右の写真は溶接中のものである。この対策で漏水を止めることに成功して完了したが、冷却水配管の老朽化ははっきりしており、全面交換が望ましい状況である。

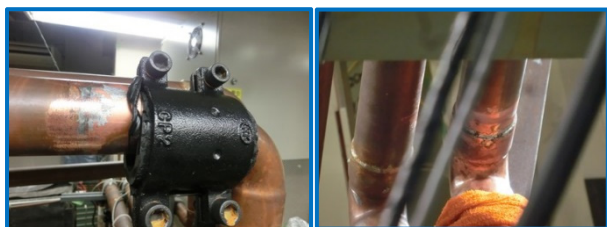


Figure 5: Plumbing of the cooling water.

3.2 No.1 モデュレータ供給電源ブレーカー断対策

京大炉ライナックのクライストロン用モデュレータでは AC480 V から昇圧・整流・平滑装置を介し、PFN による共振充電とサイトロン放電により、高圧パルスを生成している。この高圧電源部には過電流検出器が取り付けられており、主にサイトロン放電による過電流によって動作する(設定値は ~ 5 A)。通常は、この検出器が動作することによって、モデュレータ内の AC480 V 用電磁開閉器が動作して加速器を停止させる。だが、時折このモデュレータに AC480 V を供給している分電盤内のノーヒューズブレーカー(以下 NFB)が先に動作する現象が発生しており、対策を検討した。概略回路図を Figure 6 に示す。

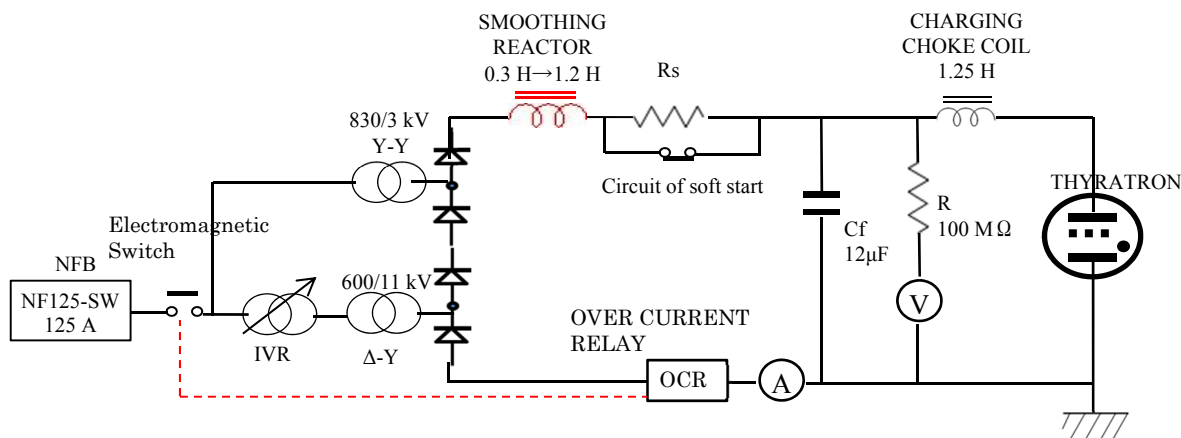


Figure 6: Schematic diagram of No.1 modulator.

電磁開閉器より先に NFB が遮断されることから、過電

流発生時に NFB の瞬時引き外し電流(1000 A 前後)に相当する大電流が発生していると推定し、目的を大電流が NFB までに到達する時間を遅らせることとした。

対策として、平滑リアクトルのインダクタンスを従来の 0.3 H から 1.2 H にし、鉄心の飽和インダクタンスを 50A で 50%以上になるように設計して、鉄芯の飽和を遅らせることを試みた。鉄芯の飽和の無いシミュレーション(OrCAD)上では数 ms 程度遅らせることが見込まれた(Figure 7)。しかし、再度 NFB が動作する現象が発生し、別対策の検討となった。

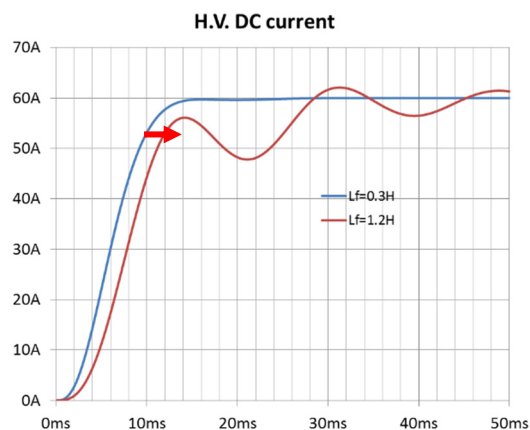


Figure 7: Simulation of H.V. DC current by OrCAD.

NFB が動作する前に AC480 V 用電磁開閉器の動作させることを目的として回路を確認すると、過電流検出器からの信号を 4 つのパワーリレー(OMRON 製 MY4ZN-D2)を介して電磁開閉器を動作させていたことが判明した。過電流検出器の出力を確認すると、空き接点が電磁開閉器を直接駆動する能力があったので、電磁開閉器を直接動作させる回路を追加した。この改造でリレー動作時間 4 つ分(公称値は $20 \text{ ms} \times 4$ 、実際は短いと推定)を短縮した。結果、パルス低繰り返しの際の過電流に関しては NFB が動作することがなくなったが、高繰り返し(Long: >120 Hz、Short: >300 Hz)では依然発生している。

今後の対策の検討として、No.2 モデュレータではこの

現象が発生していないことから、No.2 モデューラータと比較した結果、関係が疑わしい 2 つの相違点が見つかった。

1 点目は、昇圧・整流・平滑装置の内部抵抗である。抵抗値はパルス繰り返しの変化による電圧・電流の変化より算出した。No.1 は約 250 Ω、No.2 は約 400 Ωであった(但し、測定値にばらつきがあったため誤差は大きいと推定される)。内部抵抗の変化による高圧電流の変化をシミュレーションし、高圧電流を AC480 V 相電流に変換したものを Figure 8 に示す。相電流の最大値が 250 Ω で約 1200 A に対して、400 Ω で約 900 A と大きく減少しており、NFB の瞬時引き外し電流の値を下回る。この結果から、内部抵抗の影響は大きいと推定されるが、内部抵抗の調整は容易ではなく、別対策を検討した。

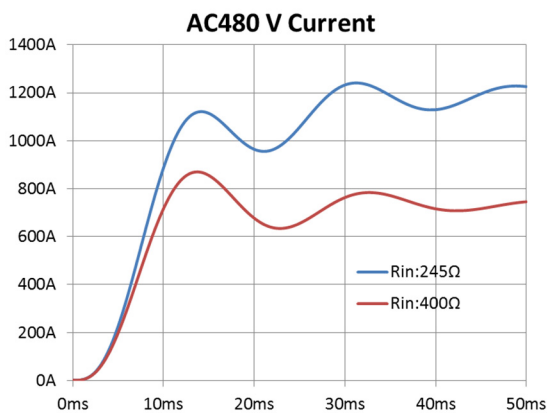


Figure 8: Simulation of AC480 V current by OrCAD.

2 点目は、NFB のフレームサイズである。NFB が同じ定格電流の場合、フレームサイズの大小で NFB の瞬時引き外し電流も大小するが、No.1 のフレームサイズは電気の供給先がモデューラータ単独のため 125 と小さい。No.2 のフレームサイズは電気の供給先がモデューラータの他に冷却水ポンプもあるため、250 と大きい。分電盤の改造が必要だが、フレームサイズを No.2 と合わせた上で、NFB の定格電流も増加して、瞬時引き外しが発生しないようにする対策を中心に検討を行っている。

3.3 12m 測定室不燃化工事

京大炉ライナックの 12m 測定室は主に中性子実験に使用されている。安全性の向上と密封 RI 使用を目的として、ガルバニウム鋼板製の建屋に改修した。工事期間は 2016 年 1 月～2 月前半であり、この期間の通常の加速器運転が停止している。

3.4 ノイズ対策

No.1 加速管発散防止用ソレノイドコイル(京大炉では WaveguideMagnet と呼ぶ、以下同様)の 3 段目の電流を調整すると 3~6 A の範囲で最大±2%の特異的な変動が確認された(Figure 9)。電源はスイッチング電源(松定プレジジョン:PRK150-36)だが、No.2 WaveguideMagnet にも同型の電源を使用しており、こちらには変動が見られないことから、ノイズによる影響を疑った。対策として、電流設定入力信号にフェライトコア(日立金属:FT-3K50T F1613YS)に同軸ケーブルを 10 数回巻き付けた共通モードチョークコイルを追加した(Figure 10)。結果、変動はなくなり、対策の効果があつた。

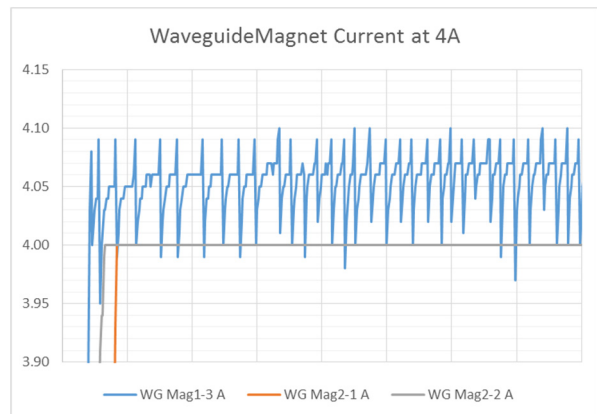


Figure 9: Waveguide magnet current.



Figure 10: Common mode choke coil.