

京大炉電子線型加速器 (KURRI-LINAC) の現状

STATUS OF KURRI-LINAC

阿部尚也[#], 高橋俊晴, 窪田卓見, 堀順一, 高見清

Naoya Abe [#], Toshiharu Takahashi, Takumi Kubota, Jun-ichi Hori, Toshiharu Takahashi, Kiyoshi Takami
Research Reactor Institute, Kyoto University

Abstract

Operating time of KURRI-LINAC was 2,638.5 hours in 2016FY, the record high. Radiation measurement was 26%, radiation damage was 22%, RI manufacturing & activation analysis was 21%, nuclear data was 16%, coherent light source was 14%, the percentage of the operating time. Trouble was successive in KURRI - LINAC in the second half in 2016FY, the damage of heater wire of thyatron, injector power supply and RF driver, the leakage of the cooling water and the insulation gas by degradation of O-ring, bad condition of the ion pump and the defective performance of the cooling water three-way valve. Otherwise, KURRI-LINAC put the measure of breaker momentary power failure at the time of No.1 modulator over-current proposed by a last report into effect and succeeded.

1. はじめに

京都大学原子炉実験所電子線型加速器(以下京大炉ライナック)は、1965年に全国共同利用施設として建設開始の国内では少ないLバンド帯(1300.8 MHz)の加速器である。設置当初は原子炉(KUR)と相補的なパルス中性子源としての利用が主であり、電子線・制動 X 線照射などの利用もされてきた。1990年頃から従来の利用に加え、放射光・陽電子など量子ビーム利用の多様化が進んできた。更に近年では低エネルギー電子線照射やマイクロ波暗電流による微弱ビームも利用可能になっている。実験も中性子を利用したイメージングや中性子・制動 X 線を利用した RI 製造、低エネルギー電子線を用いた化学変化など、こちらも多様化している。

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. 利用状況

京大炉ライナックの 2016 年度のビーム運転時間は 2638.5 時間であり、運転開始より 50 年以上経過しているなかで過去最大の年度運転時間を記録した。利用量子別では中性子利用が 35%、電子線利用が 30%、X 線利用が 21%、放射光利用が 14.0%であった。(Figure 1)

利用形態別では、放射線計測が 26%、放射線損傷が 22%、RI 製造・放射化分析が 21%、核データが 16%、放射光源が 14%で満遍なく利用された。(Figure 2)

運転時間が過去最大を記録した一方、メンテナンスに割ける時間が非常に少なくなっており、後述するトラブルの頻発につながっている。

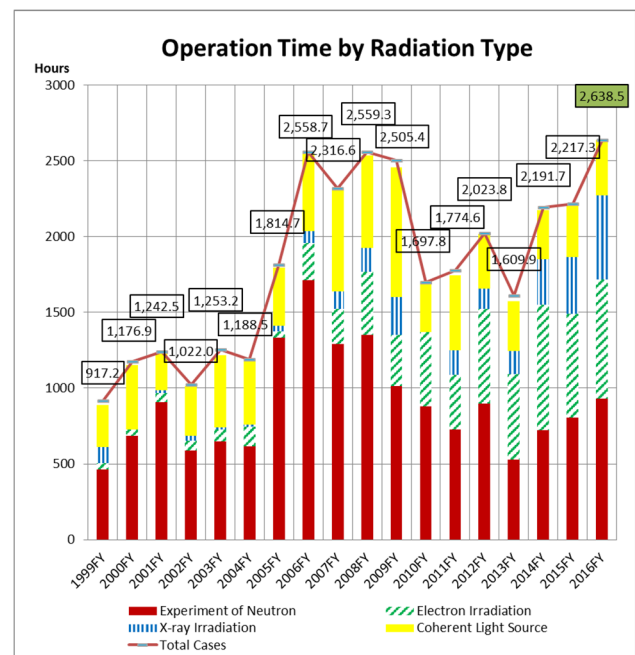


Figure 1: Operation time by radiation type.

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

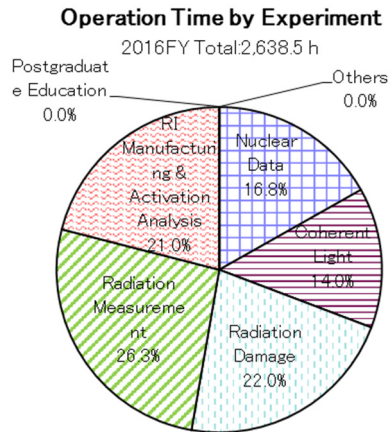


Figure 2: Operation time by experiment.

3. マシントラブル

3.1 サイラトロンヒーター電線損傷

2016年10月の加速器運転中にNo.2加速管のRF出力停止によるビーム異常が発生した。調査の結果、サイラトロンヒーター電線の損傷が発見された(Figure 3 左)。コネクタパネル付近の損傷が激しいことから、コネクタ部分の接触不良時の過電流による発熱が原因と推定した。

発熱対策として、コネクタパネルの材質をエポキシグラスに変更し、配線も耐火性の配線に変更した(Figure 3 右)。接触不良対策として、定期的にもコネクタを増し締めすることとした。更に、運転中の異常を検知するために、ヒーター電流などサイラトロンのパラメータを記録する準備を整えている。

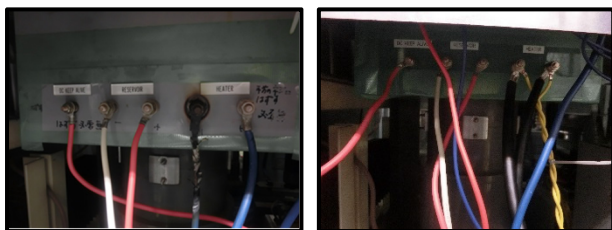


Figure 3: Panel of No.2 thyratron heater (Left: Before Right: After, panel was epoxy, wire was fire resistance).

3.2 インジェクタ高圧電源故障

2017年1月のインジェクタ電源投入時に過電流のインターロックで起動できない状況が発生。インジェクタ電源のログを調査すると、電源投入時に設定値を上回る高電圧が急激に印加されていることが判明した。過去にも何度かこの現象が起きていたが、電源のウォームアップの時間を十分にとるか、再起動することで対応できていた。今回の事象では上記の対応策が効果なく、予備電源と交換する運びとなった。交換後は正常な運転が続いている。

3.3 No.1 加速管水負荷漏水

2017年3月のNo.1マイクロ波導波管に絶縁ガス(SF₆)を補充する際に、ガス補給口部分から水が吹き出てくる現象が発生した。周辺を分解調査すると、ガス補給口付近の配管及び水負荷、ドアノブ型RF窓付近まで浸水していた(Figure 4)。原因は水負荷のゴムOリングの硬化によるものであった。30年以上前に水負荷を更新したとき以来、Oリングは交換されておらず、経年劣化と放射線劣化の複合により不具合が生じたと推定している。Oリングの交換後は現在まで異常なく動作している。

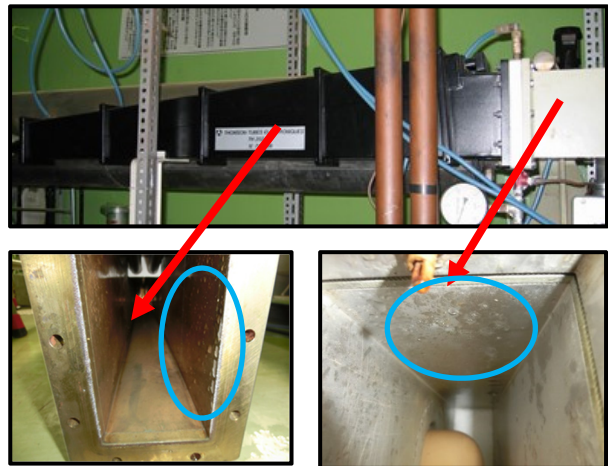


Figure 4: Flooded area (Drops of water were at blue circle, No.1 waterload and RF window).

3.4 No.1 加速管出口 RF 窓—導波管接続部 SF₆ 漏れ

2017年1月頃から、No.1導波管のSF₆の漏れ量が普段より増加していることが確認された。利用運転が詰まっていたため、SF₆補給量を増加して対応していた。同3月にリークディテクターで調査した結果、No.1加速管出口のRF窓と導波管を接続する部分から大きな漏れが発生していることが判明した。この箇所は50年以上前に加速管設置したとき以来、一度も外したことがない箇所であり、関係者が誰も構造を把握していなかった。取り外すとゴムOリングがあり、3.3と同様に硬化し、RF窓周辺に一部腐食が見られた(Figure 5 左)。ガス漏れの原因も3.3と同様と推定している。

対応として、ゴムOリングは交換し、腐食部分は可能な限り削り取った(Figure 5 右)。結果、当該箇所からのSF₆漏れは検出されなくなり、他に不具合も発生していない。

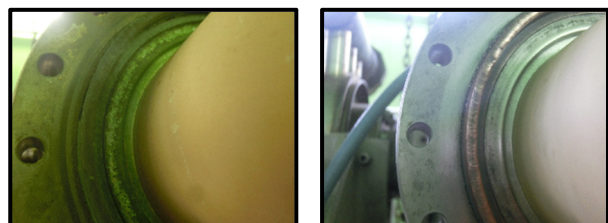


Figure 5: Flange of RF window cleaning (Left: Before Right: After).

3.5 No.1 加速管出口イオンポンプエレメント交換

2017年3月に、No.1 加速管出口に設置してあるイオンポンプの電流が加速器起動時に急激に増加する現象が発生した。通常は測定限界の $1 \mu\text{A}$ 以下であるが、増加時は数百 μA 以上の電流が流れていた。原因調査の結果、イオンポンプ本体に衝撃を与えると電流増加が発生することが判明した。そのため、エレメントに異常が発生していると判断し、当該エレメントを交換した。エレメント交換後は、ベーキングに手間取ったが、現在では稀に発生するパルス的な電流増加以外は正常に動作している。

3.6 RFドライバー故障

2017年3月に、No.2 クライストロンよりマイクロ波が出力されない異常が発生した。調査の結果、RF ドライバープリアンプより RF 出力が出ていないことが判明した。製作者者に修理を依頼した結果、位相切り替えスイッチの接触不良が原因と判明し、不良箇所の交換を行った。

その後、No.2RFドライバーの出力が最大 650 W 出力可能なところ、約半分の 330 W 程度しか出力できない状態であることが判明し、現在、製作者者に修理依頼中である。

3.7 温調系冷却水三方弁動作不良

2017年3月に温調系冷却水の温度上昇不足により、加速器が起動できない状況が発生した。調査の結果、熱交換器からの冷水と加速器からの温水を合流させて温度コントロールしている三方弁が、遠隔操作では冷水側を完全閉止できない状況であることが判明した。手動による調整で運転は継続し、4月にオーバーホールを実施した。オーバーホールにより、遠隔操作による三方弁の完全閉止が可能になり、温度調整が正常になった。前回のオーバーホールが15年以上前であったため、オーバーホールの周期を短くする方針とした。

4. 改造

4.1 No.1 モデュレータ過電流発生時の分電盤ブレーカー断対策

前回の報告[1]の後、高繰り返し運転中の No.1 モデュレータ過電流発生時の対策として提案していた、No.1 モデュレータ分電盤ブレーカーのフレームサイズ及び電流容量の変更を行った。No.1 モデュレータの回路図を Figure 6 に示す。また、予防措置として No.2 モデュレータ分電盤ブレーカー電流容量の変更も行った。いずれもブレーカー動作までの時間の延長を目的とした。

改造の結果、現在まで過電流発生時の分電盤ブレーカー断は発生しておらず、対策が成功したと見ている。

参考文献

- [1] N. Abe *et al.*, “京大炉電子線型加速器 (KURRI-LINAC) の現状”, Proceedings of the 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 8-10, 2016, Chiba, Japan.

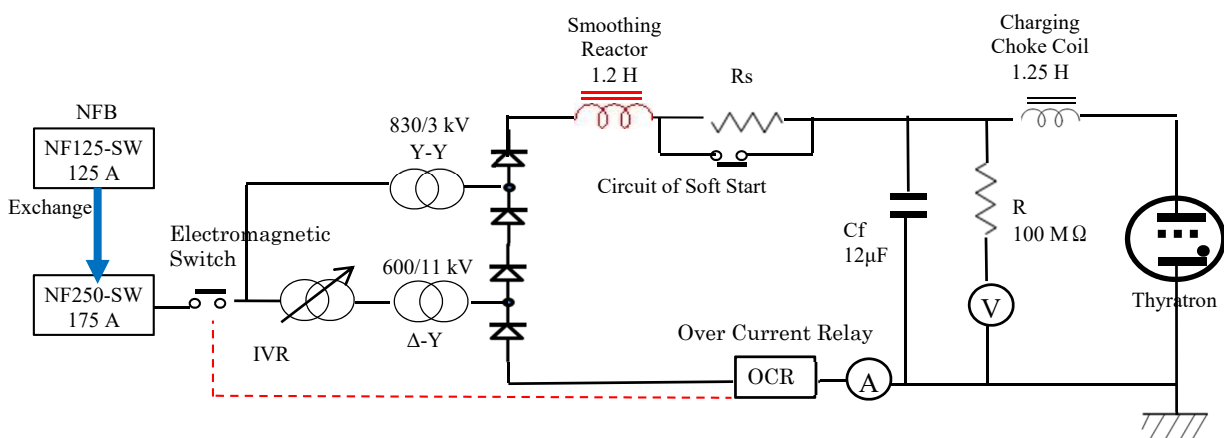


Figure 6: Schematic diagram of No.1 modulator.