

京大炉中性子発生装置(電子ライナック)の現状

STATUS OF KURRI-LINAC

阿部尚也^{#,A)}, 高橋俊晴^{A)}, 堀順一^{A)}, 窪田卓見^{A)}, 阪本雅昭^{A)}, 高見清^{A)},

Naoya Abe^{#,A)}, Toshiharu Takahashi^{A)}, Jun-ichi Hori^{A)},

Takumi Kubota^{A)}, Masaaki Sakamoto^{A)}, Kiyoshi Takami^{A)}

^{A)} Research Reactor Institute, Kyoto University

Abstract

Operating time of KURRI-LINAC was 2,197.1 hours in 2014FY, exceeded 2,000 hours in fiscal year 1 after. On the other hand, the use number including riding-together operation of KURRI-LINAC was 55 affairs in 2014FY. The low energy experiment of less than 30 MeV of rating was 16 affairs before long. KURRI-LINAC remodeled two affairs mainly. The 1st affair was the renewal of the driver for main thyratron in modulator. The renewal was decreased the vibration after the pulse generation. The 2nd affair was the installation of the counter of the thyratron shot for check the life of the thyratron.

1. はじめに

京大炉中性子発生装置(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 MHz)の電子線型加速器である。1968年より全国共同利用設備として稼動を開始した。当初は定常的な中性子源である原子炉と相補的なパルス中性子源としての利用が主で、他に電子線照射や制動X線照射が行われていたが、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った。また、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年が経過した現在も多様なビーム源として活発に利用されている。

現状の京大炉ライナックのスペックをTable 1に示す。

Table 1: Electron Beam Specification

Drive Mode	Long Pulse	Short Pulse
Beam Energy	46 MeV (No load), 30 MeV (MAX Power)	
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
Peak Current	Max:500 mA(4 μ s)	Max:5 A(100ns)
Average Current	Max:280 μ A(4 μ s)	Max:100 μ A(100ns)

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

2. 利用状況と運転時間

京大炉ライナックの2014年度の運転時間は一年度振りに二千時間を上回る2,197.1時間であった。一方、利用件数は、中性子実験13件、電子線照射20件、X線照射7件、放射光実験9件で、保守等を含む総計は55件であった(相乗り運転含む)。相乗りを含まない運転は53件であった(Figure 1)。また、定格30MeV未満の低エネルギー実験は16件であった。

運転時間の増加要因は終夜連続運転が滞りなく実施された点である。利用件数の減少は一月半の工事が予定されていたためであったが、諸般の事情で今年度に延期となった。

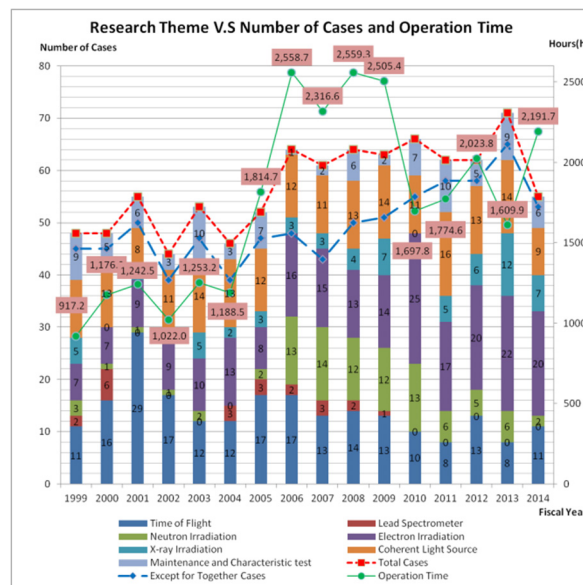


Figure 1: Research theme and operation time of KURRI-LINAC.

3. 改造

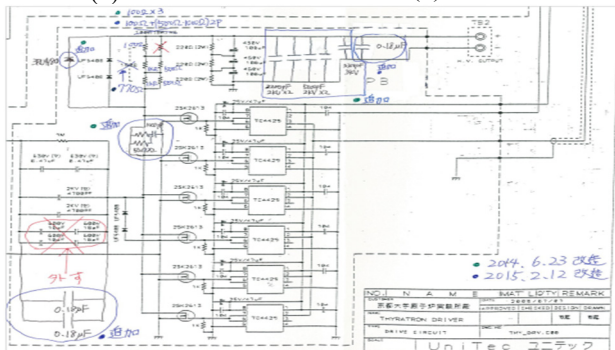
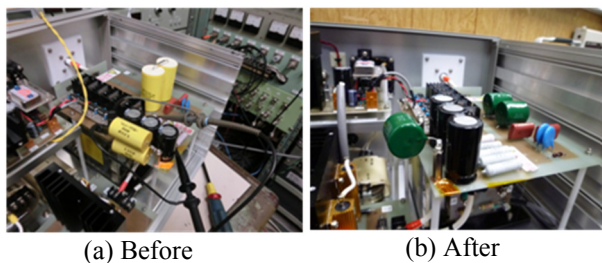
3.1 サイラトロンドライバー

3.1.1 背景

一昨年の故障対応^[1]に引き続いて、サイラトロンドライバーの出力パルスの振動による異常高電圧発生への対応を実施した。前回の対策は、出力パルスの矩形を維持しながらのものであったが、サイラトロンの駆動条件と比較すると、パルス幅最低 $2\mu\text{sec}$ ・パルス電圧最低 1kV に対して、ドライバー出力パルスはパルス幅 $2.5\mu\text{sec}$ ・パルス電圧 2.4kV であり、幾分か余裕のある状態であった。このため、波形に多少のサグが発生しても振動を軽減することにした。

3.1.2 改造

本来、サグ対策であったパルス生成部の充電コンデンサ（フィルムコンデンサ・ $10\mu\text{F}$ ・2直列・耐圧 2kV ）の容量を小さくすることにした。当然サグは発生するが、上記の通り多少のサグの発生は問題ないと判断して実施した。交換したコンデンサは日本ケミコン製のメタライズドポリプロピレンフィルムコンデンサ HACD シリーズである（ $0.016\mu\text{F}$ ・2並列・耐圧 2kV ）。ストレーインダクタンスが小さいため、振動の原因になりにくいと考えた。また、このメタライズドコンデンサの故障時にはオープンになりやすいため、過電流が起こりにくいと推定される。また、高圧直流電源部のコンデンサも充電部と同じタイプのフィルムコンデンサを使用していたため、こちらも日本ケミコン製の物に交換した。更に、充電抵抗器の発熱を抑える目的で、充電抵抗器を 100Ω 3直列(300Ω)から 100Ω と 500Ω ・ 1000Ω 並列2組の直列(770Ω)と増やした(Figure 2 (a, b))。回路図上の青丸が今回の改造箇所である(Figure 2 (c))。



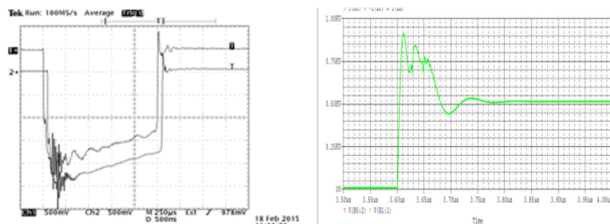
(c) Part of Circuit Diagram

Figure 2: Thyatron driver.

3.1.3 結果

改造前と比較すると出力モニター波形は、やはり20%程度のサグが表れる波形となった(Figure 3 (a))。なお、モニター波形のパルス立下り直後の振動はサイラロン点弧時のノイズである。

サグの代償として、出力パルスの終わりの振動はシミュレーション上では従来の 900V 強から 800V 強と 100V 程度減少し、故障確率は下がったと推定される。なお、現在まで不具合は発生しておらず、順調に使用できている。



(a) Monitor Output

(b) Simulation of Output

Figure 3: Waveform of thyatron driver.

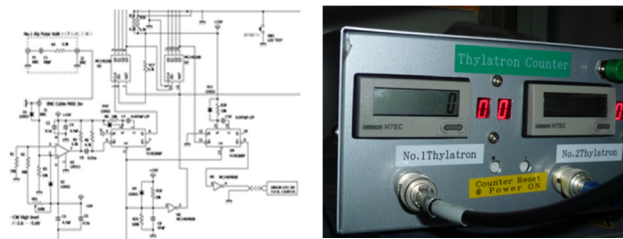
3.2 サイラトロンショット数カウンタ追加

3.2.1 目的

サイラトロンは消耗品であるため、寿命による交換は避けられない。その寿命予測は他施設において行われている^[2, 3]が、運転時間によるものである。京大炉ライナックでも運転時間の記録は行っているが、モジュレータの繰り返し数を頻繁に変更するため、サイラトロンのショット数による比較ができなかった。このため、ショット数カウンタを取り付けることにした。

3.2.2 設置

サイラトロンのショット数カウントには、初めは現場のサイラトロンの G2 波形を使用していたが、制御室でカウント数を記録するために、制御室に取り込んであるクライストロンの高圧波形を用いた。この波形はパルス電圧 $\sim 30\text{V}$ 程度・パルス幅約 $8\mu\text{sec}$ である。比較 IC には LM311 を使用し、カウンタ IC には MC41518 を2個と OMRON 製の8桁カウンタを使用した。8桁カウンタのみの記録では、繰り返しの多い運転では数百時間でオーバーフローするため、2桁追加して10桁のカウンタとした(Figure 4)。



(a) Part of Circuit Diagram

(b) 10-digit Counter

Figure 4: Counter of thyatron shot.

3.2.3 結果

2014年7月8日～9月8日(7月11日を除く)のカウン트는 No.1 サイラトロンで 52,791,332 回、No.2 サイラトロンで 52,791,329 回であって、ほぼ同じカウンタであった。

また、2014年9月17日～2015年4月16日のカウン트는 No.1 サイラトロンで 394,689,933 回、No.2 サイラトロンで 383,240,907 回であった。No.2 のカウンタが少ない理由は、低エネルギー運転時に No.2 サイラトロンを点弧させないためである。

2014年7月8日～2015年7月24日の約1年間のカウン트는 No.1 サイラトロンが 579,058,391 回、No.2 サイラトロンが 560,036,781 回である。このカウンタをモジュレータの高圧 ON 時間で除した平均繰り返し数は No.1 が 71.3 回/sec、No.2 が 78.7 回/sec であった。

今後もこの計測を継続し、保守の参考にする。

3.3 安全対策

3.3.1 感電対策

No.2 モジュレータのクライストロンタンクに、高電圧と直接接触可能になっている部分があり、より安全を期するためにカバーを取り付けた(Figure 5)。

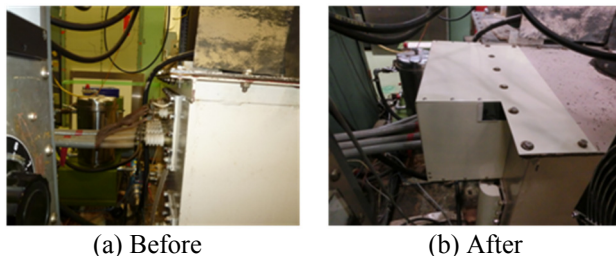


Figure 5: Measure of high voltage (No.2 modulator).

3.3.2 耐震対応

地震による影響を極力抑えるために加速管まわりの物品に耐震対策を行った。

No.2 Waterload にベローズを追加する作業を 2012 年に実施していたが、それに加えて架台の補強を行った。また、No.1、No.2 両加速管の可動部に脱線防止の壁を追加した(Figure 6)。

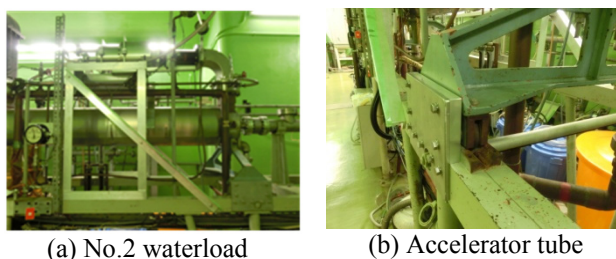


Figure 6: Measure of earthquake-proof.

参考文献

- [1] N. Abe, et al., “京大炉中性子発生装置 (電子ライナック) の現状”, Proceedings of the 11th annual meeting of particle accelerator society of Japan, Aomori, Aug. 9- 11, 2014.
- [2] 明本光生, “サイラトロンスイッチを使用した大電力パルス電源の現状”, J.Particle Accelerator Society of Japan, Vol.7, No.1, 2010 (15-24).
- [3] T. Togashi, et al., “J-PARC 3GeV RCS キッカー電磁石電源のサイラトロン運転維持管理”, Proceedings of the 9th annual meeting of particle accelerator society of Japan, Toyonaka, Aug. 8- 11, 2012.