

SPring-8線型加速器の機器改良 THE COMPONENT IMPROVEMENT OF THE SPring-8 LINAC

鈴木伸介[#], 小林利明, 谷内努, 出羽英紀, 馬込保,
水野明彦, 柳田謙一, 安積隆夫, 花木博文

Shinsuke Suzuki[#], Toshiaki Kobayashi, Tsutomu Taniuchi, Hideki Dewa, Tamotsu Magome, Akihiko Mizuno,
Kenichi Yanagida, Takao Asaka and Hirofumi Hanaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

Abstract

In FY2014 and FY2015, the total operation time of SPring-8 injector linac were 5099.25 and 4817.9 hours respectively. The ratio of downtime to the user time were 0.264 % (FY2014) and 0.125 % (FY2015). And the fault rates were 0.25 (FY2014) and 0.14 (FY2015) times per day which were same level of those in the last few years. We report some improvements of the SPring-8 linac for 2 years recently. They are repairing of the vacuum isolator for the waveguide circuit, measurement of the relative velocity by TOF method for the twin electron gun system, replacing of an electron gun cathode and renewal of an oscilloscope remote monitoring system.

Table 1: Parameter of Linac with ECS

	Synchrotron		Top-up
Pulse Width	1 ns	40 ns	0.5 ns
Repetition	1 pps	1 pps	1 pps
Pulse Charge	1.7 nC	2.8 nC	0.66 nC
dE/E (FWHM)	0.45%	0.55%	0.32%
Energy Stability (rms)	0.02%	-	0.01%

1. はじめに

2004 年から始まった SPring-8 蓄積リングと NewSUBARU への Top-up 運転は 10 年以上にわたり順調に継続されている。近年の Top-up 運転では短寿命のフィリングパターンが増え、入射の頻度が増加している。その対応として Sy/NS の 2Hz 高速切替えを 2013 年度から実施している[1]。

線型加速器更新として一昨年度の報告より

1. 真空計立体回路の改修
2. 2 台の電子銃電圧の校正
3. 電子銃カソードの交換
4. オシロスコープ波形伝送システムの更新
5. 各種機器交換

等を行った。他に電子銃カソードの開発[2]、六電極 BPM[3]、クライストロンモジュレータの開発状況[4]、プロファイルモニタ画像システムの更新[5]などのハードウェアの状況については別途報告があるので参考にされたい。本論文では SPring-8 線型加速器の運転状況と共に上記報告以外の機器の改修などについて紹介する。

2. 運転状況

シンクロトロンと NewSUBARU に入射するビームの種類を Table 1 に示す。両蓄積リング同時トップアップ運転の際、入射経路切替における加速器パラメータの変更を最小限にするため、トップアップ入射専用の共通パラメータとしてパルス幅 0.5ns ビームを用いている。ただし NewSUBARU 入射時は、線型加速器から NewSUBARU へ行くトランスポートにあるスリットでビーム電流を約 1/3 に、蓄積リングへはシンクロトロンから蓄積リングの途中のトランスポートラインで約 1/2 に各々別の理由ではあるが削って各々のリングへ入射している。2013 年度より実施されている高速切替により各々のリングに 1 Hz での入射が可能となっている。

[#]shin@spring8.or.jp

2014 年度、2015 年度における線型加速器総運転時間は、それぞれ 5099.25 時間、4817.9 時間であった。蓄積リングのユーザータイムは 4057.8 時間及び 4033.9 時間であり、入射器トラブル時以外は全てトップアップ運転である。Figure 1 に 2014 年度のサイクル毎のインターロックフォールト統計、Figure 2 に 2015 年度のものを示す。

左側のグラフは 1 日あたりのフォールト回数で、右のグラフが Top-up 運転の中断時間の比率である。どちらの年度も十分に低い値を示し、安定に Top-up 運転が維持されていることが判る。とは言え、老朽化に伴うトラブルもいくつか発生している。2014 年度には電子銃高圧デッキ上の NIMbin 電源が故障し、原因究明に時間がかかりそうだったため、第 2 電子銃に切り替え運転を行った。この一連の作業のため、例年より多い Top-up 運転の中断となっている。

Figure 3 に 2005 年からの運転統計を示す。2008 年に電子銃バイアス回路のトラブルによる突出してダウンタイムの長いサイクルがあったが、機器の改良を繰り返した結果、漸次フォールトが減少しているのが分かる。

各年度のダウンタイム率とフォールト率は
2005 年 0.589%, 1.10 回、2006 年 0.514%, 0.84 回
2007 年 0.458%, 0.66 回、2008 年 1.447%, 0.77 回
2009 年 0.609%, 0.47 回、2010 年 0.124%, 0.25 回
2011 年 0.109%, 0.23 回、2012 年 0.045%, 0.15 回
2013 年 0.131%, 0.22 回、2014 年 0.264%, 0.25 回
2015 年 0.125%, 0.14 回
となっている。

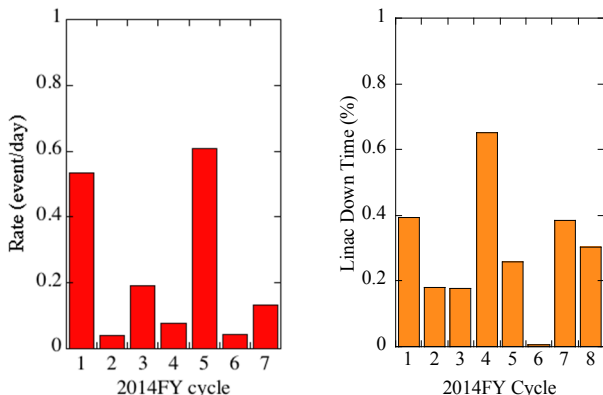


Figure 1: FY2014 Fault rate and down time rate.

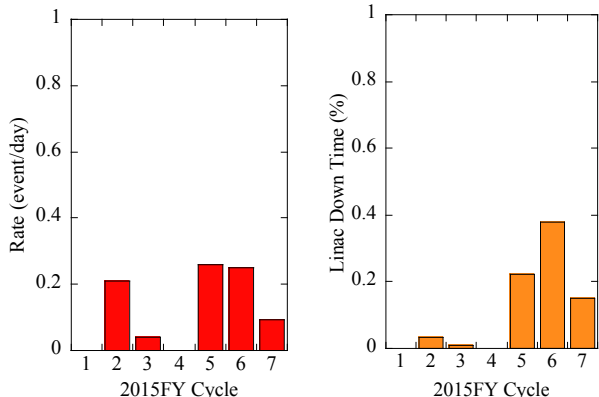


Figure 2: FY2015 Fault rate and down time rate.

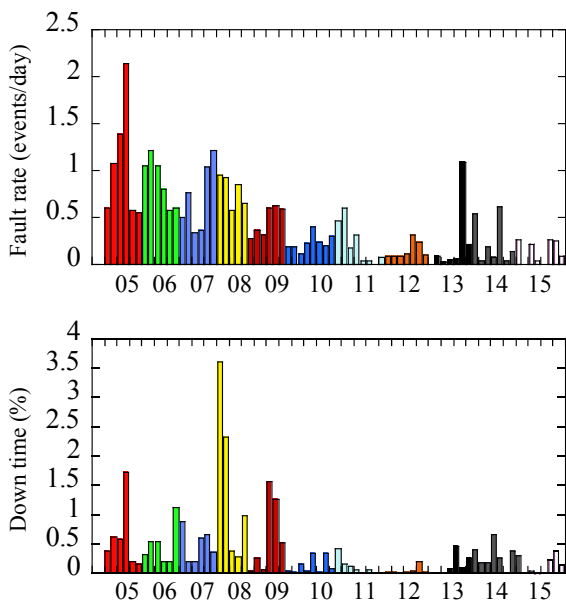


Figure 3: History of fault rate and down time rate.

3. 入射部立体回路の真空化 その後

2014年4月からの運転で真空化入射部立体回路での運転を行った。Figure 4 に立体回路のレイアウトを示す。基本的な構成は SF6 仕様のものと同じであるが、位相器、減衰器、方向性結合器、新開発のサーキュレータなどの構成機器をクライストロンギャラリーに配置し、メンテナンス性を向上させた[6]。

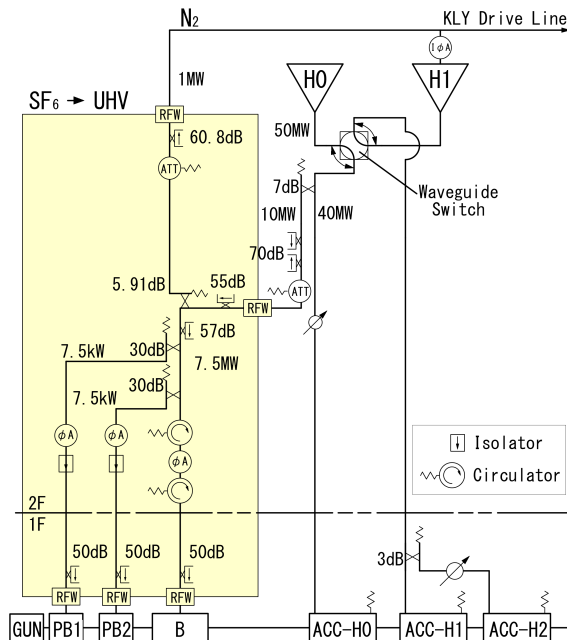


Figure 4: Layout of new vacuum waveguide system for electron injector section of SPring-8 linac.

主要なコンポーネントについては RF 電子銃試験装置にて事前に RF コンディショニングは済ましてあった。設置工事終了後 5 日間の全系の RF エージングを行い、順調に立ち上がった。しかし、湿度の上昇と共にプリバンチャー2(PB2)の単向管(パイトン O リング使用)の真空圧力上昇が観測された。これはパイトン O リングからの H₂O 透過と考えられ、単向管の周囲に乾燥窒素ガスを供給した所、圧力上昇を抑えることが出来た。Figure 5 に乾燥窒素封入前後の真空度の変化を示す。2015年3月にヘリコフレックスシールのものに交換し、現在まで安定動作で運転されている。

4. 電子銃電圧測定

電子銃から出た電子のエネルギーが一定ならば電子の TOF(Time of Flight)は一定であるため、プリバンチャーを用いたバンチャーシステムではプリバンチャー(PB)とバンチャー(B)の位相関係は不変である。逆に言えば、位相関係から電子のエネルギーを換算することが可能である。長期停止期間の保守により

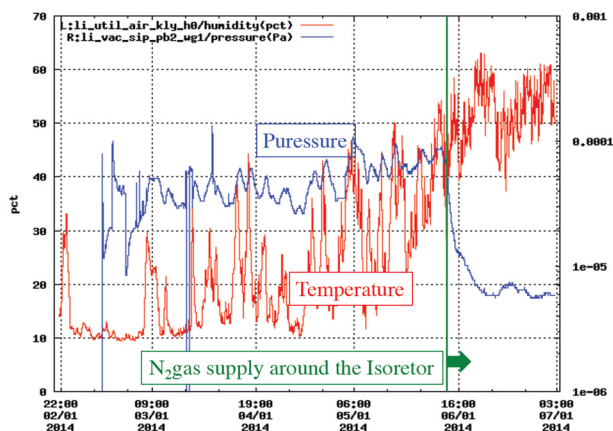


Figure 5: Pressure of the waveguide.

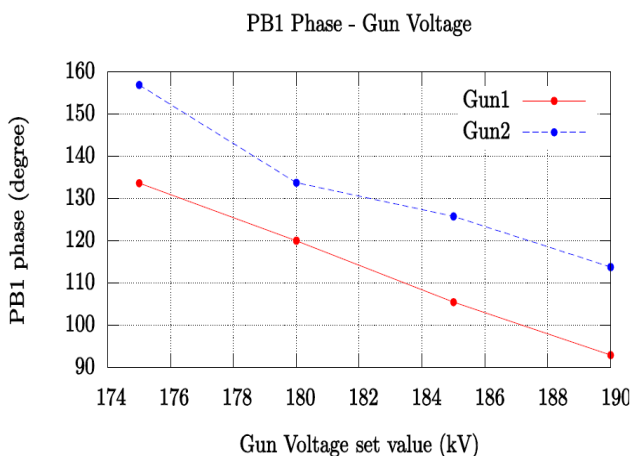


Figure 6: PB1 phase drift by gun HV display.



Figure 7: Old and new anode disks, Left: old (15years used), Right: new.

バンチャーシステムの導波管などで作業した際には、PBとBの位相関係を精密調整しているが、2014年11月に測定したところ、PB1で通常値と50度ほどずれていた。調査したところ電子銃電源の出力パルスとビームのタイミングがずれており、通常180kVであるところ10kV程下がった時点でビームが射出されていた。

このトラブル事例から、電子銃電圧に対して十分な感度を持つことが判ったため、二台の電子銃での比較を行った。その結果、第1電子銃(Gun1)と第2電子銃(Gun2)で同じ電圧表示の時に約20度の位相差が測定された。これは電子銃電圧で6kV程の違いとなる。その様子をFigure 6に示す。このTOF法での測定により相対値で1%程度の測定精度があり電子銃調整の際の参考にもなることが判った。

5. 電子銃の交換状況

SPring-8の線型加速器では電子銃用カソードアセンブリとしてY-845カソード(Eimac/CPI社製)を使用している。このカソードアセンブリは含浸されたBaが表面より蒸発し、グリッドに付着することからグリッドの仕事関数が徐々に下がり暗電流が増加してくる。摂氏約1000度で使用する我々の状況下では約1年で交換が必要となってくる。近年電子銃回りにおいて放電と思われる真空悪化が増加していた。そこで、2015年8月にアノード、ウェネルトの交換を行った。交換前後のアノードプレートの様子をFigure 7に示す。明らかに表面の劣化が見られる。表面分析の結果、付着物の主成分はBaであり、これが放電の種になっていると想像される。この交換後、放電回数は顕著に減っている。暗電流の増加が少ない、長寿命で使えるカソードアセンブリの開発を行っているが、これに関しては別発表を参考にされたい。

6. オシロスコープ波形伝送システムの更新

各クライストロンモジュレータの波形観測やCT波形の観測にオシロスコープが用いられているが、この波形を中央制御室で観測するためにCATVシステムが用いられていた。しかしプロファイルモニタ画像システムと同様に老朽化や交換部品の製造中止などの問題により更新の必要が生じていた。更新されるシステムの理想としては中央制御室からオシロスコープの機能をフルサポートして画像を高速転送できることであるが、Webブラウザ上で操作可能なe*scope™(テクトロニクスの商標)を試験したところオシロスコープの処理速度がそれに対応しているとは言えず、満足な更新速度が得られなかった。

そこで、MROというマイクロサーバーを用いてオシロスコープのVGA画像を高圧縮データに変換し、ネットワーク経由で中央制御室まで転送することとした。中央制御室では機器制御用端末上でMROをVNCで開き表示させることとした。台数は電子銃モジュレータ2台、クライストロンモジュレータ13台、コアモニタ波形観測用9台の計24台である。

この方式単体では今のところオシロスコープの操作ができないが、Webブラウザ上で前述のe*scope™を使用して(但し速度は非常に遅い)操作を行っている。将来的にはMRO経由で高速に操作出来るように検討中である。システム概念図をFigure 8に示す。

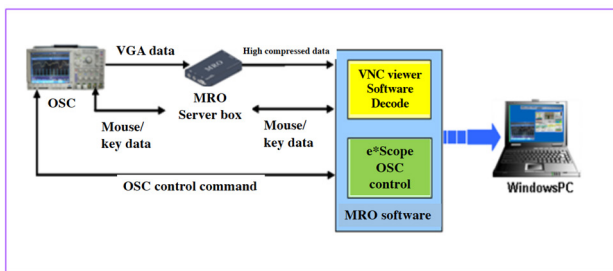


Figure 8: System layout of the osc image transportation.

7. 今後の予定

蓄積リングの運転の障害にならないこと、Top-up 運転の中断頻度を下げることが入射器としての線型加速器の第一の任務である。それに向けて各機器の高信頼化を進めていくことが最重要課題となる。各機器の老朽化も問題になりつつあり、冷却水関係、LLRF 機器などでもたまたまトラブルが発生している。これらのメンテナンスは欠かすことが出来ない。また、電子銃からの低暗電流化は放射線被曝の関係からも重要課題であり、電子銃カソードの国産化に関しても継続的に試作、試験を行い、安定したビーム供給を目指す。

モニタ系の老朽化に伴い、プロファイルモニタカメラシステム、オシロスコープモニタシステムの更新を開始したが、今後数年かけて継続していく予定である。

参考文献

- [1] H. Dewa *et al.*, “Fast Alternate Beam Injection from SPring-8 Linac”, Proc. of the 10th Annual Meeting of Particle Accel. Soc. of Japan, Nagoya, Aug. 2013, pp. 202-205; http://www.pasj.jp/web_publish/pasj10/proceedings/PDF/MOOS/MOOS05.pdf
- [2] H. Magome *et al.*, “Development of Low-Dark-Current Cathode Assembly for Gridded Thermionic Electron Gun of SPring-8 Linear Accelerator”, MOP040 in this meeting.
- [3] K. Yanagida *et al.*, “Recursive Calculation on Beam Position and Relative Moment Measurements”, MOP081 in this meeting.
- [4] T. Kobayashi *et al.*, “Improvement of Gun and Klystron Modulator at the SPring-8 1GeV Linac”, TUP028 in this meeting.
- [5] T. Taniuchi *et al.*, “Vacuum Waveguide System for SPring-8 Linac Injector Section”, THPRI044, Dresden IPAC2014; <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2014/papers/thpri044.pdf>
- [6] T. Takenaka *et al.*, “Update of the Image System Used for Beam Profile Monitoring in the SPring-8 Linac”, MOP078 in this meeting.