

# SPring-8線型加速器の機器改良

## THE COMPONENT IMPROVEMENT OF THE SPring-8 LINAC

鈴木伸介<sup>#</sup>, 小林利明, 谷内努, 出羽英紀, 馬込保, 水野明彦, 柳田謙一, 花木博文  
Shinsuke Suzuki<sup>#</sup>, Toshiaki Kobayashi, Tsutomu Taniuchi, Hideki Dewa, Tamotsu Magome, Akihiko Mizuno,  
Kenichi Yanagida and Hirofumi Hanaki  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)  
Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

### Abstract

In FY2013, the total operation time of SPring-8 injector linac were 4328.3 hours. The total downtime was 0.13% (The frequency of fault was 0.22 times per day) and as stable as the last few years. We modified the timing system of linac and NS to change the beam routes every 0.5 seconds. NS timing system was changed to synchronize with that of Sy and gun trigger signals were modified to get time-shared for Sy and NS. These modifications were completed successfully in 2013 and realized no wait injection of SR and NS. A pressurized SF6 waveguide system was replaced with a vacuum waveguide system including newly developed S-band vacuum circulators and isolators in the 2013 fiscal year.

### 1. はじめに

2004年5月からはSPring-8での蓄積リングのTop-up運転が、2004年9月には、SPring-8とNewSUBARUの両方同時のTop-up運転が始まり、現在も継続されている。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高速切替を2013年度から実施している<sup>1)</sup>が、タイミング系の改良を行った。

入射部の立体回路の改造を行った。入射部の立体回路は完成時からSF6封入型で位相器、減衰器、サーキュレータを運用していたが、機器の老朽化対策と共に温度変動などによる導波管変形に起因する位相変動などを低減させるために立体回路を全て真空化した。それに伴い、10MW真空型サーキュレータを世界で初めて採用した。

NewSUBARUへのビーム輸送トランスポート系及び電子ビーム試験用トランスポート系の軌道補正の自由度向上のために、四極電磁石、ステアリング電磁石の強化、配置変更を行い、上流での軌道変動に対応しての補正範囲を拡げた。

### 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。高速切替により各々のリングに1Hzでの入射が可能となっている。蓄積リングの運転状況については参考文献[1]を参考にされたい。

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%

2013年度における線型加速器総運転時間は、4328.3時間であった。蓄積リングのユーザータイムは3405.5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2013年度のサイクル毎のインターロックフォールト統計を示す。左のグラフは1日あたりのフォールト回数で、第6サイクルは1.09と大きな値になっているが、他のサイクルに於いて1日0.3回以下となっている。2012年度はTop-up運転の中断が非常に少なかった(0.15回/日、0.045%)が、2013年度はサイクロトロンの不調により回数が増えている。しかし、このトラブルでの中断時間への影響は少ない。右のグラフがTop-up運転の中断時間の比率である。年度後半では少々大きな中断時間となっている。これは第5サイクルでのタイミング系のトラブル、第7サイクルでの電磁石電源のトラブルによるものである。第5サイクルのタイミング系のトラブルでは復旧に3時間ほどかかり、大きなダウンタイムとなった。モジュールの老朽化等が原因であるが、全交換をすることは難しく、個々のトラブルに対応していくこととなるため、これからこの程度のダウンタイムが生じることを防ぐのは難しい。トリガーのモニターを増強し、トラブルに迅速に対処することでダウンタイムを減らし

<sup>#</sup> #:shin@spring8.or.jp

ていく。

Figure 2 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

となっている。

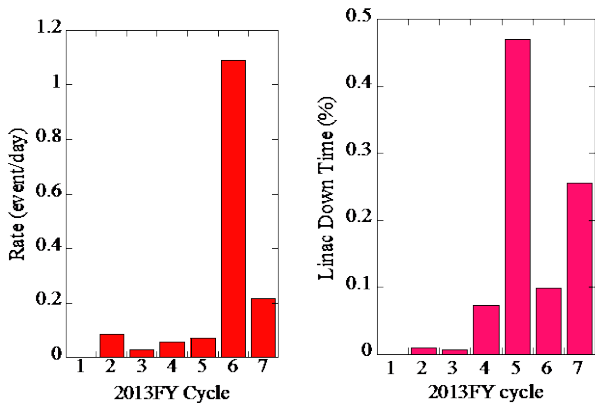


Figure 1: FY2013 Fault rate and down time rate.

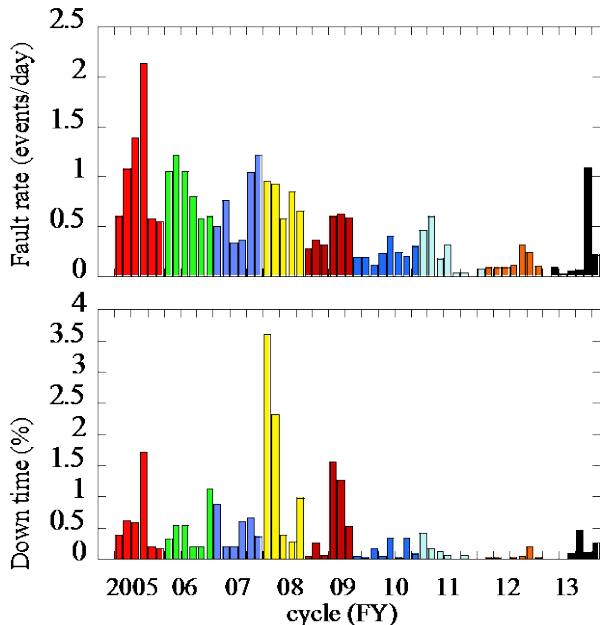


Figure 2: History of fault rate and down time rate.

## 2. ビームルート高速切り替え

SPring-8 ブースターシンクロトロン(Sy)の入射器である線型加速器は兵庫県立大学の蓄積リング NewSUBARU(NS) の入射にも利用されている。同時に

これら 2 台の加速器の入射器として運用するために、これまで中央制御室の加速器運転ソフトウェアにより、それぞれの加速器へのビーム入射を切り替えていた。ソフトウェアによる切り替えのため、ビームルートを高速に切り替えることはできず、その変更には最低 10 秒程度の時間がかかっていた。

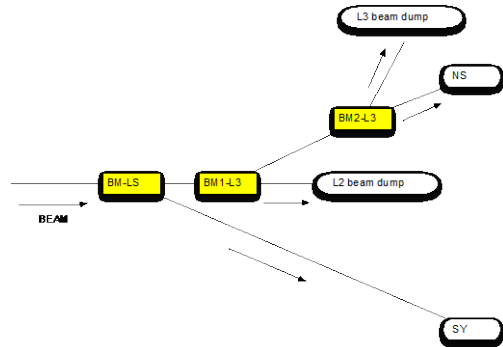


Figure 3: Beam routes from SPring-8 linac.

一方で、近年 SPring-8 蓄積リングでは低エミッタンスオプティクスを導入、またシングルバンチの高電流化などの高性能化を進めてきた。それに伴い蓄積ビームの寿命が短くなっており、この傾向は今後も続くと予想される。蓄積リングは Top-up 入射を行っているため、寿命が短くなると 1 パルスあたりの入射電子が同じであれば、Sy の入射頻度が多くなる。そうすると、Sy だけではなく NS にも入射する必要があるためビームルートをより頻繁に変更しなくてはいけなくなる。これまでのソフトウェアを用いたビームルートの切り替えではこのような状況に対してもはや対応できなくなりつつあった。このような背景のもと、ソフトウェアでなくハードウェアを用いて高速にビームルートを変更できるように加速器の改造を行った[2]。ビームルートの概念図を Figure 3 に示す。高速のビームルート切替は平成 25 年 6 月の加速器の運転から利用運転に適用された。その結果、Sy と NS に 0.5 秒間隔で、それぞれ最大 1 Hz でビームを振り分け入射できるようになった。

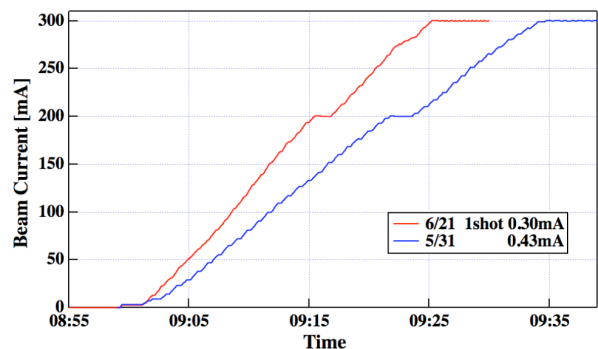


Figure 4: Injection history for NS.

Figure 4 に NewSUBARU への入射の様子を示す。5/31 は高速振り分け前で約 35 分かかっており、6/21

が高速振り分け後で約 25 分に短縮されている。1 shot あたりの電荷量が 3 割ほど異なるため、実際には更に短縮されている。

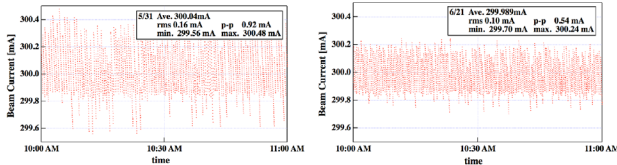


Figure 5: Stored current of NS.

Figure 5 に Top-up 中の NewSUBARU の蓄積電流の変化を示す。5/31 に比べ 6/21 の電流安定度は 6 割ほどに向上しているのが分かる。

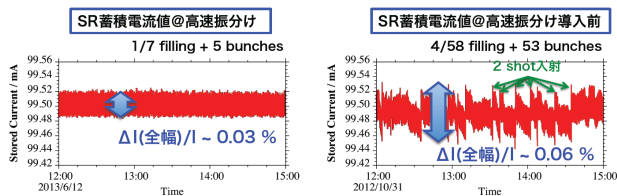


Figure 6: Stored current of SR.

Figure 6 に Top-up 中の SPring-8 蓄積リングの蓄積電流の変化を示す。高速振り分け前に比べ、入射間隔を小さくとることができるようになったため、電流の変動幅が約半分になりばらつきも減っている様子が分かる。

### 3. 入射部立体回路の真空化

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 7 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、以下の点について改良を施した。

- 位相器、減衰器、方向性結合器、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。
- サーキュレータを一部アイソレータに置き換えた。
- 比較的出力に余裕のある方向性結合器の結合度を一部減らした。これについては挿入損失の見積間違いからか、パワーにほとんど余裕が無くなってしまった。

今回の改造に伴うパワーでの使用可能な真空仕様のサーキュレータ、アイソレータは存在しなかったが、日本高周波(株)において新規共同開発を行い、採用することとなった[3]。各コンポーネントについては SPring-8 キャンパス内のマシン実験棟にある RF 電子銃試験装置のクライストロンを RF 源としてハイパワー試験を行い、健全性の確認を行った[4]。

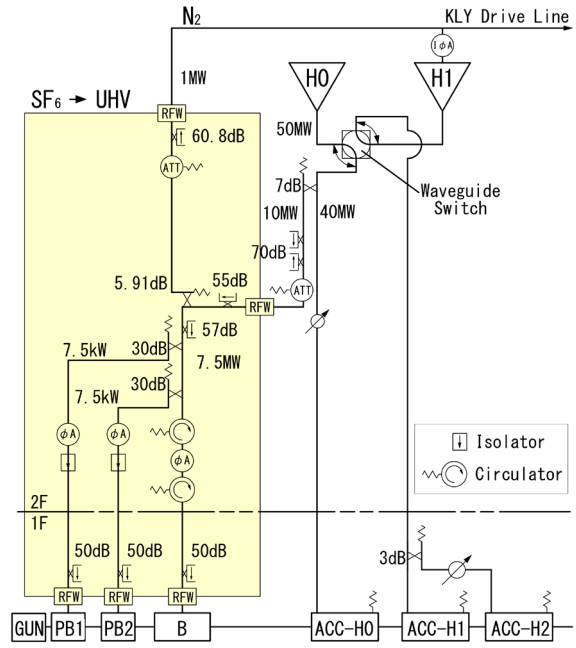


Figure 7: Layout of new vacuum waveguide system for electron injector section of SPring-8 linac.

主要なコンポーネントについてはマシン実験棟で事前に RF による焼き出しをしておいた。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。現在まで、アイソレータ周辺での真空のスローリークの問題が発生しているが、順調に運転されている。

### 4. 同期データ収集系の拡張

線型加速器の非破壊型ビームモニター(BPM)ビームは同期したデータ収集系として整備されてきた[5]。ビームの調整時には非常に有用であるが、従来の非同期式データベースと直接ブラウザで比較できないことより、トラブル時の原因究明や変動の相関関係などをとる際に少々不便を感じてきた。そこで同期収集系で収集するデータの点数を増やした。

2013 年度には kly モジュレータ PFN 電圧、LSBT 系電磁石電流、L4BT 系電磁石電流、入射部系電磁石電流等の拡張を行った。2014 年度は残りの電磁石電流についての拡張を行う予定である。

### 5. 電子銃カソードの実機試験

SPring-8 の線型加速器では電子銃用カソードとして Y-845 カソード (Eimac/CPI 社製) が品質のばらつきが大きいこと等により、ビーム電流の増強を目的として新型カソードアセンブリの開発を新日本無線(株)と共に行った。

コネクター外形は現行の Y845 とコンパクトとし、Y845 ではメッシュ構造であったグリッドを平板

へのエッチング加工によるパンチ穴構造とした。テストベンチにおいて十分なエミッションが得られたため、夏期点検調整期間明けの2013年度第4サイクルから第1電子銃のカソードとして使用した。しかし、テストベンチでは測定できなかった暗電流がY845の10~100倍発生し、NewSUBARUへの入射に問題が出たため、使用を停止した。

その後、テストベンチでの再現実験で暗電流が多いことが確認できたため、グリッドの表面処理を変えた試作機の試験を準備中である。

## 6. 今後の予定

SPring-8 蓄積リング及び NewSUBARU 蓄積リングに Top-up 運転によるビーム供給はほぼ順調に続けられている。Sy-NS のビームルート高速振り分けでは、現行システムの構成上 1 日 1 回程度のトリガーロスがあるが、改修作業を行い蓄積リングへの入射ミスの低減を図る予定である。

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。

入射部立体回路の真空化はほぼ終了したが、一部コンポーネントの改良を加えていく予定である。

## 参考文献

- [1] 高雄勝, for 加速器部門, “SPring-8加速器運転の現状”, 本学会論文集.
- [2] 出羽英紀, その他, “SPring-8 線型加速器における高速振り分け入射”, 2013年本加速器学会論文集, p202.
- [3] 三浦厚, その他, “真空大電力サーキュレーターの開発”, 本学会論文集.
- [4] T. Taniuchi, et.al “Vacuum Waveguide System for SPring-8 Linac Injector Section”, THPRI044, Doresden IPAC2014.
- [5] 増田剛正, その他, “SPring-8 線型加速器ビーム位置モニター用同期データ収集システムの更新”, 2013 年本加速器学会論文集, p1118.