

THE COMPONENT IMPROVEMENT OF THE SPring-8 LINAC

Shinsuke Suzuki, Hideki Dewa, Toshiaki Kobayashi, Tamotsu Magome,
Akihiko Mizuno, Tsutomu Taniuchi, Kenichi Yanagida and Hirofumi Hanaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)
Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

Abstract

In FY2011, the total operation time of SPring-8 injector linac were 4919.5 hours. The total downtime was 0.11% (The frequency of fault was 0.23 times per day) and as stable as the last few years. In order to reduce interrupt of the top-up operation, we installed the system which automatically exchanges for a reserve klystron modulator when a modulator faults. Moreover, the steering magnets of a beam transport line from the linac to the synchrotron and to NewSUBARU were reinforced in order to give a margin to beam feed back system.

SPring-8線型加速器の機器改良

1. はじめに

SPring-8線型加速器の運転開始 (H8.8.8) より16年が経過しようとしている。昨年度(2011年度)は以前にも増して安定した運転を行うことが出来た。

2004年5月からは蓄積リングの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。

NewSUBARUでは1GeVでのTop-up運転のほか1.5GeVへの加速運転も行っている。1.5GeV運転は必要に応じて1日1、2回の入射を行っている^[1]。

このように頻繁に入射を行うTop-up運転中は、機器のフォールトやビーム調整によるビーム入射の中断を最小限にせねばならず、その入射器である線型加速器には高度の安定度と信頼性が求められる。SPring-8線型加速器では、1998年よりビーム安定化のための改良およびフィードバック制御導入を進めてきており、2004年度末までにほぼその作業を終えた。また、信頼性向上についても、変調器をはじめ、各機器の改良を続けており、スタンバイ変調器、ブラスター切り替え装置等に加え、電子銃の二重化を行い、かなりのトラブルに早急な対応が出来るようになった。

2010年夏にインターロックの改修が行われ、線型加速器とシンクロトロンが独立に入室できるようになった。その際に必要箇所を局所遮蔽を行った。2011年から、フォールトした変調器とスタンバイ変調器の自動切り替えを行い、Top-up運転の停止時間の更なる減少を目指している。二重化された電子銃も切り換えの偏向電磁石のステータスを自動読み込みし、インターロックを切り替えるPLCを設置し高速切り換えが可能にしている。

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表1に示す。両蓄積リング同時トップアップ運転の際、入射経路切換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。

表1：線型加速器のビームパラメータ (ECS動作)

	Synchrotron		Top-up
Pulse Width	1 ns	40 ns	1 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%

2011年度における線型加速器総運転時間は、4919.5時間であった。蓄積リングのユーザータムは4058.5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。図1に2011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、全てのサイクルに於いて1日1回以下となっている。2011年度においてはTop-up運転の中断は2010年度よりわずかに減少している。右のグラフがTop-up運転の中断時間の比率である。年度後半では非常にフォールトが少なく、特に第7サイクルにおいては一度もフォールトしなかった。フォールトの原因はトリガーが出なくなるなどローパワー系のタイミング系モジュールによるもの、真空悪化などがあつた。タイミング系モジュールのトラブルは数日に1回起こる事象で、その原因モジュールの調査に10回のフォールトが必要だったため比較的大きなダウンタイムとなった。モジュールの老朽化について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て

いく。

図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%, 0.836回
 2007年 0.458%, 0.664回、2008年 1.447%, 0.774回
 2009年 0.609%, 0.472回、2010年 0.124%, 0.245回
 2011年 0.109%, 0.231回
 となっている。

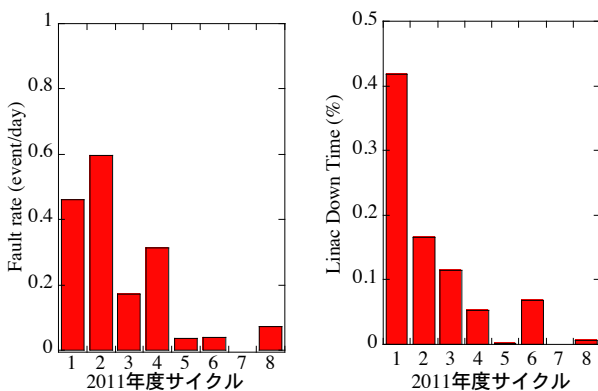


図1：2011年度フォールトのサイクル別頻度

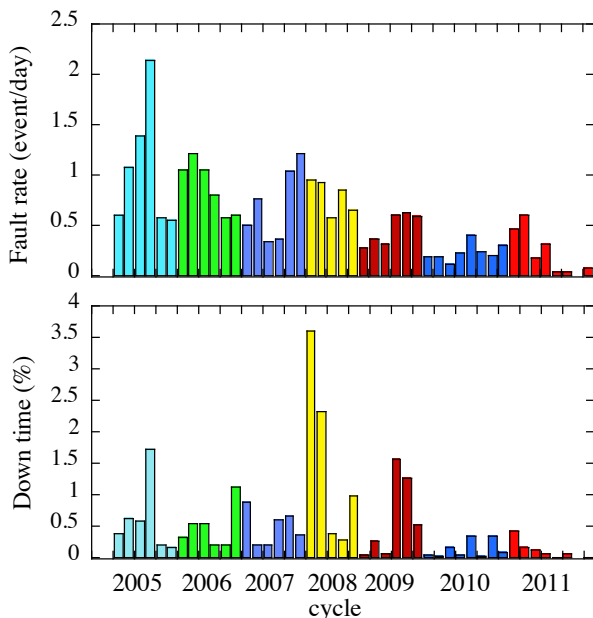


図2：2005-2011年度フォールトの履歴

3. クライストロン変調器自動切替

クライストロン変調器は管内真空、導波管真空、ノイズなどで3日に1回ほどのフォールトを発生する。それをリセットし、再立ち上げるまでにビームは停止され、Top-up運転は中断する。その中断時間を短縮するためにプログラムによる自動切り替えを導入した。切替はクライストロ

ンのトリガータイミングを遅延させるモジュールにより行っており、制御は図3に示されるGUIによって行われ、事前にどのクライストロン変調器がフォールトしたときにどのクライストロン変調器と切り替えるかを指定しておく。切替時間は約1秒である。

初段のクライストロン変調器(H0)とECSにパワーを供給しているクライストロン変調器(M18)については役割を代替できる機器がないため、フォールトの際はビームが停止せざるを得ないが、2台目以降の11台のクライストロン変調器はフォールト時にスタンバイ号機に切り替えられ、Top-up運転を中断しない。切り替えた際のシンクロトロン電流を図4に示す。切り替える前の電流値は赤丸のH3及び青丸のM10で示され、これらは同じ値である。加速セクションが変わると途中のQ電磁石によりフォーカスが変化する。図4に示すようにM12,M14,M16のクライストロン変調器をH3と切り替えると電流の低下が大きい、この3台のクライストロン変調器についてはM10と切り替えることにより電流の低減を20%程度の減少で押さえることができる。

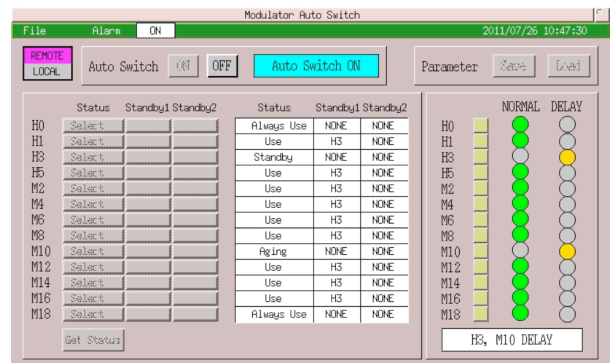


図3 自動切替用 GUI

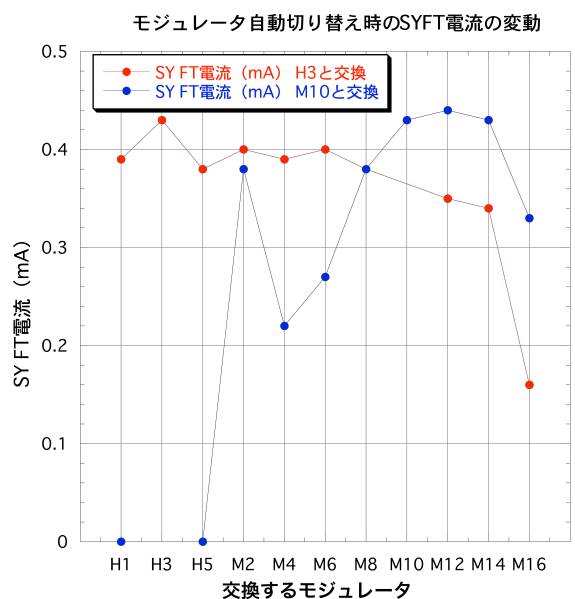


図4 モジュレータ切替時のシンクロトロン電流の変化

4. BT系ステアリング電磁石等の配置変更

NewSUBARUやシンクロトロンへのビーム輸送系に漸次のBPMの設置を行い、軌道を確認している。それらのBPMを用いて出射軌道の自動補正を行っている。近年、調整時間をあまり長くとることができないことと、省エネを目指してQ電磁石の励磁量を低く抑えているため、軌道の変動量が大きくなる傾向にある。そのためしばしば軌道補正用のステアリング電磁石が飽和してしまう。

それを解消するために、ビーム輸送系のステアリング電磁石を空芯の電磁石から鉄芯付きに代え、増強を行うと共に、二組のステアリング電磁石の間隔を広げている。2011年夏にNewSUBARU及びL3ダンプ系へのビーム輸送系、2012年夏にシンクロトロンへのビーム輸送系の改修を行った。シンクロトロンへのビーム輸送系においては新型コアモニター及び6電極ビーム位置モニター^[3]も設置し、ビーム形状の観測なども行う予定である。図5に取り替えた鉄芯付きステアリング電磁石の様子を示す。

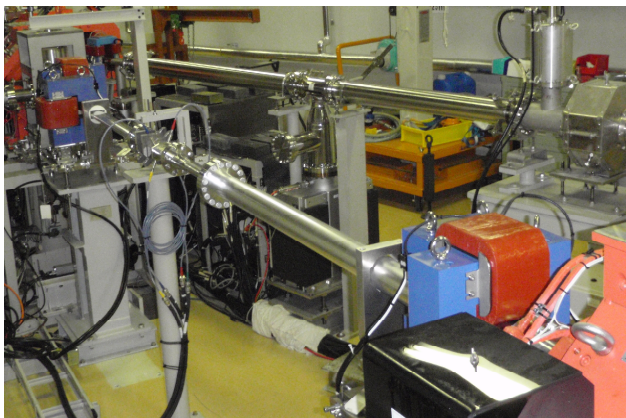


図5 交換したステアリング電磁石
手前と奥の2組の青の鉄芯の磁石が交換したもの。上部に見えるダクトはシンクロトロン

5. 省エネルギー対策、低エネルギー入射

東日本大震災以降の節電要求により、線形加速器の運転を従来の10ppsから5ppsへと変更している。また、13台のクライストロン変調器のうち2台を予備機として常時パワーを入れた状態でスタンバイとしていたが、節電要求期間中はスタンバイを1台とし、少しでも節電すべく実施している。今後の更なる対策として、モジュレータの運転を常時5ppsからプレトリガー方式の変則4pps運転を準備中である。繰り返しからすると20%の節約にしかならないように思われるが、プレトリガーとメイントリガーの間隔を16.6msに設定できるため、充電電圧のドロップが少なくなるので設定を大きく下げることができる。これは省エネルギーと共にクライストロンやモジュレータのコンポーネントの寿命を延ばす上では有効であると考えられる。変則4ppsである理由は第6節にて説明する。

更なる省エネルギー運転対策として、シンクロトロンへの低エネルギー入射の試験運転を行った。通常1GeV入射の所600MeVでの入射を行い、問題なく入射できることを確認した。しかしながら、NewSUBARUが1GeVでTop-up運転を行っていることからすぐに低エネルギー入射で運転することは想定していない。

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を続けているが、近年、大電流バンチによる蓄積リングのビーム寿命の短い運転が増えてきている。現在の20秒程度を切り替えサイクルとするビームの振り分けではビーム供給に限界が見え始めている。そのため、ビームを1秒で振り分ける事ができるシステムを整備中である。

第5節で述べたクライストロン変調器の駆動を変則4ppsとしているのは今後予定されているNS-Sy高速振り替えて1秒の間にNewSUBARUとシンクロトロンに1発ずつ0.5秒の間隔を開けて入射できるようなシステムを整備中であることによる。これは各々ビーム入射の前に1発のプレトリガーにてクライストロン変調器を動作させ、PFNへの充電が済んだらすぐにメイントリガーで充電電圧がドロップしないうちにビームを出すようにするためである。

その他、入射部立体回路の真空化についても今後行う予定である。

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] 小林利明, その他, “SPring-8 1GeV 線型加速器モジュレータの現状”, 本学会論文集.
- [3] 柳田謙一, その他, “SPring-8 線型加速器六電極BPMシステムの開発”, 本学会論文集