

## IMPROVEMENT OF SPRING-8 LINAC TOWARDS TOP-UP OPERATION

Shinsuke Suzuki<sup>1</sup>, Takao Asaka, Toshiaki Kobayashi, Tsutomu Taniuchi, Hideki Dewa, Hiromitsu Tomizawa, Akihiko Mizuno, Kenichi Yanagida, Hirofumi Hanaki  
JASRI/SPring-8  
1-1-1 Kouto, Mikazuki, Sayo, Hyogo, 679-5198

### Abstract

The top-up operation of the SPring-8 storage ring has been maintained since May 2004. In order to realize alternative top-up injections into a booster synchrotron and the NewSUBARU: A fast response bending magnet was replaced with a DC bending magnet in a beam transport line to the booster synchrotron. RF phase variations in a long drive line has been finally stabilized by the thermal insulation of the drive line and upgrade of the room temperature control system. Beam feedback controls compensate for residual long-term variations of beam trajectory and energy.

### SPring-8 Top-up運転に向けた線型加速器の対応

#### 1. はじめに

SPring-8の蓄積リングではいままでに1日1~2回の入射で運転し、利用者に放射光を供給してきた。しかし近年の大バンチ電流の要請に伴い、寿命の短いfilling patternで運転することが増えてきた。

また、放射光利用者はビーム電流の減少に伴う光学系の熱負荷の変動によって生じる放射光ビームの変動と、入射時のビーム蓄積電流の大きな変動による実験の均一性などに不便を感じていた。そのため、SPring-8では逐次入射を行い、蓄積ビーム電流値を一定に保つトップアップモードへの移行の準備を行ってきた。蓄積リングでは理想的なトップアップ運転を目指して入射時のビーム振動の防止、入射効率の向上など様々な検討が行われ2004年5月よりトップアップモードでの運転を開始した。その結果、100mAの蓄積電流に対して、0.1%の電流安定度で運転を行っている<sup>[1]</sup>。

また、兵庫県立大学のNewSUBARU蓄積リングへは2003年よりトップアップ運転を行っているが、2004年9月からはビームの振り分けを行い二つのリングに向けてトップアップ運転を行うようになった為、タイミングシステムや同期回路の切り替えなどの対応を行う事が必要になった。

#### 2. 対応の実際

二つのリングへのトップアップ運転は図1のように、SPring-8蓄積リングへ向けては24時間対応、NewSUBARUに向けては昼間のユーザータイム対応で行われている。また、夜間のNewSUBARUへはマシンスタディなどの要求に応じて随時入射を行っている。トップアップ運転に向けての線型加速器の改善として以下のように分類できる。

- ・ビーム安定度の向上
- ・ダウンタイムの軽減
- ・高速ビーム振り分け

これらの内容のうち一部は過去に報告<sup>[2]</sup>されている。一部重複するが、このおのおのについて述べる。

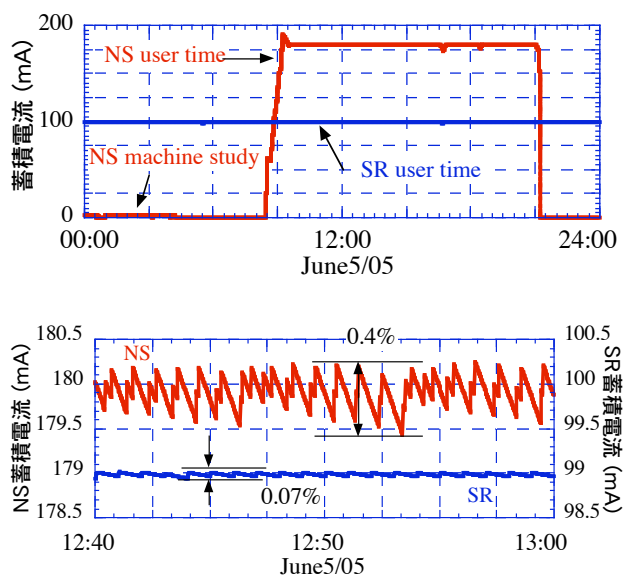


図1 : Top-up運転時のSR蓄積電流及びNewSUBARUの蓄積電流 上図は1日、下図は20分の電流値の変化である。

#### 2.1 ビーム安定度の向上

##### 2.1.1. 励振系ドライブラインの安定化

長期のビームエネルギー安定化には各クライストロンドライブパワーを分配する励振系の安定化が重要である。ドライブラインの設置してあるクライストロンギャラリーの温度が $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 程度変動するため、励振系の安定化には苦勞をしてきた。導波管の温度変動の減らすために、断熱材で覆い、 $28^{\circ}\text{C} \pm$

<sup>1</sup> E-mail: shin@spring8.or.jp

0.5°Cの冷却水を循環させた。この結果、導波管の温度変動を室温の1/3に減らすことができた。これによりある程度の室温の変動によるエネルギーの変動は入射に問題がないくらいまで減少した。しかし、冬季には気温の低減に伴い、ある一定の温度(5°C)以下になるとクライストロンギャラリーの温度が急激に下がり、断熱材で覆ったドライブラインにも影響が出た。当初は機器保護や、省エネのためにクライストロン変調器の運転を60ppsから10ppsに減らしたことによる暖房能力の不足によるものと考えていた。調査を進めると空調のファンコイルの凍結防止回路が過剰に反応していたためとわかり、空調の温度センサー位置を変更する事により過剰冷却を防止した。これらの対策による温度変動の抑制の効果を図2に示す。

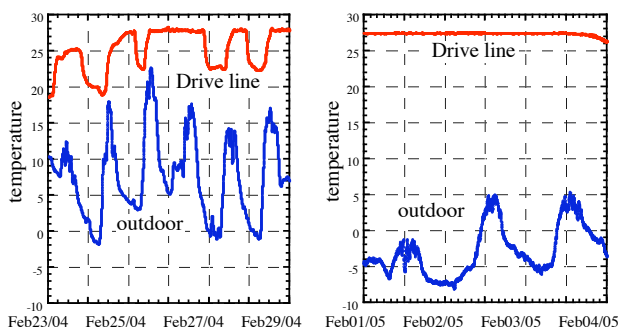


図2： 外気温と励振系導波管の温度変動  
左図が各種対策前、右図が対策後

### 2.1.2. モニタシステムの増強

線型加速器では、蓄積リングへビーム入射中でもビーム診断可能な非破壊型ビームモニターを配備している。ビーム軌道を常時監視するために41台のストリップライン型ビーム位置モニターが、線型加速器本体と各々のビーム輸送系に配備されている。全てのビーム位置モニターからの電圧信号は信号処理回路と光伝送ボードを介して、VME上の共有メモリに蓄えられた後、データベース上に保存される。

エネルギー圧縮システムによるビームエネルギー補正前のビームエネルギーとエネルギー幅を常時監視するため、1GeV シケイン部に遷移放射光モニターを設置している。

これらのモニターをステアリングによるビーム軌道のフィードバックや長時間のエネルギーフィードバックに用いている<sup>1)</sup>。その結果、数週間に渡って、特別な調整を行うことなく運転を行う事ができるようになっている。

## 2.2. ダウンタイムの軽減

### 2.2.1 クライストロン変調器の診断

蓄積リングでは数週間にわたるトップアップ運転において、蓄積電流を0.1%の安定度で保持している。この運転を維持するために、線型加速器ではクライストロン電源の電流、電圧異常による緊急停止を減らす必要がある。この緊急停止の原因のほとんどが

クライストロン変調器電源高電圧部の過電流によるものである。これはサイクロトロンミスファイヤーに起因している。このミスファイヤーを軽減するためにノイズの低減を目指してサイクロトロンシャワーの改造を行った。またこのサイクロトロンの動作不良を事前に予兆するため、ヒーター電圧、ミスファイヤー頻度及びオシロスコープからの読み込みによる時間ジッターのデータ収集を定期的に行っている。これらの測定結果はデータベースに保存され、サイクロトロンの寿命、リザーバー電圧の調整時期などの判断に利用している。

また、メーターレーの誤動作によるフォールトも目立つため、メーターレーモジュールの改造も行った。

### 2.2.2 マスク回路の導入

クライストロン電源が故障したときの対策に、2つの加速セットが予備として準備されている。以前は、運転中の加速セットが故障した時には、予備機の立ち上げ運転を行い運転に投入してきた。トップアップ運転を行うようになり、ダウンタイムを減らす必要がある。そのため各クライストロン電源ヘトリガーを分配しているトリガーシステムにマスク回路を導入した。線型加速器は常時10ppsで運転されているが、二つのリングへの入射は1分に1回程度である。マスク回路はビームの出ているときだけ予備機のトリガーを停止させる。これによりビームの出ているとき以外は、加速管にRFパワーが入っているため、予備機投入時にダウンタイムが大幅に減る。この部分について、予備機への切り替えはまだ手動で行っているが、将来は変調器のダウンと共に、予備機へ切り替わるシステムを検討中である。

## 2.3 高速ビーム振り分け

### 2.3.1 高速応答型偏向電磁石の導入

LSBT偏向電磁石は線型加速器の下流にあるシンクロトロンへのビーム輸送用のスイッチ電磁石である。この電磁石を励磁すると電子ビームはシンクロトロンへ輸送され、非励磁にするとNewSUBARUへビームが輸送される。二つのリングのトップアップ運転のために、ブロックタイプの電磁石から、1秒以内の切り替えが可能な積層鋼板型偏向電磁石へ置き換えた。この偏向電磁石は残留磁場を少なくするために、鋼板材として厚さが0.5mmの50A400珪素鋼板を積層している。これにより、旧ブロック型偏向電磁石で30ガウス程度であった残留磁場を10ガウス程度に抑えることができた。また偏向電磁石の置き換えに伴い、従来使用していた直流電源も高速励磁可能な電源に置き換えられた。この磁石及び電源では、200msの立ち上がり時間で最大0.9Tまでの磁場に励磁が可能である。

偏向電磁石励磁の際に真空チェンバーに渦電流が発生する。この渦電流のビームへ及びぼす影響を調べるため、励磁タイミングに対するビームの偏向角の測定を行った。ビーム位置測定は電磁石下流のBPM

である。測定結果を図3に示す。電流が定格に達し、励磁が終了してから約150msの間、渦電流の影響が残っているのが解る。これは真空チェンバーを旧来の厚いアルミのチェンバーを用いているためであり、その影響を減らすには薄いSUSのチェンバーに作り替えればよいが、現在の入射パターンでは特に支障がないので、このまま使用している。

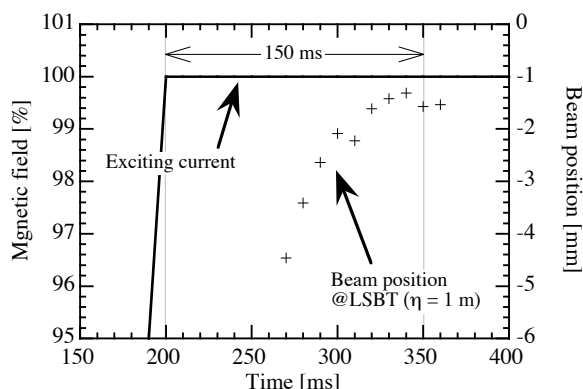


図3：偏向電磁石励磁時の渦電流によるビーム位置の時間的変化

現状の運転ではこの高速応答性能を用いた運転は行っていない。蓄積リング（ブースターシンクロトロン）への入射は1分または5分に1回程度、NewSUBARUへの入射は5～20秒に1回程度なので、ソフトウェアでコマンドを投げる事により磁石の励磁を行っている。これは磁石のパラメーター以外にもトリガー回路の切り替え、同期回路の切り替え、安全システムによる確認などを行っているため切り替えに数秒を要するためである。トランスポート系は通常NewSUBARU側に励磁されているが、1分または5分に一度蓄積リング側から入射コマンドが送られてくる。そのときにはNewSUBARUへの入射を一時中止し、蓄積リングへの入射を行う。入射が終了するとまたNewSUBARU側へのトランスポートに切り替える。NewSUBARU側から見た中断時間は20秒ほどになっている。図1の拡大図においてNewSUBARUでの電流変動幅が大きいのはそのためである。

### 2.3.2 運転パラメーターの共通化

今回実施された Top-up 運転と NewSUBARU 連続入射を両立する線型加速器の運転は、ビームパラメーターを共通化し、ビーム分配システムの高速度応答型偏向電磁石の励磁、およびビームトリガー信号を含むタイミングシステムの切り替えのみをおこなうこととした。このとき、線型加速器から出射されるビームパルス幅は 1ns でビーム電流は 0.6nC である。シンクロトロンでは 508.58MHz、NewSUBARU では 500MHz の RF 周波数を使用しており、線型加速器はこれらの RF 周波数に同期し

たビームトリガー信号、ならびに 2856MHz が用いられる。2856MHzは任意波形発生器と周波数通倍器から成る同期タイミングシステムにより生成される。

しかし、生成された周波数はそれぞれの蓄積リングのRF周波数の違いに応じてわずかに異なる。実際に16kHzのRF周波数の違いが生じたが、この周波数差によるビーム加速への影響は、エネルギー圧縮システム前方で0.3%、その後方で0.1%であった。これは両円型加速器のエネルギー許容値に対して小さく、十分無視できるので、安定なビーム入射が可能である。

実際の入射に於いては、NewSUBARUの入射電流は約0.2nCとシンクロトロンへの入射電流の約1/3であり、この電流の制御はNewSUBARUへのトランスポートの途中にある垂直スリットにより行っている。シンクロトロンへの入射電流が大きいのはシンクロトロンから、蓄積リングへのトランスポートラインに於いてエミッタンスを制限するコリメータにより電流を削る必要があるためである。

### 3. 今後の予定

現在、蓄積リングの蓄積電流は 0.1% 以内の精度で運転しているが、0.01% 以内の運用、さらには蓄積リングの各バケットに対する高精度なビーム電流制御を予定している。これを実現するためには、加速器全系を見通したトリガシステムの改造や線型加速器からの出射ビーム電流値を精密に調整を行う必要がある。そのためのモニターや、微小電流でも安定に運転するための開発が必要である。また、クライストロン変調器などの緊急停止時の際、現状ではビーム入射を停止し、再び変調器電源の立ち上げをおこなっているが、トリガー信号マスク回路を高速に切り替えることで、ビーム入射を中断することのない、連続的な運用を目指している。そのほか、長期のダウンタイムをなくすための対策として、電子銃の2重化、励振系クライストロンの2重化などの対策を検討中である。

### 参考文献

- [1] H. Tanaka, et al.: "Top-up operation at SPring-8 - towards maximizing the potential of a 3rd generation light" Proceedings of EPAC2004, Lucern, Swiss
- [2] T. Asaka, H. Dewa, H. Hanaki, T. Kobayashi, A. Mizuno, S. Suzuki, T. Taniuchi, H. Tomizawa, K. Yanagida: "IMPROVEMENT OF THE INJECTOR LINAC FOR TOP-UP OPERATION AT THE SPRING-8", proceedings of 29<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Japan
- [3] K. Yanagida, T. Asaka, H. Dewa, T. Fukui, H. Hanaki, T. Kobayashi, T. Masuda, A. Mizuno, S. Suzuki, R. Tanaka, T. Taniuchi, H. Tomizawa and A. Yamashita: "Beam position feedback and automatic phasing of SPring-8 linac": in this conference.