

IMPROVEMENT OF THE INJECTOR LINAC FOR TOP-UP OPERATION AT THE SPRING-8

T. Asaka, H. Dewa, T. Kobayashi, A. Mizuno, S. Suzuki, T. Taniuchi, H. Tomizawa, K. Yanagida and H. Hanaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute
SPRING-8 Mikazuki, Sayo, Hyogo 679-5198 Japan

Abstract

To realize the using synchrotron radiation light with constancy of 0.1% or less in the stored beam current, a top-up operation has been provided at the SPRING-8. Aiming at the top-up operation of two circular accelerators, the SPRING-8 and NewSUBARU, a switching magnet was installed in the beam transport line just down stream a 1-GeV linac. As the common operation parameters of 1-GeV linac were made for each circular accelerator, the switching time to provide beam injection was reduced. In the top-up operation, the injected beam is always observed by using various non-destructive beam monitors in the 1-GeV linac. This paper describes the status of the 1-GeV linac for the top-up operation, the characteristics of the switching magnet and the beam parameters of 1-GeV linac for two circular accelerators.

SPRING-8 線型加速器の Top-up 運転対応

1. はじめに

SPRING-8 蓄積リングでは、フィリングパターンとしてマルチバンチ運転のほかにセベラルバンチ運転もおこなわれている。セベラルバンチ運転では、ビーム入射完了後に 100mA の蓄積電流となるが、そのビーム寿命は短く半日で 50mA 近くまで落ちてしまい、放射光利用者は光学系の熱負荷の変動に対する調整に多くの注意を払うこととなる。また 1 日 2 回のビーム入射による実験の中断、平均積分電流の低減などから、とくにバンチ構造を利用した実験においては、入射終了後の限定した時間のみの利用となっている。これらの利用者に対して、より高精度な実験環境を提供するべく、少量の入射ビームを常時継ぎ足して蓄積電流を一定に保つ Top-up 運転の検討と準備がなされてきた^[1]。線型加速器では、数秒間隔で NewSUBARU へのビーム入射をおこなっている現状を踏まえて、両円型加速器へのビーム入射が迅速に切り替え可能となる高速応答型偏向電磁石を用いた新たなビーム分配システムを構築した。さらに両円型加速器に対して、線型加速器の運転パラメータの共通化を目指したビーム調整・試験がおこなわれ、シンクロトロン (SPRING-8 蓄積リング)、NewSUBARU への入射ビーム電流の最適化がなされた。

SPRING-8 の Top-up 入射による利用運転は今年の 5 月から開始され、その運転形態は線型加速器から 1 分毎のビーム出射をおこない、100mA の蓄積電流を 0.1% 以内で制御している。図 1 には Top-up 運転時の蓄積電流、および線型加速器からシンクロトロンへ入射した直後のビーム電流を示す。安定した蓄積電流を長期間にわたって保持するためには、線型加速器の高水準なビーム性能の維持は当然であるが、加えて各構成機器の信頼性向上が重要である。これまで線型加速器では高水準なビームエネルギー

の安定化を目指して RF システムの安定化、同期タイミングシステム、およびエネルギー圧縮・安定化システムを開発・導入し、両円型加速器への入射ビーム電流安定化に貢献している^[2,3]。Top-up 運転中、これらのシステムは常時動作しており、1 日を通した線型加速器からシンクロトロンへの入射電流安定性は 1.7% (rms) を達成している。

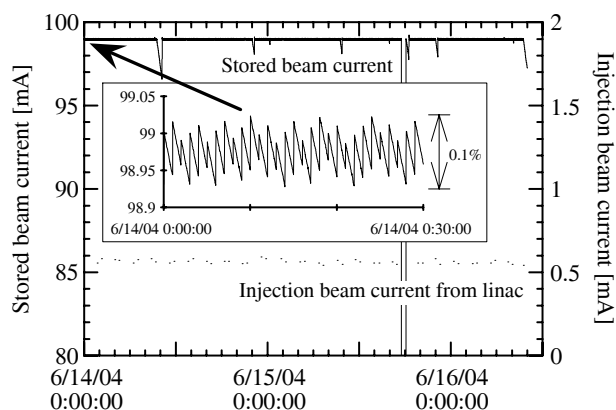


図 1 Top-up 運転時の蓄積電流、および線型加速器からビーム入射直後のシンクロトロン内ビーム電流

2. 高速応答型偏向電磁石

図 2 に示すように、高速応答型偏向電磁石は線型加速器最下流部、シンクロトロン方向へのビーム分配システムとして設置された。この偏向電磁石は残留磁場を少なくするために、ヨークとして厚さが 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は 30Gauss 程度あった残留磁場を 10Gauss 以下に抑えられた。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。この偏向電磁石は、200ms で立ち上がり、最大 0.9T の磁場強度を発生する。高速応答型偏向電磁石、および電源の主要パラメータを表 1 に示す。

パターン励磁中、この偏向電磁石内の真空チャンパーには渦電流が発生する。この渦電流は磁場強度に過渡的な影響を及ぼし、実際の励磁タイミングに遅延を与える。この遅延時間を調べるため、励磁タイミングに対するビーム偏向角度を測定した。ビーム位置測定は偏向電磁石後方に設置されているストリップライン型ビーム位置モニターを使用した。測定結果を図 3 に示す。励磁開始から 200ms の立ち上がり時間以降、さらに 150ms の時間を要して、規定のビーム偏向角度に到達している。

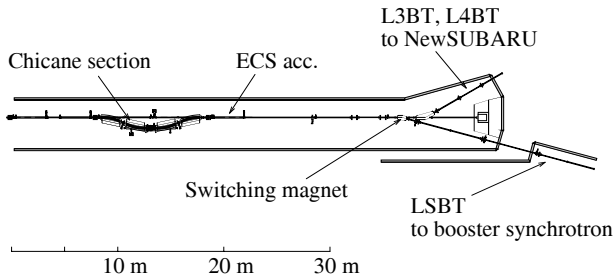


図 2 線型加速器最下流部、シンクロトロン側ビーム輸送系 (LSBT)、NewSUBARU 側ビーム輸送系 (L3BT, L4BT) の配置

表 1 高速応答型偏向電磁石、ならびに電源の主要パラメータ

型式	積層鋼板構造レクタングラー型
立ち上がり時間	200 ms
偏向角	15°
磁極長	950 mm
電磁石コイル	9 列 2 層× 4 コイル 72 turn
電源電圧・電流	100 V / 400 A
最大磁場	0.9 T

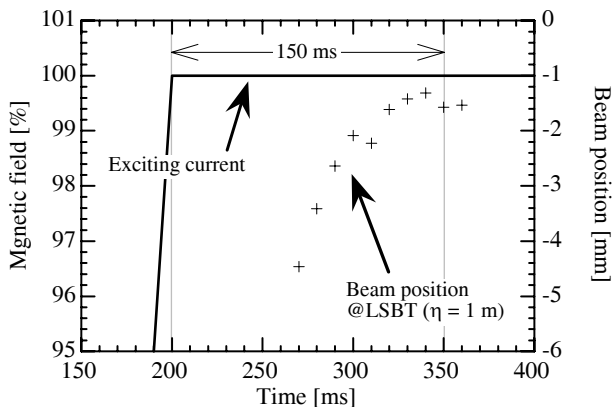


図 3 高速応答型偏向電磁石励磁の際、真空チャンパーに発生する渦電流の影響

3. クライストロン変調器電源の運用状況

数週間にわたる Top-up 運転において、蓄積電流を 0.1% 以内で保持するためには、線型加速器で発生するクライストロン変調器電源電圧・電流異常、および加速管真空悪化などの緊急停止を極力減らす必要がある。図 4 には 4 週間の Top-up 利用運転中に発生したビーム入射停止数を原因別に示す。ビーム入射停止原因のほとんどが線型加速器の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り、これはサイクロトンのプリファイヤーに起因している。このサイクロトンの不良動作を事前に予知するため、リザーバー電圧、プリファイヤー頻度、時間ジッターなどのデータを自動的にデータベースに記録している。これらの測定結果はサイクロトン寿命の判断、リザーバー電圧の調整時期などに利用している。

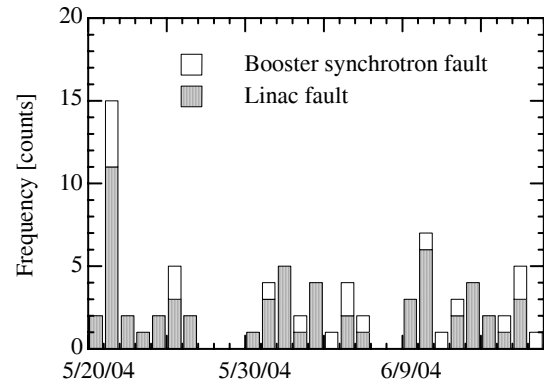


図 4 Top-up 運転期間 (4 週間) のビーム入射停止状況

クライストロン周辺装置の故障時には、従来、予備加速ユニットへの交換により線型加速器の運転を再開していた。このとき、再立ち上げの所要時間は予備加速ユニットの RF プロセッシングで決まり、1 時間程度を要していた。この立ち上げ時間短縮のためには、ビーム入射中においても予備加速ユニットに継続した RF 供給をおこなう必要がある。Top-up 入射中でも、ビーム加速に影響なく予備加速ユニットへ RF 供給をおこなうために、10Hz のクライストロン変調器電源駆動用トリガー信号に 1Hz のビームのタイミングで間引きをおこなうマスク回路を導入した。このマスク回路はクライストロン変調器電源へ分配しているトリガー信号生成部に設置され、任意の加速ユニットに対して、待機運転の設定が可能である。

Top-up 運転において、1 1 台のクライストロンで励振されている加速ユニットがビーム加速に寄与し、2 台のクライストロンが待機運転状態にある。待機クライストロンからは予備加速ユニットに常時 RF 供給がおこなわれている。これらは RF コンディショニングを完了した状態にあり、緊急時の加速ユニットの切り替えは迅速に対応できる。

4. 入射ビームパラメーターの最適化

SPring-8 蓄積リング (シンクロトロン) の Top-up 入射と 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、線型加速器は各々の RF 周波数に同期したビームトリガー信号、ならびに 2856MHz を使用している。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で生成されるが、それぞれの蓄積リングの RF 周波数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図 5 に示すように、エネルギー圧縮・安定化システム前方で 0.09%、その後方で 0.03% 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十分無視できるので、同一の運転パラメーターで安定したビーム入射が可能である。

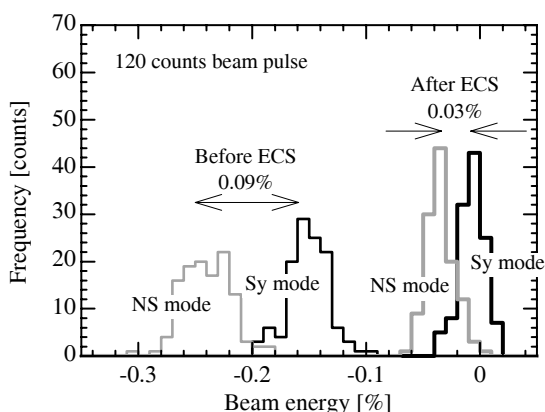


図 5 各円型加速器への入射パラメーター (Sy mode, NS mode) におけるエネルギー圧縮・安定化システム (ECS) 前後のビームエネルギー

長期間、安定したビーム性能を維持するためには入射ビームのビーム電流、軌道、エネルギー等の監視が必要不可欠である。Top-up 入射中、線型加速器では壁電流型ビーム電流モニターのほかビーム位置モニター、薄膜スクリーンモニター^[4]によるビーム測定をビーム非破壊でおこなっている。これらのビームモニターによる測定例として、エネルギー圧縮・安定化システム前後におけるビームエネルギーの時間変化を図 6 に示す。ここでは、クライストロン変調器電源の電圧変動によるビームエネルギーへの影響がエネルギー圧縮・安定化システムにより効果的に抑えられているのが分かる。

ビーム軌道を監視するためのストリップライン型ビーム位置モニターは、線型加速器本体、および各々のビーム輸送系に計 41 台配備されている。こ

のビーム位置モニターの利用は、通常のビーム入射中におけるビーム軌道確認だけでなく、ビーム調整時のビーム軌道の再現化にも用いられる。とくに線型加速器最終段、ならびにビーム入射点直前のビーム位置モニターを用いた軌道調整においては、補正プログラムの適用により自動的に 50 μ m の精度で再現され、運転開始時の線型加速器立ち上げ調整の時間短縮に貢献している^[5]。

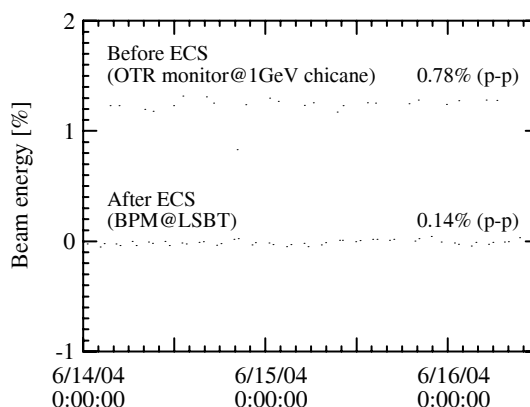


図 6 Top-up 入射時のビームエネルギー変動

5. 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、電子銃からの出射ビーム電流値を高速に調節可能とし、またこのビーム電流値変更に伴う到達エネルギー変化に対して、エネルギー圧縮・安定化システムの RF 位相補正を施す必要がある。

現状、クライストロン変調器電源の緊急停止時にはビーム入射が中断される。この対策として、クライストロン変調器電源用トリガー信号マスク回路の高速切り替えによるビーム加速ユニットの交換を可能とした加速器運転を検討している。

参考文献

- [1] H. Tanaka, et al., "Top-up operation at SPring-8 - towards maximizing the potential of a 3rd generation light source", to be presented at EPAC2004, 5 to 9 Jul., Lucerne, Switzerland.
- [2] T. Asaka, et al., Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res., Sect. A 488 (2002) 26-41.
- [3] T. Asaka, et al., Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res., Sect. A 516 (2004) 249-269.
- [4] T. Asaka, et al., in Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, 2002, p. 326.
- [5] K. Yanagida, et al., "Beam instrumentation using BPM system of the SPring-8 linac", to be presented at XXII Linear Accelerator Conference 2004, 16 to 20 Aug., Lübeck, Germany.