

STATUS OF PULSED SEXUPOLE INJECTION AT THE PF RING

Hiroyuki Takaki^{1,A)}, Kentaro Harada^{B)}, Tohru Honda^{B)}, Yukinori Kobayashi^{B)}, Tsukasa Miyajima^{B)},
Shinya Nagahashi^{B)}, Norio Nakamura^{B)}, Takashi Obina^{B)}, Kousei Onoue^{A)}, Takashi Shibuya^{A)}, Miho Shimada^{B)},
Ryota Takai^{B)}, Akira Ueda^{B)}

A) Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo,
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8581

B) Photon Factory, High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

For checking the long-term stability of the pulsed sextupole magnet (PSM) injection system, the top-up injection in the Photon Factory storage ring was operated with the PSM during two months from January to March 2011, which was interrupted by the 3.11 earthquake. While still remaining a small dipole oscillation of the stored beam during the PSM injection, the precision of the magnet core fabrication was identified to be the cause of this oscillation by beam measurements with a bumped orbit. In this operation, the injection efficiency of the PSM injection system was about half compared to that of the kicker bump injection. After the 3.11 earthquake, because the beam transport line parameters were changed, the injection efficiency dropped to a fifth of the kicker bump injection. We are going to re-align the transport line during this summer and we will check again the injection efficiency this fall.

PFリングにおけるパルス6極入射の現状

1. はじめに

放射光源で一般的に用いられているキッカーバンブを用いたビーム入射システムでは、バンブを形成する為の複数台のキッカー間の蹴り角や励起タイミング等にミスマッチがあるとバンブが閉じないため、蓄積ビームの重心振動がビーム入射時に発生する可能性がある。頻繁に少量のビーム入射を行いながら入射時にも放射光実験を行うトップアップ運転において、蓄積ビームの重心振動は放射光の光量の変動となって現れるため、放射光源における光の品質を確保するという意味で考慮すべき課題となっている。

これに対する解決策はいくつか考えられるが、その一つとしてパルス多極電磁石を用いた入射が提案され、PF-ARにおいてパルス4極電磁石を使った入射実験が行われた^[1]。パルス4極による入射実験は成功を収めたが、同時に、パルス4極電磁石を使った入射では入射時の蓄積ビームのビームプロファイルの4極振動が大きいことも確認された。この入射時のビームプロファイルの変動を抑える為に、パルス6極電磁石(PSM)を用いた入射システムを2008年春にPFリングに導入した^[2]。パルス6極電磁石を用いた入射システムは当初の目的を達成し、2010年には電源の更新も行い、現在も稼働中である。今回、この入射システムの運用状況と共に、幾つか残っている問題点等を列挙し、PFリングにおけるパルス6極入射の現状を報告する。

2. パルス6極入射を用いた長期間のユーザー運転実績

電流積み上げ時にのみ通常のキッカーバンブを用いて入射を行い、トップアップ運転時にはパルス6極入射に切り替えを行うことで、パルス6極入射を通常のユーザー運転に組み込む事を2010年10月から予定していた。しかしながら、パルス6極用電源のパルサー部のケーブルの絶縁不良が原因でパルスが出せなくなり、2010年の秋のパルス6極入射を用いたトップアップ運転は1週間程度で終了した。絶縁不良を起こしたケーブルに対して同じ端末処理で修理をした結果、1週間ほどで再度絶縁破壊したため、ケーブルの端末処理部分の構造から見直すことにし、電源修理後2011年1月から再びパルス6極を使ったトップアップ運転の長期運用を再開した。電源修理後のユーザー運転は問題なく行われ、2011年3月11日の地震によってPFリングが停止するまでの約2ヶ月間は、パルス6極入射のみを使ったトップアップ運転が継続され、パルス6極入射を用いた入射システムの長期安定性を実証することができた。

3. 蓄積ビームの重心振動

磁極中心付近を通過する蓄積ビームは殆ど入射時にキックを受けないというのがパルス6極入射の長所の一つであるが、実際の入射の際には蓄積ビームの振動が水平方向に約200 μ m、垂直方向に約50 μ m程

¹ E-mail: takaki@issp.u-tokyo.ac.jp

度残っていた^[2]。そこで、パルス6極を設置した部分にバンプ軌道を作り、それによって発生する蓄積ビームの振動の最大値を測定する。蓄積ビームのパラメータは変更していないので、バンプの高さが同じなら常に同じタイミングで振動が発生する。したがって、入射後最初の数ターンの内、一番振幅が大きくなるターンに注目してその振幅と振られた方向（リング外側を正の符号と定義）をバンプの高さを変えながらプロットする。5回の測定の平均値をとると図1のようになる。図中の赤線は2次曲線でデータをフィットしたもので、振幅がゼロとなるのは中心から約±2.5mm離れた点になることが解った。中心付近の磁場の変化は非常に緩やかである。またこのフィットの結果、磁場中心は理想軌道に対して水平方向に対して約20 μm で非常に精度よく設置されている事が示された。今回示された蓄積ビームのパルス6極内での位置とその蹴られる方向及びその大きさの傾向を考慮して過去に測定したパルス6極電磁石の磁場測定を改めて見てみると、図2に示すように2次曲線でフィットした赤線の結果と非常によく一致している。磁場測定時には、ゼロ磁場付近のパルス磁場を精度良く測定することは非常に難しく、この結果を元に磁極中心付近の磁場は問題なしとして見ていた。

このような磁場がどうやって発生するのかをPOISSONを使って調べると、上下に半割にした2つの磁極間の距離が設計値より互いに100 μm 短い場合、磁極中心において0.9 Gauss mの垂直方向の積分磁場が発生することが解った。磁場測定を行った際には、パルス6極電磁石の最大磁束密度は0.6T/m程度あるので、パルス磁場による飽和の影響を考慮できないホールプローブを用いた静磁場測定を特に行わなかったが、もし磁極の工作精度が原因であれば、今後はホールプローブを用いた静磁場測定による磁極中心の磁場をチェックする必要がある。また、パルス多極電磁石を用いた磁極中心の付近の非常に微小なパルス磁場を正確に測定することが重要となる。

この余分な蹴りをどう補正するかが今後の課題となる。現実的な解決方法として、この程度の積分磁場であれば、パルス6極によって蹴られた分を直下に配置したパルス偏向電磁石で補正してやるという方法がある。ただし、シングルバンチモードならパルス幅を周回周期より短くするだけの問題となるが、マルチバンチモードではパルスの形状まで一致させる必要が出てくる。また、パルス偏向電磁石を使う方法は、そもそも多数のパルス電磁石の不均一および励起のタイミング等のミスマッチが原因となることを嫌ってパルス6極入射を導入したことに矛盾する事にもなる。

4. 蓄積ビームのプロファイル振動

磁極中心に微小磁場が残る問題は、磁極の数が6極以上あるパルス多極入射システムにおいて常につきまとう問題である。これに比べてパルス4極電磁石を用いた入射システムでは、磁場中心を製作後に

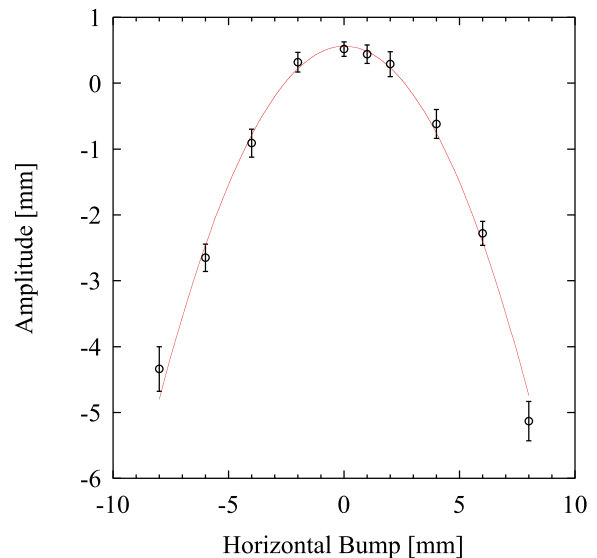


図1：パルス6極の位置での水平方向のバンプの高さと蓄積ビームの重心振動の振幅の最大値（片幅）。

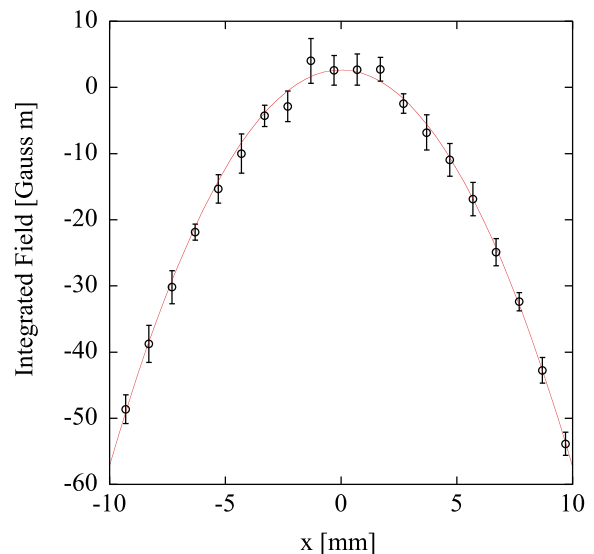


図2：サーチコイルを使用して測定したパルス6極のピーク磁場の水平方向の分布。

見つける事ができるという長所があるが、蓄積ビームに対する影響はパルス6極に比べて一般的に大きく、結果として入射時に蓄積ビームのプロファイルが4極振動を起こすという問題がある。図3に示すのはPFリングにおいてパルス6極が設置してある場所にパルス4極を代わりに設置し、全く同じパラメータを使って入射を行った場合に蓄積ビームのプロファイルがBL-27でどのように観測されるかを多粒子のトラッキングシミュレーションをSADを用いて行った結果である。入射は6ターン目におこなわれており、パルス4極を使った入射では大きな4極振動がPFリングの入射でも測定されうる事を示している。図4は高速ゲートカメラを用いてBL-27で測定したターン毎の蓄積ビームのプロファイルである^[3]。パ

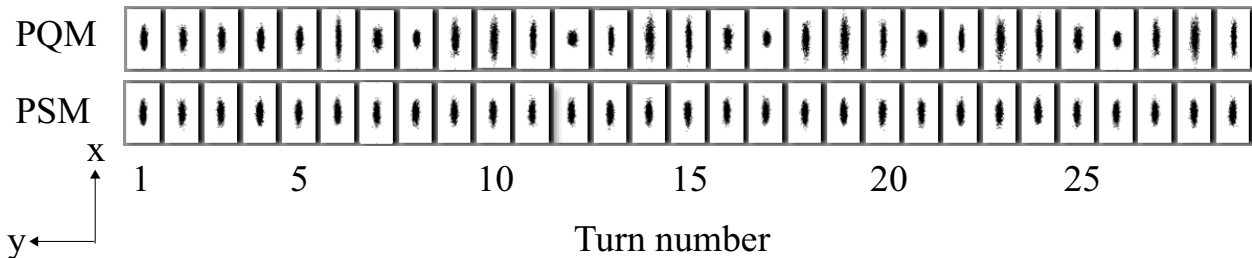


図3：PFリングのBL-27における入射の前後におけるターン毎の蓄積ビームのプロファイルのシミュレーション。入射が行われたのは6ターン目。パルス4極電磁石（PQM）を使って入射した場合（上図）とパルス6極電磁石（PSM）を使って入射した場合（下図）。

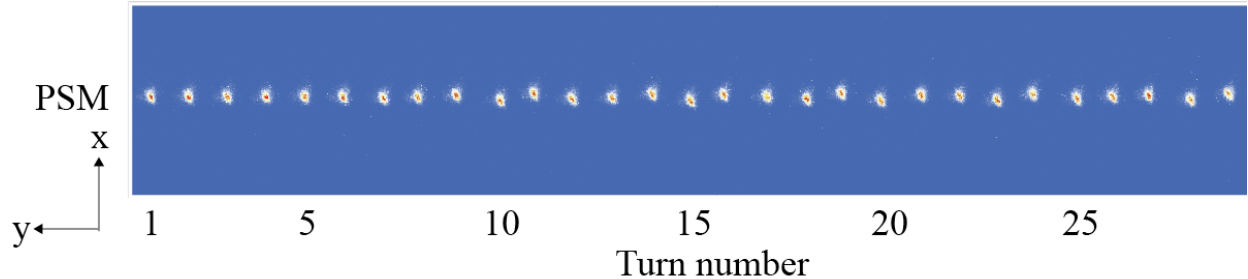


図4：高速ゲートカメラを使って測定したPFリングのBL-27における入射の前後におけるターン毎の蓄積ビームのプロファイル。入射が行われたのは6ターン目。

ルス6極のビームプロファイルの変動は小さく抑えられている事がよくわかる。

5. 入射ビームの捕獲効率

現在のPFリングの入射は、通常キッカー電磁石を使った入射とパルス6極を使った入射を短時間に切り替えて行えるようにしている。切り替えの際に入射調整に手間取らないように、ビーム輸送路のパラメータは両入射で変更はしない。そのため、パルス6極電磁石を使った入射システムに最適化されたパラメータを使っておらず、入射ビーム捕獲効率はキッカー入射に比べて現状では半分程度しかない。ビーム輸送路の上流からのパラメータを調整することでパルス6極入射に最適化された入射ビームを作ること、は今後の入射調整の課題である。入射ビームをモニタするシステムについては準備が整い、入射路のパラメータを最適化するスタディは継続中であるが、2011年3月11日の地震影響でビーム輸送路のパラメータが変化した為に、2011年夏にビーム輸送路のアライメントが完了した後で改めてスタディを再開する予定である。

6. 3.11東北地方太平洋沖地震の影響

パルス6極電磁石の真空ダクトには厚さ3mmのセラミックダクトを使用しており、電磁石のコアとのクリアランスはわずか0.5mmしかない設計であったが、幸いな事に地震によってセラミックダクトが割れる事もなかった。しかしながら、前述したようにビーム輸送路の電磁石の設置誤差が大きくなったた

め、入射ビームのパラメータが変わってしまい、現状ではキッカー入射の5分の1程度の入射効率のパラメータしか探し出せていない。しかもその最良のパラメータがキッカー入射のパラメータと違っているため、パルス6極とキッカー電磁石の切り替えは春以降通常運転では行われていない。これについても秋以降に再開する予定である。

7. まとめ

パルス6極電磁石を使ったトップアップ運転を2ヶ月間続ける事ができ、多少ながらもこの入射システムの長期安定性を示すことができた。入射時の蓄積ビームの蓄積ビームの振動についても原因を特定することができ、今後対応をすることが可能となった。今後の予定としては、地震によって大きく落ち込んだ入射効率について秋の立ち上げ以降にスタディを行い、ビーム輸送路を含めた最適化を行って効率を高めて行く予定である。

参考文献

- [1] K. Harada, Y. Kobayashi, T. Miyajima, and S. Nagahashi, Phys. Rev. ST Accel. Beams **10**, 123501 (2007), URL: <http://prst-ab.aps.org/pdf/PRSTAB/v10/i12/e123501>.
- [2] H. Takaki, N. Nakamura, Y. Kobayashi, K. Harada, T. Miyajima, A. Ueda, S. Nagahashi, M. Shimada, T. Obina, T. Honda, Phys. Rev. ST Accel. Beams **13**, 020705 (2010), URL: <http://prst-ab.aps.org/pdf/PRSTAB/v13/i2/e020705>.
- [3] R. Takai, T. Obina, A. Ueda, S. Nagahashi, K. Harada, T. Honda, N. Nakamura, Y. Kobayashi, H. Takaki, in Proceedings of the DIPAC2011, Hamburg, TUPD03.