

# KEK-PF リングにおけるビーム損失改善のための入射シミュレーション

## SIMULATION STUDY FOR IMPROVING THE INJECTION EFFICIENCY AT KEK-PF

平野広太<sup>#,A)</sup>, 松葉俊哉<sup>B)</sup>, 原田健太郎<sup>C)</sup>  
 Kota Hirano<sup>#,A)</sup>, Syunya Matsuba<sup>B)</sup>, Kentaro Harada<sup>C)</sup>  
<sup>A)</sup> Hiroshima University  
<sup>B)</sup> Hiroshima Synchrotron Radiation Center  
<sup>C)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

### Abstract

In recent years, the injection efficiency is down and becomes a problem in KEK-PF. Since the radiation level is rising during accumulation of current, we can't enter an experimental station, and a solution is desired for. This is thought to be caused by the change in the injection parameters due to the influence of the earthquake on March 11, 2011, but it isn't understood clearly. An injection beam is usually turned by the septum electromagnet to the suitable angle. At same time the, bumps are made against the central trajectory of the stored beam only moment of injection to suppress the initial amplitude of the betatron oscillation. Later the injection beam intersects by the radiation dumping. We study the cause of beam loss by simulation of KEK-PF using Accelerator simulation code SAD (Strategic Accelerator Design), and report the results.

### 1. はじめに

近年、KEK-PF の入射効率が以前と比べて低下しているため、電流の積み上げ中に実験ステーションに立ち入れない程度に放射線レベルが上昇し、解決が望まれている。これは 2011 年 3 月 11 日の地震の影響で、ビーム輸送路の電磁石や入射セプタム電磁石等の設置誤差が大きくなったため、入射パラメータが変わったことが原因だと考えられている。

ビームは入射器を使って蓄積リングに入射されるが、入射ビームと蓄積ビームの電荷とエネルギーが等しい場合、これらを同じ軌道に重ねることができない。そのため、Figure 1 のキッカー電磁石とセプタム電磁石を用いた入射方式が用いられる。セプタム電磁石はビームの入射点の出口に設置され、入射ビームを蓄積ビームの軌道と平行に曲げるため用いられる。

キッカー電磁石は蓄積ビームのバンプを形成する為に用いられる。入射位置と角度が決められた入射ビームはセプタム電磁石によって最適な角度に向けられ、同時に入射の瞬間だけ蓄積ビームの中心軌道に対してバンプ軌道を立てることでベータatron振動の初期振幅を抑え、後は放射減衰に任せてリングに捕獲される。我々は現在の入射パラメータを解明するため、SAD を用いた粒子トラッキングシミュレーションを行った。本稿では入射キッカー電磁石のパラメータについてのシミュレーションを報告する。

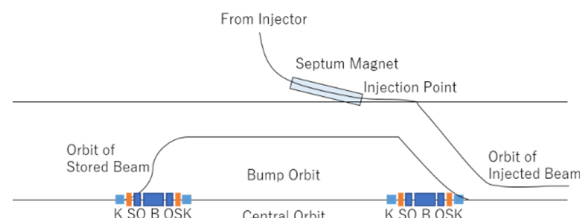


Figure 1: Scheme of beam injection.

### 2. シミュレーションの条件

シミュレーションでは PF リングのセプタム電磁石出口部分で粒子分布が生成されトラッキングをスタートする。そして十分な回数リングを周回させて残ったものが捕獲粒子数として数えられる。ここではリング中の最も狭い部分、水平方向では垂直ウィグラーのある 14 番直線部 (VW14)、垂直方向にはアンジュレータの入った 16 番直線部 (MPW16) にフィジカルアパーチャが設定してあり、それを越えた粒子は失われる。挿入光源 16 番は APPLE- II 型アンジュレータであり、垂直方向でアパーチャが小さい。挿入光源 14 番は垂直偏向の超伝導ウィグラーであり、水平方向でアパーチャが小さい。Table 1 にその大きさを示す。

Table 1: Aperture in the Storage Ring

Location	Aperture[mm]	
	horizontal	Vertical
VW14	21	15.5
MPW16		7.5

入射粒子のパラメータは[1]を参考に決定した。1000 個の粒子を Figure 2 のように生成し、入射位置と入射角を水平方向に中心から 27mm と 2mrad とした。

<sup>#</sup> m170458@hiroshima-u.ac.jp

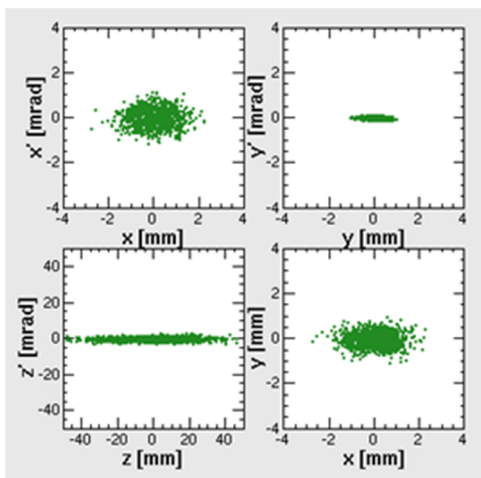


Figure 2: Initial distribution of injection beam.

キッカーのけり角は 2 種類を検討した。条件 1 は入射バンプが閉じた理想的な条件でのけり角である。入射キッカーは速やかに減衰するものとしているので、実際に入射ビームトラッキングに影響するのは K3,K4 だけである。Table 2 にこのけり角を示す。条件 2 は過去のスタディで得られた条件を再現するものである[2]。この条件では入射バンプの減衰が遅く、入射ビームの 2 ターン目までキッカーのけり角が残る。けり角のピーク時を遅延時間 0nsec とする。Table 3 にけり角を示す。

Table 2: Kicker Angle When Bump Closed

Time(nsec)	K1	K2	K3	K4
0	3.39	-1.42	2.95	3.69

Table 3: Measured Kicker Angle

Time(nsec)	K1	K2	K3	K4
0	1.88	-1.41	1.84	1.56
623	0.53	-0.58	0.48	0.79

### 3. シミュレーション結果

二つのキッカーの条件で粒子トラッキングを行い、捕獲効率を比較したものを Figure 3 に示す。

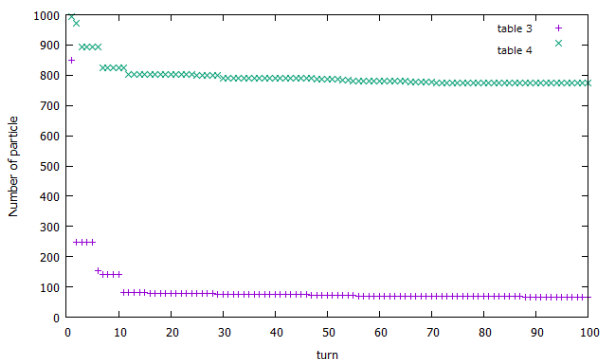


Figure 3: Number of stored particles.

条件 2 では、はじめの数ターンで多くの粒子が落ちて効率が 1 割程度である。条件 1 では効率が 8 割程度である。両者とも現実の効率から離れており、入射パラメータのどこかで現実とは異なっている。

そこで入射位置が変化したときの捕獲効率の変化を T 条件 1 のけり角を用いてシミュレーションした。水平方向の入射位置が 22mm~32mm、入射角が 0.75mrad~3mrad の範囲で動いたときの結果を Figure 4 に示す。同時に垂直方向の入射位置が-4.0mm~4.0mm、入射角が-1.0mrad~1.0mrad の範囲で動いたときの結果を Figure 5 に示す。入射位置、入射角が大きすぎれば、20%程度まで入射効率は下がり、現実的な範囲にあるが、キッカー電磁石が測定された条件とは大きく異なる。

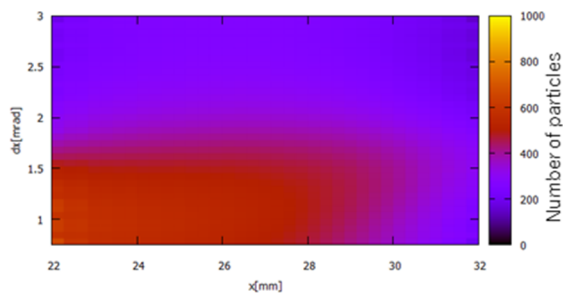


Figure 4: Number of stored particles on various initial horizontal position and angle.

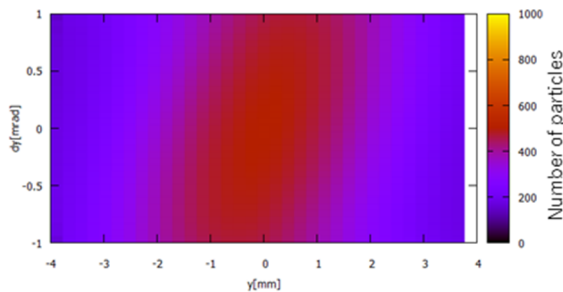


Figure 5: Number of stored particles on various initial vertical position and angle.

次に Table 3 のけり角を用いて、入射位置が 22mm~32mm、入射角が 0.75mrad~3.00mrad の範囲で動いた時の入射効率について調べた。結果を Figure 6 に示す。入射位置をセプタム板に近づけると入射効率は改善され現実には近づくが、このシミュレーションでは入射時にビームがセプタムで削れることが考慮されておらず、はっきりとしたことはわからない。

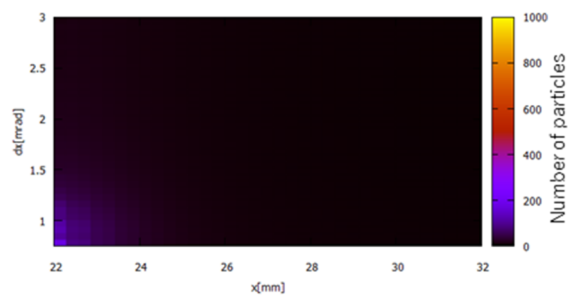


Figure 6: The capture efficiency using Table 3 at multi kick.

#### 4. まとめ

本稿では、バンプが閉じるように計算された理想的な条件下および、過去のビームスタディで得られた、キッカー電磁石の磁場が 2 ターン目も残っている条件の 2 種類で入射ビームの捕獲効率を調べた。理想的な条件では、約 80%のビームが入射可能であったが、スタディの条件では約 10%となり、どちらも現実の入射効率 20-30%とは一致していない。効率は入射粒子の位置や角度によっても大きく変わるため、今後は、入射粒子の位置や角度を実験によって決定する予定である。

#### 参考文献

- [1] H. Takagi, “電子蓄積リングにおけるパルス 6 極電磁石を用いた入射システムの開発研究”, SOKENDAI, 2010, pp.49-51; <http://ci.nii.ac.jp/naid/500000547413>.
- [2] Y. Kobayashi, A. Ueda, T. Mitsuhashi, “入射キッカーに関するスタディ報告”.