

VERTICAL BEAM OSCILLATION AT THE INJECTION OF NEWSUBARU

Yasuyuki Minagawa ^{#A)}, Takahide Shinomoto^{A)}, Yoshihiko Shoji^{B)}, Sayaka Chin^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute(JASRI)

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

^{B)} LASTI/NewSUBARU, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

In the NewSUBARU storage ring, a vertical oscillation of a stored beam is observed at the injection. We investigated the sources of this oscillation and the influence of it on the beam injection.

ニュースバルにおける入射時の Vertical 振動

1. はじめに

蓄積リングにおいて入射時に、蓄積ビームの水平方向のベータatron振動が発生することはよくある。これは入射バンプのビーム軌道が完全に閉じないこと等を原因としている。しかしニュースバルでは、水平方向振動に加えて本来起きないはずの垂直方向の軌道変化が観測されている。この一つは時間幅 1ms のパルスセプタム電磁石漏洩磁場の水平方向成分(skew 成分に相当する)による COD 変化であるが、これに対しては既に補償コイルのシステムが設置されている^[1]。しかし入射時には、この COD 変化の他に蓄積ビームの vertical betatron oscillation も観測されている。

一方、ニュースバルでは Long Undulator (LU、長さ 11m) のギャップを閉じた際にビームの入射効率が低下しており、その軽減には捩れ 4 極 (skewQ) の調整が重要である事が解っている。我々はこの vertical betatron oscillation が入射効率低下の原因の一つではないかと考え、この vertical betatron oscillation の原因を実験的に特定し、更に入射効率との関連性を調べることにした。

当初は水平方向の入射バンプもしくは BPM の回転を予想して調査を開始したが、原因は x-y coupling であることが判明した。また、入射効率に対して x-y coupling がどのように影響しているかも調査したので報告する。

2. 補償コイルシステムの効果

図 1 はパルスセプタム電磁石漏洩磁場の水平成分補償コイルを動作させたときの、蓄積ビームの vertical betatron oscillation の変化を示している。リングで入射点と別の位置にある BPM (Beam Position Monitor) からの vertical position signal である。蓄積していたビームが入射のタイミングからベータatron振動を開始しているが、補償コイルはこの振動を大幅に軽減している。緩やかに(1ms)変化する水平方向漏洩磁場が垂直方向振動を励起していたことになる。

蓄積ビームは、時間幅 1 μ s のパルスバンプ電磁石

によって軌道を変えられ、瞬間的(約 2 ターン)にセプタムの近くを通る。セプタム付近に強い水平方向磁場が励起されている場合は、ビームは vertical single kick を受けて振動を開始する。

図 1 で補償コイル動作時に残る小さな振動は、x-y coupling によると思われるビートを打っている。更に振動初期の位相は、補償コイル ON 状態の振動位相とは約 90° 異なり、この小さな初期振動の原因はパルスセプタム付近には無い事を示唆している。従って、補償コイルの調整ではこの振動をキャンセルできない。

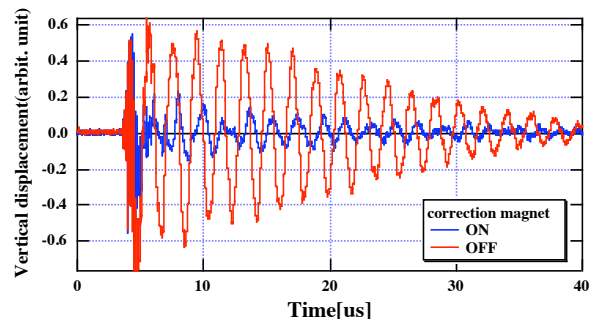


図 1 : 補償コイル ON-OFF による vertical betatron oscillation

3. x-y coupling の調査

入射時の vertical betatron oscillation の原因となる、x-y coupling の補正を行った。補正には、LU 上下流に設置された 2 台の skew quadrupole magnet (skewQ1、skewQ2) を用いた。この 2 台間の linear coupling resonant phase (horizontal betatron phase advance と vertical betatron phase advance の差) はほぼ 90° なので、 $\nu_x - \nu_y = 4$ に対しては独立に最適化できる。

入射バンプ電磁石の一台である Bump3 の horizontal kick によって発生する vertical oscillation amplitude が最小となる skewQ の値を探した。図 2 に skewQ 調整前後の vertical oscillation を示す。調整前の vertical betatron oscillation はビートを打っており、しかもビートの節近くが入射タイミングである。つまり振動の主原因は x-y coupling という事になる。

[#] minagawa@spring8.or.jp

skewQ の最適化(skewQ1=6.09A、skewQ2=4.69A)によって、振動振幅は調整前の状態の約 20%にまで減少した。

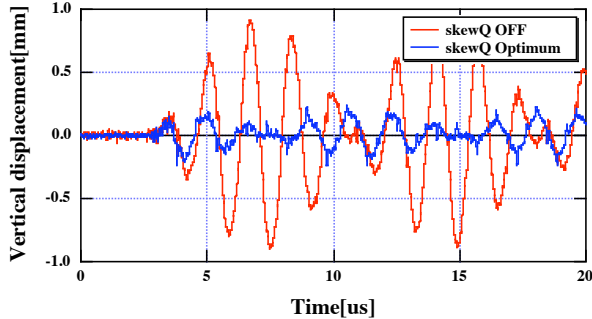


図 2 : 振幅によって skewQ の最適化前後の vertical betatron oscillation

この測定結果をオフラインで詳しく解析した。ビート振動は 2 つの周波数振動の混合である。その一つである horizontal oscillation frequency 成分をサイン成分とコサイン成分に分け、それぞれの振幅 (S_H と C_H とする) が skewQ1 と skewQ2 の変化に対してどう変わっていたかを解析した。その結果が図 3 であり、ここから、coupling の無い状態($S_H=0$, $C_H=0$)の skewQ1 と skewQ2(skewQ1=7.14A, skewQ2=3.70A)、更にその状態の vertical oscillation が計算できる。この時の vertical oscillation の計算結果が図 4 である。coupling が減ると同時に振幅が増えてしまうのは不自然に感じるが、初期振動の問題であり、ありえない事ではない。

ビームは水平方向に大きく振動しているので、ビート振動の原因として BPM の回転も考えられる。しかし、4 台のバンプ電磁石を各々励磁したときの vertical oscillation から BPM の回転角を計算すると、4 台それぞれの測定に対する回転角の平均値は 0.0916rad であった。これは、BPM の回転の実測値と比較して不自然に大きな値なので、原因は BPM ではないと結論できる。

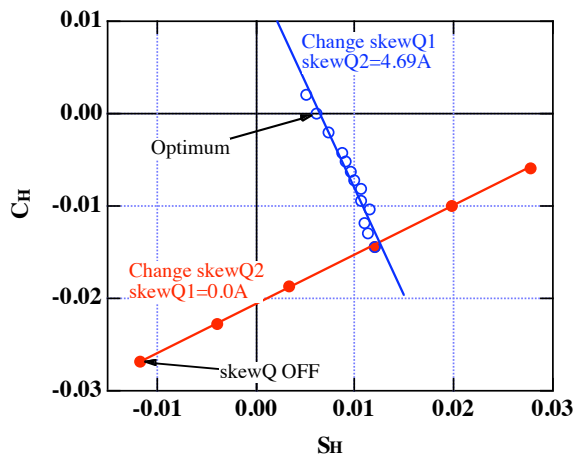


図 3 : skewQ に対する horizontal oscillation frequency 成分の変化

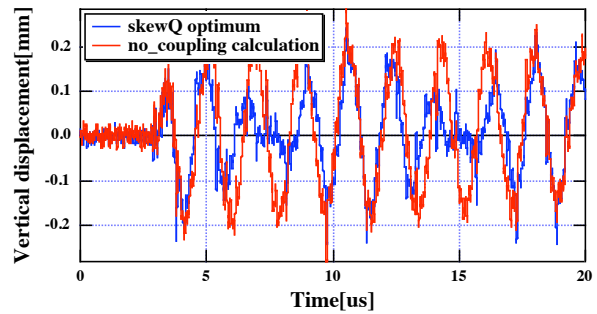


図 4 : no coupling の計算による vertical oscillation と skewQ 最適時の vertical oscillation

4. 入射バンプの回転

図 1 に示した初期振動の原因として、最初に疑ったのは入射用パルスバンプ電磁石の回転である。そこで 4 台ある電磁石 (Bump1~4 [図 5]) を 1 台ずつ励磁して、蓄積ビームに励起された水平、垂直のベータトロン振動を測定した。図 2 はその一例で、Bump3 の励磁によって開始したベータトロン振動を示す。

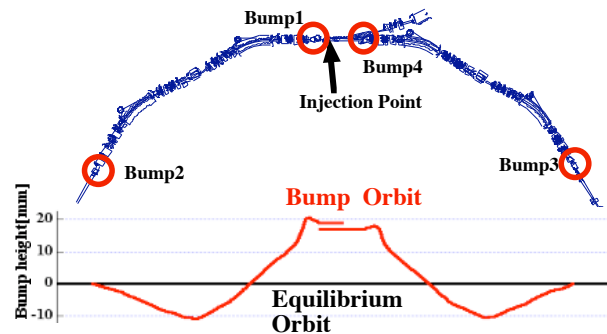


図 5 : パルスバンプ電磁石の配置とバンプ軌道の模式図。入射点で段差があり、閉じていない。

図 2 の垂直振動の位相だが、Bump3 で垂直に蹴られた場合に予想される振動位相と一致せず、従って原因はバンプ電磁石の回転では無い事になる。

この微小振動は、特に入射バンプ軌道内の skew quadrupole error が起こしたと考えられる。リングの共鳴的 x-y coupling が補正されていても、パルスバンプによる瞬間的軌道変化と局所的 skewQ によって vertical 振動が残ってしまう。

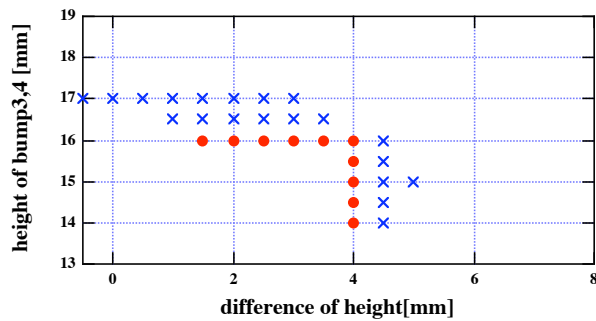
x-y coupling を引き起こす skewQ の場所の特定は、vertical 方向に局所バンプ軌道(COD)を立てて、horizontal 方向の軌道(COD)の変化を測定する方法^[2]で行った。入射点の上流側に 5mT 相当の skewQ 磁場があるという結果を得ている。

5. skew Q の入射への影響

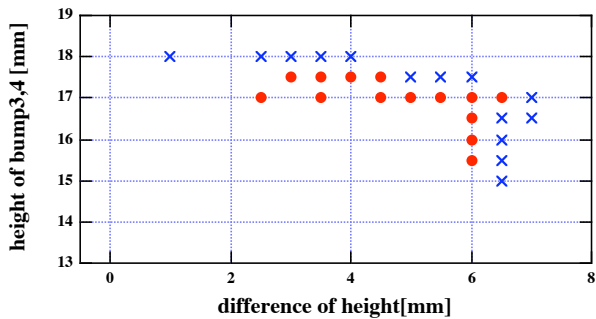
通常運転状態 (x-y coupling がある状態) と、x-y coupling を補正した状態で入射の状況を確認した。図 5 に示したように、ニュースバルの入射バンプ軌

道は閉じていないので、重要なパラメーターはバンプの「高さ」と、閉じていない「段差」である。この2つのパラメーターを、蓄積済みのビームが入射時に減少してしまう（「削られる」とも表現する）ギリギリに設定すると、入射ビームのベータatron振幅が最小になり、入射効率が最適化される。これまでの経験で LU ギャップを閉じた状態では、skewQ 設定はこの「高さ」と「段差」に影響を与える事が解っている。

通常運転状態（入射に最適化した状態）と x-y coupling を補正した状態で入射バンプの「高さ」と「段差」を変更して、入射の瞬間の蓄積ビームの削れの有無について調査した結果を図 6 に示す。LU の Gap を閉じた状態で測定を行うので、coupling 補正は図 3 の値を使わず、この状態で調べ直している。



(a) x-y coupling 補正状態



(b) 通常運転状態

図 6: x-y coupling の補正状態と通常運転状態における、入射時の蓄積ビームの削れ。○はビームの削れなし、×は削れあり。

当初は x-y coupling してない状態の方が入射時の削れが少なく、バンプを高く設定できると予想していたが、結果は逆で、最適条件ではむしろ x-y coupling があることが分かった。

skewQ の他の影響も調べた。調整に用いた skewQ1 と skewQ2 は無分散部に設置されているので、高次の vertical dispersion が変化するはずである。図 7 は線形と 2 次の vertical dispersion を測定した結果である。coupling correction によって 2 次の dispersion は変化するが、特に大きくまたは小さくなっているとは言えない。

入射時の skewQ 調整が効果的であるにも関わらず、vertical acceptance の直接的関与は無いという結論に

なる。これは、RF シェイカー(= strip line deflector)で蓄積ビームの vertical beam size を広げても、入射効率が影響を受けない事実とも対応している。

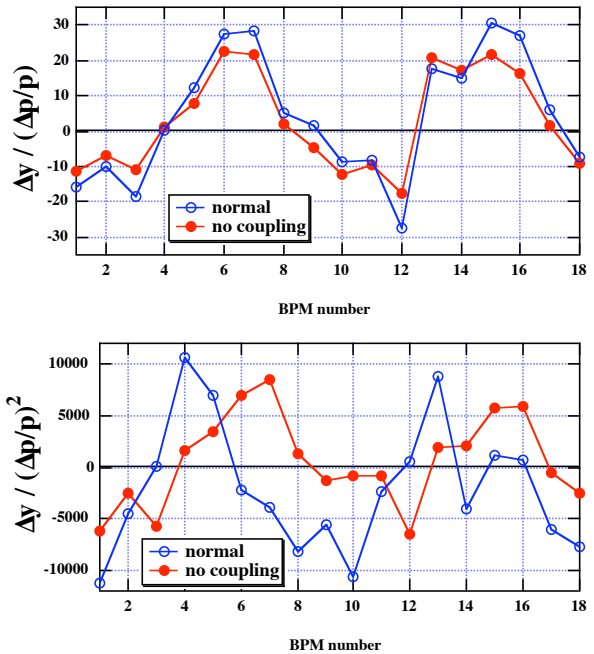


図 7 : Linear (above) and 2nd order (below) vertical dispersion.

6. まとめ

ニュースバルにおいて、入射時の vertical 振動について調査を行った。振動原因は x-y coupling であることが判明し、その軽減には補償コイルが有効に機能していることも確認できた。

しかし、最適入射条件は vertical betatron oscillation を最小とする zero coupling 状態では無い事が判明した。skewQ が入射時の蓄積ビームにどのように働き、入射効率の劣化をもたらしているかの解明は今後の課題である。2010 年夏に、skewQ 磁場を含む多機能補正電磁石を設置する予定であり^[3]、R&D の自由度が増すと期待している。

参考文献

- [1] T. Mitsui and Y. Shoji, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, vol. 18, No.2, p.1521-1524 (2008)
- [2] Y. Fukuda, T. Uyama, S. Hashimoto and A. Ando, Nucl. Instr. & Meth., A485 p.805-810 (2002)
- [3] 庄司善彦、藤村栄作「ニュースバル用多機能電磁石製作」本プロシーディングズ THPS055