

EXCITATION OF HEAD-TAIL OSCILLATION FOR GENERATION OF SHORT PULSE SYNCHROTRON RADIATION

Kazuhiro Tamura¹, Kenji Fukami, Chikaori Mitsuda, Akira Mochihashi,
Takashi Ohshima, Jun Schimizu, Yoshito Shimosaki, Kouichi Soutome
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)
1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

Abstract

Aiming at generating short pulse synchrotron radiation, excitation of head-tail oscillation of a stored electron bunch was tested at SPring-8 storage ring. By giving pulsed vertical kick, head-tail oscillation of an electron bunch was successfully excited due to nonzero vertical chromaticity. In this report, the experimental setup and beam motion observed with a visible streak camera are presented, and the beam motion is compared with the simulation results.

短パルス放射光生成のためのHead-Tail振動励起

1. はじめに

放射光用電子蓄積リングにおいて、ピコ秒あるいはそれ以下の時間幅の短パルス放射光を生成する様々な方式の検討が行われている。その一つとして、パルスキッカーで電子ビームを鉛直方向にキックし、電子ビームを鉛直方向に傾かせる方法が提案されている^[1]。鉛直方向のダイポールキックを電子ビームに与えると、クロマチシティが0でない場合にはシンクロトロン振動とベータトロン振動が結合してHead-Tail振動が起こり、バンチの鉛直方向の傾きが成長していき、シンクロトロン振動の約半周期でその傾きは最大となる。電子ビームを鉛直方向に傾かせる事ができれば、例えば、スリットを用いることにより短パルス放射光を得る事ができる。

本稿では、SPring-8蓄積リングにおいて行った短パルス放射光生成のためのHead-Tail振動励起試験の概要とこれまでに得られた結果について述べる。

2. Head-Tail振動励起試験の概要

SPring-8蓄積リングにおけるHead-Tail振動励起試験の概要を述べる。図1に試験システムの全体図を示す。試験システムは、鉛直キッカーとその電源、電子ビームの振る舞いを調べるビームモニター、および各機器の動作を制御するタイミング系で構成される。今回の試験では、シングルパスBPM (SPBPM)、可視光ストリークカメラ (浜松ホトニクス社製: C5680) の二種類のビームモニターを用いて、鉛直キック後の電子ビームの重心位置、Head-Tail振動の様子を観測した。本システムでは、キッカー、SPBPMおよびストリークカメラには同一の1Hzタイミング信号をトリガーに用いており、キックと同期して電子ビームの重心位置、振動を測定できるシステムとなっている。ストリークカメラには鉛直掃引用のシンクロスキャンユニット (掃引

周波数72.65MHz ($=f_{RF}/7$)) と水平掃引を可能にする二時間軸拡張ユニット (最大掃引周波数10Hz) が装着されている。水平掃引のトリガー系には可変のディレイを入れ、キック後の観測したい時間領域を選択できるようにしている。

表1にSPring-8蓄積リングの諸パラメータを示す。

表1 SPring-8蓄積リングの諸パラメータ

Energy	E	8 GeV
RF frequency	f_{RF}	508.58 MHz
Harmonic number	h	2436
Revolution period	T_{rev}	4.79 μ s
Synchrotron frequency	f_s	2.2 kHz
Betatron tune		(40.1449, 18.3506)

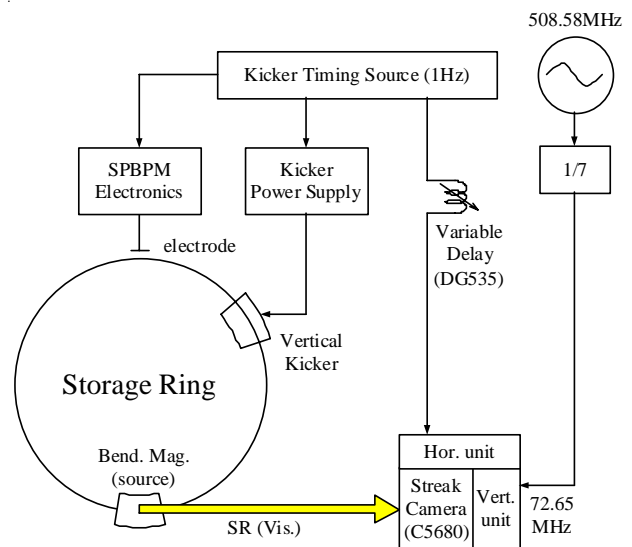


図1 Head-Tail振動励起試験システム全体図

¹ E-mail: tamura@spring8.or.jp

蓄積リングに設置した鉛直キッカーを図2に示す。キッカーは蓄積リングセル2の偏向電磁石下流にあるセラミックチェンバーに設置した。水平磁場を発生させるためのコイルを左右1ターンずつチェンバーに巻きキッカーを形成している。キッカー長は、チェンバーの長さに合わせて290mmとした。キッカー内部にはサーチコイルを設置し、励磁波形をモニターした。キッカーの駆動は、繰り返し1Hz、パルス幅 T_{rev} の正弦半波で行った。

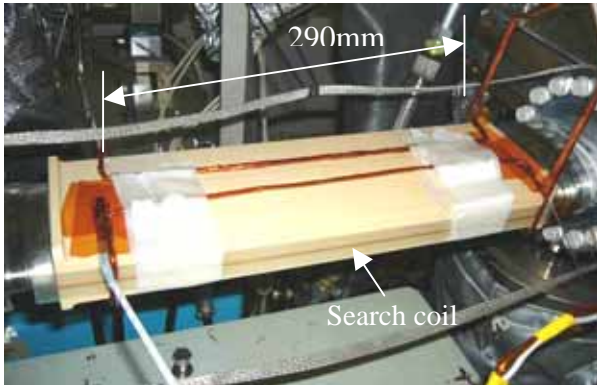


図2 鉛直キッカー

ストリークカメラは偏向電磁石を光源にもつ加速器診断ビームラインI (BL38B2) 光学暗室内に設置されている^[2]。BL38B2では、ビームラインの真空中にあるミラーによりX線成分から分離された可視光が、鉛遮蔽を施した輸送パイプを通して光学ハッチ外側にある暗室内に導かれている。図3に示すミラー配置により、放射光は光軸の周りに90度回転し、放射光の鉛直方向が実空間の水平方向としてストリークカメラに入射されることになる。この放射光に対して鉛直掃引を行うと、電子ビームを横から眺めた像を得ることができる。また、キッカーの駆動と同期して水平掃引を行うことにより、キック後の電子ビームの鉛直変位あるいは振動の様子を周回毎に観測する事が可能となる。

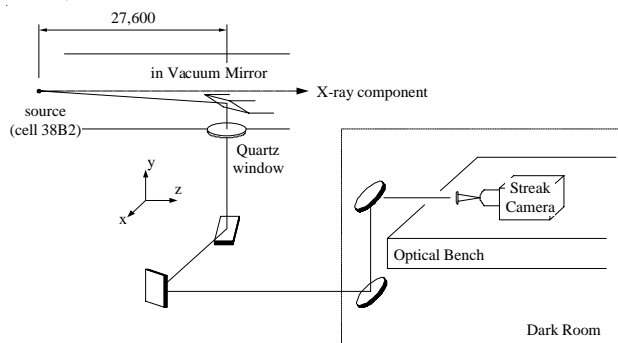


図3 可視光輸送系とストリークカメラの配置

3. 結果

クロマティシティを (x , y) = (+1.67,

+5.87) として、バンチ電流1.3mAの単バンチビームに鉛直キックを与え、全周に14箇所あるSPBPMで電子ビームの振動を測定した。結果を図4に示す。キック量を求めるため、キック後1ターン分のSPBPMのデータに対してフィッティングを行った(実線)。フィッティングにより得られたキック量は - 0.042mrad (鉛直下向きのキック)であった。図4中にはフィッティングにより得られたBL38B2発光点での電子ビームの鉛直変位も示している。BL38B2での鉛直変位は、キック直後が + 1.2mm、2ターン目が - 0.80mmであった。

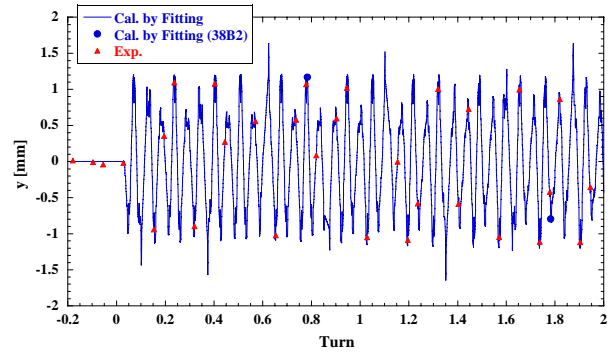


図4 SPBPMで測定した鉛直キック後のビーム位置の変化。

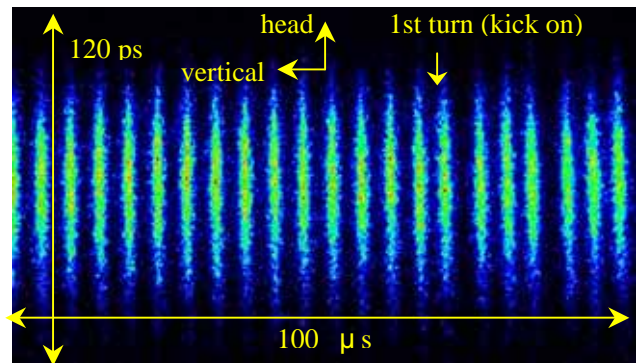


図5 ストリークカメラで観測した鉛直キックon時のバンチのプロファイル。

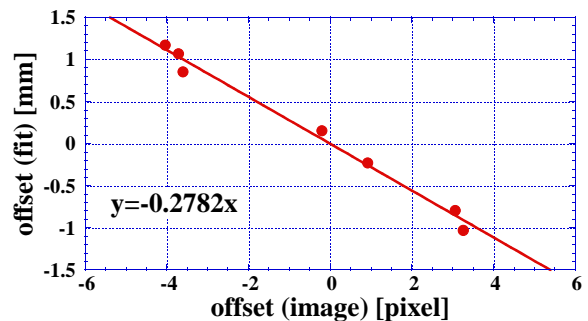


図6 ストリークカメラで観測されたバンチの鉛直変位[pixel]とSPBPMデータに対するフィッティングにより得られたBL38B2での鉛直変位[mm]との関係。

図5に鉛直キックのタイミングに合わせてストリークカメラで観測したバンチプロファイルを示す。

図5から得られるキックon時のバンチの鉛直変位と、SPBPMデータに対するフィッティング(図4)により得られたBL38B2での電子ビームの鉛直変位との関係を図6に示す。ストリークカメラにより、バンチの鉛直変位を正しく捉えられていることがわかる。

鉛直キック後のバンチの傾きが最大となるのは、シンクロトロン振動の約半周期後である。SPRING-8蓄積リングの場合は50ターン前後に相当する。50ターン前後で測定したバンチのプロファイルを図7に示す。図にはキック後の38から57ターン目までを表示している。キック直後はバンチ全体が重心運動をしていたが(図5)、50ターン前後では鉛直クロマティシティによりHead-Tail振動が起こり、バンチの前後(Head-Tail間)で2mm程度の偏差に相当する傾きが生じている。

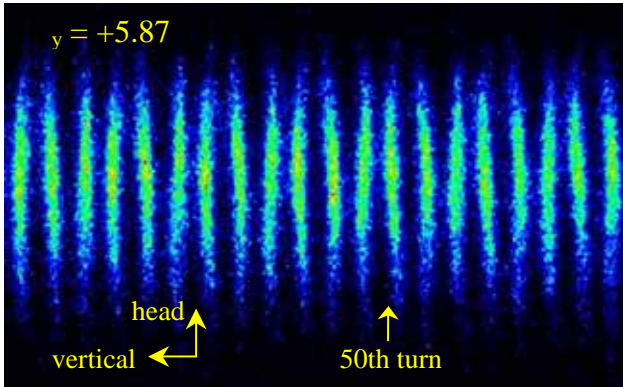


図7 キック後50ターン前後のバンチプロファイル。

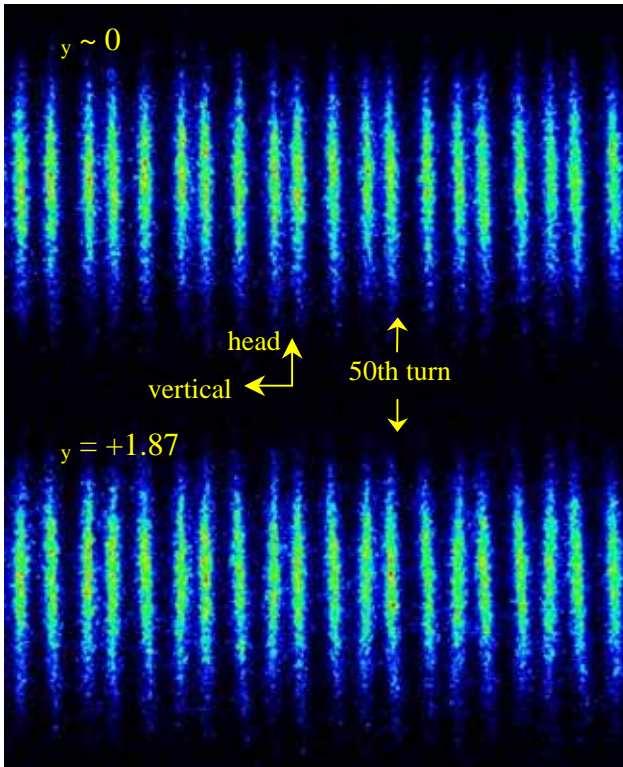


図8 y を0(上)、+1.87(下)とした場合のキック後50ターン前後のバンチプロファイル。

y を小さくした場合のキック後50ターン前後のプロファイルを図8に示す。図7同様、キック後の38から57ターン目までを表示している。 $y \sim 0$ の場合はHead-Tail振動が励起されず、50ターン前後でもバンチの重心運動が続いている。一方、 y が+1.87の場合はHead-Tail振動が励起され、バンチの前後で上下方向の傾きが生じていることがわかる。 y が+5.87の場合に比べて、バンチ前後のうねりが小さくなり、線形に近い分布を示していることがわかる。

4. 議論と今後の課題

y を+1.87として、実験と同条件で電子ビームにキックを与えた場合に起こるHead-Tail振動のシミュレーション結果を図9に示す。計算には粒子追跡コードCETRA^{[3], [4]}を用いた。図9には図7、8と同様にキック後の38から57ターン目までをプロットしている。図9ではバンチの上下方向のスケールを強調して表しているが、バンチの振る舞いは実験結果を非常によく再現している。CETRAの計算結果から推定すると、傾いたバンチからの放射光を鉛直幅0.1mm程度のスリットで切り出せば、時間幅数psの短パルス放射光が得られることが期待できる。

CETRAによりバンチの振る舞いを再現できることがわかったので、今後は、バンチをキックして上下方向に傾かせて短パルス放射光を得た後、ある程度の周回後にバンチをけり戻して振動を止めることができないか、の検討を行う予定である。ビームの鉛直拡がりの増加をある程度以下に抑制できれば、より頻繁な鉛直キックを与えることで、高繰り返し短パルス放射光を得ることが可能となる。

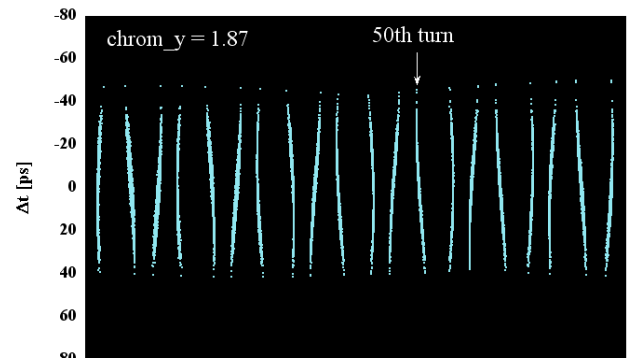


図9 y を+1.87とした場合のキック後50ターン前後のバンチプロファイル(CETRAによる計算結果)。

参考文献

- [1] W. Guo, et al., Phys. Rev. ST AB **10**, 020701 (2007)
- [2] M. Masaki, et al., Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2007, P348.
- [3] J. Schimizu, et al., Proc. of the 13th Symp. on Accel. Schi. And Technol., Suita, Osaka, Oct., p.83 (2001).
- [4] J. Schimizu, SAD2006 Workshop, <http://acc-physics.kek.jp/SAD/SAD2006/Doc/program.html>