

## ニュースバルへの垂直キッカーシステム導入\* FAST VERTICAL KICKER SYSTEM OF NEWSUBARU

庄司善彦<sup>#,A)</sup>, 満田史織<sup>B)</sup>, 中西辰郎<sup>B)</sup>, 皆川康幸<sup>B)</sup>, 竹村育浩<sup>B)</sup>  
Yoshihiko Shoji<sup>#,A)</sup>, Chikaori Mitsuda<sup>B)</sup>, Tatsurou Nakanishi<sup>B)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>B)</sup>, Yasuhiro Takemura<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> NewSUBARU/SPRING-8. LASTI, University of Hyogo

<sup>B)</sup> SPRING-8, JASRI

### Abstract

We installed a vertical kicker system at the electron storage ring, NewSUBARU. The main purpose of the installation was R&D to produce a spatial wavy structure in a bunch. However it is also used to measure the ring response and other researches. The magnetic pulse shape was half sine with base width of 450 ns, a little bit longer than the revolution period (396 ns). The maximum deflection angle for the 1 GeV electron with charged voltage of 1 kV was about 0.08 mrad.

### 1. はじめに

垂直キッカーシステムを電子蓄積リング NewSUBARU に設置した。Table I に NewSUBARU の主要パラメーターを示しておく。

Table 1: Basic parameters of NewSUBARU

Circumference	118.73 m
Bending lattice type	modified DBA
Number of bending cells	6
Straight sections	4m X 4 15m X 2
Bending radius	3.22 m
Top-up operation energy	1.0 GeV
RF frequency	499.955 MHz
Betatron tune	6.29(H), 2.23 (V)
Momentum compaction factor	0.0014

直接の設置目的は、クロマティシティー変調との併用で、バンチ内に垂直方向の空間構造を作る事である。この空間構造は、構造に対応した時間波形のコヒーレント放射を発生する[1]。要求するベータトロン振幅は、コヒーレント光観測予定位置で±2 mm あれば十分である。この用途以外にも、垂直方向のリングパラメーターの計測など、様々な用途が期待される。

設置時期は、まず 2012 年 2 月にリングにセラミックダクトを設置し、9 月に時間幅約 1 ms のキッカー電源を製作して使用していた。更に 2013 年 1 月には時間幅約 450 ns の現電源にアップグレードし、現在はこの電源で R&D に使用中である。

ハードウェアの基本部分は、SPRING-8 に最近導入されたキッカー[2, 3]と同じものである。

### 2. Hard ware installation

#### 2.1 空芯電磁石

財政的理由で、新規製作部分を最低限とした。ビームパイプは予備品などをかき集め、最低限を製作して既存のものと交換した。リング内の設置位置は長直線部で「長尺アンジュレーター上流部」と呼んでいる位置である。テストを行った通常運転時は  $\beta_y = 16.3$  m で、コヒーレント光観測用の non-achromatic lattice では  $\beta_y = 14.4$  m である。真空ダクトの改造前後のレイアウトを Fig. 1 に示す。

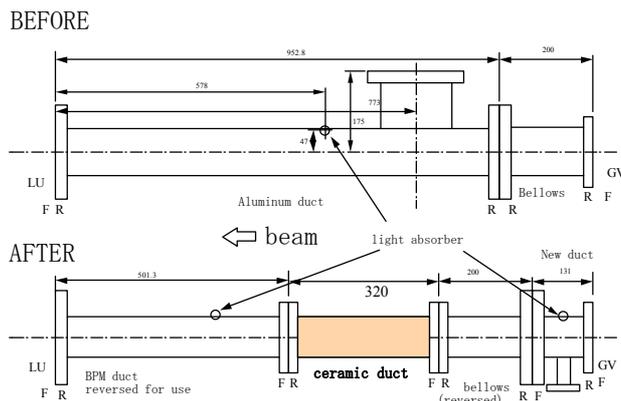


Figure 1: Beam duct for the kicker installation.

現在のキッカー電磁石の外観を Fig.2 に、その断面を Fig.3 に示す。電磁石は空芯で、リッツ線をセラミックダクト表面にカプトンテープで貼付けた簡単なものである。セラミックダクト部の長さは約 280 mm、コイルは 2 本並列の 1 ターンコイルで、実質 1 ターンである。サイドにはモニター用のピックアップコイルが取り付けられている。

\*Work supported by JSPS KAKENHI Grant Number 23600008

# shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

現時点ではとりつけていないが、シールドの設置を検討中である。コンパクトにはならないが、周波数 1 MHz に対する銅のスキンドープは 0.066 mm なので難しくは無いはずである。

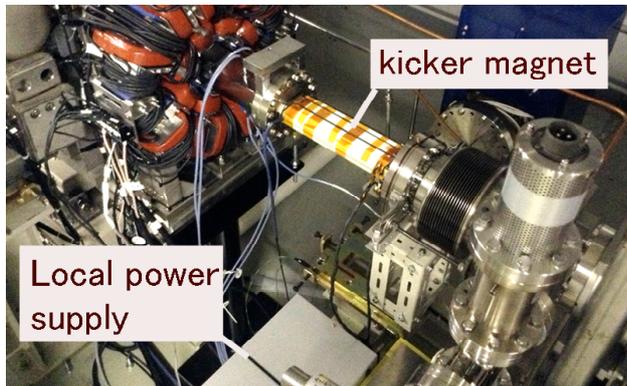


Figure 2: Kicker magnet.

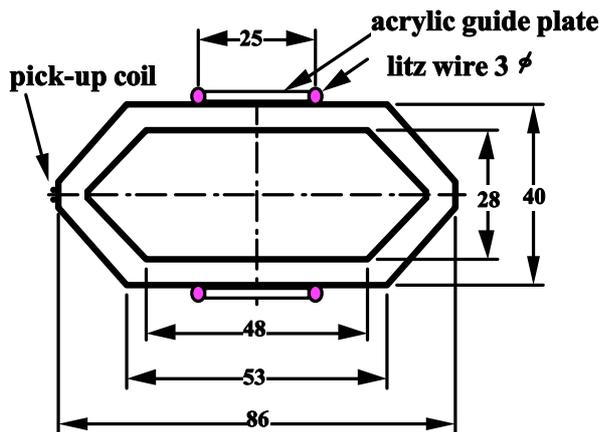


Figure 3: Cross section of the kicker magnet.

## 2.2 高速パルス電源

キッカー用高速パルス電源は SPring-8 で開発したものである [2, 3]。キッカー電源のドライブ回路部 (Fig.2 では local power supply) は、加速器トンネル内の電磁石付近に設置し、直流高圧電源を含む高圧回路部はトンネル外に分離設置している。

キッカーの時間波形は全幅約 450 ns ハーフサインである。リング一周が 396 ns なので、リングの大部分にわたって single kick となる。出力は最大充電電圧 1 kV に対して仕様上は 150A である。

Fig. 4 にピックアップコイルでモニターした磁場波形を示す。これによって、磁場パルス幅 450ns を確認できる。

垂直キッカーのトリガーパルスには、入射用水平キッカーのパルスを分岐したものを使っている。既に蓄積したビームをキックする場合には、入射キッカー用のタイミ

ングパルスだけをブロックして使う。

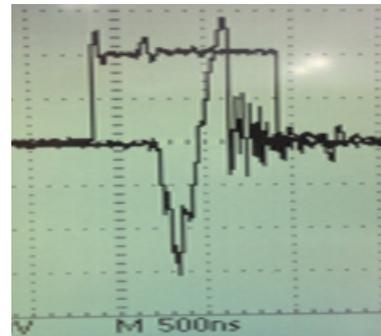


Figure 4: Waveform from the pick-up coil (bipolar signal) and the trigger pulse (square signal).

## 3. Beam Commissioning

### 3.1 Timing Adjustment

電源のタイミングディレイには、入射キッカータイミングを分岐したものを使っている。既に蓄積したビームに対してはキッカーが同期する入射 RF バケット選択で調整できる。垂直ベータatron 振動振幅の確認には可視放射光モニターライン [4] の ICCD ゲートカメラを使った。RF バケット #0 のみに単バンチを蓄積しておき、入射ゲートを閉じる。キッカータイミングのバケットを変えながら垂直キッカーを駆動し、キック後 12 ターン分の積算プロファイル記録した例が Fig.5 である。蓄積した電子ビームの垂直方向の FWHM を bucket address に対してプロットした結果が Fig.4 である。Harmonic number が  $h=198$  であるから、Kicker 磁場波形の全幅が 1 周よりやや大きく、ピークはタイミングを #190 に設定したあたりである。

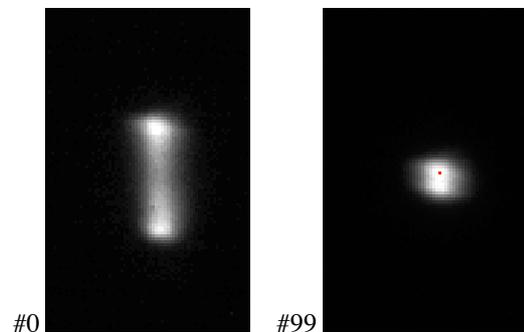


Figure 5: Accumulated beam profile during 12 turns after the kick. The numbers are triggered bucket.

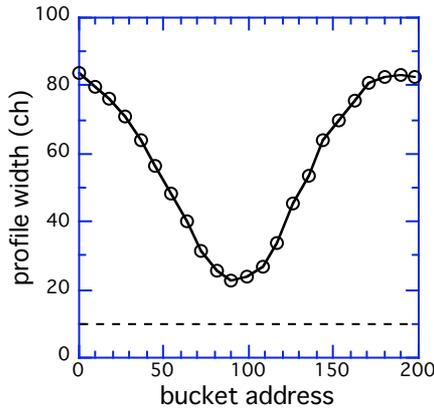


Figure 6: FWHM of the vertical profile for the kicker timing (=bucket address). The broken line at the bottom was the sum of the beam monitor resolution and the original beam width. The harmonic number of the ring is 198.

### 3.2 Deflection amplitude

更に蓄積リング内に等間隔で6個のビームバンチを蓄積し、キッカーを駆動した際に始まるベータトロン振動も確認した。6個のバンチの振動振幅と振動位相を BPM1 ( $\beta_y=10.7\text{m}$ )で確認した結果を Fig.7 に示す。BPM 信号をオシロスコープに記録し、off-line で解析したものなので、精度は良く無い。同図の実線と破線は、全幅 450ns のハーフサインを仮定して計算した振幅と位相である。実測を概ね再現している。

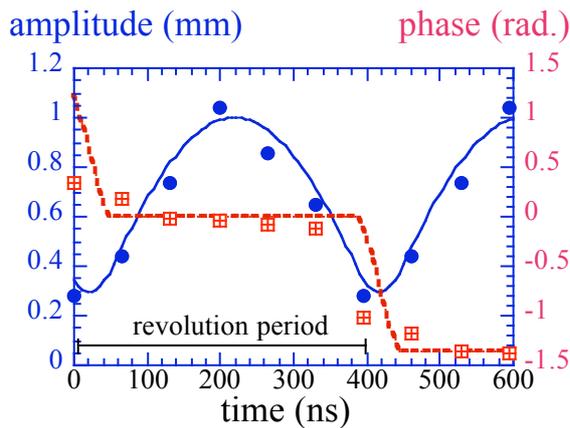


Figure 7: The betatron oscillation amplitude and phase of six bunches. The solid and broken lines are calculated amplitude and phase assuming 450 ns width half-sine.

このデータから 1 GeV の電子ビームに対して充電電圧 1 kV で、電子ビームの最大振幅は 1 mm であったことがわかる。垂直方向最大振幅を  $y_{\text{MAX}}$  とすると  $y_{\text{MAX}}^2 / \beta_y = 0.1 \mu\text{m}$

rad.であったことになる。キッカーの最大 deflection angle を計算すると、約 0.08 mrad. であった。Non-achromatic lattice でのコヒーレント光観測予定位置は  $\beta_y=35 \text{ m}$  なので、 $y_{\text{MAX}}=1.7 \text{ mm}$  となり、ほぼ当初の要求を満たす。

### 3.3 Magnet rotation (H/V coupling)

Skew quadrupole correction magnet を使って蓄積リングの H/V coupling を補正した (coupling constant <1%) 上で vertical deflection を与え、horizontal beam position 変化を観測した。リング内には等間隔で、33 バンチを蓄積し、垂直キッカーを稼働させる。キッカーのコイル位置を数ミリ単位で変え、single pass BPM の水平位置信号の変化をみた。6 極電磁石があるために、垂直ベータトロン振動に対しては水平位置変化は原理的にゼロにはならない。従って磁石の傾きの検出精度は低く、コイルの機械的設置精度以上の結果は得られなかった。

### 参考文献

- [1] Y. Shoji, Phys. Rev. ST-AB 13, 060702 (2010).
- [2] C. Mitsuda, K. Fukami, K. Kobayashi, T. Nakanishi, H. Ohkuma, S. Sasaki, and T. Ohshima, "NEW DEVELOPMENT OF COMPACT FAST PULSED POWER SUPPLY SYSTEM IN THE SPring-8", Proc. of IPAC'13, MOPWA003.
- [3] 満田史織, 深見健司, 小林和生, 中西辰郎, 大熊春夫, 佐々木茂樹, "SPring-8 蓄積リングにおける高速パルス電源の開発", 2013 年日本加速器学会.
- [4] 松本卓也, 小林花輪, 庄司善彦, 皆川康幸, 竹村育浩, "可視光ビームモニターライン初段ミラーの熱変形補償", 2013 年日本加速器学会.