

## PRECISE MEASUREMENT OF HORIZONTAL COMPONENT FOR SPring-8 BUMP MAGNET

Shinichiro Tanaka<sup>1,A)</sup>, Toshikazu Nakatake<sup>A)</sup>, Makoto Hasegawa<sup>A)</sup>, Kenji Fukami<sup>B)</sup>, Takashi Ohshima<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8 Service Co., Ltd. (SES)

2-23-1 Koto, Kamigori-tyo, Ako-gun, Hyogo, 678-1205, Japan

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

1-1-1 Koto, Sayo-tyo, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

### Abstract

SPring-8 storage ring have four pulse bump magnets for beam injection. These magnets were made of 0.1-mm thick laminated silicon-steel of C-type configuration. Stored beam and injected beam are oscillated in vertical direction during beam injection by a field of horizontal component,  $B_x$ , on the medium plane if the field of the bump magnet has a tilt from the y-axis. Therefore, it is necessary to precisely measure the field directions of bump magnets. We use a search coil to measure the field  $B_x$ . The tilt angle of the magnet is measured by searching the angle at the minimum output voltage from the search coil. Tilt angle of the search-coil was calibrated by a dipole magnet of H-type configuration, which has a precisely machined relation of a pole face and a reference plane for an alignment. In this paper, we will show the frequency-dependence of the angle. Based on the result, we will align the bump magnets. In addition, we will design the tilt-control system for the magnets, which is used at a beam-based alignment to suppress the vertical oscillation.

## バンブ電磁石の磁場水平方向成分精密測定

### 1. 目的

放射光施設でトップアップ運転を行う際、入射時の蓄積ビームの振動を小さくすることは重要である<sup>[1]</sup>。入射時に蓄積ビームの垂直方向の振動が発生する要因のひとつとしてパルスバンブ磁石の回転方向の設置誤差があげられる。

SPring-8蓄積リングのパルスバンブ磁石の励磁波形は60kHzの正弦半波であるので、この周波数領域での磁場の方向を測定する必要がある。蓄積ビームの垂直方向ビームサイズは10 $\mu$ m程度であり、振動振幅を少なくともこの値以下に抑えることが要求される。これを実現するためには、y軸に対する磁場方向の傾きを0.7mrad以内に抑える必要がある。ここでは、傾き0.1mrad以内を目標値とする。

パルスバンブ磁石は、抜き型を使って打ち抜いた0.1mm厚の電磁珪素鋼板を積み重ねて作られたC型の磁石であるが、高電圧に対する耐圧を確保するため、樹脂を含浸させてある。この工程で付着した樹脂をアライメント用の基準面から完全には取り除くことができていない。このため、水平面内ビーム軸と直行する方向の磁場 $B_x=0$ となる角度を精密に測定することが必要となった。バンブ磁石には長さが420mmと210mmの2種類のものでそれぞれ2台ずつ用いられている。今回は長さが210mmの磁石について測定を行った。この磁石ではビームの通る位置はx

方向に0mmから最大14mmまで変化する。

### 2. 測定

磁場の測定にはサーチコイルを用いた。まず、サーチコイルを含む面を鉛直になるように設置し、その後バンブ磁石について $B_x=0$ となる角度を求めた。バンブ磁石の設置にはここで求めた角度だけ基準面が傾くようにアライメントを行えば $B_x=0$ の磁場を得ることが出来る。

サーチコイルは径が0.2mmのエナメル線を15ターン、幅25mm、高さ5mmの寸法でアクリル棒に取り付け用いた。磁場方向を求めるため、サーチコイルをシータステージに固定しマイクロメータで回転出来る機構を製作した。図3に磁場測定機構を示す。サーチコイルを鉛直に設置するためには、H型の較正用基準磁石を用いた。

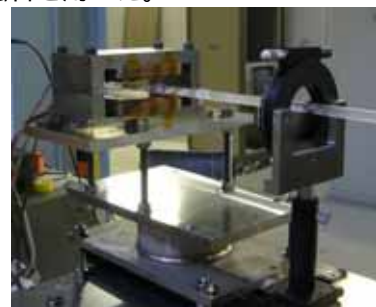


図1：較正用H型磁石磁場測定概観

<sup>1</sup> E-mail: tanakas@spring8.or.jp

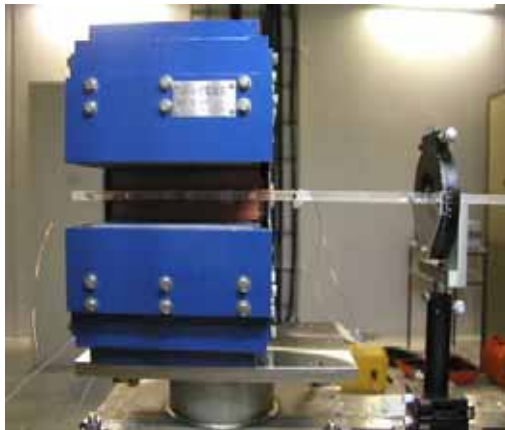


図2：パルスポンプ磁石磁場測定概観

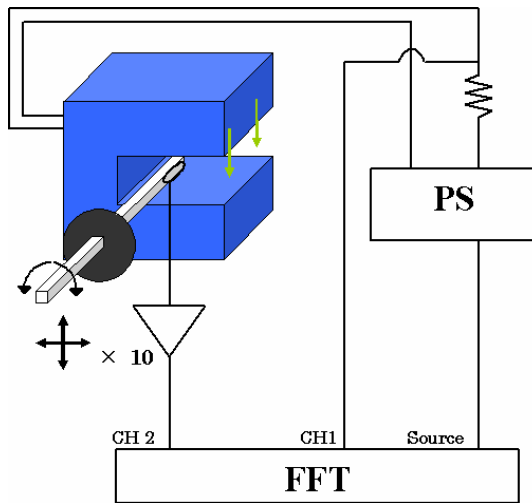


図3：磁場測定系

### 3．パルスポンプ磁場とサーチコイル出力との関係

パルスポンプ電磁石の励磁用電源の出力電流  $I$ [A]と抵抗値  $R$ [ $\Omega$ ]の電流測定用シャント抵抗両端の電圧  $V$ [V]との関係は次式で表せる。

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_{pk}}{R} \cdot \sin(2\pi ft) \dots \dots \dots (1)$$

である。ここで、 $f$ は磁石の励磁周波数である。励磁電流とパンプの磁場の主成分  $B_y$ との関係は、

$$B_y = \frac{\mu_0 NI}{d_g} = \frac{\mu_0 N}{d_g} \cdot \frac{V_{pk}}{R} \cdot \sin(2\pi ft) \dots \dots \dots (2)$$

である。ここで、 $N$ はパルスポンプ電磁石のコイルのターン数、 $d_g$ はポールギャップ[m]、 $\mu_0$ は空気中の透磁率[H/m]である。パンプの磁場をターン数  $n$ 、面積  $S$ [ $m^2$ ]のサーチコイルで測定する場合、コイルの

出力電圧  $V_s$ [V]は次式で表せる。

$$V_s = -nAS \frac{dB}{dt} = -\frac{2\pi f \mu_0 nNAS}{d_g R} \cdot V_{pk} \cdot \cos(2\pi ft) \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $A$ はアンプのゲインである。従ってコイルの出力電圧の振幅  $V_{spk}$ [V]は

$$V_{spk} = \frac{2\pi f \mu_0 nNAS}{d_g R} \cdot V_{pk} = 5.29 \times 10^{-2} \cdot f[\text{kHz}] \cdot V_{pk} \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここで  $n=15$ 、 $N=2$ 、 $S=1.25 \times 10^{-4}$ [ $m^2$ ]、 $R=0.1$ [ $\Omega$ ]、 $d_g=56 \times 10^{-3}$ [m]、 $A=10$ である。

サーチコイルを磁場に対して鉛直に設置したうえ、ビーム軸周りに微小角度  $\theta$ [rad]だけ回転させた場合、出力電圧の振幅は、

$$V_{spk} = \frac{2\pi f \mu_0 nNAS}{d_g R} \cdot V_{pk} \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (5)$$

となる。

### 4．測定結果

較正用に製作したブロックのH型磁石で周波数を1kHzとした条件で、サーチコイルの傾き  $\theta$ に対する出力電圧の振幅  $V_{spk}$ の測定結果を図4に示す。図中の点は測定結果を示し、実線は最小二乗法を用いて正弦関数でフィットを行った結果を示す。 $\theta$ が0の近傍では、 $B_x$ のみではなく、ビーム軸方向の磁場  $B_s$ の影響が大きくなる。そのため、20mrad以内のデータは用いていない。

次に、サーチコイルの位置が変わらない条件で、磁石をH型磁石からパルスポンプ磁石に交換した。周波数を1kHzとした場合の磁石中心部で測定したサーチコイルの傾きに対する出力電圧の測定結果を図5に示す。フィットの結果から1kHzの周波数に於いては 4.43mradのずれが見られることが解った。

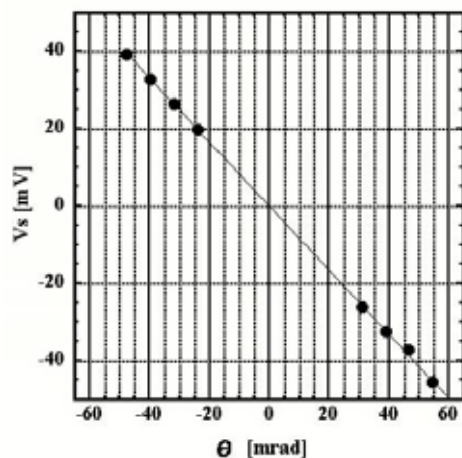


図4：較正用H型磁石でのサーチコイルの傾きに対する出力（周波数1kHz）の測定結果

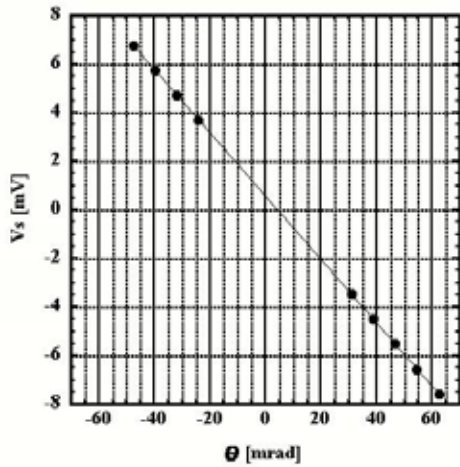


図5：パルスバンク磁石でのサーチコイルの傾きに対する出力（周波数 1kHz）の測定結果

次にパルスバンク磁石を励磁する周波数を変えて  $B_x=0$  となる角度を求めた。バンクの高さは最大 14mm まで変化する。そこでギャップの中心の高さ  $y=0$  で、水平面内ビーム軸からの距離  $x$  を +6mm、0mm、-6mm、-12mm と変えて測定を行った。結果を図6に示す。ギャップ中心から 4mm 下がった高さで同様に行った測定の結果を図7に示す。どの測定点でも周波数により磁場方向が同様な傾向で 1mrad 程度変化した。

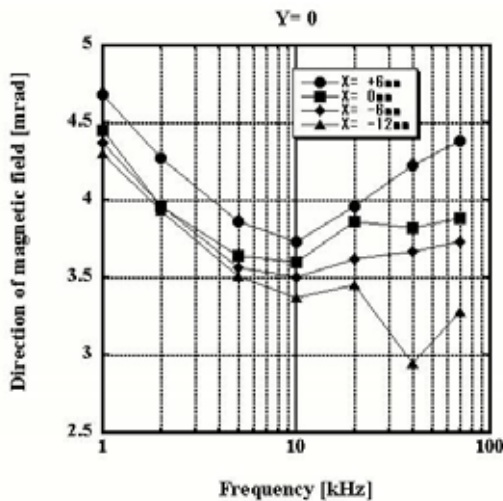


図6：パルスバンク磁石で測定したパルスバンク磁石中心での磁場方向の周波数特性（縦軸は校正用H型磁石の基準面に対して垂直な軸からの傾きを示す）

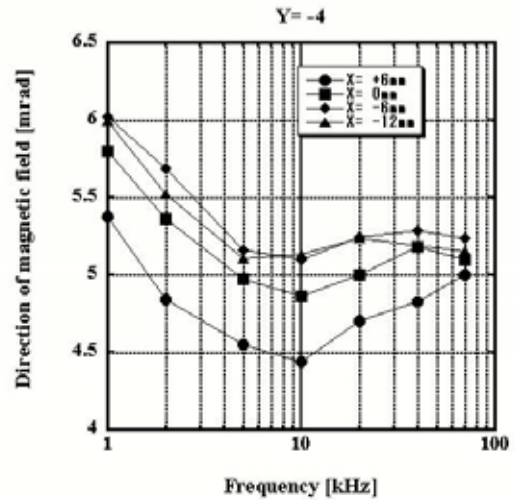


図7：パルスバンク磁石で測定したパルスバンク磁石中心から垂直に-4mm部での磁場方向の周波数特性（縦軸は校正用H型磁石の基準面に対して垂直な軸からの傾きを示す）

### 5. まとめ

われわれはパルス磁場の方向を様々な周波数に対し精密に測定した。バンク磁石の磁場の向きは基準磁石で求めた鉛直方向からは 4mrad 程度ずれているという結果を得た。今後、4mrad もの向きのずれが生じる原因についてさらに調査を行う。測定精度を向上させるためサーチコイルの支持装置の自由度を増やし、 $B_s$  磁場の影響を除いた測定を行う予定である。また、実際に正弦半波の励磁を行って磁場測定を行いたい。実機は金属製の電磁シールドが設置されているので、このシールドの影響についても測定したい。得られた結果に基づきパルスバンク磁石に設けた新たな基準面を使って、実際にアライメントを行う予定である。

### 参考文献

[1] T. Ohshima, H. Tanaka, K. Soutome, S. Matsui, M. Takao, M. Masaki, H. Ohkuma and N. Kumagai, "Suppression of Stored Beam Oscillation Excited during Beam Injection", Proc. of the 9th European Particle Accel. Conf., Lucerne, 2004, p414.