

## Vibration measurement of the injection pulse magnet of the 3-GeV RCS in J-PARC

Tomoaki Ueno<sup>1</sup>, Tomohiro Takayanagi, Michikazu Kinsho, Osamu Takeda, Yoshio Yamazaki, Masahiro Yoshimoto  
Junichiro Kamiya, Masao Watanabe, Katsuya Kuramochi  
Accelerator Development group, Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirane, Shirakata, Tokai-musa, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

### Abstract

The injection pulse magnets of the 3GeV RCS in J-PARC are vibrated by repeating the high current exciting waveform of a high speed rising and falling. The pulse magnets have the ceramic duct in order to suppress the generation of the heat load by the eddy current and the broken by the strong vibration. Therefore, the vibration of the horizontal shift bump magnet was measured by using the CCD laser displacement meter of a high speed and a high precision.

## J-PARC 3-GeV RCS入射用パルス電磁石の振動測定

### 1. 概要

大強度陽子加速器施設(J-PARC)の3 GeV RCS 3 GeVシンクロトロンの入射用のパルス電磁石は、大電流による高速立ち上げと立ち下げを繰り返すため電磁石は振動する。また、パルス電磁石は、渦電流を抑えるためにセラミックスダクトを使用するが、電磁石の振動が大きいと割れる可能性がある。そこで、入射用パルス電磁石の内、励磁電流が最も大きく、高速立ち上げと立ち下げを繰り返す水平シフトバンパ電磁石[1][2]の架台の振動量測定を行った。測定には、高速・高精度CCDレーザー変位計を用いて行った。

### 2. 入射用水平シフトバンパ電磁石

入射用水平シフトバンパ電磁石は、3 GeV RCS 3 GeVシンクロトロンの入射部に設置されている。励磁は、リニアックからのビームを合流するときのみ行う。水平シフトバンパ電磁石の仕様を表1に示す。

表1. 水平シフトバンパ電磁石の仕様

Title	Value
フラットトップ (μs)	> 500
立ち上げ時間 (μs)	< 500
立ち下げ時間 (μs)	< 150
磁極長 (m)	0.8 (0.4 x 2)
台数	4
磁極間隔[gap] (mm)	310
磁極間隔[導体内面間距離] (mm)	616
コイル巻数	2
磁場強度 (T)	0.26 (0.17)
最大励磁電流 (kA)	32.2 (20.6)

<sup>1</sup> E-mail: ueno.tomoaki@jaea.go.jp

### 3. 振動測定

#### 3-1.測定方法

測定には、KEYENCE製の高速・高精度CCDレーザー変位計(LK-G30)を使用した。測定可能距離は30 mm±5 mm、測定分解能は0.05 μmで、20 μsのサンプリング周期の測定が可能である。

CCDレーザー変位計のレーザーヘッドは、振動の影響が少ない位置に設置した測定用架台からのアングルの先端に固定した。また、X-Y-Z方向の各々の振動量の測定毎にレーザーヘッドの位置を移動した場合、各設置場所で電磁石からの振動の影響が異なるため、測定量に差が生じる可能性がある。そこで、レーザーヘッドの位置を移動することなく測定ができるように、直角二等辺三角形のブロックを電磁石架台に固定し、X-Y-Zの各々の方向の振動量を測定した。直角二等辺三角形のブロックを用いたX-Y-Z方向の測定原理は、3-2の測定原理で述べる。

水平シフトバンパ電磁石と測定用架台を写真1に、測定点と直角二等辺三角形のブロックを写真2に示す。また、レーザーヘッドの信号を測定する時に、電磁石ノイズの影響が少なくなるように、レーザーヘッドで取り込む信号ケーブルをフェライトに巻き、コモンモード対策を行った。

#### 3-2.測定原理

図1にX方向の測定原理を示す。直角二等辺三角形の斜辺の両端の角度は45度であり、二辺の長さが同じである。そのため、測定点に固定した三角形のブロックがX方向に動いた場合、その距離dxとレーザーヘッドで測定したZ方向の距離は等しくなる。しかし、この方法で求めると、X方向の振動とZ方向の振動が同時に生じた場合、測定したX方向の振

動量には、Z方向の振動量 $dz$ が含まれてしまう。そのため、レーザーヘッドで測定したX方向の振動量 $Xz$ は、 $Xz=dz+dx$ 、又は、 $Xz=dz-dx$ となる。Y方向の測定原理も、X方向の測定原理と同様である。

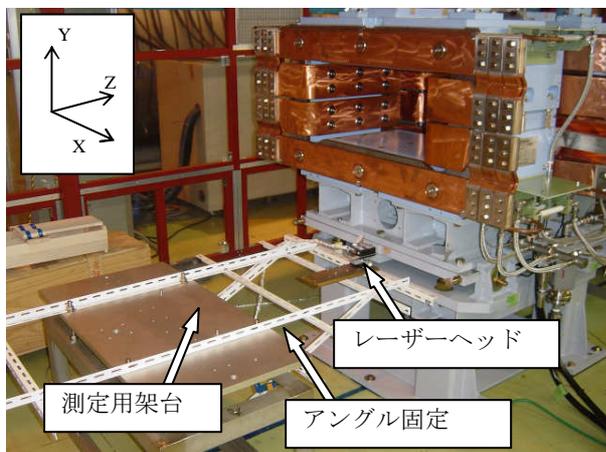


写真1. 水平シフトバンプ電磁石と測定装置

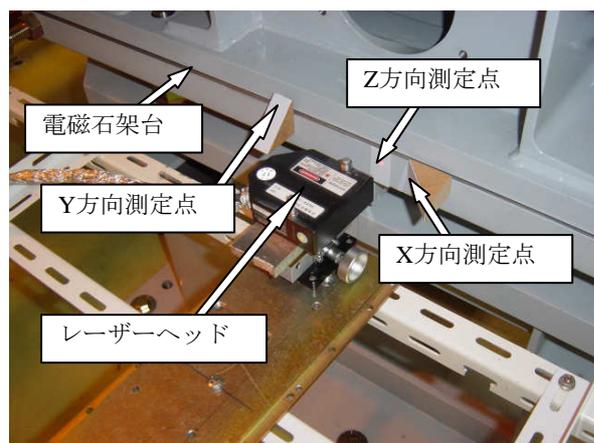


写真2. 測定点と直角二等辺三角形のブロック

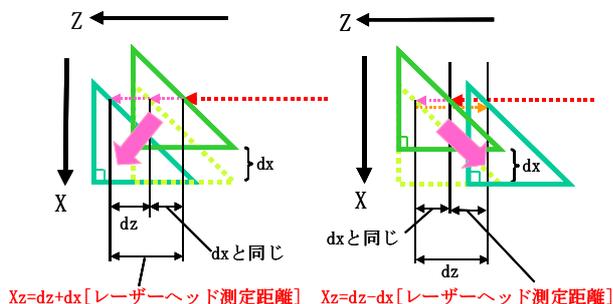


図1. X方向測定原理

### 3-3.アングルの影響

レーザーヘッドを固定したアングルが、X-Y-Z方向の振動量の測定結果に与える影響を調べた。測定は、アングルをハンマーで叩き、その振動量からFFT解析を行い、アングルの固有振動を調べた。アングルを叩いた時に測定した振動波形を図2に、FFT解析した結果を図3に示す。図2では約20 Hzの繰

り返し周期が見られる。また、図3より、21.36 Hzで周波数のピークを確認した。これより、アングルの固有振動は約21 Hzであると考えられる。アングルがX-Y-Z方向の振動量の測定に与える影響については、4.測定結果で検討する。

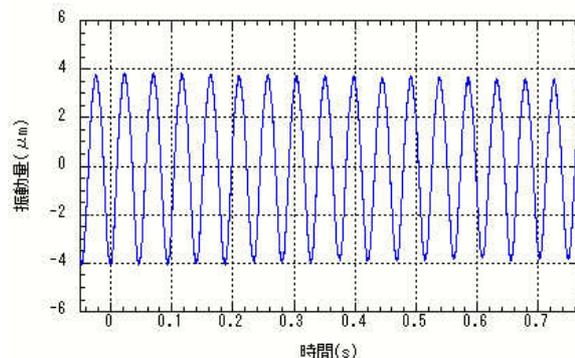


図2. アングルの振動測定結果

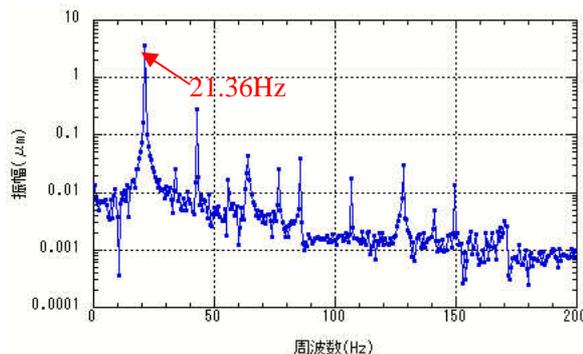


図3. FFT解析(アングルの振動測定結果)

## 4. 測定結果

実験での水平シフトバンプ電磁石の励磁波形を図4に示す。20 kAで励磁した時、0.17 Tの磁場が電磁石中心に発生する。また、測定には水平ペイントバンプ電源を使用したため、波形は立ち上げ650 μs、フラットトップ600 μs、立ち下げ650 μsとなる。

X-Y-Z方向のそれぞれの振動量を測定した結果を図5に示す。波形は25 Hzで運転した場合の3周期分のデータを示す。最大の振動量はY方向で3.9 μmであった。また、Z方向の振動量は2.0 μm、X方向の振動量は2.7 μmであった。ただし、X方向とY方向の振動量は3-2.測定原理より、Z方向の振動量が含まれている。

次に、アングルの振動が測定した振動量に与える影響を調べるため、X-Y-Z方向の振動量測定結果のFFT解析を行った。その結果を図6-(a)に示す。図は100 Hzまで見た波形である。運転周波数である25 Hzの整数倍の周波数にFFT波形のピークを確認した。また、40 Hzまで拡大した波形を図6-(b)に示す。アングルの固有振動と考える21 Hz周辺での振幅は0.002~0.004 μm程度であり、全体の振幅に対して、1000分の1以下と十分に小さいため、アングルの固有振動による影響は無視できると考える。

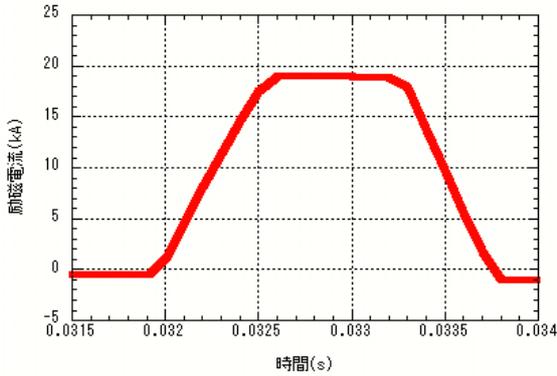


図 4. 水平シフトバンプ電磁石励磁波形

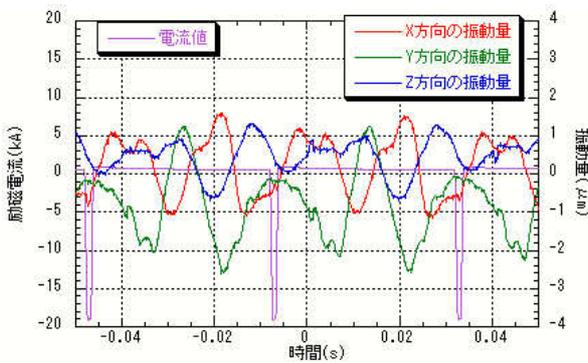


図 5. X-Y-Z 方向振動測定結果

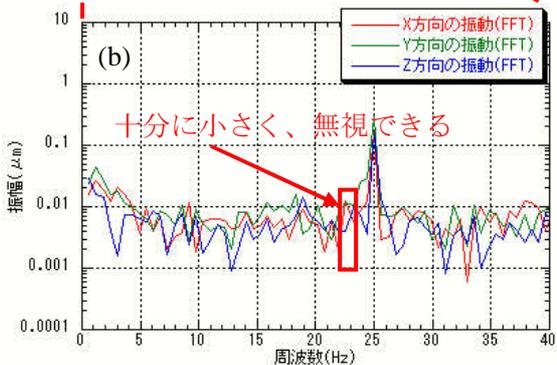
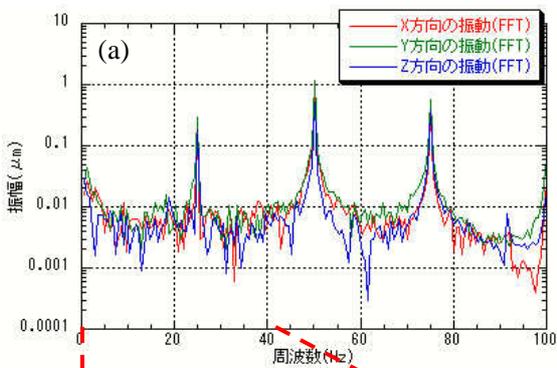


図 6. X-Y-Z 方向振動測定結果 (FFT 解析)

(a). 100 Hz まで見た波形

(b). 40 Hz まで拡大した波形

励磁電流と振動量の関係調べた。運転周波数を 25 Hz、励磁電流を 5 kA から 20 kA まで 5 kA 毎に変化させた場合の振動量を測定し、結果を図 7 に示す。励磁電流が大きくなるにつれ、振動量も大きくなっているのがわかる。そこで、400 MeV 入射時にどの程度の振動量があるのかを見積もるために、二次関数によるフィッティングを行った。400 MeV 入射時の励磁電流は 32.2 kA であり、想定される振動量は X 方向で 5.7  $\mu\text{m}$ 、Y 方向で 8.5  $\mu\text{m}$ 、Z 方向で 3.7  $\mu\text{m}$  である。

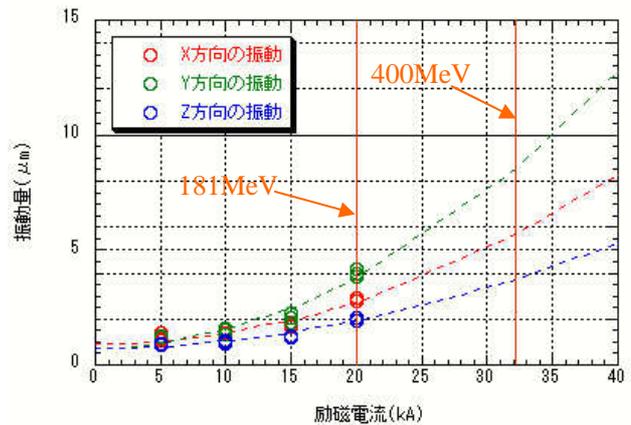


図 7. 励磁電流と振動量の関係

## 5. まとめ

水平シフトバンプ電磁石を 20 kA で励磁した場合の振動量は、X 方向で 2.7  $\mu\text{m}$ 、Y 方向で 3.9  $\mu\text{m}$ 、Z 方向で 2.0  $\mu\text{m}$  であった。また、X 方向、Y 方向の振動量に含まれている Z 方向の振動成分の除去方法については、今後の検討課題とする。

400 MeV 入射時に想定される振動量は Y 方向で 8.5  $\mu\text{m}$  と大きいため、セラミックスダクトの振動対策を考える必要がある。

## 6. 参考文献

- [1] T. Takayanagi et al., "Design of the injection bump system of the 3-GeV RCS in J-PARC", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 16, No. 2, June 2006, pp1358-1361
- [2] T. Takayanagi et al., "Design of the shift bump magnets for the Beam injection of the 3-GeV RCS in J-PARC", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 16, No. 2, June 2006, pp1366-1369