

## DEVELOPMENT OF CALIBRATION SYSTEM FOR BPM AT J-PARC 50GEV SYNCHROTRON

Kotoku Hanamura<sup>1,A)</sup>, Takako Miura<sup>B)</sup>, Yoshinori Hashimoto<sup>B)</sup>, Takeshi Toyama<sup>B)</sup>, Dai Arakawa<sup>B)</sup>,  
Hiroshi Matsumoto<sup>B)</sup>, Shigenori Hiramatsu<sup>B)</sup>, Hitoshi Ishii<sup>B)</sup>, Kenji Mori<sup>B)</sup>, Yuuich Watanabe<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

### Abstract

BPM(Beam Position Monitor) is essential beam diagnostic tool for accelerator tuning and operation. There are 186 BPM's in the J-PARC 50 GeV synchrotron. BPM is installed next to every quadrupole magnet. It is necessary for BPM to be calibrated before installed in the beam line. The goal of position accuracy is within  $\pm 0.1$  mm. We developed calibration system of machine accuracy within  $\pm 0.05$ mm.

## J-PARC 50GEV シンクロトロン BPM校正装置開発

### 1. はじめに

ビーム位置モニタ(Beam Position Monitor : BPM)は加速器の調整、運転に必須のビーム診断装置であり、J-PARC(大強度陽子加速器)50GeVシンクロトロン(MR)には186台のBPMが、ほぼ全ての四極電磁石に隣接して設置される。

BPM は、ビームラインにインストールする前に、精密な位置校正をする必要がある。これは、BPM 作製時に起こる電極位置のずれや変形による誤差等によるもので、1台毎にその誤差が違っていると予想されるからである<sup>[1]</sup>。

BPM校正の精度目標は $\pm 0.1$ mmである。この目標を満たすため機械精度 $\pm 0.05$ mm以内の校正装置開発を行った。本論文では校正装置の特徴、仕様について報告する。

### 2. 校正を行うBPMについて

MRで使用する円筒形の対角線分割の静電型電極BPM<sup>[2]</sup>の仕様を表1に示す。表1に示す様にMRに5種類、(3-50BT)に2種類、計7種類のサイズの異なるBPMが使用される。測定範囲は設計アクセプタンス $81 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ に基づいて計算された範囲である。

表1 : BPM仕様一覧表

	内径(mm)	外径(mm)	全長(mm)	測定範囲(mm)
MR	130	153	330	106
	134	157	330	116
	165	188	330	116
	200	223	330	160
	304 × 140	未定	500	180 × 50
3-50BT	200	218	299	122
	230	250	299	124

### 3. 校正装置の機器構成

測定対象のBPMをXYステージに固定し、BPMの両側に内径の等しいダミーパイプを接続し、XYステージにより測定範囲を10mm間隔で移動する。その中に外径 $0.26$ mmの銅コーティングCP線を張り、Wire終端にはインピーダンス整合用の抵抗を接続し、3.5kgの錘でWireにテンションを与えている。Wireは位置決め用滑車で固定されている。

XYステージの座標としてはX,Y軸に取付けたリニアスケールの指示値を取り込んでいる。ネットワークアナライザ(ZVT-8)を用いWire始点から、正弦波の印加を行うことによりビームを模擬し、Wireから各電極への透過係数を測定している<sup>[3]</sup>。図1に概念図、図2に校正装置全体の写真を示す。

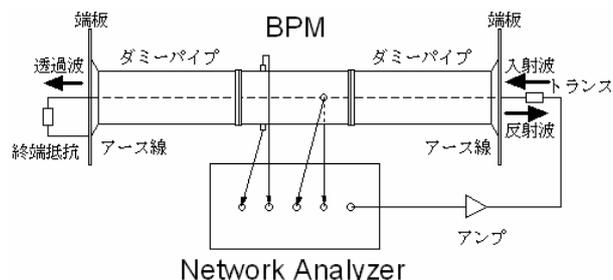


図1 : BPM校正装置概念図

<sup>1</sup> E-mail: hanamura@post.kek.jp

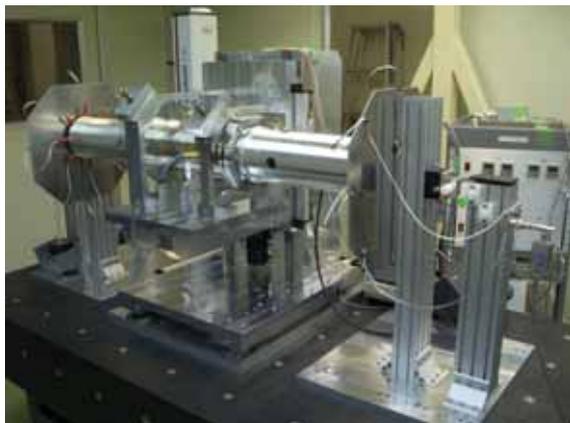


図 2 : BPM校正装置全体

## 4 . 校正装置の特徴

### 4.1 石定盤の使用

マイクロオーダの精密測定を行うために、BPM校正装置を石定盤上に配置した。石定盤上に外部からの衝撃があった場合でも石定盤が隆起することは無く、比較的初心者にも取り扱いが容易であること、錆びないことにより石定盤を使用した。

各装置据付の際には石定盤の側面からはダイヤルゲージを取付けた石定規、上面からはデジタルハイトゲージを用いて基準出しを行い、0.01mm以内の精度で機器アライメントを実施した。

校正を行うBPMは表 1 の様に7種類あり、BPMの内径により接続するダミーパイプ長が異なる。そのため測定を行うBPMのタイプが変更になるとBPMから端板間の距離が変わり、端板位置アライメント変更が生じる。側面基準を使用することで容易にアライメント変更が出来る。

### 4.2 Wire固定、BPMヘッド移動方式

WireはVカットした位置決め用滑車にWireを乗せて、Wire始点をN形コネクタに固定し、終端に錘をつるしテンションを与えると精度良くWireを張ることが出来る。Wireにテンションを与えているので温度変化によるWireの伸びを防いでいる。図 3 にWire位置決め用滑車の写真を示す。



図 3 : Wire位置決め滑車 (始点)

Wire固定方式を選択したことにより、XYステージの移動時に起きるWireのゆれの問題を解消している。また駆動部を駆動対象のBPM近傍にすることが可能になり、安定した動作を可能としている。

### 4.3 XYステージ基準座

XYステージに測定を行うBPMの基準面と接触する基準座がX,Y軸の各方向に2ヶ所ずつ計4ヶ所ある。BPMタイプ別にXYステージ基準座から、BPM基準面までの長さが異なる。そのため基準座にゲージブロックを密着 (リングング) させて使用している。ゲージブロックの組み合わせを変更することで、各BPMに対応した。ゲージブロックとは精密部品の比較測定のためのマスターゲージとなるもので各ゲージブロックの寸法誤差は0.1 $\mu$ m以下である。リングングの精度をデジタルハイトゲージで確認したところ0.002mm以内の誤差で再現していることを確認した。

### 4.4 BPM中心座標の決定

Wire中心位置をXYステージの各基準座から測定する。ゲージブロックをWire中心位置出しセンサとして用い、ゲージブロックとWireの電気接触のON/OFFから位置を求めた。具体的にはステージを移動しWireとゲージブロックを接触させ、Wireが離れる点を0.001mmの刻みにステージを移動させて求める。これをX,Yの各軸方向に行う。図 4 にWire位置測定の写真を示す。Wire位置を接触方式で求めた座標とWireの半径を加えた値がWire中心座標になり、各BPMのデザインセンタ座標に合わせて、ここが原点になる。

Wireを張り位置測定を繰り返し、その再現性を調べると $\pm 0.001$ mmの精度で再現する。



図 4 : Wire位置測定

### 4.5 測定場所

KEK大穂実験室のクリーンルームで測定を行っており、パーティクル数200/CF以下、室温20 ~ 21 $\pm 0.5$  (BPM付近の温度) の環境下で測定を行っている。温度変化による各装置に与える影響を最小限に抑えている。

## 5. 校正装置の構成要素の仕様

校正装置で使用している機器名称、精度等の仕様を表2に示す。

表2：BPM校正装置の機器仕様一覧

石定盤	JIS1級 平面度 最大5 $\mu$ m
デジタルハイトゲージ (機器アライメントに使用)	DIGIMAR CX-1 測定誤差:3.5 $\mu$ m(測定長 600mm)
XY ステージ	寸法:(L $\times$ W $\times$ H):800 $\times$ 550 $\times$ 700mm 材質:YH52 ステージ可動範囲:200mm 駆動スピード:X方向 1~4mm/sec Y方向 0.5~2mm/sec
駆動モータ	X軸:ASM66AA Y軸:ASM66MA-N10
モータコントローラ	PM2C-05A 2CH PULSE MOTOR CONTROLLER
リニアスケール	AT102 表示精度:6.25 $\mu$ m(測定長 250mm)

## 6. 校正装置性能試験結果

校正装置の性能調査を行った結果を表3に示し、以下に試験の詳細を述べる。

表3：校正装置性能表

項目	精度
XY ステージの傾き	最大0.033mm(測定長 300mm)
XY ステージ移動時の傾き	X軸:最大0.015mm(測定長 120mm) Y軸:最大0.011mm(測定長 120mm)
Wire 張替え再現性	X軸:0.010mm 以下 Y軸:0.015mm 以下
BPM 設置再現性	$\pm$ 0.02mm 以下
(参考)校正データの再現性	$\pm$ 0.03mm (測定器系の誤差を含む)

### 6.1 XYステージの傾き

Y座標:-100,0,100でのステージの傾きをデジタルハイトゲージで測定した。ステージの傾きは最大0.033mm(測定長300mm)であった。ステージ移動による傾きの変化は最大で0.005mm程度であった。

### 6.2 XYステージ移動軸の傾き

XYステージを移動した際の移動軸のずれを測定した。XYステージをY方向に移動した時のX方向のずれとステージをX方向に移動した時のY方向のずれを、固定されたWireを基準にしてステージ移動後の基準

座からWireまでの距離を測定して移動軸の傾きを確認した。

### 6.3 Wire 張替え再現性

Wireを張り替えた時のWire中心位置測定(4.4の測定法を参照)をした結果を示す。この結果張替えにおける設置誤差は最大0.015mmであることが分かった。本測定では張替えデータの平均値を中心座標として、誤差を $\pm$ 0.008mm以内になる様にしている。

### 6.4 BPM設置再現性

BPMをステージに設置してWireの中心座標にBPMのセンターを合わせ、位置データ測定を行う。その後BPMの位置を移動して再度正規の位置に設置する。これを数回繰り返して位置データを測定した。その結果Network Analyzer等の測定器系の誤差を含む $\pm$ 0.03mm以内で再現した。測定器系の誤差を計測したところ $\pm$ 0.01mm程度であったので、BPM設置再現性の精度としては $\pm$ 0.02mm以内で再現したことになる。

### 6.5 校正データの再現性

同一セッティングにより校正データ測定を繰り返しその再現性を確認したところ、 $\pm$ 0.03mmの精度で再現した。(Network Analyzer等の測定器系の誤差を含む)

## 7. おわりに

開発したBPM校正装置を用いることで、概ね $\pm$ 0.05mm以内の精度で、BPM校正が可能になった。

約200台のBPM校正作業を行う上で、精密測定が行なわれる様にXYステージの管理を行うと共に、測定作業効率化に貢献していきたい。

## 8. 謝辞

装置開発にあたり多くの方々にご助言、ご指導を頂きました。特に製作にあたり株式会社オオツカ(<http://www.mo-ohtsuka.co.jp>)の大塚美智夫氏には多大なご協力を頂きました。これらの方々には厚く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 諏訪田 剛 ビーム計測 ,高エネルギー加速器セミナー(OHO'02)
- [2] 外山 毅 他、J-PARC 50GeV Ring の BPM 検出器、第14回加速器科学研究発表会、2003
- [3] 三浦孝子 他、本 proceedings WP67