

## Calibration of Beam Position Monitor for J-PARC Main Ring Synchrotron

T.Miura<sup>1,A)</sup>, Y.Hanamura<sup>B)</sup>, Y.Hashimoto<sup>A)</sup>, T.Toyama<sup>A)</sup>, D.Arakawa<sup>A)</sup>, H.Ishii<sup>A)</sup>, M.Tejima<sup>A)</sup>, S.Hiramatsu<sup>A)</sup>,  
H.Matsumoto<sup>A)</sup>, K.Mori<sup>A)</sup>, S.Lee<sup>A)</sup>, Y.Watanabe<sup>A)</sup>, R.Toyokawa<sup>C)</sup>

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

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

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

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

<sup>C)</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakatashirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195, Japan

### Abstract

The position calibration system for the beam position monitor (BPM) of the J-PARC main ring (MR) have been constructed. The position accuracy has been achieved to be less than  $\pm 0.1$  mm using the 'wire method'.

## J-PARC 主リング用ビーム位置モニターのキャリブレーション

### 1. はじめに

J-PARC主リングにおける入射時の横方向のエミッタンスは $54\pi$  mm-mradであり、ビームサイズ(全幅)に直すと、小さい場所で約30 mm、大きい場所では約90 mmにも及ぶ。このような大きなビームサイズにも関わらず、スペースチャージによるビームブローアップなどを原因とするビームロスを低減するため、ビームの重心位置を $\pm 0.1$  mmの精度で測定することを目指している。そのため、ビーム位置モニター(BPM)には、横方向の広い領域で良好な線形応答を有するダイアゴナルカット(対角線分割)形状の静電型電極が採用されている<sup>[1]</sup>。加速器にインストールする前の校正作業として、ワイヤー法によるBPMヘッドのキャリブレーションを開始した。本論文では、この詳細について報告する。

### 2. BPM

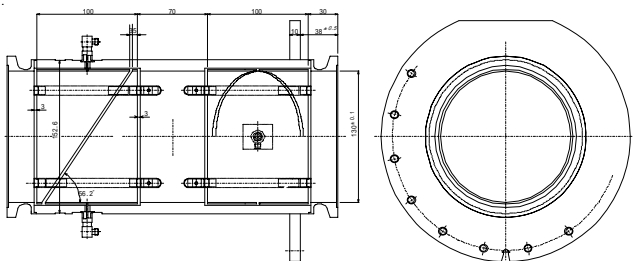


図1. BPM電極形状<sup>[1]</sup>

図1にBPMの電極形状を示す。ダイアゴナルカット型電極は、上下、左右で対を成して、Y(垂直方向)とX(水平方向)を測定する電極が互いに独立している。BPMの種類は、内径が $\phi 130$  mm,  $\phi 134$  mm,  $\phi 165$  mm,  $\phi 200$  mmの4種類あり、台数はそれぞれ159

台, 18台, 7台, 2台である。特に、台数の多い $\phi 130$  mmのBPMに対して、 $\pm 0.1$  mm以下の精度でキャリブレーションを行なう必要がある。BPMヘッドには、側面に基準面が設けられており、それを基準としてXYステージに設置し、ワイヤーもBPMの機械的中心に精度よくセットする必要がある。これらの詳細に関しては、今回発表される別の論文にまとめられている<sup>[2]</sup>。

### 3. 測定セットアップ

キャリブレーション作業は、クラス10000のクリーンルーム内で行なっており、温度も $\pm 1$  以下となるように制御されている。ワイヤー法によるキャリブレーションの構成を図2に示す。

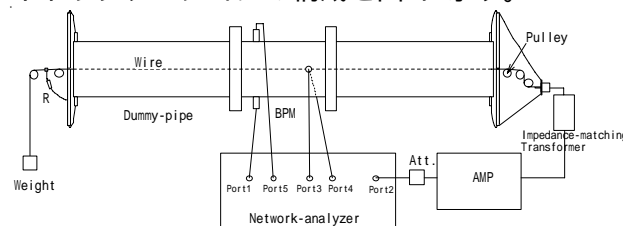


図2. 測定セットアップ

<sup>1</sup> E-mail: takako.miura@kek.jp

基本パラメータ

- ・ ワイヤー：φ0.26 mmの銅メッキピアノ線
- ・ ワイヤーの位置決め精度：±数 μm
- ・ BPM の設置誤差：±30 μm 以下
- ・ 温度の安定性：±1 以下
- ・ マッピングポイント：BPM 中心を基準に格子状に 1 cm 間隔で BPM 内径全体をカバー
- ・ 測定周波数：1.7MHz-10.2 MHz (0.85 MHz ステップで 11 点)
- ・ 測定装置：5 ポートのネットワークアナライザ(NA) (ZVT8), 1 ポートをワイヤーへの入力とし、残り 4 ポートは、BPM に接続
- ・ ワイヤー入力側：NA の下流に高周波アンプ (R&K A30-10-R)を接続。ワイヤーと BPM の特性インピーダンスにマッチするように、インピーダンス変換トランスを通して、ワイヤーへフィード
- ・ ワイヤー終端側：ワイヤーが中心にある場合の特性インピーダンスと同じ抵抗を入れて終端 (ワイヤーがチェンバーの端にくると特性インピーダンスが変化しますが、それによる位置測定結果への影響は見られなかった)

4. 測定及び結果

ワイヤーでマッピングを行なうことにより、BPM 電極の感度係数  $k$  と電気的中心のオフセット  $\delta_x$  を求めることができる。これらは、対向する2つの電極の出力を  $V_1, V_2$  とすると、ワイヤーの位置  $x$  に対して次式の関係で示される。

$$(V_1 - V_2) / (V_1 + V_2) = \Delta / \Sigma = kx + \delta_x \quad (1)$$

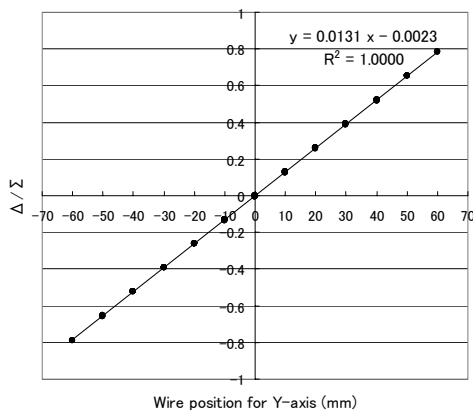


図3 Y軸のワイヤー位置に対する  $\Delta / \Sigma$  の測定結果

ダイアゴナルカット型電極は、X(水平方向)と Y(垂直方向)を測定する電極が互いに独立しているので、それぞれの方向に対して個別に結果を出力した。図3にY軸のワイヤー位置に対する  $\Delta / \Sigma$  の測定結果、及び線形フィットの結果の1例を示す(φ130mm BPM)。このプロットには、X軸のワイヤー位置が異なった

結果も重ねてプロットしてある。ダイアゴナルカット型が広い領域で線形応答を示すことがわかる。

リニアフィットによって求めた  $k$  と  $\delta_x$  の補正を行い、Y電極、X電極それぞれのマッピング測定の結果に対してワイヤーからのズレを10倍に拡大して、ズレ量を見やすくしたものを図4に示す。

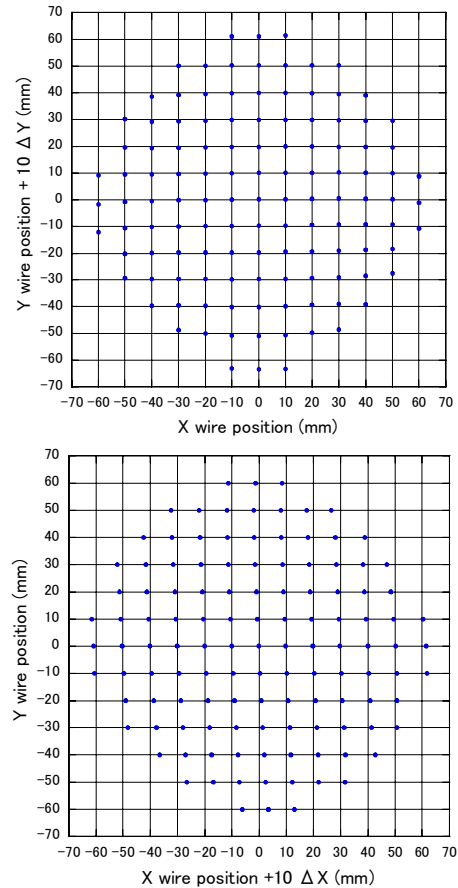


図4 マッピングの測定結果(上:Y電極、下:X電極)  
ワイヤー位置からのズレ量を10倍に拡大して表示。  
(例:(0,-60)に対して、X電極では0.3mmのズレ。  
ズレが無い場合は、軸の格子点上に表示される)

Y電極側は、端点を除き広い領域でワイヤー位置を再現できている。一方、X電極の結果を見ると、電極が-5.1 mrad回転している結果となった。このような回転誤差の他、BPMの個体差として、溶接歪みによる電極の真円からのズレにより、非線形的な歪みも観測されている。0.1 mm以下の精度で位置を決定するには、電極の歪みなどから生じる(1)の式からのズレが問題となるため、マッピングの結果に対して適切な内挿処理などの補正をする必要がある。

図5にリニアフィットから得られた  $\Delta / \Sigma$  に対する補正係数  $(1/k)$  の周波数特性を示す。補正係数  $(1/k)$  は、理想的には電極の半径(e.g.65)になるべきものだが、実際には、それよりも補正量は大きく、周波数依存性も確認された。これについては、対向する電極間の静電カップリングの影響で説明できることが以前に報告されている<sup>[1]</sup>。

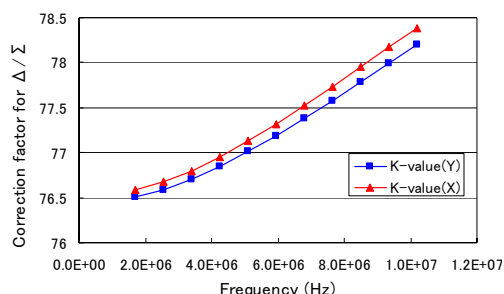


図5 Δ/Σに対する補正係数(1/k)の周波数特性

電気的中心のオフセット(δ<sub>x</sub>/k)についても、周波数依存性が見られた。これは、各電極の静電容量(C)の違いによるゲインバランスの影響で説明することができる。内径130 mmタイプのBPMの場合、カットオフ周波数は約15 MHzで、今回の測定周波数領域は、それよりも低い。そのため、ゲイン(G)は、静電容量の逆数だけでなく、周波数特性も考慮に入れる必要があり、式(2)のように表される。

$$G_j \propto \frac{i\omega C_j R}{1+i\omega C_j R} / C_j \quad (2)$$

ここで、jは各電極を意味し、ωは角周波数、Rは50Ωである。C<sub>j</sub>は、BPM内にワイヤーを挿入していない状態での各ポートにおける反射波の測定によって取得されている。各電極のゲインバランスを計算し、1.7 MHzのデータからのオフセットの変位量を図6に示す。

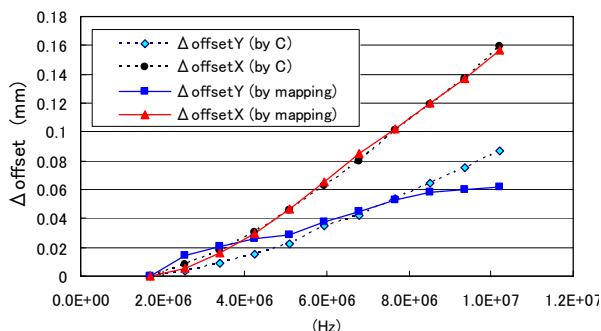


図6 電気的中心のオフセットの周波数依存性

図6から、マッピング測定から得られた結果と静電容量から想定される値とは、ほぼ一致していることが分かる。Yのデータに、若干の差異が見られるが、これは、ネットワークアナライザなど、Cとは別のゲインバランスのバラツキが原因と考えられる。

この他、キャリブレーションデータの再現性を考えた場合、温度が重要なパラメータとなることを示す。室温やNAの温度変動に対するY,Xの測定結果の変動を図7に示す。

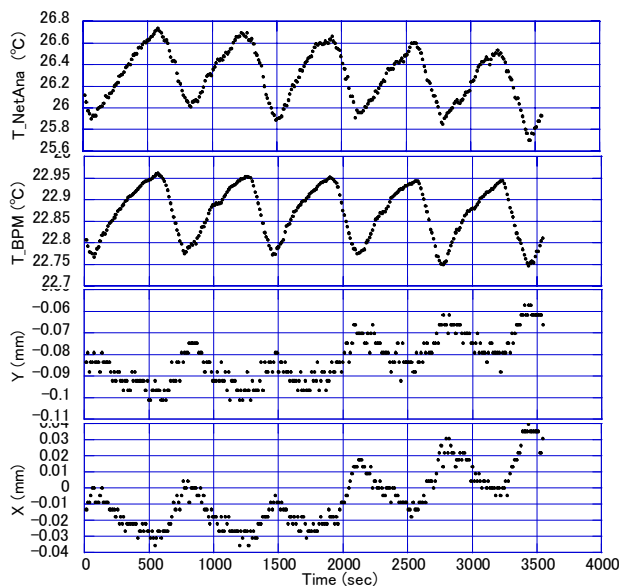


図7 Y,X測定の温度依存性

(上からNA筐体温度、BPM付近の室温、ワイヤー位置(0,0)でのY,Xの測定結果)

室温とNA筐体温度は同期しており、また、位置測定の結果もそれらの温度変化に同期していることが分かる。NA筐体温度を基準にして、0.1 の変動で数ミクロン程度の誤差が含まれる結果となった。NAの温度変化が大きい場合、NA自身のキャリブレーションデータからのズレが大きくなり、ポート間のゲインバランスが崩れてしまう。そのため、温度、及びNAのゲインバランスを監視し、再現性が±50 μmを超えた場合には、NAのキャリブレーションからやり直し、再度マッピング測定を行なうようにしている。

## 5. まとめ

J-PARC主リング用のBPMヘッドのワイヤーキャリブレーションシステムの構築を行なった。現在、キャリブレーション作業が進行中であり、±0.1 mm以下の精度で測定がなされている。

## 参考文献

- [1] 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)
- [2] 花村 幸篤 他, 本学会プロシーディング WP66