

RESULTS OF BPM POSITION SURVEY IN J-PARC MR

Kotoku Hanamura^{1,A)}, Dai Arakawa^{B)}, Tejima Masaki^{B)}, Takeshi Toyama^{B)}, Yoshinori Hashimoto^{B)},
Shuichiro Hatakeyama^{A)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

BPM's(Beam Position Monitor) are essential beam diagnostic tools for stable operation. In the J-PARC MR approximately 200 BPM's are installed next to almost of all quadrupole magnets. The main purpose of BPM is to obtain closed orbits and one pass orbits, and to provide a real time orbit signal as a reference for the RF feedback control system. We measured the mechanical offsets of BPM's relative to the quadrupole magnets with the Laser Tracker to improve accuracy. Offsets from the design beam center and rotating angles were calculated based on the coordinate data. This paper describes surveying method and the result until April 2008.

J-PARC MR BPMの測量結果

1. はじめに

ビーム位置モニター (Beam Position Monitor, BPM) は安定なビーム運転を行う上で、必須のビーム診断装置である。J-PARC MR のBPM^[1]は、ほぼ全ての四極電磁石に隣接して約200台設置されている。

BPMの電極形状は、ビーム位置線形応答を重視し、主に円筒形状対角線分割 (ダイアゴナルカット) の静電型電極を採用した。BPMの内径は130mm、134mm、165mm、200mm、257mm、320mm、レーストラック型 (W302 × H140) の7種類がある。

BPMの主な目的はビームの閉軌道の観測と1回通過での軌道観測、RFのフィードバック制御システムの実時間 ($f = 10\text{kHz}$) 軌道基準信号を提供することである。MR BPMはビームロスを低減するために $\pm 100\ \mu\text{m}$ の精度でビーム重心を測定することを目標にしている。

BPMでビーム位置の精度を出すために、ネットワークアナライザを用いたBPMヘッドの感度分布の測定^{[2][3][4]}、レーザートラッカ (LTD500, LTD600) を用いたBPMヘッド設置位置の測定、Time Domain Reflectometry (TDR) を用いた信号処理回路と信号伝送線路のバランス測定を行った。これらの結果より、補正値を算出し、ビーム位置を出す。

本論文では、2008年4月まで行われたBPMヘッド設置位置測定について、測量方法と結果について報告する。

2. BPM設置方法

Q電磁石のおおよそ中心にQチェンバを固定して、Qチェンバのフランジ面にBPMのフランジ面を合わせ込む様にBPMを設置する。その際、BPMの基準面に気

泡管を載せ、基準面がおおよそ水平になる様に調整する。

理想的なBPM設置位置は、Q電磁石の磁場中心とBPMの電気的中心が一致する位置である。このような理想的な位置に設置するには、BPMの支持架台の調整機構が複雑になることや、Qチェンバの調整範囲が狭いことと、台数が200台にも及び工期的にも難しいため、LTにより座標を合わせ込む調整はしていない。

それよりも、BPMが設置された位置を電磁石の基準座から精密に測定して、位置関係を把握する方が効率的で、現実的である。

3. BPM測量方法

測量箇所がLTのレーザで見通しの出来る場所にLTを設置して水平出しを行う。BPM測量器をBPMヘッドの基準面に接するように測量器^[4]を載せる。コーナキューブリフレクタ (CCR) を固定するピンネストが取り付けられているハイタッチセットをQ電磁石の基準座に設置する。

Q電磁石の基準座の上・下流を測定し、LT制御用のPCによって上流側を原点とする座標系に変換する。Z軸、Y軸の回転を0にすることで、下流基準座のY座標、Z座標が0になる様に座標変換する。(図1) 座標変換後、Q電磁石とBPMの所定の箇所を測量する。

BPMの測量を行った時の諸条件として、以下の2点を満たす様に測量を行った。

- ・ BPMの上・下流の真空機器が接続されている状態。
- ・ BPM内部が真空もしくは粗排気されている状態。

しかしながら全体のスケジュールの都合で、BPM上流の真空機器が接続されていない状態で、BPM内部

¹ E-mail: hanamura@post.kek.jp

が大気圧で測量を行った箇所が13箇所あった。

3.1 BPM測量のための座標定義

LTによる測量座標系は、ビームの進行方向をX座標（上流：+，下流：-）、水平方向をY座標（トンネル内通路側：+，壁側：-）、鉛直方向をZ座標（上向き：+，下向き：-）とした。座標系を図1に示す。

また回転角とOffsetの算出に必要なBPMの機械的中心からBPM測量点（CCR中心）の距離：r、Q電磁石の機械的中心からQ電磁石基準座測量点（CCR中心）の距離：Rを図1に示す。

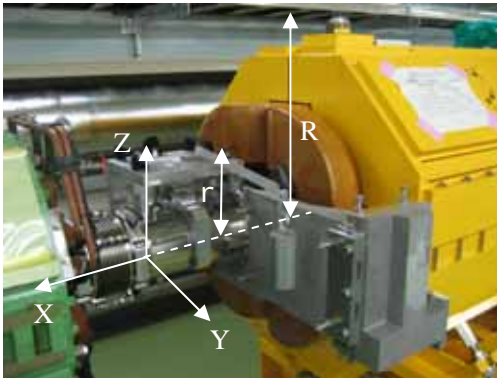


図1．座標系

3.2 測量箇所

測量箇所はBPMの上・下流の基準座上部2点とQ電磁石の上・下流の基準座の2点、計4点とし、LT測量を行った。図2にBPMの測量箇所の写真を示す。

BPMの設置位置は座標データと各軸の回転角を計測する。X軸、Y軸回りの回転角はデジタル水準器（DL-m1, 読取り精度（17 ~ 23）±0.02mm/m）で測定した。

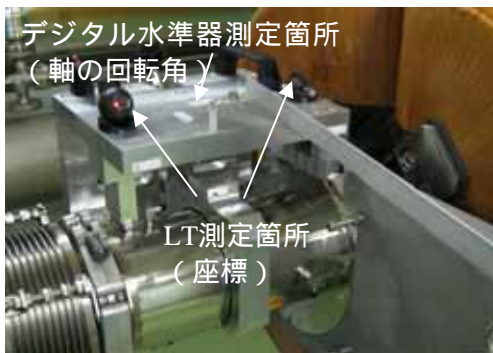


図2．BPMの測量箇所

3.3 軸周りの回転角の算出方法

回転角をそれぞれX軸：x, Y軸：y, Z軸：zとする。x, yはデジタル水準器で測定を行い、zはBPM上・下流の測量点の座標値から算出した。

$$z = \arctan \times \frac{(BPM上流Y座標) - (BPM下流Y座標)}{(BPM上流X座標) - (BPM下流X座標)} \times 1000 [\text{mrad}]$$

3.4 Offsetの算出方法

Q電磁石の機械的中心とBPMの機械的中心のOffset H:Horizontal, V:Verticalを算出した。

$$\text{Offset H} = \frac{(BPM上流Y座標) + (BPM下流のY座標)}{2} + r \times \sin(x \times 0.001) \quad [\text{mm}]$$

$$\text{Offset V} = \frac{(R-r+BPM上流のZ座標) + (R-r+BPM下流のZ座標)}{2} + r \times (1 - \cos(x \times 0.001)) + r \times (1 - \cos(y \times 0.001)) \quad [\text{mm}]$$

r, Rは図1を参照

4．BPMの測量結果

x, y, z, Offset H, Offset Vのヒストグラムを図3～図7に示し、BPMが設置されている箇所（Q-address）での傾向を図8～図12に示した。また表1に測量結果を示す。

5．測量誤差について

5.1 真空と大気圧の差

BPM内部が真空と大気圧の場合の差を7箇所では測量を行い、Y座標で最大50 μmの差が観測された。

5.2 BPM上流機器の有無による差

スケジュールの都合でBPM上流側に真空機器が接続されていない状態で測量を行い、測量後に真空機器が接続される場合、上流側機器のフランジ位置がBPMのフランジ位置に比べ、最大1mmずれる時に生じるエラーを見積もった。BPM上流に締結されるフランジが1mmの範囲でずれた状態で、BPMを締結すると、最大180 μmの変位が観測された。

5.3 測量の再現性

同じ測量箇所では測量後、測量器の付け外しを行った時の差を6箇所では測定。Z座標で最大16 μmの差が観測された。

5.4 測量器の重量が及ぼす誤差

測量器本体の重量が13kg程度あるので、測量器をBPMに取付けた時のBPM変位は鉛直方向に最大30 μmであった。^[5]

6．まとめ

測量結果より、xはy, zに比較し分散が大きく、±10[mrad]以内で設置された。xの分散が大きくなった理由は、BPM設置作業時に精密な角度調整を行っていないためである。y, zの分散が小さい理由は、BPMと接続されるQチェンバフランジの直角度やQチェンバの設置角度に依存し、それぞれ十分小さいためである。またOffset HとOffset Vの

分散はほぼ同じ程度で、2箇所を除き ± 2 [mm] 以内で BPM 設置された。

図 5、図 10 で大きく外れている箇所は #155 BPM (内径 257mm) で図 6、図 11 で大きく外れている箇所は #035 BPM (内径 130mm) である。

今後は BPM 測定データをビーム位置補正に使用できる環境を整備し、ビームコミッションのビーム診断に生かしていく。

表 1 . 測定結果

| Parameter | 単位 | 平均値 | 標準偏差 | 最大 | 最小 |
|-----------|--------|--------|-------|-------|---------|
| x | [mrad] | -0.958 | 3.265 | 7.57 | -9.00 |
| y | [mrad] | 0.655 | 1.357 | 3.89 | -4.16 |
| z | [mrad] | 0.266 | 1.550 | 5.173 | -12.064 |
| Offset H | [mm] | 0.200 | 0.612 | 1.409 | -4.094 |
| Offset V | [mm] | -0.344 | 0.499 | 1.264 | -1.669 |

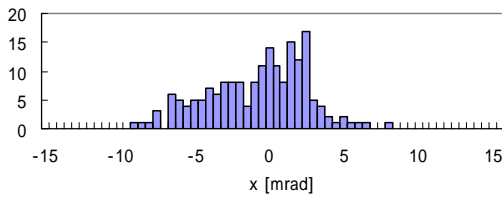


図 3

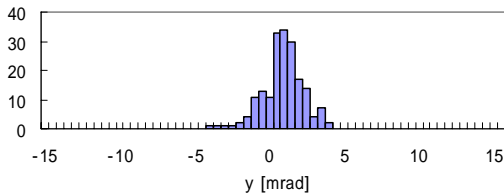


図 4

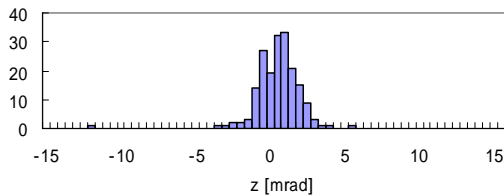


図 5

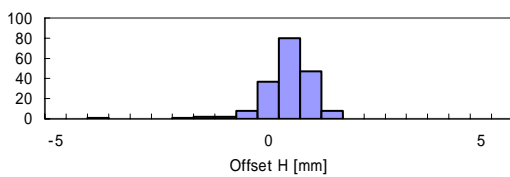


図 6

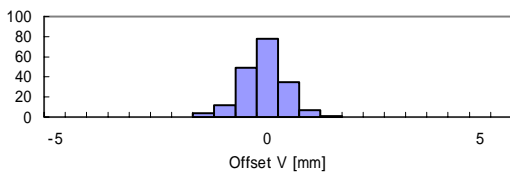


図 7

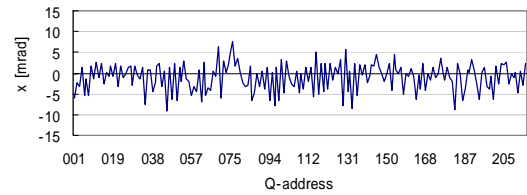


図 8

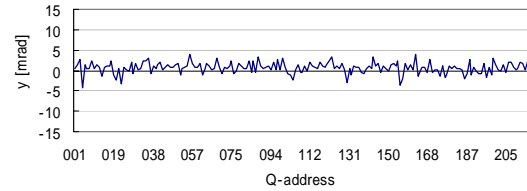


図 9

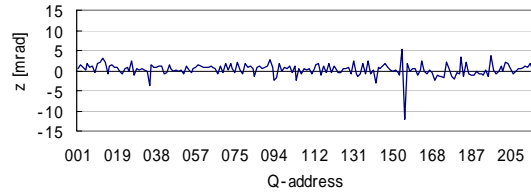


図 10

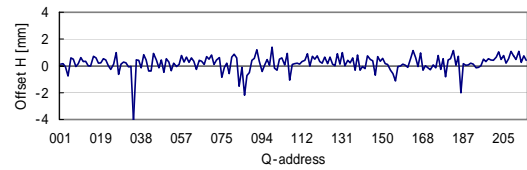


図 11

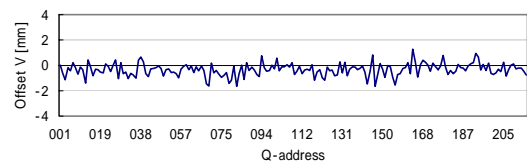


図 12

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, J-PARC 50GeV シンクロトロン BPM 校正装置開発, 第3回日本加速器学会年会・第31回リニアック技術研究会

- [3] 三浦孝子 他, 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, 第3回日本加速器学会年会・第31回リニアック技術研究会
- [4] 橋本義徳 他, J-PARC MR BPM の校正データの解析, 第4回日本加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会
- [5] 花村幸篤 他, J-PARC 50GeV シンクロトロン BPM 測定器の開発, 第4回日本加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会