

DEVELOPMENT OF SURVEYING TOOL FOR BPM AT J-PARC 50 GEV SYNCHROTRON

Kotoku Hanamura^{1,A)}, Dai Arakawa^{B)}, Tejima Masaki^{B)}, Takeshi Toyama^{B)}, Yoshinori Hashimoto^{B)},
Shigenori Hiramatsu^{B)}, Hiroshi Matsumoto^{B)}

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 accelerator tuning and operation. In the J-PARC 50 GeV synchrotron BPM's are installed next to almost of all quadrupole magnets.

To obtain overall position accuracy of $< 300 \mu\text{m}$ at day-1, installation errors should be corrected with surveying data. We measure the mechanical offsets relative to the quadrupole magnets with the Laser Tracker of accuracy within $50 \mu\text{m}$. A surveying tool which holds the reflector for Laser Tracker on the BPM has been developed to satisfy the accuracy within $\pm 100 \mu\text{m}$.

J-PARC 50GeV シンクロトロン BPM 測量器の開発

1. はじめに

BPM(Beam Position Monitor)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 50GeVシンクロトロン(MR)には、ほぼ全ての四極電磁石に隣接して設置される。^[1]BPM はビームラインにインストールする前に精密な校正^{[2],[3],[4]}を行い、BPMの個体差の補正用データを取得している。

ビームラインにインストールされたBPMは $50 \mu\text{m}$ 以下の位置精度を判別できるレーザートラッカ (LT)を用い、BPMと四極電磁石基準座の精密な相対座標を測定する。測定された座標と校正データから、ビーム位置が算出される。

LTによる座標測定には、レーザーのターゲットすなわち「リフレクタ」をBPMにセットする必要がある。そのためBPMに精度良く取り付けることができ、リフレクタも精度良くホールドできる測量器を開発した。測定精度 $\pm 100 \mu\text{m}$ を目標とした。本論文ではBPM測量器の特徴、仕様について報告する。

2. 測量を行うBPM について

MRでは位置の線形性を重視し、円筒形の対角線分割の静電型電極BPM^[5]が使用される。3-50BTには、2次モーメントの観測も兼ねて、平行4分割のBPMが使用される。BPMの総数は約200台である。ヘッド内を陽子ビームが通過することにより、4電極に電荷が誘起され、電極と外部導体間で電圧信号が発生する。この信号を送信ケーブルで処理回路に送り、演算することでビームの重心位置が算出される。

BPMには基準面がビーム進行方向の上流・下流に2

箇所あり、それを基準としてBPM校正と位置測量を行う。



図1. MR ビームラインに設置されたBPM

3. BPM 測量方法

3.1 測量座標

測量には、LTで決められた座標系 (X: ビーム進行方向, Y: ビーム垂直方向, Z: 鉛直方向) を使用する。必要になるデータとしてX, Y, Z座標 (BPM, 四極電磁石)、ビーム進行方向と垂直な面内での回転、ビーム進行方向の傾斜を測定する。

測定した座標データは、最終的にビームコミッションで使用される座標系に変更する予定である。

3.2 レーザートラッカ (LT)

測量には、J-PARCで所有しているLeica社製レー

¹ E-mail: hanamura@post.kek.jp

ザートラッカLTD500、LT600、LTD600のいずれかを使用する。(http://www.leica-geosystems.com)

LTから出射されたレーザー光は、被測量体にセットされたコーナーキューブリフレクタ(CCR)を自動的に追尾し、CCRで反射され出射部に戻ってくる。反射された光波の情報から、CCRすなわち被測量体の方向と距離がLT制御器内で算出される。

LT使用のメリットは、CCRの移動が容易で、CCRの設置位置の再現性も非常に良い。座標がリアルタイムに計測されるので、座標を見ながらBPM据付け位置調整が可能である。



図 2. レーザートラッカと測量器の位置関係

3.3 BPMの回転計測

LTでは、CCRがビーム軸方向に4箇所(Q電磁石、BPMにそれぞれ2箇所)並んだ座標しか計測できないため、ビーム軸と垂直な面内でのBPMの回転は、計測できない。この回転の値も座標要素として必要であり、この値は、0.02mradの分解能をもつデジタル水準器を、BPM測量器に載せて計測する。

使用するデジタル水準器は±5mrad以上の傾斜は計測できない。場所によって、BPMの回転が5mrad以上傾斜して設置されている箇所が存在する。このような箇所を計測できる様に5mrad(角度:0.01mrad、平面度:0.001mmの精度で作製)の傾斜ゲージ(三菱計器社製)を作製した。

4. BPM測量器の構成

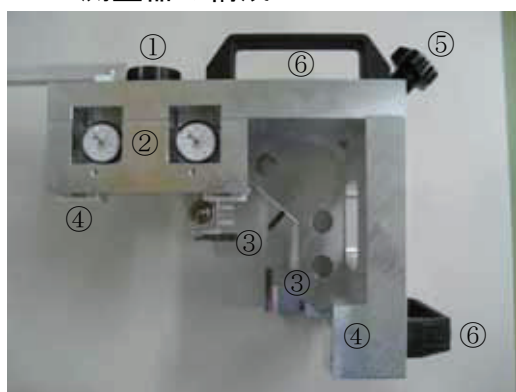


図 3. BPM測量器

- ①リフレクタホルダ：CCRのホルダ
- ②ダイヤルゲージ：BPM基準面と測量器基の接触状態を確認できる

- ③測量器基準座(ビーム上流側)
- ④測量器基準座(ビーム下流側)
- ⑤測量器固定用ノブ ⑥測量器運搬用取手

5. BPM 測量器の特徴

5.1 3種類の測量器

サイズの異なるBPMは、測量器の基準座からBPM基準面距離がそれぞれ異なる。各2種類のサイズのBPMに1台の測量器で対応するために、距離の差から生じる隙間にゲージブロックを挿入した。ゲージブロックは基準座に密着(リンギング)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、それぞれサイズが異なる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0.1μm以下である。リンギングの精度をデジタルハイトゲージで確認したところ2μm以内の誤差で再現していることを確認した。^[2]

表 1 測量器の対応表

No.	測量器の種類	対応する BPM (内径 mm)
1	MR BPM Normal / L	φ 130, φ 134
2	MR BPM LL / LLL	φ 165, φ 200
3	3-50BTBPM	φ 200, φ 230

5.2 測量器とBPMの基準面接触状態の把握

BPM位置測量では基準面が正しく測量器と接触していることが、重要である。正しく接触していないと、BPM位置と回転の誤測定に繋がり、算出されるビーム位置に誤差が含まれてしまう。

BPM校正データの測定時にBPM基準面が校正装置の基準座に正しく接触していなかった事例があった。この経験を踏まえ、基準面と接する部分(両端)にダイヤルゲージを搭載して、BPM基準面と測量器の基準座が正しく接触した時は“0”を表示する様にした。

ダイヤルゲージの最小目盛りは10μmで、測量時は1目盛り以内になるようにBPMに設置している。測量器をBPMに設置した際、正しく設置されているか否かを判定することが可能になった。



図 4. ダイヤルゲージの確認

5.3 測量器の保管台

約200台のBPM測量を行うために、測量器の校正が必要になる。その理由として、測量器の摩耗、環境変化あるいは何らかの不慮の事態によって、測量器が正しい値を示さなくなることが考えられる。

5.2で述べた測量器本体の2つと保管台の3つ、計5つのダイヤルゲージを用い、各BPMの測量時毎に測量器の校正を行い、データの信憑性を高めている。このような機器校正を行うことにより測量器の異常を把握することが可能になった。



図5. BPM保管台とBPM測量器

5.4 セラミック製ゲージブロックの使用

BPMの測量は繰り返し多数行うため、接触部の磨耗を抑える必要がある。そのため測量器とBPMの接触部にはセラミック製ゲージブロック（ミットヨ社製2級）を使用している。セラミックのメリットは熱膨張係数が小さく、耐衝撃性にも優れ、耐蝕性にも優れている。使用箇所は基準面接触部・デジタル水準器設置部・ダイヤルゲージ接触部になる。

5.5 測量器固定機構

測量器は、円筒形をしたBPMに確実に取り付ける。BPMに測量器固定用治具を巻き、測量器側に取り付いたネジを固定用治具に締め込む。バネの反発力を利用して測量器の基準座がBPMの基準面に押し当てられる様にした。



図6. BPM測量器固定機構

6. BPM 測量器の仕様

以下にBPM測量器の仕様を示す。

表2 BPM測量器の仕様

	MR BPM Normal / L	MR BPM LL / LLL	3-50BTBPM
材質 (ベース) (基準座)	YH-A7 (7000系アルミ合金) A5052		
寸法 (mm) (W×L×H)	248×279×204	280×279×221	330×198×227
重量 (kg)	12	13	11
ビームライン センターから CCR 間距離 (mm)	223	240	246
CCR 間距離 (mm)	234	234	154

*MR BPM LL/LLL は作製中

7. まとめ

7月末現在でMR BPM32台、3-50BT BPM 8台のBPM測量（予備測量を含む）を行った。これらのデータからCCR間の平均距離を求めたところ、MR BPM Normal/L 234.011mm（標準偏差0.012）、3-50BT BPM 154.0084mm（標準偏差0.005）という結果を得た。この結果により、十分な精度を満たす測量器が作製されたことが明らかになった。

同じBPMで測量器の付け外しの荷重変化によるBPMの変位は鉛直方向に30 μ m未満（排気前）であった。座標値の再現性は、X座標： $\pm 40\mu$ m未満、Y座標：15 μ m未満、Z座標：15 μ m未満の精度で再現した。この結果十分再現性があると言える。

謝辞

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] 外山 毅, 本学会 FO24
- [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, 本学会 WP31
- [5] 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