

## THE INSTALLATION AND ALIGNMENT OF THE J-PARC MAIN RING MAGNETS

Masashi Shirakata<sup>1,A)</sup>, Takao Oogoe<sup>A)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>A)</sup>, Katsuya Okamura<sup>A)</sup>, Kazuaki Niki<sup>A)</sup>, Ryota Takai<sup>A)</sup>,  
Shu Nakamura<sup>A)</sup>, Yoshinori Hashimoto<sup>A)</sup>, Shigeharu Kokusen<sup>B)</sup>, Yuhei Iwama<sup>B)</sup>, Takashi Kurosawa<sup>B)</sup>,  
Kotoku Hanamura<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> KEK

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

<sup>B)</sup> NAT

3129-45 Hirbara Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1112

<sup>C)</sup> Mitsubishi Electric System Service

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

### Abstract

The construction of the J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) is on the final stage. In the winter 2006, the construction of the MR (Main Ring) tunnel was completed. All the main magnets (96 bending magnets, 216 quadrupole magnets, and 80 sextupole magnets) were already installed by March 2007. In April 2007, all the fiducial points on the magnets and on the wall were measured in order to plan the magnet alignment. The magnet alignment has started in May, and it is estimated to be done at the end of this August. The alignment results still in progress are presented in this report.

## J-PARC主リング電磁石インストールとアラインメント

### 1. 概要

大強度陽子加速機施設（以下、J-PARC）の建設は現在大詰めを迎えている。50GeVシンクロトロン（以下、MR）では偏向電磁石96台、四極電磁石216台、六極電磁石80台のトンネル内への搬入と設置がすべて完了し、現在アラインメントを行っている。MRの主電磁石すべてをアラインメントするには約3ヶ月かかると思われるが、MRトンネルはその周辺で未だ土木工事を行っているところもあり、場所によっては数ヶ月間でミリオーダーの変位が観測されている<sup>1)</sup>。そのためアラインメントに先立ち2007年4月の3週間で電磁石と壁基準座について一周分すべての測量を行い、以後はそのデータをもとにすべての作業を行っている。

### 2. MRトンネルの形状

MRトンネルはその建設時期により、いくつかの工区に分かれている。建設は入射部から時計回り（ビームの進行方向とは逆）に実施され、ある程度の範囲が完成する毎に順次測量、墨出し、電磁石の搬入設置を行った。各校区毎の墨出し時期は、以下の様になっている。

A B 工区 2005年9月

C 工区 2006年3月

D 1 工区 2006年9月

D 2 工区 2006年12月

こうして最初の墨線を描いてから、トンネル一周分の作業を終えるのに1年以上が経過している。この間完成したMRトンネルの近傍ではハドロン実験室やニュートリノビームライン等の建設作業が行われており、MRトンネルは実はかなり大きな影響を受けている。図1にMRトンネル床面基準座の標高を示す。床面基準座は床面に直接貼附されており、床面から

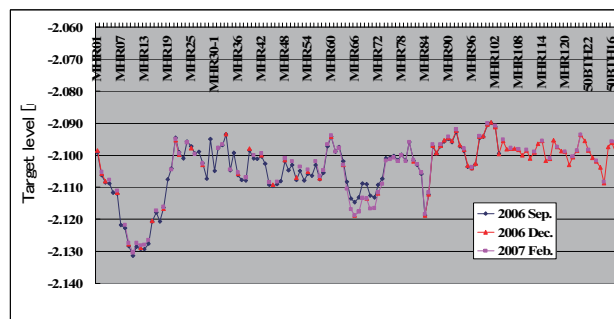


図1. MRトンネル床面の様子

13 mm高い点での測量となる。トンネル床面標高の測定もトンネルの工区に沿って行ってきてきた歴史があるので、図の横軸の向きはビームと逆方向である。MRトンネルには2カ所、特徴的な沈下箇所が存在す

<sup>1)</sup> E-mail: masashi.shirakata@kek.jp

る。ひとつは床基準座MHR10を中心とした長さ約200 mにわたる領域である。ここはMRトンネル完成後その上部に3NBTトンネルが建設されたが、その沈下量が大きく、MRトンネルもその巻き添えとなった。床面の沈下は大きな所では50 mm近くにもなり、そのため対応するトンネル壁面にはクラックも生じた。クラックはその後補修されたが、床面の沈下は戻らないので、電磁石の架台下に鉄製のスペーサを挿入することで嵩上げを行っている。

### 3. アライメント

#### 3.1 アライメント前の電磁石の状況

MRの主電磁石すべてをアライメントするには約3ヶ月かかると見積られるが、前述の通りMRトンネルには未だ不安定な箇所が存在するため測量をしながらアライメントを行うという手法は好ましくない。そのためアライメントに先立ち2007年4月の3週間で一周分すべての偏向電磁石、四極電磁石および壁基準座について現状把握のための測量を行った。極力短期間にすべての測量を終えるよう努力し、以後はこのデータをもとにすべてのアライメント作業を行っている。図2に偏向電磁石高さを

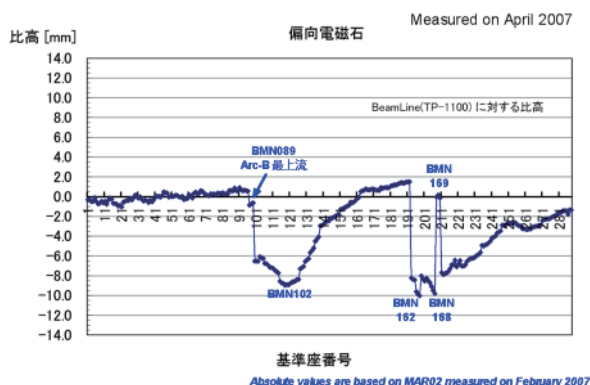


図2. 偏向電磁石のビームラインに対する高さ

を示す。アークA部(グラフ左の1/3)は平成18年度終わり頃に設置されたこともあり、他に比べて大きな変動はないが、アークBC部については上流

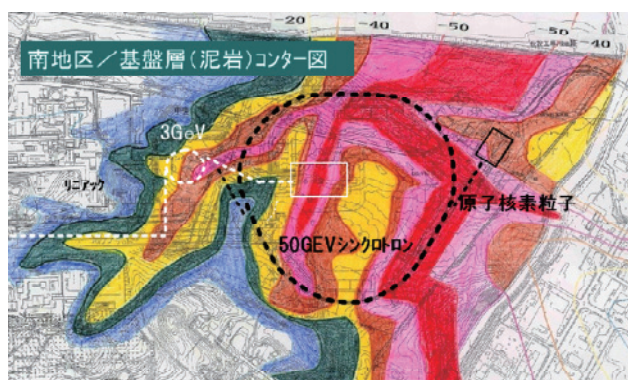


図3. J-PARC MRの地下構造

部に大きな沈下が見られる。これらはそれぞれハドロン実験施設、およびニュートリノビームラインの建設工事の影響を受けているとみられ、また地下の急峻な地形に沿う様な形になっている。図3にJ-PARC MRの地下構造を示す。

水平面内でのリング形状については、アークB部がやや外側に膨らんでいること、リング全体が上流側に回転していること、等が判明した。それらの補正量は、最大で7 mm程度であり、電磁石架台の調節機構で対応できる範囲である。

#### 3.2 地球の曲率に対する高さ補正

MRは一周約1.6 kmの3回対称のリングである。従って電磁石アライメントの際、水準器のみを頼りにするとアーク部で2 mm弱の変位を生じる。それを補正するために、あらかじめMRの緯度・経度を元に補正量を算出した<sup>[2]</sup>。結果を図4に示す。電磁石高さについては、水準測量の結果にこの分を足し込んでアライメントを行っている。地球曲率の効果は水平方向については非常に小さいので、考慮する必要はない。

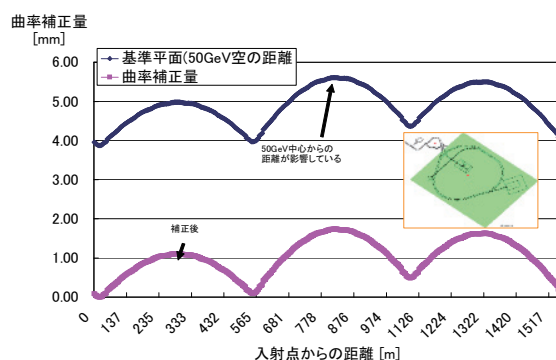


図4. 地球の曲率に対する補正量

#### 3.3 アライメント現状報告

電磁石に要求されている設置精度は、ざっと0.3 mmである。これに測量に伴うもろもろの誤差を考慮し、局所的には0.1 mmの精度でのアライメントを

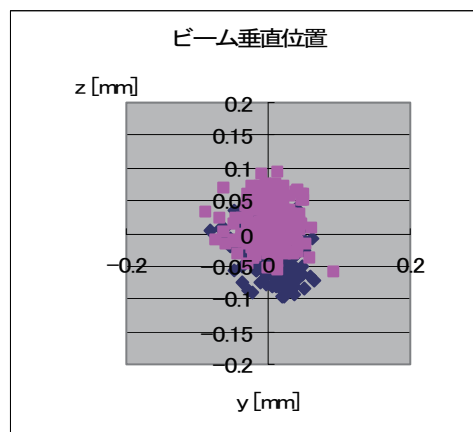


図5. ビームに垂直な方向の設置位置  
藍は上流側、桃は下流側基準座

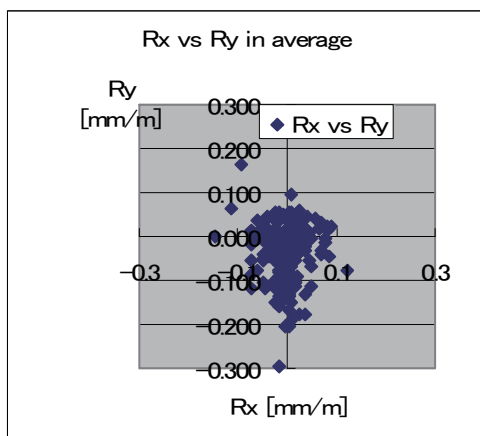


図6. 電磁石回転 (Rxはビーム軸周りの回転、Ryはビーム軸の傾きに対応する)

実施している。また回転 (傾き) については0.2 mm/mを超えないこととした。図5はビームに垂直な方向の設置位置、図6は電磁石の傾きをこれまでにアラインメントを完了した全電磁石についてプロットしたものである。

いずれの場合も、結果は良好である。設置位置はすべて±0.1 mmの範囲に入っているが、実際には測量時のデータを現場で再現する際に0.1 mm程度のフィッティングエラーがあるので、広範囲での設置精度は0.3 mm程度になっていると予想される。Rxに比べRyは分布が下に伸びているが、これは四極電磁石の製作時の特性によるものである。四極電磁石のビーム軸方向の傾きを測るには、上下流二カ所に設置されている基準座の高さと距離を見る方法と、基準座の上に水準器を置いて直接測定する方法がある。図6にそれら2つの測定値の相関をプロットした。

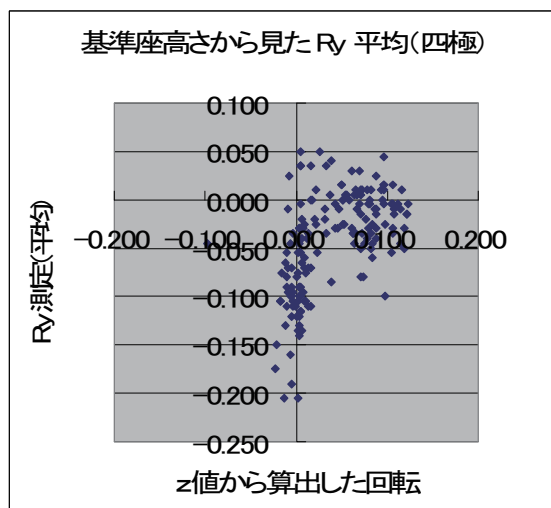


図7. 基準座高さから算出した回転と水準器による測定との違い。

その結果、 $(R_x, R_y) = (+0.09, -0.01)$ を中心とした分布となり、これらの中には優位なオフセットがあることが判明した。そのためオートレベルを用い

て電磁石の半割り面を確認したところ、基準座高さによる値の方が実際の電磁石傾きとしてふさわしいと判明し、以降ビーム軸方向の傾きでは水準器による測定は参考程度にとどめ、基準座高さを優先することとした。 $(R_x, R_y) = (0.00, -0.10)$ を中心とする分布が手法を変更してからの電磁石に対応しており、この重ね合わせの結果、図5のプロットは下に延びている。

図8には傾きの測定から得られた電磁石のよじれを示す。偏向電磁石はその磁極長が長い為、ビーム軸周りの回転はアラインメントの過程で矯正されているが、軸方向の傾きは比較的大きなままとなっている。他方四極電磁石と六極電磁石はほぼ剛体として振る舞うため、製作時あるいは保管時のよじれがそのまま結果に表れている。いくつかの電磁石に関してやや大きなよじれが見られるが、原因はよくわからない。ただし、いずれにせよビームにとって問題となる量ではない。

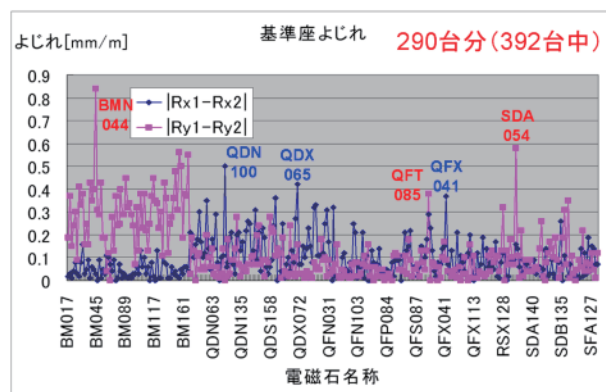


図8. 電磁石よじれ

#### 4. 今後の予定

これまでのところ、アラインメント作業には特に困難はなく順調に進んでおり、8月末までに全数のアラインメントを完了する予定である。その後現状確認のための測量は計画しているが、2008年5月のビーム運転開始までの再アラインメントは予定していない。

#### 参考文献

- [1] M. J. Shirakata et al., "THE MAGNET ALIGNMENT METHOD FOR THE J-PARC MAIN RING", Proceedings of APAC'07, Indore, India, Jan. 29-Feb. 2, 2007, THPMA083
- [2] 三島研二. "地球楕円体の曲率を考慮した加速器のアラインメント", Proceedings of the 4th Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007, FO08