

# RE-ALIGNMENT PLAN OF MAGNETS AT J-PARC HADRON FACILITY AFTER THE HIGASHI-NIHON EARTHQUAKE

Erina Hirose <sup>#A)</sup>, Hitoshi Takahashi <sup>A)</sup>, Keizo Agari <sup>A)</sup>, Masaharu Ieiri <sup>A)</sup>, Yoji Katoh <sup>A)</sup>,  
 Michifumi Minakawa <sup>A)</sup>, Ryotaro Muto <sup>A)</sup>, Megumi Naruki <sup>A)</sup>, Hiroyuki Noumi <sup>B)</sup>,  
 Yoshinori Sato <sup>A)</sup>, Shin'ya Sawada <sup>A)</sup>, Yoshihisa Shirakabe <sup>A)</sup>, Yoshihiro Suzuki <sup>A)</sup>, Minoru Takasaki <sup>A)</sup>,  
 Kazuhiro Tanaka <sup>A)</sup>, Akihisa Toyoda <sup>A)</sup>, Hiroaki Watanabe <sup>A)</sup>, Yutaka Yamanoi <sup>A)</sup>

A) Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK

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

B) Research Center for Nuclear Physics, Osaka University

10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

## Abstract

At the J-PARC Hadron facility the various experiments was carried out using the proton beam which extracted slowly from the 50 GeV proton synchrotron. But the facilities received damages because of the earthquake on March 11. In the SY there are two expansion joints, and both expansion joints were found the gap of 5mm. And also the height of the first beam line level lowers gradually from target to beam dump at the Hadron experimental Hall. I report the comparison the position of magnets at the first beam line before the earthquake and the re-alignment plan.

## J-PARC ハドロン実験施設における地震後の電磁石位置の測量結果とその復旧計画

### 1. はじめに

J-PARC ハドロン実験施設は、2009年1月にビームを受け入れてから、翌月に生成標的を入れ2次ビームを用いて実験を始めた。その後、K1.8BR、K1.8、KL、K1.1BRの4本のビームラインが完成し、順調に2次ビームを用いた実験が行われていた。しかし、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、J-PARC 施設全体と共に、ハドロン実験施設も大きなダメージを受けた。大きな揺れで、建屋周辺の地盤が大きく沈下し、エキスパンジョイント (Ex. J) と呼ばれる建物同士のつなぎ目でのずれを始め、建物自体の屈曲、沈降が各所に見られた。それに伴い、0.1mm/mの精度で設置していたビームライン電磁石も建物と共に沈降や軸ずれが生じた。図1にハドロン実験施設の平面図及び側面図を示す。図1のように、ハドロン実験施設は、50GeV加速器から陽子ビームを取り出し、200mのスイッチヤード (SY) を経て、ハドロン実験ホールにある生成標的にビームを輸送する。ハドロン実験施設には、Ex. J. が、SYの取り出し部とスロープ部の間Ex. J①、SYの16mスパン部とハドロン実験ホールの間Ex. J②の2箇所に存在する。本報告では、スイッチヤードの、取り出し部、スロープ部、16mスパン部、ハドロン実験ホール1次ビームラインの測量の結果と、その再アラインメントの方法を述べる。

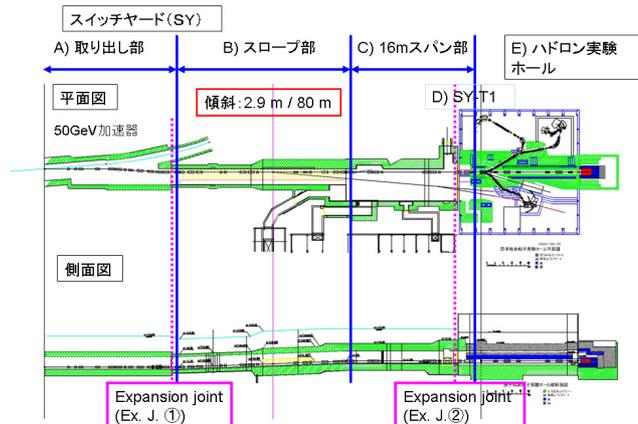


図1: ハドロン実験施設平面図・側面図

### 2. スイッチヤードビーム高さ測定

SYのビーム高さ測定は、取り出し部、スロープ部、16mスパン部の3つに分かれて行った。図1側面図のように、50GeV加速器から取り出されたビームは、取り出し部を経て、振り上げ電磁石 ( $v06$ ) から、振り上げられる。ここまでを取り出し部とする。 $v06$ から、振り戻し電磁石  $v14$  までの区間は、80mで2.9mの振り上げ傾斜となり、これが、スロープ部である。このスロープ部の振り上げまたは、振り戻し電磁石の位置を変更することで、高さの調整ができる。その後は16mスパン部で、同じ高さでハドロン実験ホールのT1ターゲットまで輸送される[1]-[3]。Ex. Jは、取り出し部とスロープ部の間Ex. J①、16mスパ

#erina@post.kek.jp

ン部とハドロン実験ホールの間 E x . J ②に位置する。

### 2.1 取り出し部ビーム高さ

取り出し部については、もともとの加速器の高さというものは地震後分からなくなっていたので、取り出し部の中で、建設当時、電磁石設置に使われていた、各磁石の基準点を示す標柱[1]を測定し、比較的安定的な q 0 4 - q 0 5 の標柱を基準とした。図 2 に q 0 4 - q 0 5 標柱を基準として、各電磁石のビーム高さの差を h 0 1 からの距離の関数で表した。「南」は電磁石の南側（通路側）のビーム高さ、「北」は、電磁石の北側（加速器側）のビーム高さを表す。q 0 4 が 1 mm 以上のずれが見られるが、他は概ね ± 0. 5 mm 以内に収まっていることが分かる。h 0 5 - v 0 6 間に E x . J ①があり、ここでは、床自体が、上流に対して、下流側が、0. 5 mm 沈降していたが、電磁石の高さで見ると、それほど影響があるようには見えなかった。取り出し部 h 0 1 から v 0 6 にかけては、加速器のビーム高さが決定してから、その高さに合わせて再設置することになる。

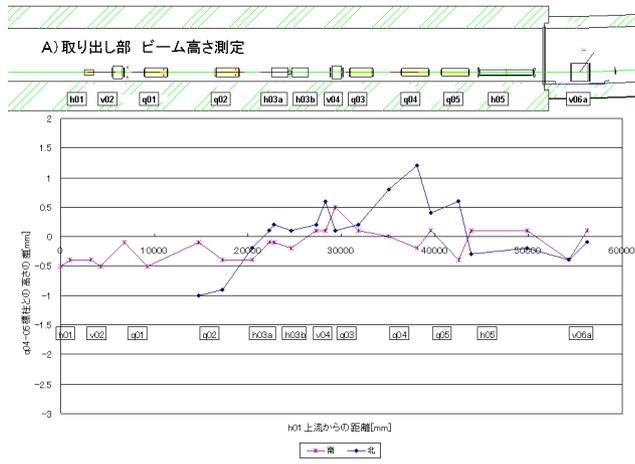


図 2：取り出し部ビーム高さ測定

### 2.2 スロープ部ビーム高さ測定

スロープ部は、80 m 行ったところで、高さが 2. 9 m 上がる傾斜となっている。スロープ部にも、各電磁石高さの基準をケガキされた標柱があるので、まず、標柱の基準点と電磁石のビーム高さの差を測定した。図 3 に標柱と電磁石の高さの差を、スロープ始点からの距離の関数で表した。「南」は電磁石の南側（通路側）のビーム高さ、「北」は、電磁石の北側（壁側）のビーム高さを表す。標柱と電磁石の高さの差は、± 0. 5 mm 以内であった。次に、それぞれの標柱の基準点同士を測定した。図 4 に、各標柱の基準点を v 0 6 a から距離の関数で表した。この測定値を 2. 9 m / 8 0 m でノーマライズし、スロープ始まりの点からの距離の関数で表したものが、図 3 の青菱形（：上流から測定）、オレンジ○（：下流から測定）である。丁度スロープの真

ん中に行くに従い、ゆるやかに沈み、v 0 8 のところあたりで、約 2 mm 沈んでいることが分かった。

ビーム高さについては、このスロープ部で加速器のビーム高さと、ターゲットの高さをつなぐなくてはならない。また、スロープ部の電磁石は、2. 9 / 8 0 の傾斜で電磁石机架を作っているので、スロープ部の傾斜は変更することは難しい。そこで、図 4 の赤い線で示すように、取り出し部と同様、振り上げ電磁石 v 0 6 を加速器のビーム高さに合わせ、スロープ部は、2. 9 / 8 0 の傾斜を変えず、v 1 4 ターゲットの高さに合わせ、振り戻し電磁石 v 1 4 a の高さを決め、v 1 4 a の位置を上流にずらすことにした。

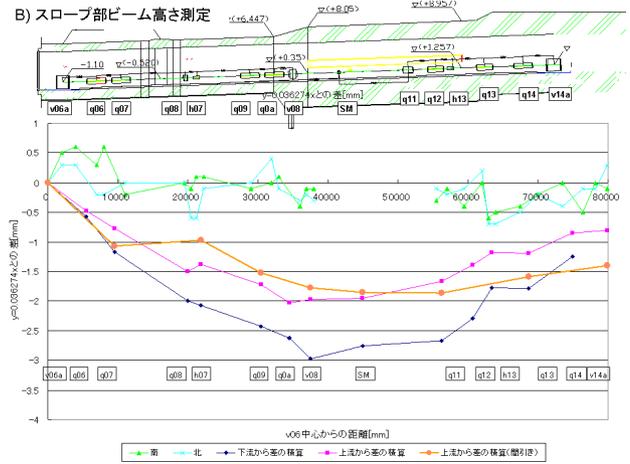


図 3：スロープ部標柱と電磁石ビーム高さの差と標柱間の差

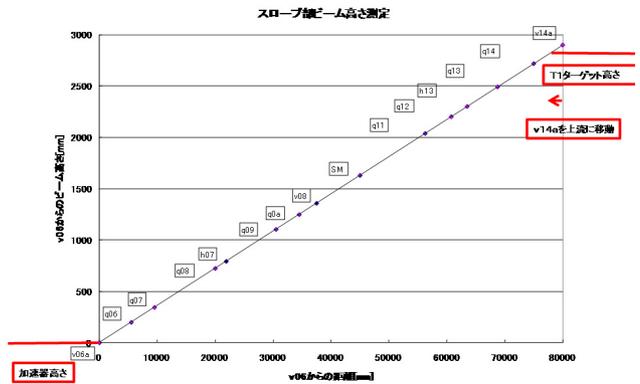


図 4：スロープ部ビーム高さ測定

### 2.3 16 m スパン部ビーム高さ測定

図5に16 mスパン部のビーム高さを、v14 aを基準として、基準と高さの差をv14 aからの距離の関数として表した。q19 aとbの間にEx. J②があるが、そこで、下流が3.5 mm沈んでいる。Ex. J②より上流側は、±0.5 mmの範囲に収まっている。

ただし、この16 mスパン部でハドロン実験ホールのT1ターゲット高さに合わせなければならない。そこで、T1ターゲットの高さを真空ダクトを介してスイッチヤードに持ってきて、それに合わせることにした。T1ターゲットのビーム高さは、図5では、約-3.5 mmであるので、v14 aからq1 aまでを全て3.5 mm程度低くすることにした。

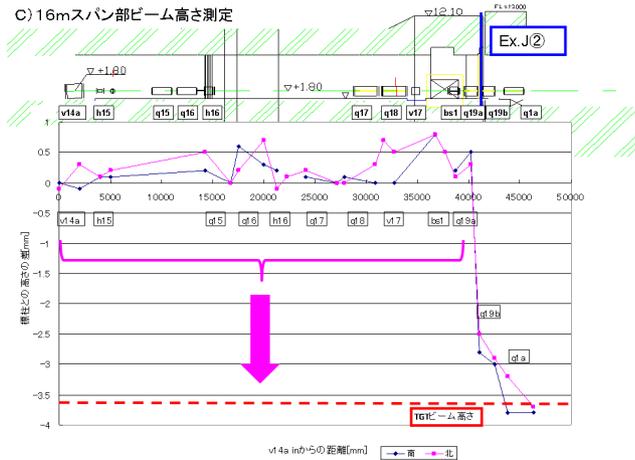


図5：16 mスパン部ビーム高さ測定

## 3. スイッチヤード水平方向軸

### 3.1 SY-ハドロン実験ホールT1ターゲット

SY-ハドロン実験ホールの間は壁であり、見通すことは難しい。そこで、真空ダクトを経由して測量を行った。まず、SYでは、セオドライトでEx. Jより下流部の軸を測定し、電磁石q19 bの真空ダクトの入り口出口に、銅線を張ってビーム軸上に再現した。ハドロン実験ホールのほうは、T1ターゲットを取り外し、T1ターゲット下の軸をセオドライトで見て、bs2ガンマプラグ下流の真空ダクト出口に銅線を張り、T1ターゲット下流は、真空箱入り口に十字シールを貼りT1ターゲット下の軸をビーム軸に再現した。SYからセオドライトを覗いて、電磁石q19 b入り口出口の軸を基準として、ハドロン実験ホールのガンマプラグ下流と真空箱入り口を見ると、ガンマプラグ下流、北に0.2 mm、真空箱入り口は、南に0.2 mmであった。±0.2 mmの範囲なので、SYのEx. J②下流の軸をターゲットに向かう軸とした。

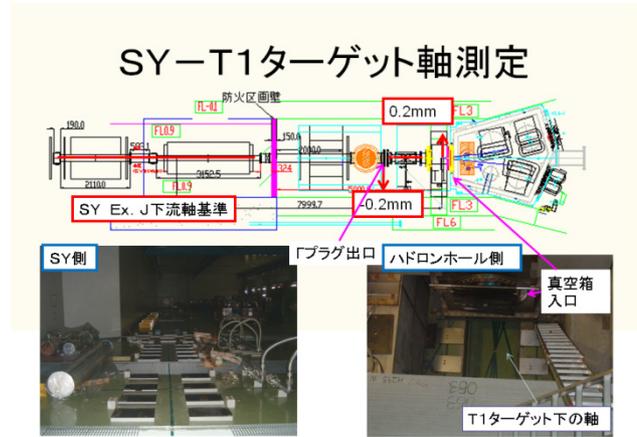


図6：SY-T1ターゲット軸測定

### 3.2 h16-q1 a

図5にh16-q1 aまでに対して、bs1の旧ケガキ線を基準として、上流、下流の軸のずれを測定した。Ex. J②は、図7のq19 a、bの間にある。Ex. J②より上流の旧けがき線とのずれは1 mm以内である。また、Ex. J②の下流のq19 b、q1 aの軸は、Ex. J②上流の軸より、平行に北に4.7 mmずれていることが分かる。Ex. J②下流の軸は、前節によりターゲットT1に向かっていることが分かっている。この4.7 mmのずれをつながなければならないので、水平ステアリング、h16、bs1により、Ex. J②下流の線に導くことにした。図7の赤い点線を新しい軸とし、bs1、q19 a電磁石を北に平行に4.7 mmずらし、q17、18、v17電磁石を、h16とbs1を結ぶ線上に再設置することとした。

B-C) スロープ-16mスパン部水平軸測定

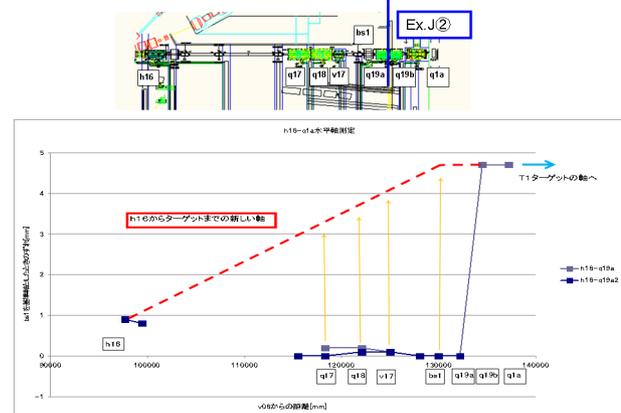


図7：h16-q1 a 水平軸測定

SYの磁石は、もともと調整機構は持っていないので、4.7 mmずらす方法としては、架台をアンカーボルトM24で止めている穴をφ33→45に拡大することとした(図8参照) q17-q19 aの5台分の加工を行った。

マグボールでの穴加工

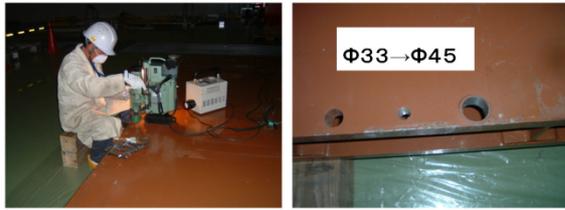


図 8 : マグボールでの穴加工

### 3.3 h 0 5 ( v 0 6 ) - h 1 6

h 0 5 から h 1 6 までは、h 0 5、h 0 7、h 1 3、h 1 6 という水平ステアリング磁石があるので、おのおのステアリング磁石間を直線でつなぐことにした。おのおのの直線をつないだときの、旧けがき線とのずれを、図 7 に示す。h 0 5 ( v 0 6 ) - h 0 7 : 青ひし形、h 0 7 - h 1 3 : 茶四角、h 1 3 - h 1 6 : 緑三角で、v 0 6 からの距離の関数で表した。各直線に対して、旧ケガキ線は、1 mm 以下に収まっていた。ただし、h 0 7 での上流、下流の直線同士は、約 0.05mrad の角度があり、h 1 3 では、約 0.10mrad の角度を持っていることが分かった。この程度であれば、水平ステアリング磁石で調整できる範囲であったので、この直線上に電磁石を並べ直すこととした。ここでは、穴加工なしで並べ直すことができる。

h 0 5 と v 0 6 の間には、E x . J ①があるので、v 0 6 と h 0 7 をつないで、その直線を h 0 5 までのぼすことにした。h 0 5 は今後、加速器の取り出し角度により、最上流部の h 0 3 a、b と共に調整する予定である。

B-C) スローパー-16mスパン部水平軸測定

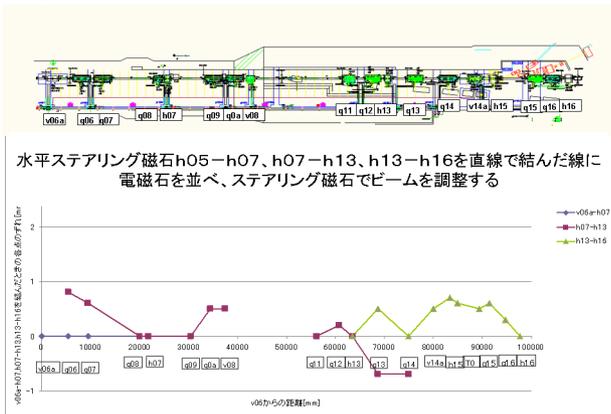


図 9 : h 0 5 ( v 0 6 a ) - h 1 6 水平軸測定

## 4. ハドロン実験ホール

### 4.1 1次ビームライン

図 1 0 にハドロン実験ホール 1 次ビームライン トンネルのビーム高さを q 1 D からの距離の関数で表した。磁石の置かれていない q1D より下流については、実際の q1D のビーム高さをビームダンプ上流までオートレベルを使用して写し、建設当時のけがきと比較した。q1D より上流は、電磁石が置かれていて、アクセスすることができないので、その下のトレンチと呼ばれるトンネルに入り、電磁石下面のレベルと比較した。このように、h18 近辺から、下流に向かって 1 3 mm 程度落ちていることが分かった。図 1 1 に q 1 D の軸を基準として、q 1 D からビームダンプまでの軸を測定した。1 次ビームラインについては、軸のずれは、大きいところで 0.6mm であるものの、ほとんどずれていなかった。

ハドロンホール一次ビームラインは、電磁石を修正せず、水平方向の軸については現状のまま、ビーム高さについては v 1 9 を使用し、約 0.5mrad、下方向に蹴りビームダンプに輸送することにした。

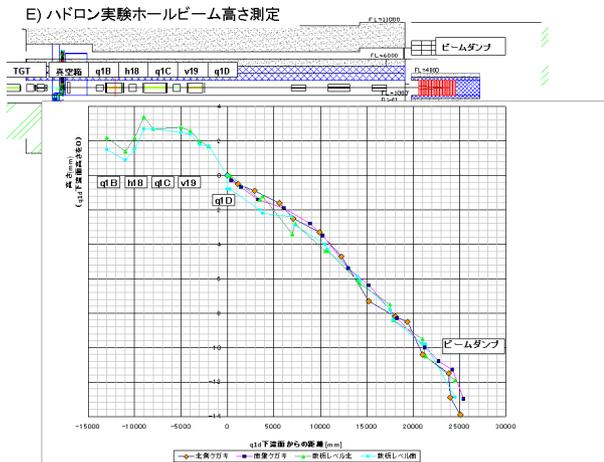


図 10 : 一次ビームラインビーム高さ測定

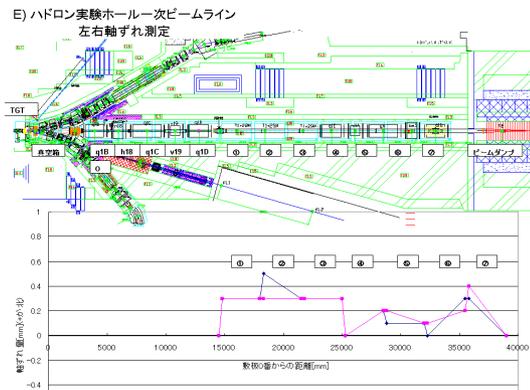


図 11 : 一次ビームライン水平軸測定

## 5. まとめと今後の予定

### 5.1 スイッチャードビーム高さ

- ・取り出し部ビーム高さ

安定しているところを基準とすると、各磁石の高さの差は±1mm以下であった。が、この部分は最終的には加速器のレベルに合わせる必要がある。

- ・スロープ部ビーム高さ

スロープ部の中心あたりで凹んでいた。ビーム高さの起点を加速器のレベルに合わせ、その後は設計値の2.9/80の傾斜角で電磁石を再設置、終点は、T1ターゲットの高さに合わせ、終点電磁石v14aを上流にずらすことで調整する。

- ・16mスパン部：

Ex. J②より上流では、±1mm以下であったが、EJ下流（即ちT1ターゲットの高さ）は、約3.5mm沈んでいた。この部分の磁石は、全て、T1の高さに合わせるのので、3.5mm程度低くする。

### 5.2 スイッチャード水平軸

- ・16mスパン部において、Ex. J②下流の軸（即ちT1ターゲットの軸）とは、約4.7mmのずれがあった。

・水平ステアリング磁石h16-bs1間で4.7mmのずれを吸収することとし、アンカーボルトを止める架台の穴を大きくして、電磁石を再設置する。

・h05-h16間は、h05-h07,h07-h13,h13-h16を直線で結んだ線上に電磁石を並べ、直線同士の角度のずれは、h07,h13水平ステアリングで調整する。

・取り出し部については、加速器の取り出し角度が分かってから、h03a,bとh05を用いて調整する。

### 5.3 ハドロン実験ホール

- ・SY-T1ターゲット水平方向軸：

ターゲットを取り外し、真空ダクト越しに、SYのEx. J②下流の軸を基準として、ターゲットの軸を見たところ、±0.2mm以内であったので、Ex. J②下流の軸をターゲット軸として合わせる。

- ・1次ビームライン：

真空箱下流辺りから、30mで14mm沈んでいた。これは途中で磁石もなく、ダンプに導くだけなので、v19で下方向に蹴ることにして、現状のままとした。

・1次ビームラインのビーム軸は±1mmの範囲に収まっていたので、現状のままとした。

今後は、本報告の通りに一次ビームラインの電磁石の再設置を行うとともに、K1.8、K1.8BR、KL、K1.1BR2次ビームラインについても測量と再設置を進める予定である。

## 参考文献

- [1] 田中万博他、“大強度陽子加速器施設原子核素粒子実験施設建設グループハドロンビームラインサブグループ中間報告書”、KEK Internal 2002-8 (2002)
- [2] 田中万博他、“大強度陽子加速器施設原子核素粒子実験施設建設グループハドロンビームラインサブグループ第2次中間報告書”、KEK Internal 2004-3 (2004)
- [3] 田中万博他、“J-PARC原子核素粒子実験施設設計報告書ハドロンビームラインサブグループ第3次中間報告書”、KEK Internal 2007-1 (2007)