

# ALIGNMENT STATUS OF J-PARC ACCELERATOR FACILITY AFTER THE TOHOKU EARTHQUAKE IN JAPAN

Norio Tani <sup>#,A)</sup>, Takatoshi Morishita<sup>A)</sup>, Shinichiro Meigo<sup>A)</sup>, Masahide Harada<sup>A)</sup>, Harjo Stefanus<sup>A)</sup>,  
Masashi Shirakata<sup>B)</sup>, Takanobu Ishii<sup>B)</sup>, Yoshiaki Fujii<sup>B)</sup>, Yoshihisa Shirakabe<sup>B)</sup>

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

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195

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

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

## Abstract

Buildings, utilities, equipments, etc. of J-PARC facility suffered extensive damage from Tohoku Region Pacific Coast Earthquake. From the measured data detected by the electronic reference point, it was found out that the ground of coast of Ibaraki Prefecture has moved by 1m toward the ocean and sagged by approximately 30cm. Also as land deformation still continues in a wider region due to aftershocks, it is important to understand the effect of the earthquake on the ground around J-PARC facility. At J-PARC a surveying network was prepared above ground to cover the whole facility at the beginning of construction and GPS survey and leveling of the ground reference points were carried out in order to support recovery works. Survey work was implemented at each facility to see the condition inside the accelerator tunnel and realignment is being examined.

In this presentation, efforts in alignment at J-PARC facility during recovery works and the survey result of the whole facility is reported.

## 震災後の J-PARC 加速器アライメント

### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に M9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生した。J-PARC 施設周辺では震度 6 弱の横揺れを数分間にわたって受け続け、本施設の南約 10km にある K-Net 那珂湊<sup>[1]</sup>で水平方向に 546gal、上下方向に 412gal の最大加速度が記録された。また国土地理院の電子基準点で検出された測定データ<sup>[2]</sup>から茨城県海岸部の地盤が海側に 1m 移動し、30cm 程度沈下したことがわかっており、地震後も余震等により広い範囲で地殻変動が継続している。

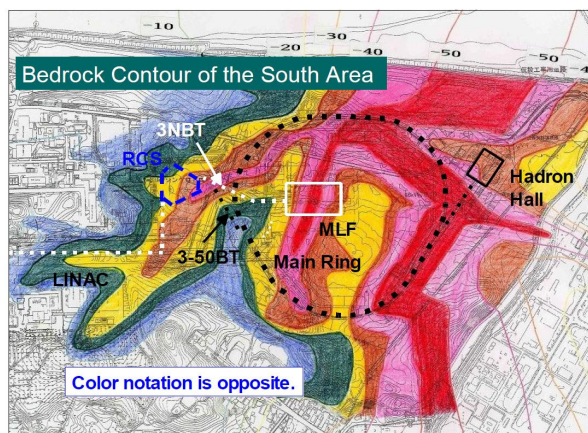


図 1 : J-PARC 施設周辺の基盤コンター図

J-PARC 施設周辺は図 1 に示すように複雑な地殻

形状を持っており、建設当初より不等沈下の発生が懸念されていた<sup>[3]</sup>。主要構造物は施設によって異なるが、ほとんどの施設では基盤層（砂礫泥岩層）まで杭を打ち込み支えられている。また、各施設では 1 年おきに加速器トンネルの床、壁に設置された基準点と電磁石の測量が行われ、経年変化が観測されている。震災直後の全体測量作業としては、建屋内にあまり立ち入らなくとも J-PARC 周辺の地盤変動が観測できる GPS 測量を 4 月に行い、7 月から精密水準測量を行っている。但し、施設単位で水準測量、多角測量、Laser Tracker 測量等が行われ加速器トンネル内の状況が把握された。

本発表では、震災後の J-PARC 施設周辺の基準点の変動や加速器トンネル内の変動について報告する。

### 2. GPS 測量

J-PARC 施設では、全体測量として 2 年毎に精密多角測量と水準測量を実施しており、震災前は 2010 年 8 月に実施された。今回の震災では、各施設の復旧作業に役立てるために、早急に測量結果が得られる GPS 測量を最初の実施した。図 2 に GPS 測量の観測網を示す。この観測網は昨年実施した精密多角測量の観測網を基本に構成した。赤線が 1 次基準点で青線が 2 次基準点である。観測時間はそれぞれ、4 時間と 2 時間である。但し、2 次基準点で建屋内に設置された点は Leica TDA5004 を用いて多角測量を行い、GPS 測量で得られた基準点データを参照して水平位置を評価した。

<sup>#</sup> tani.norio@jaea.go.jp

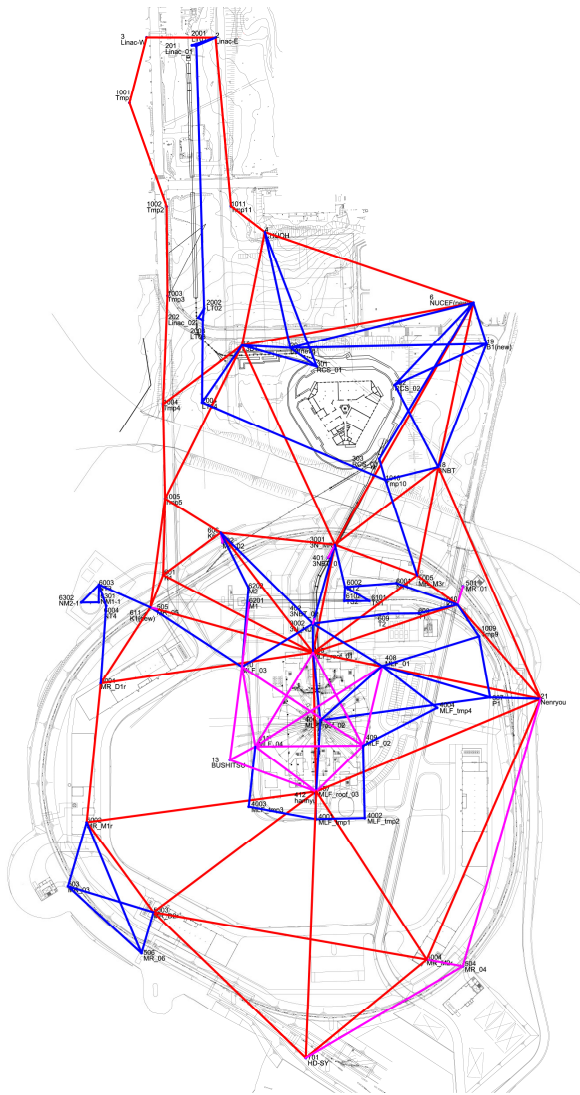


図 2 : GPS 測量の観測網

図 3 は GPS 測量で得られた Linac 及び RCS 周辺基準点の 2010 年 8 月から 2011 年 4 月までの間に変位した基準点の変位ベクトルを示す。赤色の変位ベクトルは地上部及び建屋屋上の基準点を示し、青色の変位ベクトルはトンネル内の基準点を示す。GPS の測量精度は  $\pm 5\text{mm}$  である。赤丸で囲まれた基準点は、Linac トンネル内と建屋 1 階に設置された基準点の変位を示している。最大変位が  $6.81\text{mm}$  であることから、地震によって大きく変位していないことがわかった。青丸で囲まれた基準点は RCS トンネル内の基準点である。最大変位が  $19.35\text{mm}$  あり、地震によってトンネル内は東西に伸びていることがわかった。

図 4 は 3NBT 及び物質生命科学実験施設 (MLF) 周辺の基準点の変位ベクトルを示す。赤丸で囲まれた点は 3NBT トンネル内の基準点である。いずれの点も  $10\text{mm}$  程度の変位を示しており、ベクトル向きから地震によって RCS 側に  $10\text{mm}$  程度移動し、時計周りに回転している。

青丸で囲まれた点は MLF 屋上及び搬入室に設置

された基準点で  $22\text{mm}$  から  $33\text{mm}$  の変位を示している。ベクトルの向きから、地震によって建屋が南に  $20\text{mm}$  程度移動し、反時計周りに回転している。

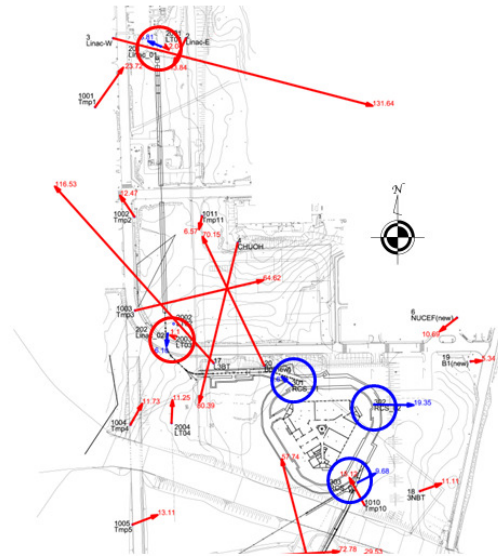


図 3 : Linac 及び RCS 周辺の GPS 測量結果

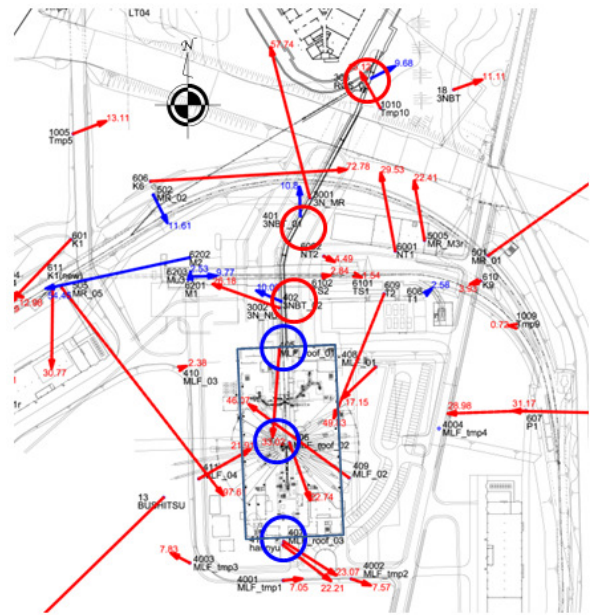


図 4 : 3NBT 及び MLF 周辺の GPS 測量結果

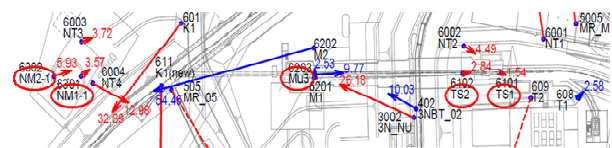


図 5 : ニュートリノ施設周辺の GPS 測量結果

図 5 はニュートリノ施設周辺の基準点の変位ベクトルを示す。赤丸で囲まれた点はニュートリノビームラインの基準点である。ミュオンピット下の基準点が  $9.77\text{mm}$  の変位を示しているが、ターゲット



ステーションより下流では数 mm の精度で合っていればよいため、これらの基準点は地震によって大きく動いていないことがわかった。

図6はMR及びハドロン施設周辺の変位ベクトルを示す。赤丸で囲まれた点はMRのトンネル内に設置された基準点で最大11.61mmから5.41mmまでの変位が示されている。また、トンネル内に6点ある基準点の内、赤丸破線で囲まれた2点は地上部から測量用貫通孔を用いて直接視通できなくなった点で、このエリアの変位ベクトルが最も大きな値を示している。各変位ベクトルの向きが異なることからトンネル内の大きく変形していると思われる。

青丸で囲まれた点はハドロンのスイッチヤードに設置された基準点で1.62mmの変位であり、地震によって大きく変位していないことがわかった。

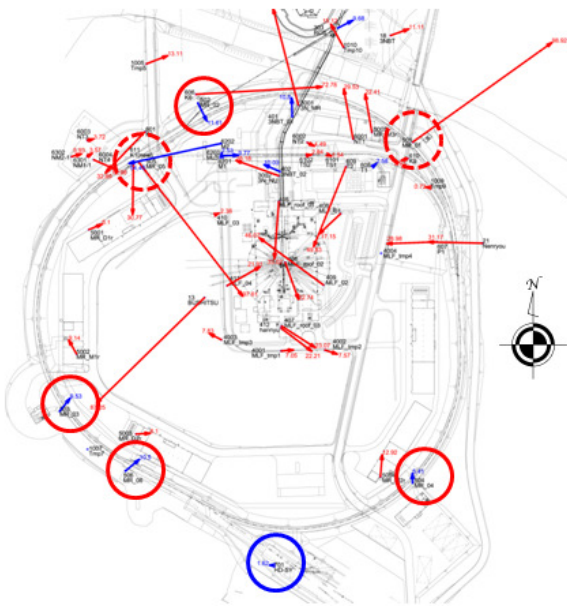


図6：MR及びハドロン施設周辺のGPS測量結果

### 3. 各施設の変動

#### 3.1 Linac

図7はLinacトンネル内の床またはベースプレートに設置したレベル鋺をデジタルレベル(Leica DNA03)で測定した2010年7月から2011年4月までの変動を示している。直線部全域で沈下し、SDTLセクションの上流側で40mmを超える変動が生じた。第一アーク以降のビームトランスポート部では、顕著な不等沈下は見られないものの、エキスパンション・ジョイントにおいて、第一アーク出口では1.1mm、第二アーク入口では3.0mmの段差が発生した。また、最上流部にイオン源付近の点と最下流部のRCS\_01の点の差は1mm程度ある。

水平方向の変動については、トンネル通路側にビームラインと平行に配置した墨だしマーカーをトータルステーション(Leica TDA5005)にて測定した。その結果、SDTLセクションとACSセクショ

ンにて折れ曲がりが発生し、リニアック最上流部と第一アーク入口で直線を定義すると、東方向に25mm程度変位していることはわかった<sup>[4]</sup>。2011年12月のビーム運転を目指して、リニアックはSDTLより下流部のみ最アライメントを実施する。

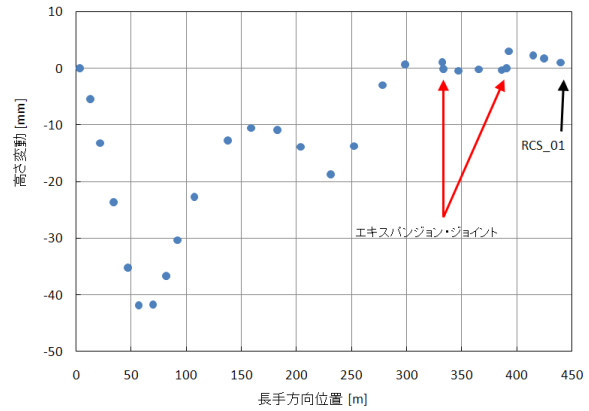


図7：Linacトンネル内床基準点の高さ変動

#### 3.2 RCS

図8はRCSトンネル内の床に設置した基準点をDNA03で測定した2010年8月から2011年4月と6月の変動を示している。震災前はRCS\_03が最も変位量が大きかったが、震災後はRCS\_F08が最も大きく沈下し、その高低差は3mm程度となった。図8の結果を図1と比較すると基準点の高低が基盤層の起伏とほぼ一致していることがわかる。2011年4月から6月までの変位が小さいことから、余震等による高さの影響は低いと考えられる。水平方向の変動は、レーザートラッカー(Leica LTD600)を用いて測定され、設計値との比較が行われた。ビーム軸に対して横方向の最大変位幅が10mm程度、ビーム進行方向の最大変位幅は5mm程度となった<sup>[5]</sup>。現在、これらの値を用いて軌道計算しており、結果が出た段階でアライメントの方針を定める。

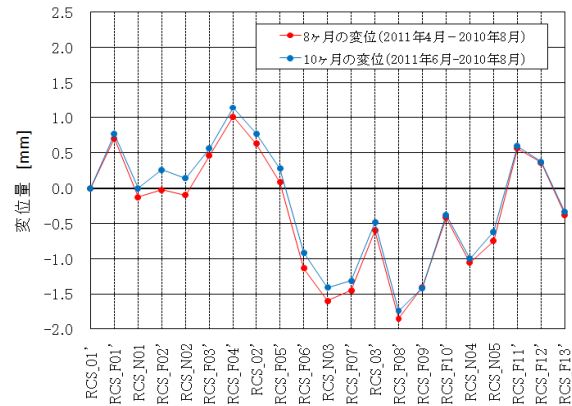


図8：RCSトンネル内床基準点の高さ変動

#### 3.3 物質生命科学実験施設(MLF)

RCSからミュオン・中性子源までのビーム輸送システムである3NBTでは、上流部と下流部にエキス

パンション・ジョイントが設けられている。震災では下流部のエキスパンション・ジョイントの壁が崩壊しており、東西方向に激しい振動があったと思われる。また、3NBT トンネル地上部の土盛り部分で20cmの著しい沈下が観測されている。3NBT トンネル内では、震災後にDNA03とTDA5005を用いて電磁石やモニタの位置が測量された。図9に震災前後の3NBT トンネルの高さ変動を示す。3NBT 下流のMLF 建屋で10mm以上の沈下が観測されている。また、MR トンネルやニュートリノディケイボリウムとの交差部でも沈下が観測されている。水平方向の変位についても、下流部のエキスパンション・ジョイントで西側に8mm程度の局所的な変位があり、再アライメント無しにビームの補正は困難な状況となっている<sup>[6]</sup>。

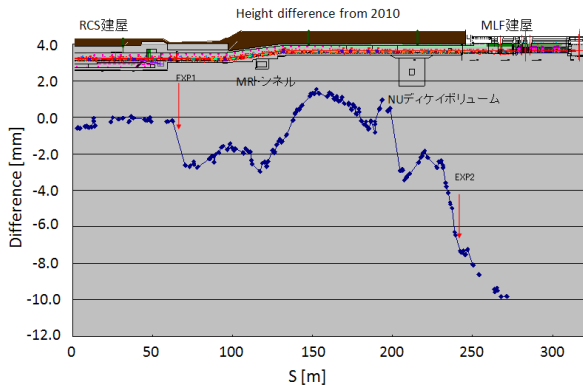


図9：3NBT トンネルの高さ変動

MLF の実験ホール内は、遮蔽体設置に伴う沈下が観測された程度で、地震による沈下は殆ど無かった<sup>[7]</sup>。しかし、実験ホールの周辺には長尺ビームラインの増設建屋として、長尺建屋 (BL-08) や第3実験ホール (BL-19) がある。これらの増設建屋では、MLF 建屋とのエキスパンション・ジョイント部で長尺建屋が90mm、第3実験ホールが120から140mm程度の沈下が見られた<sup>[8]</sup>。BL08はビームラインをジャッキアップし、レベル調整等を2011年12月まで実施する。但し、2011年10月にガイド管の再設置を行う。BL19は増設建屋内の装置を撤去し、2011年9月末までに建屋補修を行い、2011年10月から2012年1月までに装置の再設置を行う。

### 3.4 Main Ring (MR)

RCS から Main Ring (MR) までビームを輸送する3-50BT では、2011年7月にDNA03を用いてトンネルの床に設置された基準点が測定された。図10はRCS\_03を基準にして、2010年8月から2011年7月までの床基準点の高さ変動を示している。この測定結果からRCS\_03とMHR02間の高低差が4mm小さくなったことがわかる。J-PARC 施設の標高基準であるJRR-3を基点とした測定結果からは、RCS\_03が4.40mmの沈下、MHR02が0.36mmの沈下となっており、3-50BT 上流部がMHR02に対して最大で6mm近く沈下したことがわかった。

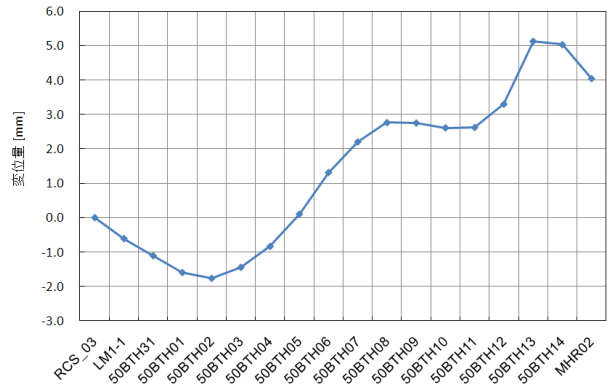


図10：3-50BT トンネル内床基準点の高さ変動

MR の電磁石は2011年5月にレーザートラッカーを用いて測定され、高さ方向と水平方向の値が得られた<sup>[9]</sup>。図11は2010年8月からの高さ方向の変位を示している。入射直線部(INS-A)周辺が最も高く、沈下が大いなのは、遅い取り出しビームライン(INS-B)からArc-Bへ入ってQFX099にかけてと、Arc-B 終盤から速い取り出しビームライン(INS-C)の中程までである。この部分を図1と比較すると、QFX099からQFN162にかけての高低が基盤層の起伏と一致していることが分かる。QDN193にある沈下は、3NBT ライン交差部のやや上流にあるやはり基盤層の低い部分に対応している。INS-B の上流部だけが沈下に逆らっている様に見えるが、この部分は両脇から電源棟、脱出棟へ至るサブトンネルが繋がっており、この2本が支えていると考えられる。

また、水平方向の変動は設計値との比較が行われ、ビーム軸に対して横方向の最大変位幅が35mm程度、ビーム進行方向の最大変位幅は12mm程度となった。

全周に渡って高さ方向や横方向の変動がかなりあることが判明し、全電磁石のアライメントを2011年8月から10月にかけて実施することとなった。しかし、電磁石架台の調整代を超えているものも20台程度あり、その対応を検討している。

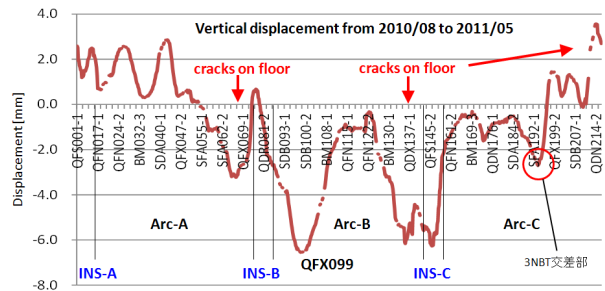


図11：MR 電磁石の高さ変動

### 3.5 ニュートリノ実験施設

図12はニュートリノ一次ビームライントンネルの床に設置された基準点の高さをDNA03で測定した2010年7月から2011年5月までの地震による変動を示している。MR側の基準点MHR38を基準に

変位を示しているため地震によって隆起したように見えるが、JRR-3 基準での測定結果から実際は MHR38 で 7.2mm 程度沈下している。ビームラインはエキスパンション・ジョイント近傍で局所的に段差が生じている。また、水平方向についてもエキスパンション・ジョイントを境に大きな段差<sup>[10]</sup>が観られており、1 次ビームラインとアライメントが必要となっている。そのため、ニュートリノ 1 次ビームラインでは、常伝導電磁石の全 21 台中 15 台、超伝導電磁石の全 14 組 (28 台) をアライメントする方針で、10 月中旬までかかる見込みである。

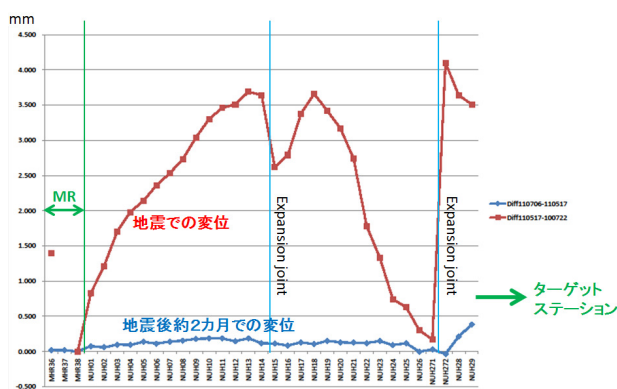


図 1 2 : 一次ビームライン床基準点の高さ変動

### 3.6 ハドロン実験施設

MR からハドロン実験施設にビームを輸送するハドロン・スイッチヤードでは 2011 年 5 月にレーザートラッカーを用いて電磁石の測量作業が行われた<sup>[11]</sup>。2008 年 5 月の測量結果と比較して、下流に行くにしたがって電磁石の変位は大きく、水平方向には最大で 22mm 程度右側に変位している。更に、スイッチヤード下流のエキスパンション・ジョイントでハドロン実験施設側が高さ方向に約 2.5mm の沈下、水平方向には下流に向かって左側に約 4mm の移動が観測された。そのため、ビームラインは年内にアライメントを行う方針である。

## 4. まとめ

GPS 測量により、加速器トンネル内の基準点は地上部に設置された基準点程大きな水平変位は見られなかった。但し、リング加速器 (RCS、MR) では、異なる方向の変位ベクトルが観られトンネルの形状が変形している。各施設で行われた各種測量 (多角・水準・Laser Tracker) から、ビームラインとしてはエキスパンション・ジョイント近傍での変位が大きく、アライメントが必要となっている。鉛直方向の変位は、基盤層の起伏にほぼ一致している。

12 月のビーム運転に向け、各施設でビームラインのアライメントが計画されている。

## 5. 謝辞

本測量に協力して頂いた株式会社パスコの三島研二氏、阿部直宏氏に感謝致します。

## 参考文献

- [1] 防災科学技術研究所：強震観測網 (K-Net) , <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/data/>
- [2] 国土地理院：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動について ～データ回収により、新たに牡鹿半島での変動が明らかに～ , [http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukanshi\\_tohoku2.html](http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukanshi_tohoku2.html)
- [3] N. Tani, et al., “Present status of survey and alignment for J-PARC”, Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting in Japan (2009) 317-319.
- [4] T. Morishita, et al., “地震による J-PARC リニアックアライメントへの影響”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS165, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [5] N. Tani, et al., “地震による J-PARC 3GeV RCS アライメントへの影響”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS164, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [6] S. Meigo, et al., “J-PARC 大強度中性子源への陽子ビーム輸送 (3NBT) における大震災の影響”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS155, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [7] M. Harada, et al., “東日本大震災による J-PARC 物質生命科学実験施設の建屋と基準点の変動”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS161, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [8] H. Stefanus, et al., “J-PARC 中性子実験装置の東日本大震災後のビームラインアライメント状況”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS162, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [9] M. Shirakata, et al., “震災後の J-PARC 主リングアライメント”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS018, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [10] T. Ishii, et al., “J-PARC ニュートリノ実験施設への震災の影響”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TUMH03, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [11] Y. Shirakabe, et al., “震災前後での J-PARC ハドロン実験施設スイッチヤードビームラインのレーザートラッカー測量比較”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS048, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.