

## SURVEY AND ADJUST OF MONUMENTS OF XFEL

Yusuke Maeda<sup>#A)</sup>, Masafumi Yamashita<sup>A)</sup>, Yoshifumi Tsukamoto<sup>A)</sup>  
Sakuo Matsui<sup>B)</sup>, Hiroaki Kimura<sup>B,C)</sup>, Noriyoshi Azumi<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8 Service Co., Ltd. / 2-23-1 Koto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205 Japan

<sup>B)</sup> RIKEN / SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148 Japan

<sup>C)</sup> JASRI / SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198 Japan

### Abstract (英語)

RIKEN and JASRI are constructing XFEL facility, which total length is 640m. Reference monuments were mounted at intervals of about 30m as a straight line reference for alignment. All accelerator components were aligned using a laser tracker, its coordinate system was made from two nearby monuments. The building of XFEL is new, a displacement of its concrete floor is not small. Then it is necessary to check the straightness and the interval of the reference monuments. In this report, we will present a survey procedure including the simulation, and results about the displacement of horizontal directions for these monuments.

## XFEL 据付基準モニユメントの測量方法と結果

### 1. はじめに

SPring-8 で建設を進めている X 線自由電子レーザー(XFEL)施設では加速管やアンジュレータなどの機器を一直線上に並べる必要がある。そこで据付基準モニユメントを建屋収納部内に一直線上に設置し、隣り合う二つのモニユメントを結んだ直線に沿ってレーザートラッカーにより個々の機器をアライメントすることで一直線に並べるといった手法をとった。据付基準モニユメントの高さ方向(Y 軸)の測量・調整に関しては全てデジタルレベルを使用して行った<sup>[1]</sup>。ビーム軸に直交する水平方向(X 軸)に関しては、トータルステーションによる網測量を行った。加速器棟内はほぼ直線上に並んだモニユメントだけを使用し、光源棟内はさらにレーザートラッカーを用い BL3 と BL1 のモニユメント及び収納壁に設けた台座を使用し網を強化して行った。ビーム進行方向(Z 軸)に関しては距離計を使用して測定を行った。本発表ではこのモニユメントに関する水平 2 軸方向の測量方法と結果について述べる。

### 2. 据付基準モニユメント

XFEL施設は加速器棟・光源棟・実験棟の3つの建屋で形成されている。そのうち据付基準モニユメントを設置したのは電子銃や加速管が据付けられる加速器棟、アンジュレータが並ぶ光源棟の全長約 640mの区間である。約30m毎に合計32台、内訳は加速器棟に14台、光源棟のBL3用に9台とBL1用に9台設置した。30mの間隔は、使用するレーザートラッカーの推奨測定範囲から決められた。

据付基準モニユメントを図1(a)に示す。最上部には図1(b)のように球状ターゲットを置くことができ

るすり鉢状のくぼみがある。球状ターゲット(1.5インチ径)の中心が基準となり、ビームラインと同じ高さでかつ700mmオフセットした位置にマイクロメータ付XYZステージを使用して調整する。

このモニユメントには計測機器に対応している

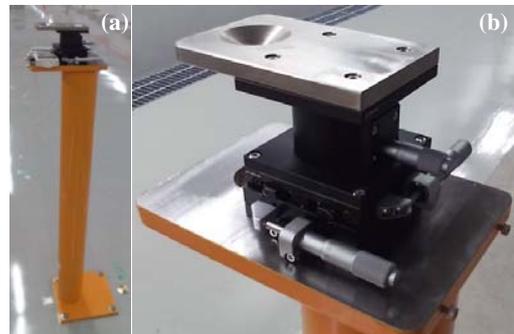


図1. 据付基準モニユメント。(a):モニユメント全体。(b):最上部のステージ

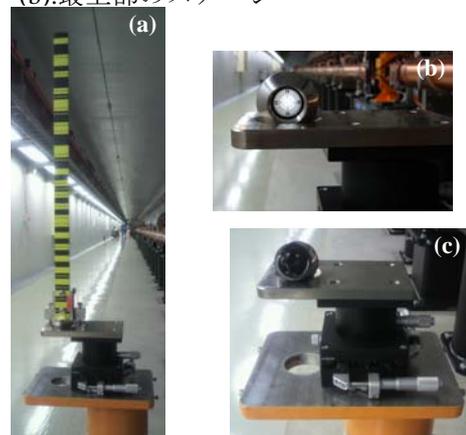


図2. XFELで使用するターゲット。(a):デジタルレベル用標尺。(b):目視ターゲット。(c):レーザートラッカー用ターゲット

<sup>#</sup> maeda\_yu@spring8.or.jp

ろなターゲットを載せることができる。図2(a)は高さ方向の測量で使用するデジタルレベル用のバーコード状標尺である。図2(b)は目視オートレベル用のターゲット、図2(c)は精密アライメントを行う際に使用するレーザートラッカー用のターゲットである。

ターゲット台座のくぼみの底には穴が開いており、床面に基準水平位置を鉛直器により床面に移すことが可能となる構造になっている。これは他の作業の為に一時的にモニュメントを取り外す場合に備えたものである。

### 3. 全体測量

加速器棟部と光源棟 BL3 部の直線上に並んだモニュメント 23 台の測量を行った。

#### 3.1 X 方向測量

##### 3.1.1 測量方法とシミュレーション

測量にはトータルステーション TDA5005 (ライカ社) を使用した(図 3(a)参照)。1.5 インチ径の CCR(Corner Cube Reflector)と呼ばれる球状ターゲットと ATR (Automatic Target Recognition:自動視準) 機構を使用することでヒューマンエラーの少ない測量を行った。ATR の精度は 0.5 秒である。

加速器棟から光源棟にかけて上流から 125m、250m、375m、500m の 4 箇所に TDA5005 を設置し、

1 箇所につき前後合わせて 10 台のモニュメントの計測を行った(図 4 参照)。これらのデータを元に網計算を行いフィッティングして各点のずれ量を計算した。

実際に作業を行う前に、今回採用する手法の精度を確認するために ATR の角度エラーを考慮したシミュレーションを 10 回行った。その結果をグラフにしたのが図 5 である。横軸が Z 方向で縦軸がずれ量を表し、上流・下流それぞれから約 90m のモニュメントを固定点として計算している。固定点より外側は少々振幅が広いが、内側は±0.5mm 以内に入っている。

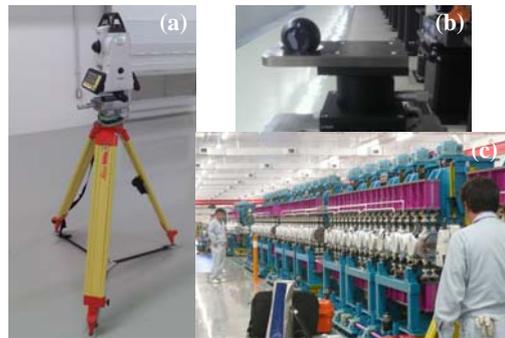


図 3. X 方向測量の写真。(a):TDA5005。(b):ターゲット。(c):測量風景

##### 3.1.2 測量結果

図 6 が 2009 年 10 月~2010 年 7 月までを約 2 カ月毎に測量した結果である。最近の測量では中央が

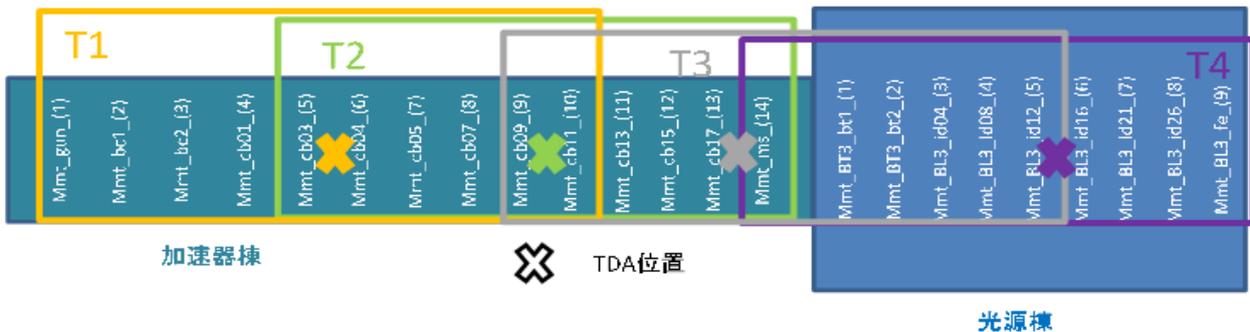


図 4. X 方向測量 TDA5005 の位置と測定範囲

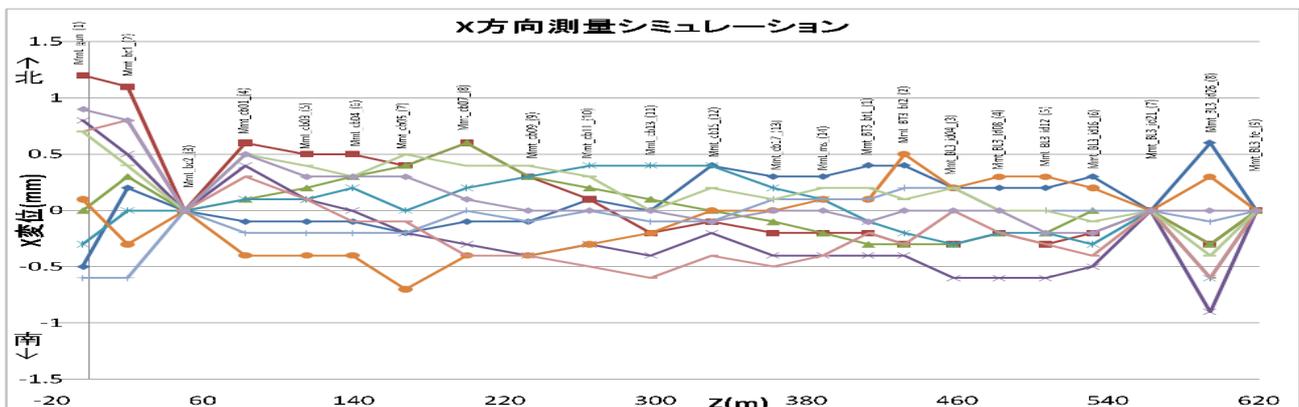


図 5. X 方向測量シミュレーション。加速器棟上流と光源棟下流からそれぞれ約 90m のモニュメントを固定点にして結果をプロットしている。縦軸が X 変位、横軸が上流からの距離

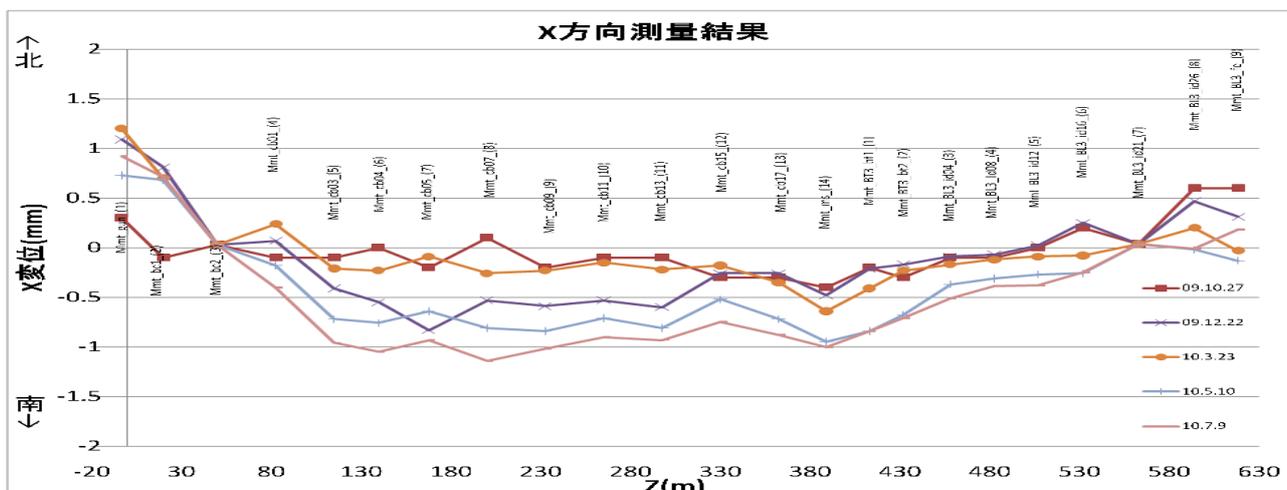


図 6. X 方向測量結果。図 5 と同様にプロット。上に行くほど北にずれている。

南側に寄ってきているという結果が出ているがローカルに見て滑らかに繋がっている。アライメント作業を行う直前に使用するモニメントの位置関係を確認し、作業後はモニメントの調整は行っていない。2010 年 7 月時点で 9 割方のモニメントが使用されているため基本的に調整は行っていないがこの程度の変化であれば修正の必要ないと考えている。

### 3.2 Z 方向測量

#### 3.2.1 測量方法

Z 方向の距離測量には ME5000 (Kern 社製) (図 7(a))を使用した。ME5000 はヘリウムネオンレーザーを使用し、0.2mm+距離×0.2ppm と測定範囲 20m~8000m という高精度で長距離向けのスペックから XFEL での長手方向の距離測量で使用している。この距離計は、気象補正を行う機能がないため、測量時には同時に気圧、温度、湿度を計測して後からデータに補正をかける必要がある。測定用ターゲットを図 7(b)に示す。モニメントのくぼみに載るようにコーナーキューブミラーの下に 1.5 インチの球がついており、右側についているネジで距離測量に影響するビーム軸方向の水準を調整する。

測定時には、ME5000 を加速器棟最上流に設置し、そこから 23 台の全てのモニメントを計測した。

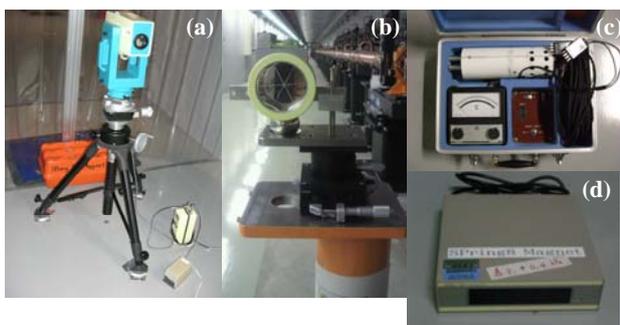


図 7.Z 方向測量の写真。(a):ME5000。(b):ターゲット。(c):乾湿温度計。(d):気圧計

#### 3.2.2 測量結果

図 9(a)が結果である。光源棟の上流から 60m の点を基準点として XFEL 建屋完成時 (2009 年 3 月) の測定値との比較をプロットした。加速器棟の上流から 3 つ目のモニメントのずれ量は殆ど 0 になっており、基準点との相対距離が変わっていないが事わかる。この点を境に加速器棟は両側に伸びており、光源棟は基準点から両側に伸びていることがわかる。加速器棟と光源棟の境目付近におおきなずれ量の段差があることから、前述の加速器棟のずれしていない点と基準点間の建屋の伸びは、ここで吸収されていることがわかる。この境目付近に関しては、若干の盛り上がりや上下方向変位の測量から観測されている<sup>[1]</sup>。

XFEL 建屋の伸縮の傾向を確認するため光源棟の上流 60m 地点を基準に加速器棟の上流側、下流側、光源棟の下流側の 3 箇所の距離を算出し、横軸に時間を取ってグラフにした (図 9(b)(c)(d)参照)。これを見ると前述の傾向がよくわかる。冬期の建屋完成直後に空調設備を運転開始し、躯体コンクリート温度が大きく上昇した事に起因する初期変形の後、現在は安定している。今後は季節による外気温変化に起因する変化が起こるものと予想している。

これらのデータを元に、モニメントの Z 位置の修正を行い、現状で±1mm 以内になっている。

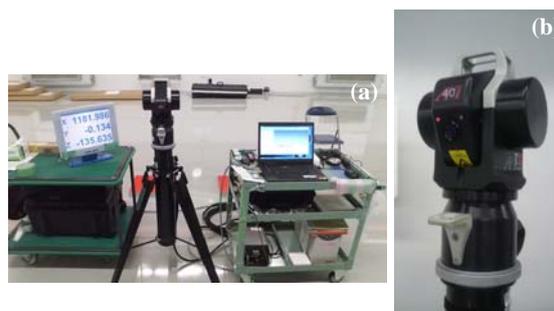


図 8. 光源棟測量の写真。(a):レーザートラッカー、制御用 PC と数値確認用モニター。(b):レーザートラッカーヘッド

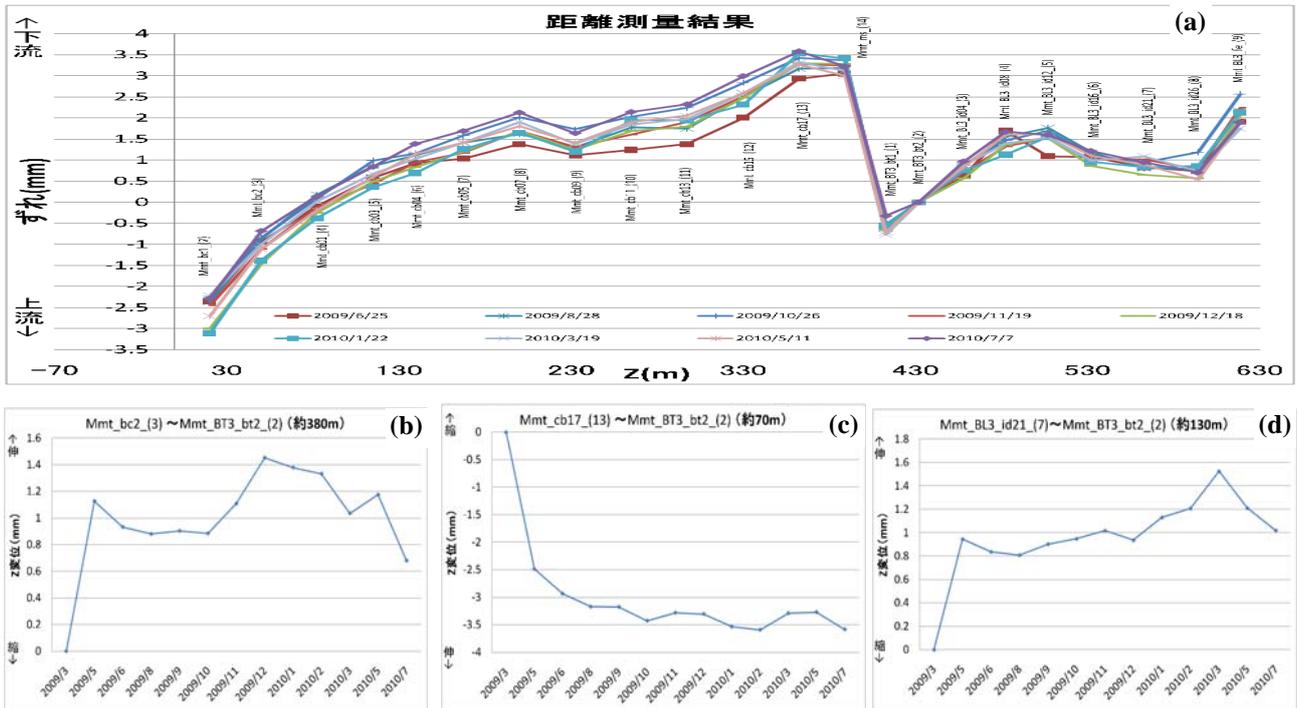


図 9. Z 方向の測量結果。(a):建屋完成時のモニュメントとの比較。横軸が上流からの距離で縦軸が変位を表し、上に行くほど下流側にずれている。(b):加速器棟上流モニュメントと基準点との距離。(c):加速器棟下流モニュメントと基準点との距離。(d):光源棟下流モニュメントと基準点との距離

#### 4. 光源棟測量

光源棟に据え付けられるアンジュレータ部は加速器棟以上の直線精度が要求される。そこで測定点を増やして X 方向にも幅を広げ、レーザートラッカー<sup>[5]</sup>を使用した網測量を行った。

##### 4.1 測量方法とシミュレーション

BL3 用モニュメント 9 箇所、BL1 用モニュメント 9 箇所、そして光源棟壁面に作成した測量用台座 10 点の合計 28 箇所を使用し、幅 8m・長さ 240m の網を組んで測量を行った。レーザートラッカー測定位

置は 9 箇所、1 箇所につき最長 75m(モニュメント 2.5 台分)まで計測した。

実際に作業を行う前に、X 方向測量と同様に採用する手法の精度を確認するためにシミュレーションを行った。仮定したエラーは、角度は 1 秒で距離は  $20\mu\text{m}+0.2\text{ppm}$  であった。その結果をグラフにしたのが図 10 である。横軸が Z 方向で縦軸がずれ量を表し、光源棟の上流・下流それぞれから約 60m のモニュメントを固定点として計算している。固定点より外側は少々振れ幅が広いが、アンジュレータが据付けられる内側は  $\pm 0.2\text{mm}$  以内になっている。これにより光源棟測量は X 方向の測量よりも高精度であることが確認出来た。

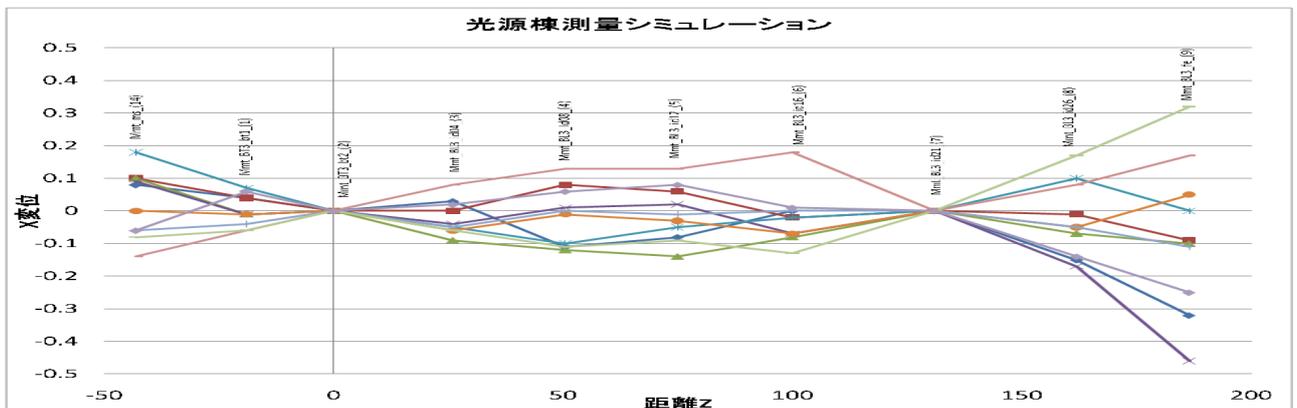


図 10. 光源棟測量シミュレーションの結果。横軸が距離、縦軸が X の変位。光源棟の上流・下流からそれぞれ約 60m のモニュメントを固定点とした。

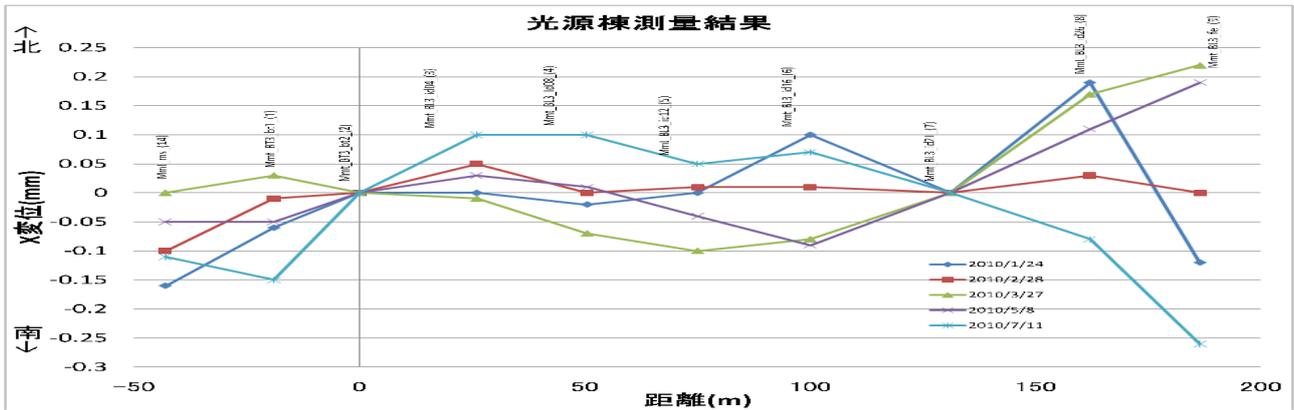


図 11. 光源棟測量の結果。図 10 と同様にプロット。上に行くほど北にずれている。

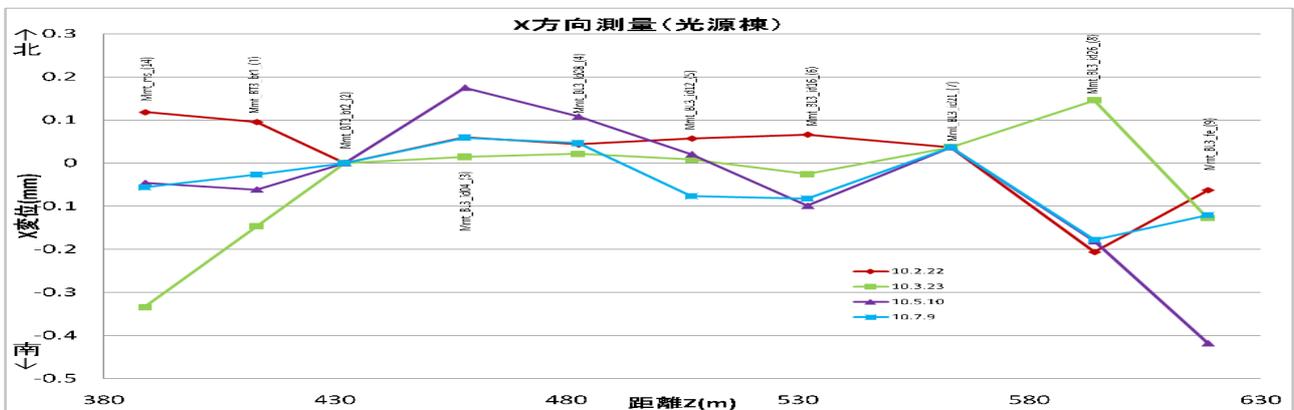


図 12. 全体測量での X 方向結果の光源棟部拡大図。図 11 と同様にプロット。

#### 4.2 測量結果

図 11 が 2010 年 1 月～7 月までの測量結果である。シミュレーションと同様に固定点の外側は振れ幅が大きいが内側は±0.1mm 以内に収まっている。

前述の全体測量での X 方向結果の光源棟部分拡大図を図 12 に示す。縦軸の X 変位に差はあるものの同じような傾向を示す結果となった。

#### 5. おわりに

今回行った測量では事前に行ったシミュレーションの結果と合っており、異なる測量方法でも良好な結果が出た。適度な時間で精度を出すことが出来たと感じている。

今現在モニメントには大きな問題となる変位はないが、今後の変化を予測できるデータがとれていない。今後も測量を続けて傾向を見守る必要がある。さらに今後の変化次第では 2011 年 2 月の再アライメント前にモニメントを再調整する必要がある。

- [1] H. Kimura, et al., “XFELの据付基準と床面沈下計測”, in this proceeding.
- [2] H. Kimura, et al., “X線自由電子レーザー施設の設計と建設”, 本学会2008年報告集, p580.
- [3] H. Kimura, et al., “SPring-8の1kmビームラインBL29XULでの地盤変位”, 本学会2007年報告集, p859.
- [4] H. Kimura, et al., “XFEL建屋の変位計測”, 本学会2009年報告集, p204.
- [5] M. Yamashita, et al. “XFEL加速管・Q電磁石BPM用架台のアライメント”, in this proceeding.
- [6] H. Kimura, et al., “X線自由電子レーザーの性能を支える建屋変位計測技術”, 精密工学会誌 Vol.75, No12, 2009 p1400.