

ALIGNMENT OF ACCELERATING STRUCTURE AND GIRDER FOR Q-MAGNET AND BPM IN XFEL ACCELERATOR TUNNEL

Masafumi Yamashita^{1A)}, Yusuke Maeda^{A)}, Yoshifumi Tsukamoto^{A)},

Sakuo Matsui^{B)}, Hiroaki Kimura^{B,C)}, Noriyoshi Azumi^{B)},

^{A)} SPring-8 Service Co., Ltd. 2-23-1 Kouto, Kamigouri, Hyogo 678-1205

^{B)} XFEL/RIKEN 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{C)} XFEL/JASRI 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

Reference monuments were mounted at intervals of about 30m as a straight line reference for alignment in XFEL facility, which total length is 640m, at SPring-8. All accelerator components were aligned using a laser tracker, its coordinate system was made from two nearby monuments. Using this method, we have aligned C- and S-band accelerator section (□400m) including 136 accelerating structures and 24 stone tables for Q-magnet and BPM. We will report the method of alignment and the result of confirmation about the alignment in lateral and vertical directions at this linac part. This check shows that these components are aligned within the tolerance $\pm 0.3\text{mm}(2\sigma)$ in both directions.

XFEL 加速管・Q 電磁石 BPM 用架台のアライメント

1. はじめに

SPring-8 でX線自由電子レーザー(XFEL)用の機器を 640m にわたり設置するため約 30m 間隔のモニュメント (基準点)^[1]を電子ビーム位置から 700mm オフセットした直線上に設置・調整している。このモニュメントを使用して座標系を作成し、レーザートラッカーで加速管(C バンド 128 本、S バンド 8 本)や、四極電磁石(Q 電磁石)・BPM(ビームポジションモニター)用架台(石定盤)24 台をアライメントした。

ここではそれらのアライメント方法と、そのチェックのため、線形加速部 400m にわたり実施した機器の垂直・水平方向位置の測定方法と結果を述べる。

2. 加速管、Q 電磁石等のアライメント方法

2.1 レーザートラッカーによる計測

レーザートラッカー(T3 API 社製。以下トラッカーと略称、図 1 参照)は HeNe レーザーを発射し測定対象物に接触した Corner Cube Reflector(CCR)から反射したレーザーを捉え 2 つの角度(鉛直角 θ と水平角 ϕ)と距離を測定し 3 次元の位置を計算する。

距離計としては干渉計(IFM)と絶対距離計(ADM)が使用できるが今回のアライメントには高精度が得られる干渉計を使用した。(測定精度カタログ値は干渉計 5ppm、絶対距離計 10ppm となっている)

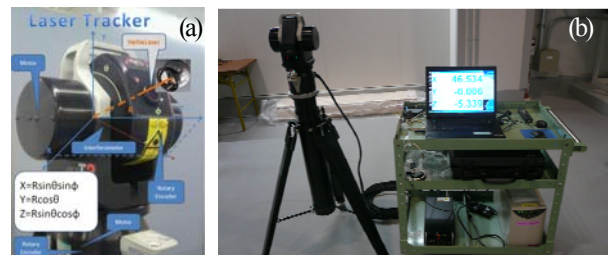


図 1 : API 社製レーザートラッカー
(a)トラッカーヘッド拡大図 (b)測定機材一式

2.2 アライメント手順

トラッカーの座標系作成にはアライメント対象の機器の上下流のモニュメント 2 点とトラッカー内の水準器を用いる。XFEL では左手系 (図 2)を使用しておりビーム軸(距離)を Z、高さ方向を Y、水平方向を X とし、電子銃下流のプリバンチャー中心を座標原点としている。(図中の矢印方向がプラスを示す)

トラッカーは測定エラーを小さくするためアライメントする機器の近くに設置する。加速管は専用工具、Q 電磁石用架台は石定盤基準面に CCR 台座を取付け、トラッカーの計測値をリアルタイムに表示し値を見ながらアライメント用工具で位置を調整した。固定後にトラッカーで測定を行い



図 2 : 座標系

¹ E-Mail: yamashita-ma@spring8.or.jp

最終結果として記録した。据付精度（据付基準^[2]）表 1 に示す許容値に対して、個々にはトラッカーによる値は許容値の半分以下の値で収まっている。

表 1. 据付許容値と据付精度(個々の実績)

	X,Y 方向	Z 方向	その他
加速管の許容値	±0.3mm	±0.5mm	対の加速管間隔： ±0.2mm
据付精度(実績)	±0.1mm	±0.1mm	対の加速管間隔： ±0.1mm
Q 電磁石の許容値	±0.1mm	±0.3mm	傾き：0.2mrad
Q 電磁石用架台据付精度(実績)	±0.05mm	±0.1mm	傾き：0.1mrad

2.3 トラッカーによるアライメントの問題点と対策

アライメントする時期が異なると高さが 0.2mm 程度異なって見えるということが発生した。

通常、アライメント作業の前にトラッカーのキャリブレーションを行うか否か判断するため Backsight check を行う。これは正/反転時の方位角と鉛直角の差を測定するものである。マニュアルでは ±0.004° 以内であればキャリブレーションの必要が無いと書かれていた。しかし 30m 間隔のモニュメント中央付近でアライメントする場合の正反の差が ±0.004° もあればトラッカーは 0.5mm もずれた値を示すことになる。このエラーは鉛直角のエンコーダーがトラッカーのヘッドと共に回転することから起きるため、図 3 のようにモニュメント間中央付近で大きくなる。正反の差は記録に残されており実際に差が大きい時にアライメントした機器は高さのずれが大きくなっていった。

この経験から Backsight check で ±0.001° を越すとキャリブレーションを行うことで測定エラーが格段に減った（現在のマニュアルは ±0.001° と修正されている）。また最終計測の値には正反の平均値を使うことで誤差をより小さくしている。

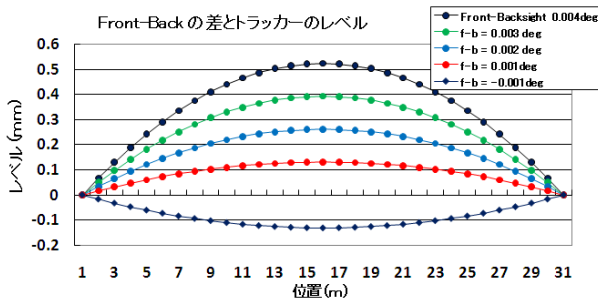


図 3 : Backsight check の正反差を -0.001° ~ 0.004° 変化した場合のレベル(高さ)誤差を示す

また、座標系を設定する際トラッカー内蔵の水準器を用いることで外部の基準点は 2 点のみとしたため水平レベルが正しく設定されているかチェックできなかったことによるミスアライメントも発生した。この対策としてモニュメント 2 点間中央の壁に高さ

基準点（固定点）図 4 を設置し、3 点により座標系を設定するように変更した。

現在は安定した測定を行えると考えているが上記の経緯もあり、チェックのため高さと水平に関して別の測量器による計測を行った。



図 4 : 壁基準点

2.4 CCR 台座とアライメント工具

加速管は製作誤差により全体では 0.1~0.3mm 程度の曲がりがあるが、アライメントは加速管端部ではなく加速管全体の平均軸を合わせる事とした。そのため、エアリー点付近のサポート用 SUS リング部に設けた基準面を使ってアライメントを行った。下図 5 は加速管基準面と CCR 台座である。1 カ所には高さ用と水平方向用に直径 6mm の基準面(a)があり、(b)の加速管測定用 CCR 台座を取付けアライメントした。台座が基準面に接しているか判断しづらいため台座が浮いているとブザーが鳴るように改良した。

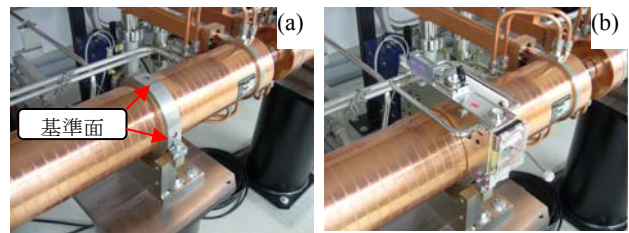


図 5 : 加速管基準面と CCR 台座
(a) 加速管基準面、(b)加速管測定用 CCR 台座

図 6 は加速管アライメント工具であり、同軸のハンドル 2 個で加速管が載るローラーを操り上下(高さ)と左右(X)の位置調整を行う。軸(Z)方向は押しボルト用ハンドルで加速管自体を動かしてアライメントした。(図 7)

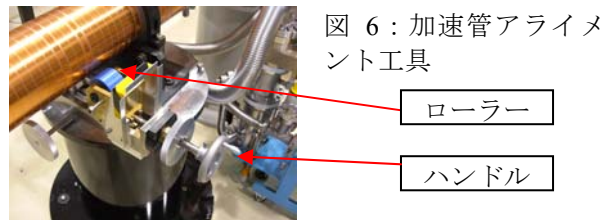


図 6 : 加速管アライメント工具



図 7 : アライメント作業の様子

3. 垂直方向(高さ: Y)チェック

加速管および Q 電磁石、BPM 用据付架台の垂直方向(高さ: Y)はニコン・トリンプル社製 DiNi0.3 デジタルレベル (図 8 (b) 参照) で確認した。

加速管は基準面ではなく加速管表面に (図 8(a))、また Q 電磁石、BPM も架台上でなく各ユニットに、また基準としてモニュメント上にも標尺を載せ測定した。測定は遠い点でも 15m 以内の距離に収めた。

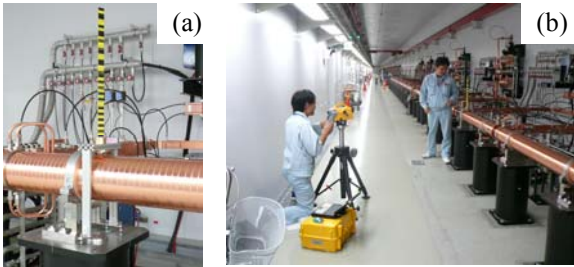


図 8: 加速管高さ測定 (a)デジタルレベル用標尺 (b)測定者と標尺設置者

別に測定した各モニュメントの高さを基準^[1]にして全部の測定をまとめたものを図 9 に示す。図から滑らかに許容値 $\pm 0.3\text{mm}$ (2σ) 内でアライメントされていることが判る。なお図中のビームライン基準レベルは XFEL 棟の 600m 付近の基準点 (固定点) を示したものでありモニュメント個々のレベルは Geoid 水平^[2]で据え付けられている。地盤沈下を予測し 200m 付近のモニュメントを予め 1~2mm 上げた部分は現在も高いが、地盤沈下とともに下がる傾向にある。

ビームエネルギーが低くアライメントエラーとして加速部の半分以上に寄与する S-Band 加速管部は拡大図で示す。(右図 10)

図 10: S-Band 加速管部拡大図

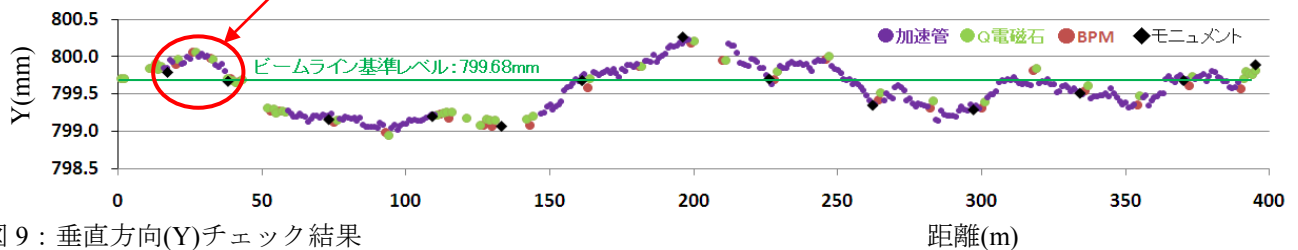
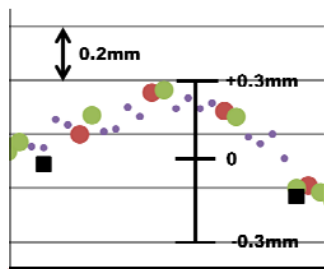


図 9: 垂直方向(Y)チェック結果

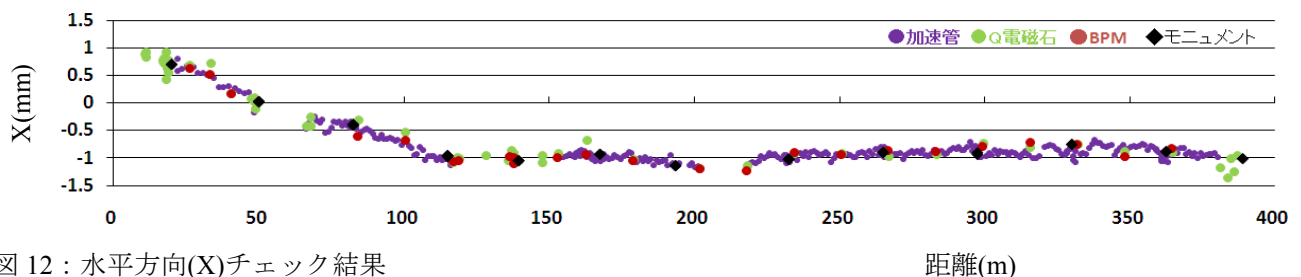


図 12: 水平方向(X)チェック結果

4. 水平方向(X)チェック

水平方向はトータルステーション Leica 製 TDA5005 をモニュメント 2 点間の延長線上に設置し加速管などに接して置いた測定台座上の CCR ターゲットを自動視準で測定した。(図 11 参照)測定誤差を 0.1mm 以下にするために 40m 以下の視準距離で測定した。

図 12 は別に測定したモニュメントだけの測量結果を基準^[1]にして全体の機器の X 値をまとめたもので、滑らかな線から許容値 $\pm 0.3\text{mm}$ 内に収まっているのが判る。

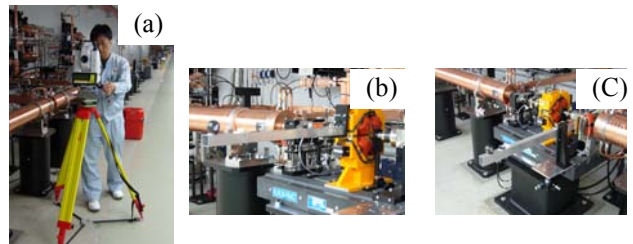


図 11: 加速管水平方向位置測定

(a):トータルステーション TDA5005

(b)Q 電磁石測定工具 (c)BPM 測定用工具

5. おわりに

高さ(Y)、水平(X)ともに概ねモニュメントに沿ってアライメントされているが、細かいところでずれている個所もある。2011 年 2 月からのビームコミッショニング前の最終アライメントで修整を行う判断材料としたい。

初めて使うトラッカーの場合は事前によく特性を把握しておくことが重要である。

最後に株式会社 IHI 検査計測の皆様には据付・アライメント作業をしていただき有難うございました。

[1] Y. Maeda, et al., "XFEL 据付基準モニュメントの測量方法と結果", in this proceeding.

[2] H. Kimura, et al., "XFEL の据付基準と床面沈下測量", in this proceeding.