

## AN ALIGNMENT OF J-PARC LINAC

Takatoshi Morishita<sup>1,A)</sup>, Hiroyuki Ao<sup>A)</sup>, Takashi Ito<sup>A)</sup>, Akira Ueno<sup>A)</sup>, Kazuo Hasegawa<sup>A)</sup>, Masanori Ikegami<sup>B)</sup>,  
Chikashi Kubota<sup>B)</sup>, Eiichi Takasaki<sup>B)</sup>, Hirokazu Tanaka<sup>B)</sup>, Fujio Naito<sup>B)</sup>, Kazuo Yoshino<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Research Institute, 2-4 Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

J-PARC linear accelerator components are now being installed in the accelerator tunnel, whose total length is more than 400 m including the beam transport line to 3GeV synchrotron. A precise alignment of accelerator components is essential for high quality beam acceleration. In this proceeding, planned and ongoing alignment schemes for the installation of linac components and watching the long term motion of the building are described. Markings are placed on the floor, which act as a reference for the initial alignment at the installation. For a straight line alignment, the wire position sensor is placed on the offset position with respect to the beam center by a target holder. The hydrostatic leveling system is used for watching the floor elevation over the long period.

## J-PARCリニアックにおけるアライメント

### 1. はじめに

J-PARCリニアック[1]では、加速器機器のインストールが2005年4月より開始された。それに先立って、リニアックのアライメント計画[2]に基づき、機器据付の目印を設定すべくリニアックの測量調査が行われた。本測量(墨だし)では、J-PARC全体に配置されている野外一次基準点測量[3, 4]の成果を得て3 GeVシンクロトロンとのスムーズな連結のため相互の位置関係を把握し、クライストロンギャラリー(1階)、中間トンネル(地下5.5m)、加速器トンネル(地下13m)に機器据付の目印を設置した。

ドリフトチューブリニアック(DTL)、分離型DTL(SDTL)区間では、アライメントテレスコープを用い、ビームラインに光軸を設定して機器の据付時アライメントを行う。そのため、ビームライン位置に基準となるアライメントターゲットを設置する架台を製作し、高精度トータルステーションを用いて床のマークを結ぶ直線上にターゲットを設置している。

機器据付後もアライメントの常時モニタリングを行う予定である[2]。床高さの変動モニタリングのために連通管システム(仏国Fogale社製HLS)、水平方向の変位計測のためにワイヤーセンサーシステム(仏国Fogale社製WPS2D)を使用する。

### 2. 床へのマーキング

リニアックにおける機器据付の位置および角度は、導波管貫通口およびベースプレートの位置関係とともに、3 GeVシンクロトロンとの相対位置の設計値からの補正がもっとも小さくなるように決定した。この相対位置の確認のため、リニアック上流直線部には3つの測量用貫通口および基準座が最上流部、第一アーク上流側、直線際下流部に設置されており、

これらを地上から直接見通して、3 GeVシンクロトロンとの相対位置測量を行った。その結果、相対誤差は入射角度およそ $0.00065^\circ$  水平方向約3mmであり[4]、このずれは第二アーク(3 GeVシンクロトロン入射点近傍)の配置を微調整することより吸収した。

上記結果を踏まえ、加速器トンネルの各セクション: 初段区間(イオン源、高周波4重極加速空洞)、DTL-SDTL区間、環結合空洞型加速管(ACS)区間、各偏向電磁石、入射ラインの両端に墨だし基準点を設置した(図1)。墨だし基準点の構造はステージによる位置微調整が可能なものを採用し、直線性および直線の交点の位置精度を向上させている。墨だし基準点はビーム軸直下のほかに、オフセットした2直線上にも設置している。一つはビーム軸から460mm通路側にあり、これらはDTL, SDTL空洞の基準座の位置となっている。WPSを用いた水平方向アライメントにおいて、このオフセット位置にワイヤーを張ることでDTL, SDTL空洞および上流直線部電磁石の計測が可能となる。2つめはビーム軸から2000mm通路側に位置する。ここでは加速装置との干渉等がなく、機器据付後も十分なスペースがあるためトータルステーション等の計測器を設置することが可能である。このほかに、上記墨だし基準点を結ぶ直線

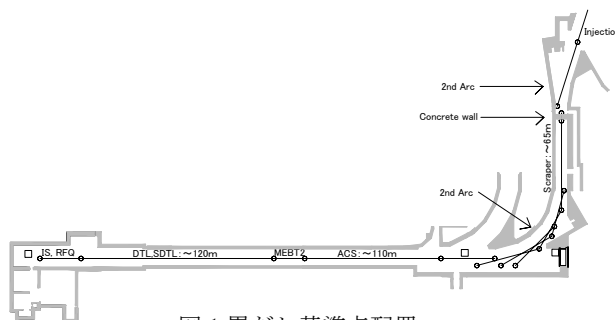


図1 墨だし基準点配置

<sup>1</sup> E-mail: morishita@linac.tokai.jaeri.go.jp

上の各加速空洞インプットカップラー位置およびベースプレート上に中継点を打刻し、導波管、冷却水配管等の敷設の目印としている。

加速器トンネル壁面にはシールを貼り付け、据付時の高さ基準としている。リニアックのビームライン高さは第二アークの手前側電磁石とイオン源を結ぶ直線の中点を通る法線に垂直な平面に設定する。そのため、リニアック直線部中間地点でおよそ1.9mmの曲率補正が必要であり、高さ基準シールはあらかじめ0.5mm刻みで曲率補正後の位置に貼り付けてある。ビームダンプ等の重量機器の搬入の前後でレベルの変動の有無を確認するため、定期的にレベル測量を行う予定である。このとき、トンネル全域にわたって通路側側溝に設置されているレベルピン（およそ24m間隔）を利用し、機器搬入前の2005年2月時点でのレベル測量結果と比較を行う予定である。

### 3. アライメントターゲットの設置

#### 3.1 ターゲット架台

DTL, SDTL区間では、ビームラインにアライメントテレスコープ用ターゲットを設置し、空洞および収束電磁石を整列する。長さ10mに及ぶDTL空洞は収束電磁石をドリフトチューブに内蔵しており、かつケーブル、冷却水配管が密集しているため、設置後の再アライメントが容易ではない。そのため設置時に高精度のアライメントを行っておく必要がある。そこで、墨だし基準点を結ぶ直線上にアライメントターゲットをビーム高さに設置する架台を製作した。

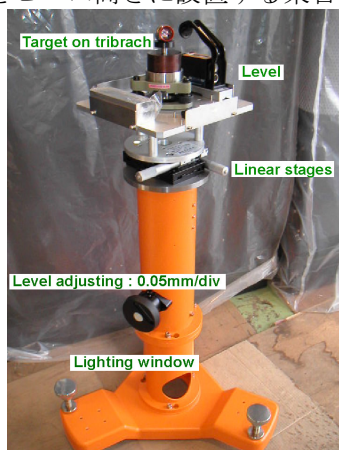


図2 アライメントターゲット架台

ターゲット架台は2軸ステージにより水平方向の微調整が可能で、かつ高さの調整は $50\mu\text{m}$ 以下で行えるものとなっている。本架台は墨だし基準点上に立て、基準点マークを上から見通せるように中央に貫通部を有し、鉛直儀（ライカ社製NL）により基準点真上に調整可能である。テレスコープの光軸設定のため、およそ10m間隔にターゲットをビームライン上に設置する。中継ターゲットの設置位置の調整には、水平方向は高精度トータルステーション（ラ

イカ社製TDA5005）、高さはデジタル水準儀（ライカ社製DNA03）を使用する。トータルステーション用ターゲット（プリズム）とテレスコープ用ターゲットを位置精度良く付け替えるため、整準盤へのアダプターも合わせて製作している。

#### 3.2 トータルステーションによるターゲット調整

トータルステーションによる水平方向の位置計測（水平角測定）はターゲット自動認識機能（ATR）を利用する。ATRによりターゲットを視準して水平角を複数回測定し、その平均値により水平方向ズレ量を評価する。試験的にターゲット距離を10m、30m、100m先に設置し、ステージにより左右に微小移動させた場合の測角値（水平移動量に換算）との比較を示す。

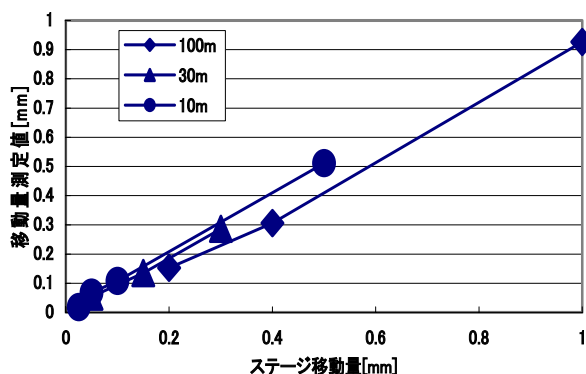


図3 ステージ移動量に対する測定値

ステージ移動量に対する測定誤差はそれぞれ、10m先では最大0.02mm、100m先では最大0.1mmであった。測角値の標準偏差（ $1\sigma$ ）は、空調停止等の措置により50回の測定で100m先においても0.3秒角（ $\sim 0.15\text{mm}/100\text{m}$ ）程度まで安定する結果が得られており、十分な測定回数を取ることで、DTL～SDTL区間（120m）においても墨だし基準点を結ぶ直線に対して最大0.2mm程度でアライメントターゲットが設置可能と期待できる。

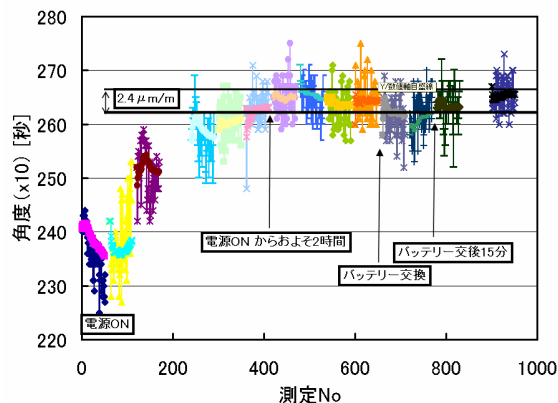


図4 定点測定の安定度

図4は91m離れた静止ターゲットを連続的に測定したものである。電源投入からおよそ2時間で安定し、バッテリー交換を行っても短時間で安定化している。一方で、0.5秒角の範囲内であるが、値の変動が見られた。そこで、基準となる点に対し直線上に中継点を設置する場合、基準点→(調整する)中継点→基準点の順に測定し、前後の基準点測定値の平均からの中継点のズレを評価することで直線上への調整量を決定することとした。

## 4. 常時モニタリング

### 4.1 WPSホルダーとワイヤー支柱

WPSセンサーはDTL、SDTL空洞基準座（ビーム軸より通路側460mmの位置）に取り付けて使用する[2]。この基準座の軸に合わせてSDTL、ACS区間の収束電磁石にWPSセンサーを取り付けるためのホルダーおよびワイヤー支柱を製作した。これにより、DTL～SDTLの約120mに渡って空洞と電磁石の同時モニタリングが可能となる。収束電磁石には、ビーム軸真上に基準座が取り付けられているため、オフセット位置にWPSを位置精度よく保持するため、カウンターウェイトを配した構造とし、基準座へはヒライ社製ターゲット用ベース固定部（ハイタッチセット）を介して固定する。ワイヤーのたるみの吸収のため、WPSは垂直方向に移動できるステージに取付ける構造となっている。ワイヤー支柱は、空洞や電磁石との干渉を避けるため、支柱および脚部を通路側に置く構造とし、ワイヤーを支持する滑車は水平方向に移動できるステージに取り付けることにより、ワイヤー位置の微調整が可能である。

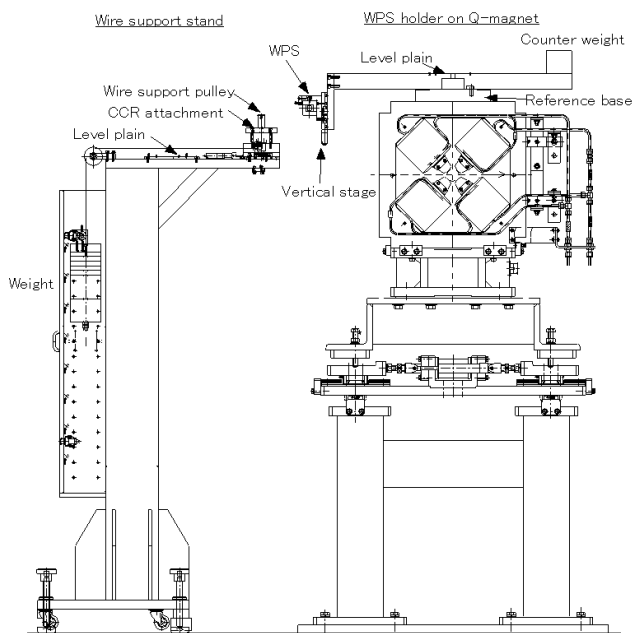


図5 WPSホルダーとワイヤー支柱

### 4.2 連通管システム

HLSセンサーは、約50mの間隔で加速器トンネルのベースプレート上に設置され、配管長は800mを超える。パイプや継ぎ手部からの水の蒸発、水質悪化等によるモニタリング障害を避けるため、メンテナンスシステムを開発した。本システムは循環ポンプ、浄化フィルター、水位調節タンクから成り、ポンプによる水の強制循環により水の注入、気泡除去を行い同時にフィルターにより不純物が除去される。水位調節タンク（5リットル）は上下する自動ステージに固定されており、1mm以下の分解能で水位の減少に対し、給水可能である。水位調整は遠隔で操作でき、加速器運転中も常に適切な水位に保持することが可能である。

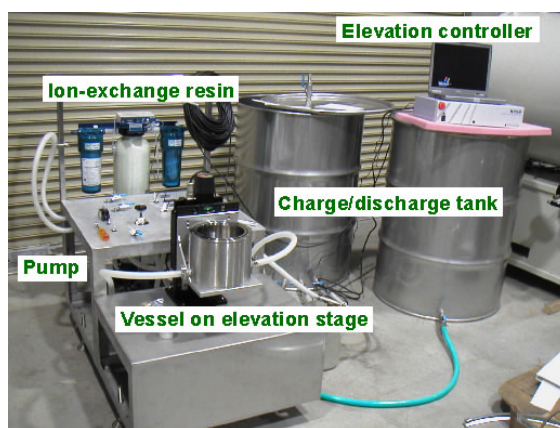


図6 HLSメンテナンスシステム

## 5. 謝辞

株式会社PASCOの三島氏、阿部氏、齋藤氏にはJ-PARC全体測量と墨だしに関する貴重なコメントをいただきました。株式会社東京技研の高橋氏にはWPSホルダーおよびワイヤー支柱の設計、株式会社仁木工芸の西氏にはHLSメンテナンスシステムの機械設計にご尽力いただきました。

## 参考文献

- [1] Y. Yamazaki(eds), "Accelerator Technical Design Report for J-PARC" JAERI-Tech 2003-044; KEK-Report 2002-13.
- [2] M. Ikegami, C. Kubota, F. Naito, E. Takasaki, H. Tanaka, K. Yoshino, H. Ao, T. Itou, K. Hasegawa, T. Morishita, N. Nakamura, A. Ueno, Proc. of LINAC2004, August 2004, p474.
- [3] K. Mishima and N. Tani, "Geodetic Survey Work of High Intensity Proton Accelerator Facility", Proc. of IWAA2004, CERN, Geneva, 4-7 October 2004.
- [4] N. Tani and K. Mishima, private communication.