

## AN ALIGNMENT SYSTEM OF J-PARC LINAC

T. Morishita<sup>1,A)</sup>, H. Ao<sup>A)</sup>, T. Ito<sup>A)</sup>, A. Ueno<sup>A)</sup>, K. Hasegawa<sup>A)</sup>, M. Ikegami<sup>B)</sup>, C. Kubota<sup>B)</sup>, E. Takasaki<sup>B)</sup>,  
H. Tanaka<sup>B)</sup>, F. Naito<sup>B)</sup>, K. Yoshino<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Research Institute

2-4 Shirakatahirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

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

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

### Abstract

Precise alignment of accelerator components is essential for the J-PARC linear accelerator. In this paper, the scheme of the alignment system is presented. The fine alignment will be performed by a laser tracker and a digital level. For the long-term-watching, the wire position sensor is applied to measure the accelerator components positioning, and the ground motion of the building is measured by the hydrostatic levelling system.

## J-PARCリニアックにおけるアライメント

### 1. はじめに

J-PARCリニアックにおいて、イオン源からRCS入射点までの400m以上にわたり、高品質のビーム形状を保ったまま加速を行うためには、加速空洞（RFQ（高周波四重極空洞）、DTL（ドリフトチューブリニアック）、SDTL（分離型DTL）、ACS（環結合型結合空洞リニアック））および電磁石（四重極収束電磁石、偏向電磁石）を高精度でデザイン軌道の上に配置する必要がある[1]。本稿では、J-PARCリニアックにおける機器アライメントの概要とともに、現在開発中の長期にわたる床変動を監視するための連通管を用いた計測システム、ワイヤーからの距離を感知するセンサーを用いたアライメントシステムについて報告する。

### 2. アライメント許容範囲

四極電磁石および加速空洞のアライメント要求精度を表1に示す。リニアックを構成する機器の中で、四極電磁石のビーム軸からのズレによるビームの劣化への影響は特に大きい。DTLではドリフトチューブに四極電磁石が内蔵（DTQ）されており、加速トンネル内にDTLを設置する際に光学望遠鏡（英テラーホブソン社製 112/2582）を用いて、およそ10mのタンク全長にわたって50 $\mu$ mの精度で整列させることを目標にしている。

表1. アライメント要求精度

	x, y	z	z
DTQ,四極電磁石	$\pm 0.1\text{mm}$	$\pm 0.1\text{mm}$	$\pm 5\text{ mrad}$
SDTL, その他空洞	$\pm 0.3\text{mm}$	$\pm 0.1\text{mm}$	

### 3. リニアックのアライメント

#### 3.1 基準座

加速空洞および四極電磁石には、ビーム位置からオフセットした位置にアライメント用基準座を設け、アライメント基準として、機器据付け時のアライメントおよび据付け後に行う精密アライメントに使用する。基準座は水準平面を持ち、水準器（独WYLER社 Minilevel NT）による機器のビーム軸周りの回転が計測可能である。さらに、基準座には（株）ヒライ製ハイタッチセットに対応した取り付け穴を用意し、レーザートラッカー用コーナーキューブリフレクタ（CCR）や光学ターゲット（英テラーホブソン社製 112/1058）、ワイヤー位置センサーを位置再現性良く取り付け、取り外しが可能な構造となっている。DTL～SDTL区間では、チューナーやカップラーとの干渉を避け、ビーム軸に対して垂直上方向に215mm $\pm$ 30 $\mu$ m、水平方向通路側に460mm $\pm$ 30 $\mu$ mの位置にアライメント用ターゲットを設置する。四極電磁石では、ビーム軸真上に基準座が置かれるため、ワイヤーを用いた測定をする際には、通路側に460mmオフセットするための腕を伸ばした構造のターゲットホルダーを基準座に取り付けることで、空洞および電磁石のターゲット位置がDTL-ACSの300mの区間において直線に配置できるようにする。これらターゲットホルダーの製作および基準座試作試験が進行中である。

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

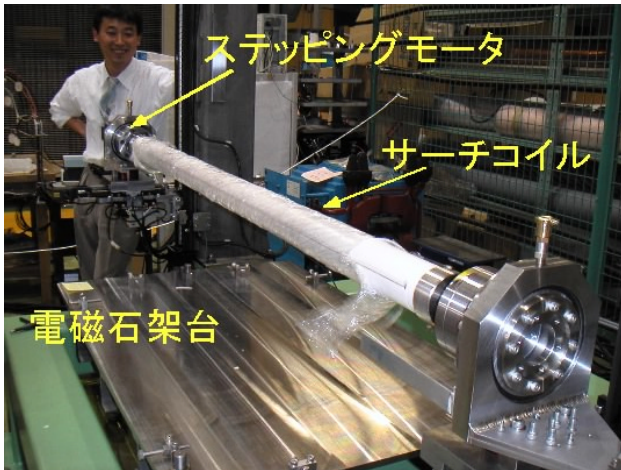


図1 磁場測定器

### 3.2 四極電磁石の磁場中心測定

J-PARCリニアックにて使用される四極電磁石は、基準座の位置を基に加速トンネル内に据付けられるため、予め磁場中心と基準座との相対位置を測定しておく必要がある。そのための磁場測定器（磁場測定用サーチコイル（セラミック製）およびコイル駆動装置）を製作した（図1）。コイルは軸対称（回転同軸度0.01mm以下）で、 $8\text{Hz} \pm 0.1\%$ で定速回転させて磁場成分を計測し、コイルを精度良く移動させることで磁場中心を同定する。コイルはビーム軸と垂直な方向（水平方向、鉛直方向）に $\pm 10\ \mu\text{m}$ の精度での移動が可能であり、マグネスケールによるコイル位置のモニタリングが可能である。光学望遠鏡と水準器、およびデジタル水準儀（ライカ社製DNA03）によりコイル位置および電磁石基準座ターゲットを直線に配置し、そこからのコイルの移動距離にて磁場中心位置を測定する。

### 3.3 ワイヤー位置センサー

ワイヤーを用いたアライメントでは、重力によるサグはあるものの、水平方向には優れた直線性が実現できるため、水平方向のアライメント用基準として優れた性質を持つ。静電容量からワイヤー位置を計測する仏Fogale nanotech社製WPS2D（Wire Position System）を用いて、空洞および四極電磁石の水平方向アライメントを上流直線部（DTL-ACS～300m）および第1アーク出口～第2アーク入口までの直線部について行う。カーボンワイヤーはおよそ120mの長さまで張ることができるため、DTL-SDTL区間を一本のワイヤーでカバーすることができる。WPSを用いた計測システムは、センサーと、センサーからの信号（センサー内蔵電極間の静電容量）を電圧信号に変換するオシレータ、およびAD変換ラックからなる。ケーブル自身が持つ静電容量の個体差から、放射線損傷などによりセンサー-オシレータ間のケーブルを交換する必要がある場合、ケーブルを含めた再校正が必要となる。そこで現在、図2に示すように、2台の校正済みWPSを用いて加速器トンネル内でセンサーの校正が可能な校正架台を製作中である。WPSを固定しているL字型イケールは長手方向平面度 $20\ \mu\text{m}/300\text{mm}$ の精度でWPSセンサーを直線に固定する事が可能である。この校正架台を用いて以下の項目に関する校正および試験を行う予定である。

- 中心に置かれたWPSセンサーの校正（両端の構成済みセンサーの出力値の中間値）
- XZステージを用いたリニアリティ試験
- Yステージを用いたワイヤーの均一性試験
- ワイヤー固定治具の調整（滑車のガタおよび回転位相誤差の影響）

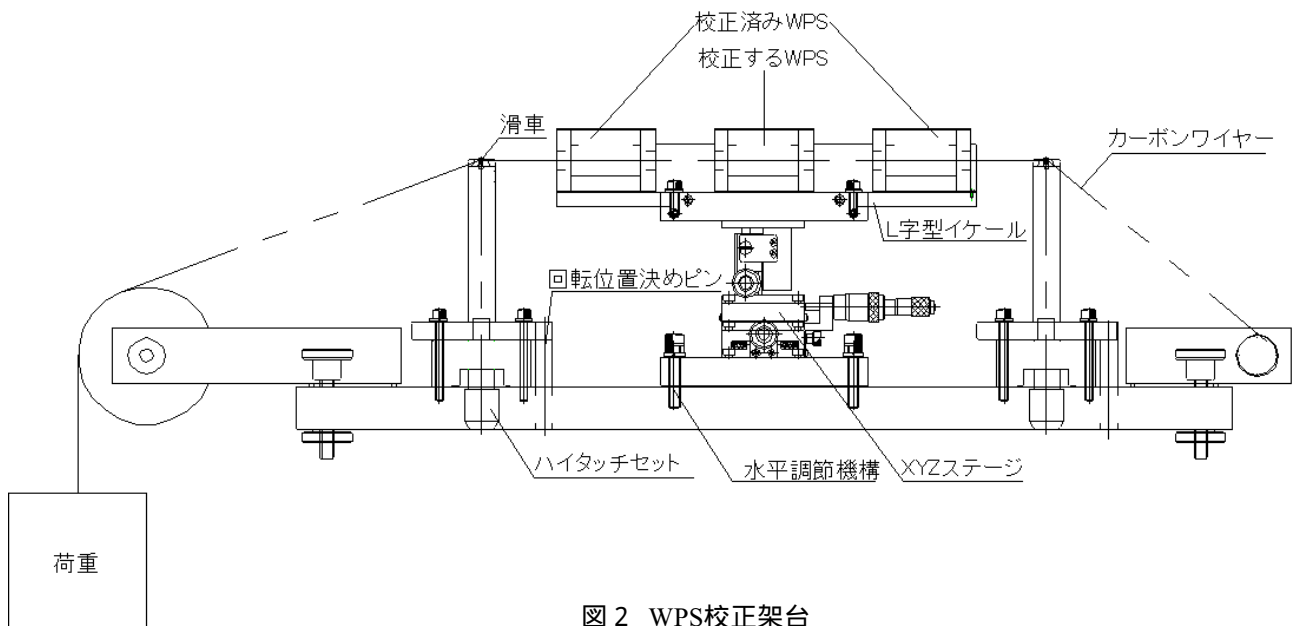


図2 WPS校正架台

### 3.4 HLSによる床変位計測

加速トンネルの床の高低変動を測定するため、仏 Fogale nanotech社製HLS (Hydrostatic Levelling System) センサーをリニアック全体(およそ50m間隔)に配置する。全体配置を図3に示す。トンネル接続部(第1アーク出口付近および第2アーク入口付近)は建物のズレが懸念されるため密に配置する。すべてのHLSセンサーをループ状に連結することにより各HLSセンサーにおける水位は同一に保たれ、センサーと水面との距離を測ることで床高さの変動を検出できる。HLSセンサーは加速空洞架台を固定するために床に埋め込まれているベースプレート上に架台を設置して固定する方法を想定している。リニアックの上流部と下流部では床の高さが300mm変化する。そこで、上流部には高さ300mmのコンクリートブロックをベースプレートの上におき、その上にHLS架台を固定することで、架台とコンクリートの熱膨張係数差を吸収する。HLSセンサーを結ぶ配管は全てセンサーと同じ高さになるよう固定し、水温差(運転時にはコンクリート隔壁を挟んでおよそ3 )による誤差を極力抑える構造とする[2]。また、連通管の内径は外乱による水位変動が安定するまでの時定数に影響するため、内径を18mm程度として、安定した測定を可能にする[3]。

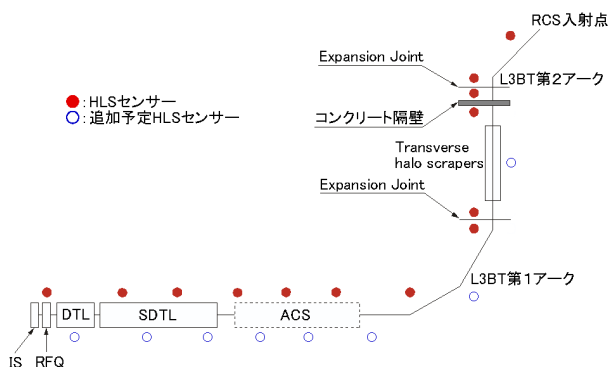


図3 HLSセンサー全体配置図

### 3.5 精密アライメントと長期監視

加速空洞、電磁石の据付け後、リニアック全体の精密アライメントをレーザートラッカーを用いて行う。レーザートラッカー用CCRは基準座にハイタッチセットを介して固定し、通路側にレーザートラッカーを設置して計測する。長距離にわたる測定を行うためには、レーザートラッカーを移動させる必要がある。基準座ターゲットおよび壁面ターゲットの計測基準をつなぐことで、全長400mにわたる計測を同一平面上で行う。計測基準のつなぎ目で計測誤差が積み重なって一方向に緩やかな曲がりがある可能性があるため、レーザートラッカーを用いたアライメントのバックアップとしてWPSを使用することを予定しており、水平方向の緩やかな曲がり検出することが可能である。ワイヤーをオーバーラップして敷設すれば、リニアック上流側300mの直線部すべてをカバーすることが可能である。また、鉛直方向のアライメントにはデジタル水準儀を用いる。

長期の機器および建屋変動の監視にはWPSとHLSを使用する。前述のWPS用オシレータは放射線による損傷をさけるため、中間トンネル等の放射線レベルの低い位置に設置する。トンネル内空調によるワイヤーの振動が懸念されるため、一時的な空調停止、気密状態での定期的位置計測も視野に入れている。

HLSによる床変動の長期の監視においては、水パイプの浸透蒸発、継ぎ手シール部での蒸発による水位の低下が懸念される。そこで、水補給用のタンクと、遠隔昇降操作可能な水位微調整用のタンク(容量およそ5リットル)をHLS配管経路に接続する。微調タンクによって、およそ0.1mmの分解能で水位を調節し、HLSセンサー測定レンジ(5mm)内に水位調節を行う。さらに、800m以上におよぶ水配管内の気泡を測定開始前に除去するために、小型ポンプを用いた強制循環装置を組み込む予定である。HLSシステムの全体構成を図4に示す。

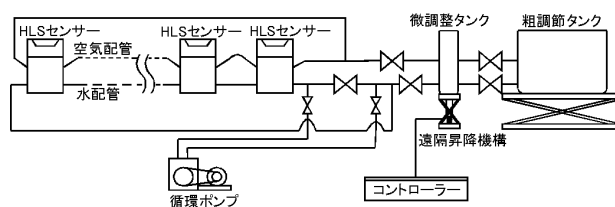


図4 HLSシステム全体構成

## 4. スケジュール

加速トンネルの墨だしは2005年3月に予定され、2005年5月より主要機器の搬入が開始される。リニアック全体の精密アライメントは機器据付け後(2006年5月を予定)に行う。

## 5. 謝辞

三菱重工業株式会社の雑喉氏には磁場測定器の機械設計、三菱重工業株式会社の壁谷氏、柿崎氏には基準座の機械設計、東京技研株式会社の高橋氏にはWPSターゲットホルダーおよび校正架台の機械設計、仁木工芸株式会社の西氏、鈴木氏にはHLS水補給システムの設計にご尽力頂きました。

## 参考文献

- [1] Y. Yamazaki(eds), "Accelerator Technical Design Report for J-PARC" JAERI-Tech 2003-044; KEK-Repoert 2002-13.
- [2] F. Tecker, W. Coosemans, A. Marin, K. Rybaltchenko, F. Tecker, J. Wenninger, "HLS-based Closed Orbit Feed-back at LEP", Proc. 5<sup>th</sup> IWAA, Argonne National Laboratory, Illinois, USA13-17 October 1997.
- [3] C. Zhang, K. Fukami, and S. Matsui, "Primary Hydrodynamics Study and Experiment on the Hydrostatic Leveling System", Proc. 7<sup>th</sup> IWAA, SPring-8 JAPAN, 11-14 November 2002, p297.