

BEAM LOSS REDUCTION BY THE BEAM DUCT REALIGNMENT IN THE J-PARC LINAC BEAM TRANSPORT LINE

Jun Tamura*^{A)}, Hiroyuki Ao^{A)}, Hiroyuki Asano^{A)}, Masanori Ikegami^{B)}, Tomofumi Maruta^{A)}, Akihiko Miura^{A)},
Takatoshi Morishita^{A)}, Hidetomo Oguri^{A)}, Nobuo Ouchi^{A)}, Yuki Sawabe^{C)}, Takahiro Suzuki^{A)}, Masayoshi Yamazaki^{C)},
^{A)}JAEA/J-PARC
^{B)}KEK/J-PARC
^{C)}Mitsubishi Electric System & Service

Abstract

In the J-PARC linac, almost all the cavities and magnets have been precisely aligned because the accelerator tunnel has been deformed by the 2011 Tohoku Earthquake. In the beam transport line called MEBT2 and A0BT at the downstream of the drift tube linac, the beam duct has been roughly aligned after the precise alignment of the quadruple doublets. During the first beam operation after the earthquake, remarkable beam loss and residual radiation have been recognized at the MEBT2 and A0BT. As the result of the duct position measurement, the misalignment including over 10 mm shift from the beam axis was found. By conducting the beam duct realignment, the beam loss and the residual radiation were successfully decreased. In this paper, the procedure of the beam duct alignment and the beam loss due to the misalignment are described.

J-PARC リニアックビームトランスポートにおける ダクトアライメントとビームロス

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、J-PARC リニアックでは加速器トンネルに深刻な変形が生じた。そのため、ほぼ全数の加速空洞および電磁石の精密アライメントが行われた^[1]。

J-PARC リニアックの構成を図1に示す。SDTL 下流には、MEBT2 および A0BT と呼ばれるビームトランスポートがある。MEBT2 は、将来 A0BT に設置される ACS 加速空洞へのマッチングセクションであり、一組2セットの四重極電磁石6組で構成される。MEBT2 における、各電磁石一組間の距離は約2.5m から約3.4m である。A0BT はダブルット四重極電磁石21台で構成され、各ダブルット間の距離は約4.6m から約5.7m である。将来、A0BT の各ダブルットの間、ACS 加速空洞がそれぞれ一台、合計21台設置される^[2]。MEBT2 および A0BT とともに、ビームダクトは NW40 接続のチタン製の配管であり、真空ポンプやビームモニターが設置されている。

MEBT2 および A0BT では、精密アライメント後の電

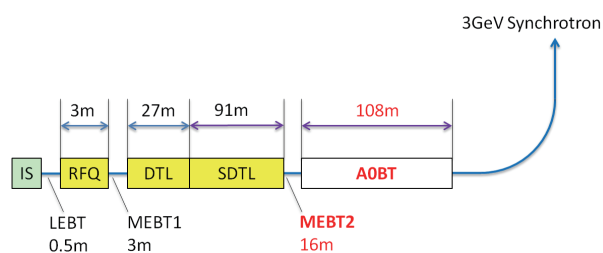


図1: J-PARC リニアックの構成

磁石に合わせて、ダクトアライメントを行った。ビームダクトのアライメントは、ダクトの中心軸と四重極電磁石のビーム軸が一致するように、ダクトの位置を調整する作業である。本発表では、ダクトのミスアライメントによるビームロス発生と、ダクトの再アライメントによるロス低減について報告する。

2. ビーム運転再開後のビームロス

リニアックでは2011年12月9日からビーム調整運転が開始されたが、MEBT2 および A0BT において、震災前には見られなかったビームロスと残留放射線が確認された^[3]。震災前のビームロスは、ステアリング磁石にほとんど影響されないため、多くが残留ガスとの衝突による中性水素によるものと考えられた^[4]。一方、ビーム運転再開後のビームロスは、ビームの軌道に大きく反応した。ステアリング磁石で軌道を大きく蛇行させることによって、ロス量を大きく減らすことはできたが、依然震災前よりロス量は大きかった。また、A0BT 中流部のロス量は、上流の SDTL5 の位相にも反応した。残留放射線量について、震災前は約0.5mSv/h かそれ以下で、ビームダクト径が急に小さくなるデバンチャー2 空洞入口で最大約1mSv/h というものだった。この値は、ビーム運転を停止して数時間後の、真空チェンバー表面の線量値である。ビーム運転再開後のビーム調整運転時のビームパワーは、震災前のビーム利用運転時のそれよりはるかに小さいにもかかわらず、数倍さらには数十倍もの残留線量が確認された。

ロスが最少になるよう軌道を調整すると、ビームが大きく蛇行するという特徴から、ダクトのミスアライメントがロスの原因の一つではないかと考えられた。そのため、2012年1月26日のメンテナンス時間に、レーザートラッカー (Leica AT401) を用いてダクトの位置測量

*jtamura@post.j-parc.jp

を行った。位置測定を行ったのは、ロスが大きく、残留線量の高い、A0BT 中流部の ACS11 区間、MEBT2 最上流部の MEBT2QM01-03 区間、および MEBT2 最下流部の MEBT2QM09-11 区間である。ダクト位置については上流から区間に分けて記載する。MEBT2 については 5 区間、A0BT については将来 ACS 空洞が設置される位置に合わせて ACS01~21 の区間分けを用いた。ACS11 区間では、二つのダブレットの中心にターボ分子ポンプが、ターボ分子ポンプより少し上流に NEG ポンプが設置されている (図 2)。ACS11 区間の NEG ポンプチェンバー (ステンレス) は、震災前から同じ場所で使用されていたが、目視で確認できるほどビーム通過用の NW40 配管が曲がって溶接されていることから、この区間のミスアライメントが指摘されていた。MEBT2QM01-03 区間では、二組の四極電磁石 (MEBT2QM01-02 と MEBT2QM03-04) の中心にイオンポンプが設置されている。MEBT2QM09-11 区間では、二組の四極電磁石 (MEBT2QM09-10 と MEBT2QM11-12) の中心にターボ分子ポンプが設置されている。

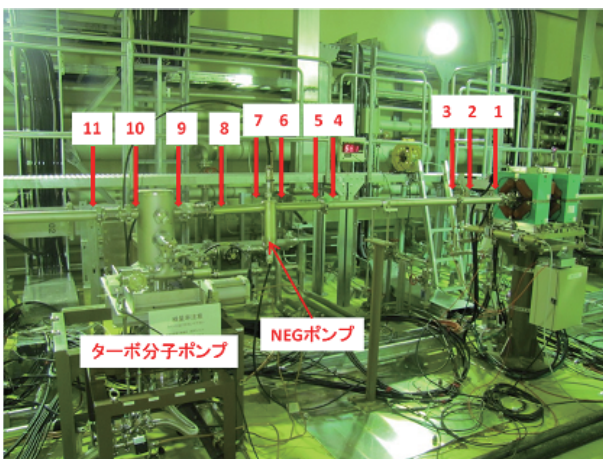


図 2: ACS11 区間のビームダクト

ダクト位置測定は、トラッカーターゲットを図 2 の赤矢印で示されるような単管の端部に押し当てて、ターゲット中心座標を測定する。このターゲット中心座標からダクト半径 (ノギスで測定) とターゲット半径を差し引いてダクト中心位置を算出する。これを横方向と高さ方向について行い、四重極磁石のビーム軸からの横方向変位と高さ方向変位を求めた。測定の結果、MEBT2QM9-12 区間では、 $\pm 2\text{mm}$ をこえるずれはなかったが、MEBT2QM1-4 区間と ACS11 区間では 10mm を超えるビーム軸中心からのずれがあることがわかった。ACS11 区間におけるビームダクトのずれを図 3 に示す。図 3 より ACS11 区間では、ダクトがターボ分子ポンプ接続位置 (図 2, 3 の 9-10 間) で最大 12mm ビーム軸より低く、単管や NEG ポンプチェンバーは最大 5mm 横方向にずれていることがわかる。NEG ポンプチェンバーの NW40 配管両端の高さの違い (図 2, 3 の 5-8 間) は約 4.5mm であり、ターボ分子ポンプ接続用 T 分岐管のずれ 12mm より十分小さい。MEBT2QM01-03 区間では、高さ方向には 5mm 以内であったが、横方向にはイオンポンプ接続位置で最大 13.3mm 通路側にずれていた。

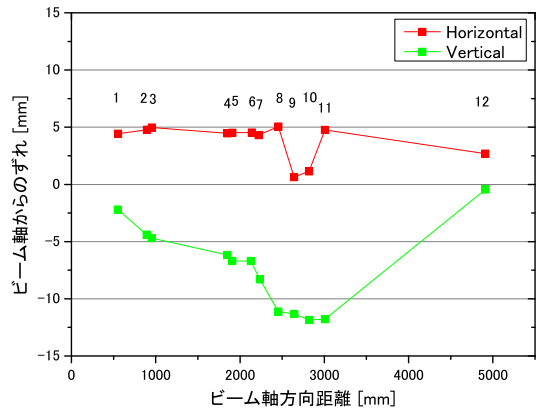


図 3: レーザートラッカーによる測定結果 (ACS11 区間)

3. ビーム運転再開前のダクトアライメント

ビーム運転前のダクトアライメントは、ナイロン製の水系を用いて行った。高さ方向については、隣り合うダブレットの高さ方向中心で糸を張り、約 2m 横から見てダクトの軸が糸と一致するように、ダクト位置を調整した。横方向については、隣り合うダブレットの横方向中心で糸を張り、ダクトの約 2m 上から見てダクトの軸が糸と一致するように、ダクトの位置を調整した。電磁石間 (約 2.5m ~ 5.7m) に糸を張ると、糸自体の重量で、張った糸がたわみ始める。そのため、高さ方向のアライメントでは特に、糸を張ったあとすぐにアライメント作業を行った。この粗いダクトアライメントの後、測定機器を用いたアライメント精度の確認などは行わなかった。

2012 年 1 月 26 日、ACS11 区間で両端のダブレットの高さ方向中心で糸を張ったところ、イオンポンプ接続位置でそのダクト高さ中心がビーム軸より 10mm 以上低い位置にあることが目視で確認できた。図 4 で、赤い点がダクト高さの中心を、糸がビーム軸を表している。ビーム運転再開前に行った糸を用いる方法では、糸で示されるビーム軸が目の位置によって変わってしまうため、特に横方向について精度のよいアライメントは期待できなかった。しかし、高さ方向について、なぜここまで大きなミスアライメントがあるかはわかっていない。



図 4: ACS11 区間のビームダクトのずれと糸による高さの再確認

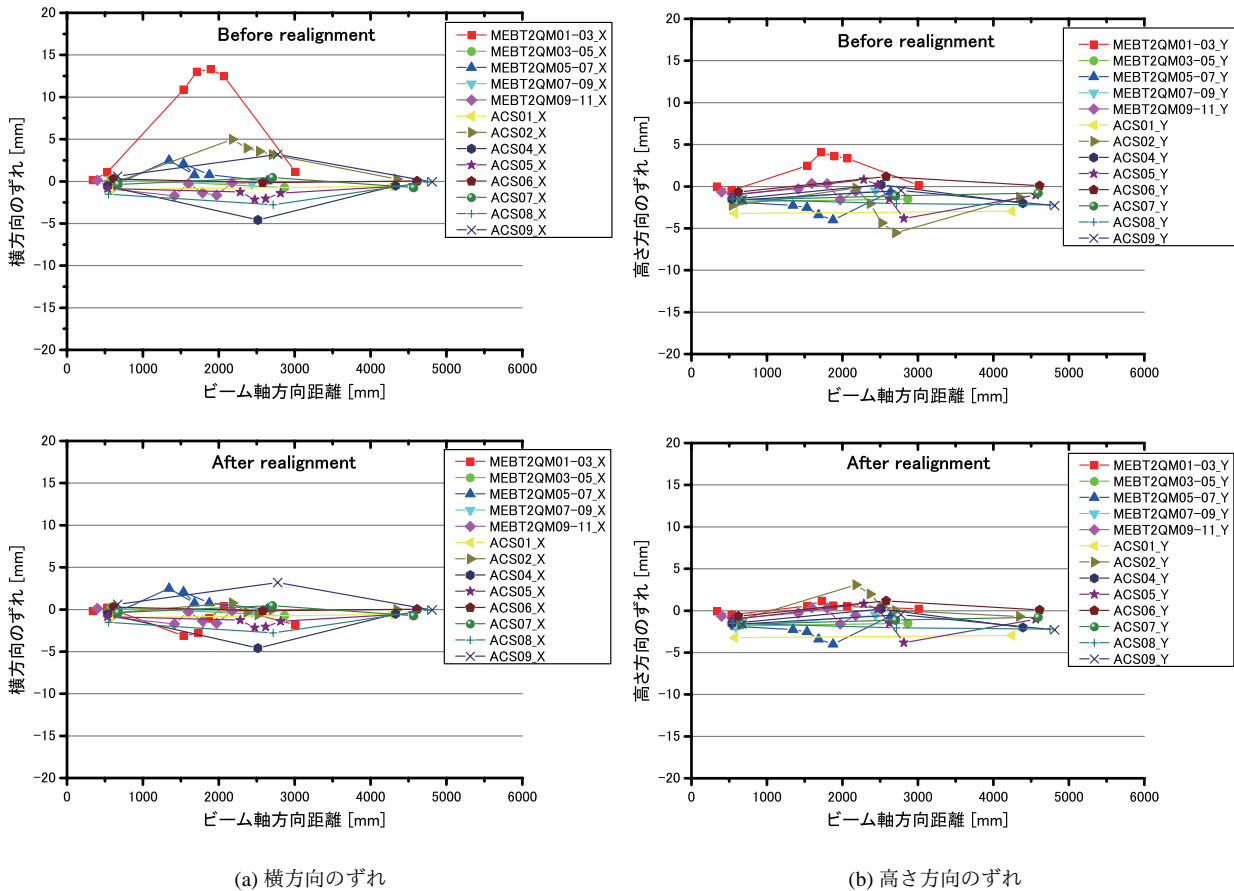


図 5: MEBT2 および A0BT 上流部のダクトのずれ。(上) 再アライメント前。(下) MEBT2QM01-03, ACS02 区間の再アライメント後。

4. ダクトの再アライメント

幅 ± 8mm のビーム^[5]が、10mm 以上中心のずれたダクトを通過するとそこでロスが発生することは容易に想像できた。そこで、Run#40 と Run#41 の間のメンテナンス期間 (2012 年 2 月 22 日～24 日) に、MEBT2 および A0BT 全体のダクト位置測量を行い、ずれの大きい箇所について再アライメントを行った。このとき、アライメントの精度を上げるため、糸ではなく、レーザー墨出し器を用いて行った。MEBT2 および A0BT 上流部のダクト位置測量結果を図 5 に、A0BT 下流部のダクト位置測量結果を図 6 に示す。ただし、ACS3 区間には現在、デバンチャー 1 空洞が設置されているために除外した。

時間的制約からすべての区間の再アライメントを行うことはできないため、ダクト位置測量の結果、ずれの大きい MEBT2QM01-03 区間、ACS02 区間、ACS10 区間、ACS11 区間、ACS14 区間について再アライメントを行った。MEBT2QM01-03 区間、ACS02 区間、ACS10 区間、ACS14 区間については、その中心にイオンポンプが接続され、ACS11 区間にはターボ分子ポンプと NEG ポンプが接続されている。再アライメント箇所については、もう一度トラッカーでダクト位置測量を行い、アライメントの確認を行った。MEBT2QM01-03 区間につい

ては、横方向のずれを最大+13.3mm から-3.1mm まで、高さ方向のずれを最大+4.1mm から+1.2mm まで小さくすることができた。ACS02 区間については、横方向のずれを最大+5.5mm から±1mm 以下に、高さ方向のずれを最大-5.5mm から+3.1mm まで小さくすることができた。ACS10 区間については、横方向のずれを最大-4.2mm から±1mm 程度に、高さ方向のずれを最大-4.9mm から+2mm まで小さくすることができた。ACS14 区間については、横方向のずれを最大+2.4mm から-2mm に、高さ方向のずれを最大-15.8mm から-3.1mm まで小さくすることができた。ACS11 区間については、横方向のずれを最大+5.1mm から+2.1mm に、高さ方向のずれを最大-12mm から-3.8mm まで小さくすることができた。しかし、この ACS11 区間で、真空リークが発生したため、リークを止めた後、レーザー墨出し器を用いて再びダクトアライメントを行った。この後はダクト位置測量は行っていないが、同じ方法でアライメントを行っているため、ずれは ±5mm 程度以下におさまっていると考えている。

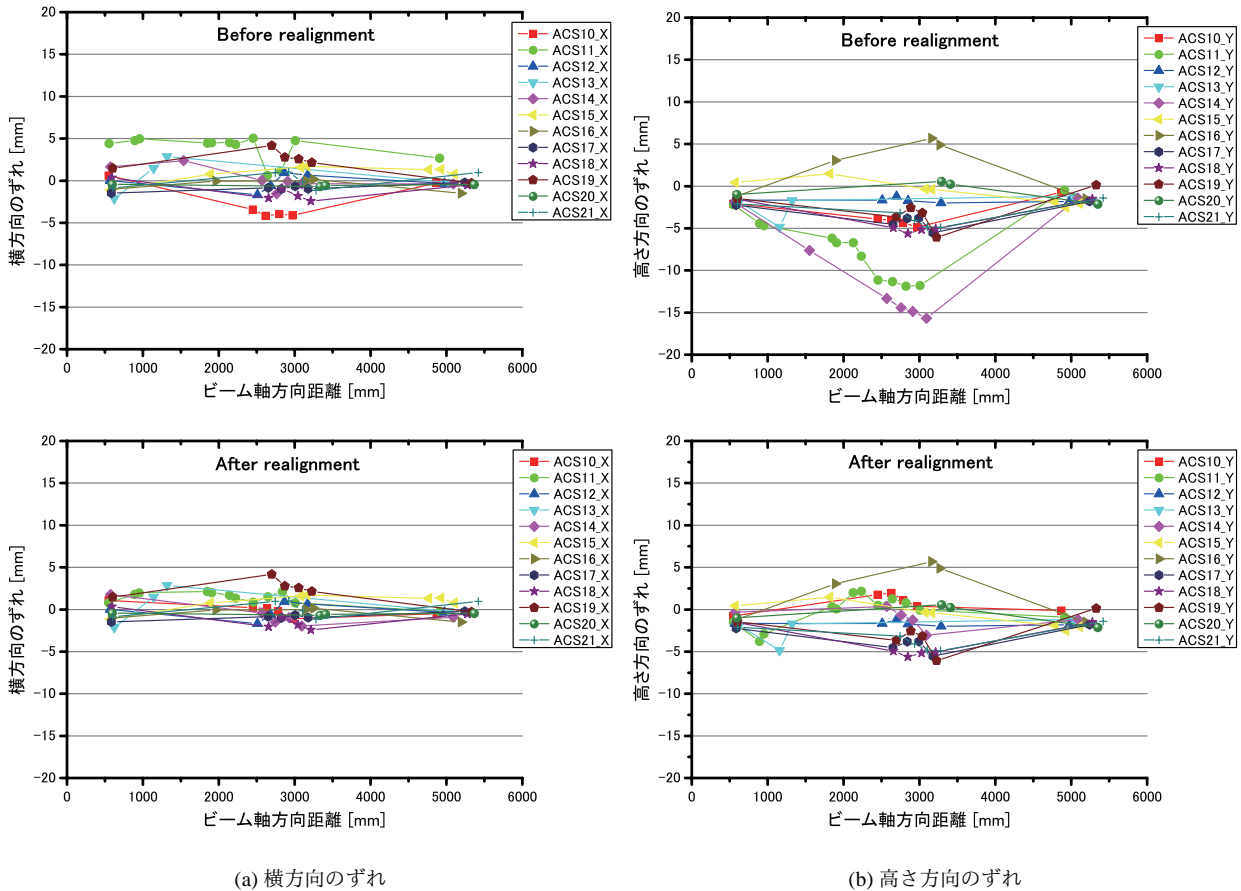


図 6: A0BT 下流部のダクトのずれ。(上) 再アライメント前、(下) ACS10, 11, 14 区間の再アライメント後。

表 1: 残留放射線量の推移 (単位 mSv/h)

	2/22	3/15	3/22	4/11
MEBT2QM01-03	8.0	1.5	1.0	0.7
ACS11	10	2.5	2.5	1.8

5. ロス低減と今後の対策

表 1 に、MEBT2QM01-03 区間と ACS11 区間の残留放射線量の推移を示す。この値は、ビーム運転を停止して数時間後の、真空チェンバー表面の線量値である。2月22日、MEBT2QM01-03 区間では最大 8.0mSv/h、ACS11 区間では 10mSv/h をこえる線量が測定されたが、ダクトの再アライメント後、残留線量値が大きく下がっていることがわかる。A0BT 下流側には 5mm 程度のずれがまだ多く残っている。ビームの幅とダクトの径を考慮すると、MEBT2 および A0BT のダクトアライメントについては、糸やひもでは不十分で、レーザー墨出し器を用いて行う必要がある。今年の夏のビーム停止期間に、MEBT および A0BT の全区間について、レーザー墨出し器を用いたダクト位置調整とトラッカーを用いた位置測量を同時に行いつつ、より精度の高いアライメントを実施する予定である。

参考文献

- [1] T. Morishita, H. Asano, M. Ikegami, “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, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [2] H. Ao, H. Asano, J. Tamura, N. Ouchi, K. Hasegawa, T. Morishita, K. Takata, F. Naito, Y. Yamazaki, “J-PARC LINAC ACS 加速空洞”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [3] M. Ikegami, Z. Fang, K. Futatsukawa, T. Miyao, Y. Liu, T. Maruta, H. Sako, A. Miura, G. Wei, J. Tamura, “Beam Commissioning of J-PARC Linac after Tohoku Earthquake and its Beam Loss Mitigation”, in these proceedings.
- [4] G. Wei, A. Miura, K. Hirano, T. Maruta, M. Ikegami, “Dependence of Beam Loss on Vacuum Pressure Level in J-PARC Linac”, IPAC'11, San Sebastián, September 2011, WEPS048, p. 2598 (2011).
- [5] M. Ikegami, Z. Fang, K. Futatsukawa, T. Miyao, T. Maruta, H. Sako, A. Miura, G. Wei, J. Tamura, “Beam Start-up of J-PARC Linac after the Tohoku Earthquake”, IPAC'12, New Orleans, May 2012, THPPC010, p. 3293 (2012).