

RECOVERY STATUS OF J-PARC LINAC AFTER TOHOKU - PACIFIC OCEAN EARTHQUAKE

ITO Takashi ^{#, A)}, HIRANO Koichiro ^{A)}, NANMO Kesao ^{B)}, KUBOTA Chikashi ^{B)}

^{A)} J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

^{B)} KEK

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

Abstract

The big earthquake hit a broad area in Japan, including Tokai, on March 11, 2011. We report the damages and the recovery status of J-PARC Linac in this paper.

地震後の J-PARC リニアック復旧状況

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り、J-PARC 施設は建屋と加速器機器の双方に甚大な被害を受けた。

地震後に行ったトンネル内の測量では、地震前と比べ床面に最大 4cm ほどの高さのずれ及び 3mrad 程度の傾きが観測された。すなわち、トンネルは折れ曲がるとともにねじれているため、加速空洞の再アライメントが必要である。

空洞本体、RF カプラーや可動チューナーなどの空洞付属機器、及び電磁石には外的な損傷は皆無であったが、空洞内部の目視確認により DTL 内のドリフトチューブのアライメントのずれが見つかった。

空洞間に設置したビームモニターとビームパイプのベローズは多数損傷し、DTL(Drift Tube Linac) 及び SDTL(Separated type DTL) 空洞内はほぼ全大気に晒されることとなった。

真空機器ではロータリー及びルーツポンプが地下水により水没、故障品を交換した。

現在、早期のビーム加速再開を目指し急ピッチで復旧作業が進められている。本稿では、J-PARC リニアックの被害状況、及びその復旧の現状を報告する。

2. J-PARC リニアック被害状況

東北地方太平洋沖地震により、J-PARC 施設は建屋と加速器機器の双方に甚大な被害を受けた。本稿では、加速器機器の被害状況と復旧状況に主眼を置いて報告することとし、建屋及び設備関係の被害状況に関しては 2.1 項において概要を記載するのみとする。

2.1 建屋・設備関係の被害状況 (地上)

建屋関係では、リニアック棟エントランス周辺が大きく陥没、給排水配管が損傷し工水供給が停止した(図1)。このため機器冷却用の純水製造が不可能となり、2011年7月末時点での加速器機器への冷却水供給は停止したままである。同じく埋設され

ていた消火栓の屋外配管も損傷しており、消火設備も復旧していない。また、床下の穿孔調査により周辺部の部屋の床下には数十センチ程度の空間が発生していることも判明した。

建屋内では、地上部の間仕切り壁や建屋柱の寝巻コンクリートの損傷が激しく、床面にも傾斜が生じ



図1：リニアック棟エントランス前

た状態である。クレーンレールにも許容範囲を超えるずれが生じ、使用不可能な状態となった。

電気設備関係では、リニアック変電所が 10° 程傾き危険であるなど、長期にわたリニアック棟への給電が不可能であると言われていたが、その後の調査及び通電開始への努力により4月上旬には通電が復旧している。建屋内ではケーブルが引っ張られた状態の分電盤などがあり個別に対処している。

冷却水設備では、機械室内の床面に歪みが生じ、これに伴い冷却水配管や分電盤に歪みが生じた。

空調設備で空調ダクトが外れる、サポートに歪みが出るなどの被害を受けた。

これらの建屋・設備関係の被害は現在復旧工事が行われている最中である。

2.2 加速器トンネル被害状況 (地下)

地下階の加速器トンネルでは、床や壁、天井にひびが見られる程度で目視上は大きな被害は見られな

[#] itou.takashi@jaea.go.jp

かった。ただし、これらのひびから地下水漏洩が発生したため、後述する機器水没の被害につながった。2011年6月からは地下水に対する止水工事が進められている。

また、レベル測量などの結果、床面では最大で4cm程度の差（上流と下流を結んだ直線に対し、途中が沈んでいる）が発生し、併せて加速軸に対する回転方向の傾きが3mrad程生じていることが判明した。これらの床面のずれは加速器アライメントの許容値をはるかに超えているため、後述する加速器の再アライメントが必要となった。

2.3 加速器機器の被害状況

以下に各加速器機器に関する被害状況を記載する。

◆加速空洞本体

加速空洞本体には地震によって生じた外傷は皆無であった。しかしながら空洞内部のDTアライメント、DTL空洞アライメント（ユニットタンクの結合）、及びDTL空洞からSDTL空洞全般（約120m）にわたる空洞アライメントに影響があったことが判明した。

DTL空洞内部の写真撮影を行った結果、図2に示すようにDTボアの中心位置には明らかなアライメントのずれが認められた。DTLのDT写真では明らかに影の部分が片寄りになっており、ボア中心がずれている。一方SDTLではボア中心は同心円状に並んでいる様子が分かる。

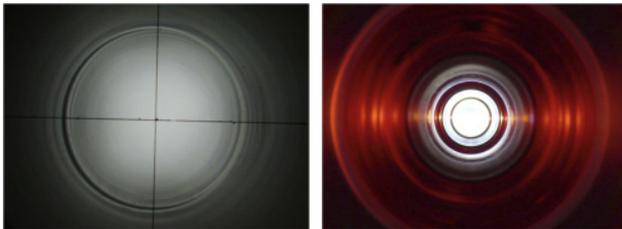


図2：ボア中心の写真。左：DTL、右：SDTL

DTL空洞は3台のユニットタンク（DTL1ではDTL1ではユニットタンクD1-1のDTボア位置の測定を行った。DTボア内にターゲットを置き、その位置をアライメントテレスコープで測定した。測定結果を図3に示す。上がX（水平）方向、下がY（垂直）方向のグラフである。

横軸がDT番号、縦軸はDTL1の最上流と最下流で軸を作りそこからのボア中心のずれを示したものである。Y方向で大きく（約0.3mm）傾いているものは地震後の測定であり、地震により空洞本体のアライメントが床面に沿ってずれたことを示している。DTL空洞本体のアライメントを行った後の測定ではその傾きが修正されている（グラフは日を変えて複数測定）。地震の影響により、X方向には最大で0.2mm弱のばらつき、すなわちDTのずれが見られた。Y方向はX方向ほど大きなばらつきは無い。このDTのずれを修正するためには、ユニットタンクを分割しDTを再アライメントする必要があり、早期のビーム再開は不可能となる。このため現段階で

は修正を行わないこととなった。ずれを考慮したビームシミュレーションに関しては参考文献^[1]に詳述されているので、そちらをご覧ください。

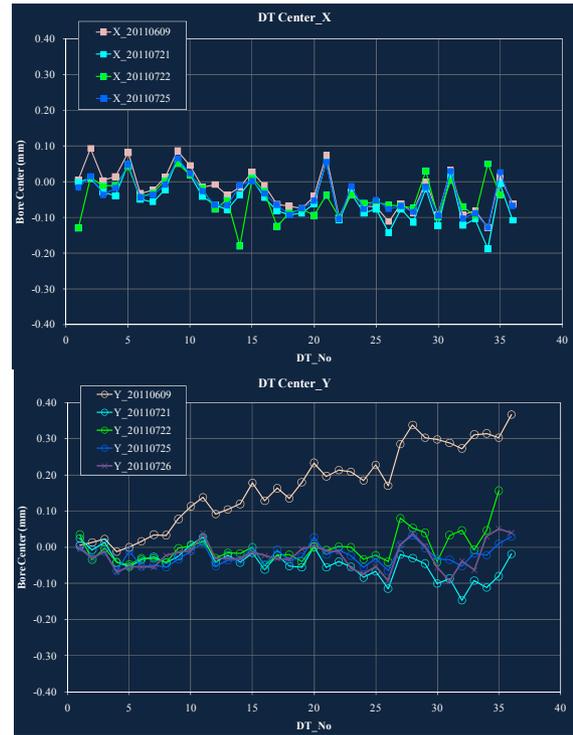


図3：DTL1-1のDTボア位置測定結果

DTL空洞では、DTのずれだけでなくユニットタンクの結合にも歪みが生じた。DTLは3台のユニットタンクが結合する構造であるが、各ユニットタンクの結合部で折れ曲がり、DTL1では加速空洞のビーム軸がY方向に最大0.3mm程度、DTL2、DTL3でもDTL1程ではないものの折れ曲がりがあることが判明した。DTL1のY方向の0.3mmの折れ曲がりがあるのは前述のDTボア位置のY方向の傾きである。このままではビーム加速に問題が生じるため、DTL空洞の再アライメントが必要である。

次に、空洞間のアライメント、すなわち加速器トンネルへの空洞のアライメントに関しては、2.2項で述べたようにトンネル自体が折れ曲がるように変形したため、それに沿って空洞全体のアライメントも折れ曲がった^[2]。ビーム加速のためには再アライメントが必要であり、2011年7月中旬にはDTL1～DTL3までのアライメントが終了、7月末時点ではSDTLのアライメントを行っている。これについては次項に述べる。

◆真空ポンプ

2.2項で述べたように、加速器トンネル内に生じたひびから地下水の漏えいが発生し、加速器トンネル内は最大で10cm程度浸水した。このためトンネル床面に設置している粗引きポンプ（ロータリーポンプ、スクロールポンプ、ルーツポンプ）が水没した。これらのポンプは全台通電試験を行い、故障が判明したものは修理を行っている。

◆モニター

空洞間に設置されたモニター類の被害は大きく、(Beam Position Monitor) BPM 及び (Current Transformer) CT の大多数が破損した。図4に破損した BPM 及び CT の写真を示す。BPM に溶接されたベローズが破損、また CT は本体と単管の接続部分が破損して完全に分離している。またモニターは付いていないが、ビームパイプのベローズ部も同様に破損している。これらの破損箇所から大気が空洞内に入ったため、SDTL 空洞 30 台中 29 台の空洞が大気に晒されることとなった。

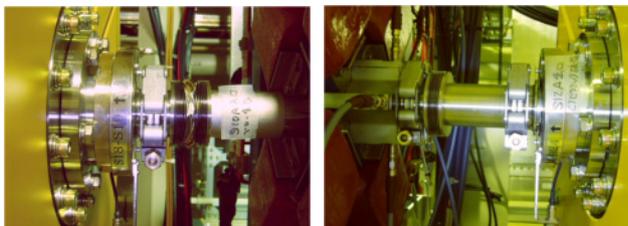


図4：破損した BPM (左) 及び CT (右)

破損したモニターは全数取り外し、現在新規モニターを製作中であり、空洞アライメントが終了次第ビームライン上に装着予定である。

また、大気に晒された空洞は、リークチェックと窒素パージを行った後真空引きを開始、全空洞で 10^{-5} Pa 台まで回復したことを確認した。

3. 機器復旧作業

2.3 項で少しふれたように、故障、破損した機器は既に現在製作中あるいは購入を行った。これらの機器は、空洞アライメントが終了次第空洞に装着を行う予定である。ここでは、DTL 空洞の再アライメント及び、加速器トンネル内への加速空洞のアライメントについて述べる。

3.1 DTL 空洞再アライメント

2.3 項の加速器本体の被害で述べたように、DTL 空洞はトンネル床面のずれに沿うように大きく曲がった。特に DTL1 では最大 0.3mm の高さのずれ、すなわちユニットタンク結合部の曲がりが発生した。本来、ユニットタンクでの折れ曲りを修正するためには DTL 空洞をユニットタンクごとに分割し、ユニットタンクごとにアライメントを行ってから再結合する必要がある。ただしこの方法では時間がかかるため、本復旧作業ではある程度の結合部のずれは許容することとし、3 ユニットタンクを結合したまま空洞の再アライメント、すなわち折れ曲りの修正を行った。再アライメント前後での測定結果を図5に示す。

DTL1 の X 方向を除き、地震後に大きくずれていた加速空洞が、空洞インストール時と同等の位置に修正された事が分かる。DTL1 の X 方向だけはうまく修正できなかったが、この程度のずれであればビーム加速上はあまり影響しないためこれ以上の修正は行っていない。

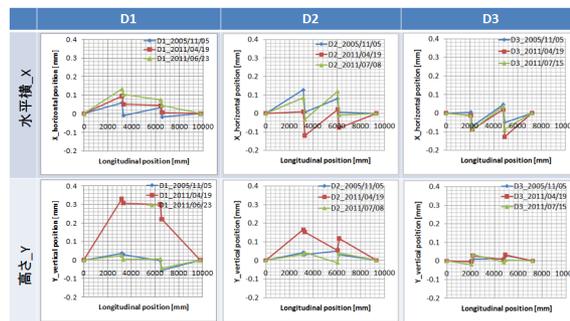


図5：DTL 空洞単体でのアライメント結果

3.2 加速空洞のトンネル内への再アライメント

2011年7月末までに DTL1 から S01B までのアライメントを行った。加速器トンネル自体が折れ曲がったため、新たにビーム加速軸を設定しその軸に対して加速空洞を再アライメントしている。図6に DTL1 から S01B までのアライメント結果を示す。

加速空洞軸とビーム加速軸はほぼ ± 0.1 mm 以内に収めるように再アライメントしている。SDTL のアライメントが若干ばらついてるのは最終精密アライメント前のためである。最終精密アライメントは、真空ポンプや RF 同軸管の接続を行った後に行う。

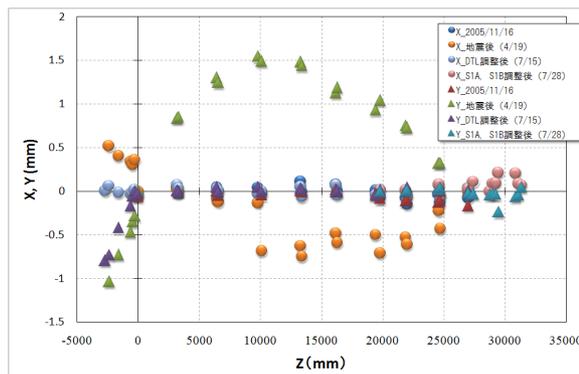


図6：DTL1～S01B 空洞までのアライメント結果

4. まとめ

J-PARC リニアック棟とリニアック機器の被害状況及び復旧状況の報告を行った。加速空洞のアライメントが始まり、DTL は終了、2011年7月末時点では SDTL の再アライメントが行われている最中である。現在 2011年12月のビーム加速再開を目指し、建屋、加速器機器ともに急ピッチで復旧作業が進められている。

参考文献

[1] M. Ikagami, J-PARC リニアックにおける DTQ の大きなアライメントエラーの影響, 第八回加速器学会年会プロシーディングス集 (TUPS095)
 [2] T. Morishita, et al., 地震による J-PARC リニアックアライメントへの影響, 第八回加速器学会年会プロシーディングス集 (MOPS165)