

BEAM LOSS OCCURRED AT DTL CAVITY IN J-PARC LINAC

Akihiko Miura^{#, A)}, Tomoaki Miyao^{B)}, Takashi Ito^{A)}, Koichiro Hirano^{A)}, Kesao Nammo^{B)},
Tomofumi Maruta^{A)}, Jun Tamura^{A)}, Masanori Ikegami^{B)}, Fujio Naito^{B)}

^{A)} J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency
2-4, Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

^{B)} J-PARC Center, High Energy Accelerator Research Organization
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The beam operation of J-PARC linac was suspended until December 2011 due to the damage by the Tohoku earthquake in March 2011. After resuming the operation, we measured the residual radiation along the beam line during a short interval. Because the higher residual radiation was detected at the surface of drift tube linac (DTL) cavity by radiation survey, we installed scintillation beam loss monitors (BLM's) at some points with particularly high radiation to investigate the cause of the radiation. Although the DTL section is low energy part of the linac, fine structure of the beam loss was observed by the scintillation BLM. We also measured the beam loss occurred at the DTL varying the beam orbit. In this paper, the result of the radiation measurement and beam loss signals obtained by the scintillation BLM's are presented.

J-PARC リニアック DTL 部で発生したビームロスの計測

1. はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震により、J-PARC では大きな被害が発生した^[1]。リニアックでは、同4月から復旧作業を開始し、12月にビーム調整運転を再開、各施設への供給運転を開始した。震災前の運転に比べ、アライメントが異なる^[2]ことなどから、ビームロスの発生状況の変化が見られると同時に、部分的に非常に大きなビームロスが発生した。また、加速器メンテナンスのための運転停止中、ドリフトチューブリニアック(DTL)空洞の表面に、残留放射線が認められる箇所が見つかった。この部分の線量は、運転時間の経過、ビーム出力の増加に伴い高くなっていったため、通常のロスモニタに加え、シンチレーションビームロスモニタを追加し、この部分でのビームロス挙動の観測を行った。この結果、この部分でも、シンチレーションビームロスモニタでビームロスイベントを捕捉でき、ビーム軌道をパラメータとした測定の結果、ビームロスイベントが軌道に伴って変化する様子が観測された。ここでは、このビームロスイベントの補足結果、ビーム軌道に依存したビームロスの発生状況について報告する。

2. DTL セクションにおける残留放射線量

2.1 ドリフトチューブリニアック(DTL)

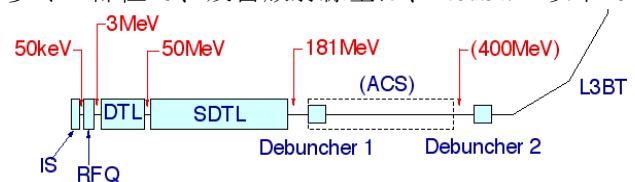
J-PARC リニアックの構成を図1に示す。イオン源(IS)で生成された負水素イオンは、50keVまで加速されたのち、高周波4重極リニアック(RFQ)に入射され、3MeVまで加速される。RFQで加速されたビームは、中エネルギービーム輸送系(MEBT1)内で調整されたのち、DTL、分離型DTL(SDTL)へ順次

入射される。

J-PARC リニアックの DTL は、約 3m のユニットタンク 3 台を繋ぎ合せて 1 空洞を構成し、この空洞が 3 台設置されている(図 2)。第 1 空洞の中には、ドリフトチューブ(DT)が 75 個設置されており、DT の内部には、4 極電磁石が内蔵されている。各々の DT は磁場中心に対し、 $\pm 50 \mu\text{m}$ の精度で取り付けられている^[3]。

2.2 DTL セクションにおける残留放射線測定

東北地方太平洋沖地震後の最初の運転停止後、メンテナンス日に GM 管放射線測定器を用いて、DTL 空洞表面の残留放射線の測定を行った。DTL1~3 の多くの部位で、残留放射線量は、 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下で



(IS: イオン源、RFQ: 高周波 4 重極リニアック、DTL: ドリフトチューブリニアック、SDTL: 分離型 DTL)

図 1: J-PARC リニアックの構成。DTL セクションは、RFQ 下流に位置し、3~50MeV まで加速する。

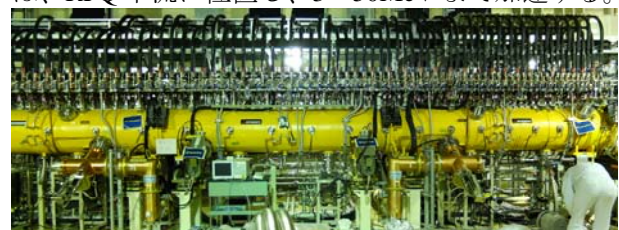


図 2: J-PARC リニアックの DTL 加速空洞外観。3 つのユニットタンクで構成する DTL1 上流部。

あったが、DTL1 の DT25(25 番目の DT)及び DT55(55 番目の DT)近傍で周囲より大きな残留放射線が認められた。DT55 近傍の測定結果を表 1 に示す。なお、測定位置は図 3 の通りである。

表 1 : DTL1 空洞表面の残留線量測定結果

通路側(+x 方向)		ユーティリティ側(-x 方向)	
位置	線量[uSv/h]	位置	線量[uSv/h]
①	4.2	①	5.30
②	4.58	②	8.87
③	8.7	③	9.04
④	6.59	④	6.98
⑤	6.7	⑤	8.78
⑥	5.50	⑥	5.17
⑦	2.49	⑦	2.51

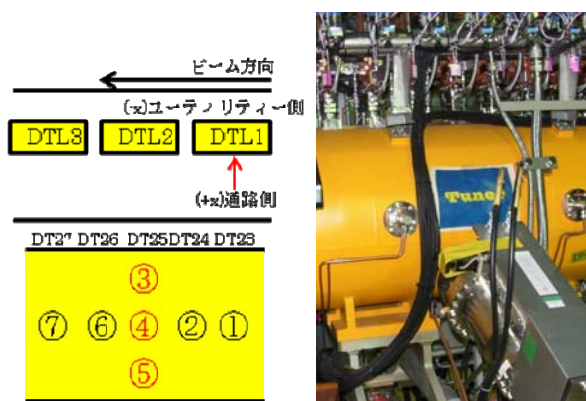


図3 : DTL1空洞表面の残留線量測定位置。

これらの点に注目し、運転停止の度に DTL 空洞表面の残留放射線の測定を実施した。この部分の残留線量は、運転時間の経過、ビーム出力の増加に伴い高くなっていくことが認められる(図 4)。リニアックの運転時には、比例係数管型のビームロスモ

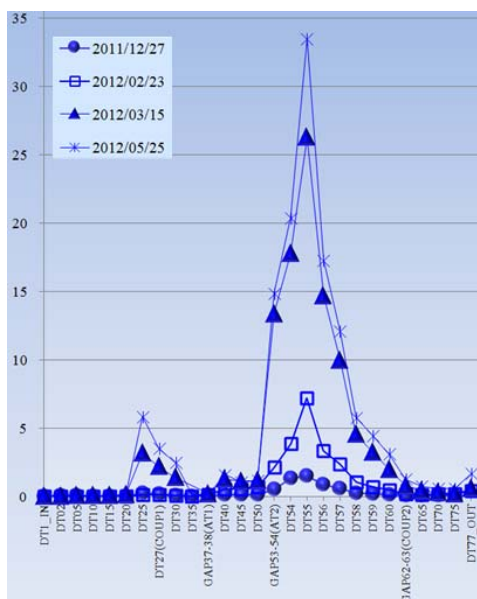


図 4 : DTL1 における残留放射線量。運転時間の経過、ビーム出力の増加に伴い高くなっていくことが認められる。

ニタによりリニアック各部のビームロスの検出を行っているが、DTL セクションのロスモニタは空洞を支える架台に取り付けられていることや、ロスモニタへ到達する粒子線、放射線のエネルギーが低いため、顕著な変化として観測されない。このため、シンチレーションを用いたロスモニタ(以下、シンチレーション型 BLM)を用いて、特に残留放射線の高い部位についての運転時のビームロス挙動を確認することにした。

3. シンチレーションを用いたビームロス測定

3.1 プラスチックシンチレーション型 BLM

プラスチックシンチレータを用いた BLM として、サンゴバン社製 BC-408 及び浜松ホトニクス社製光電子増倍管 H3164-10 を使用するシステムを考案した(図 5)。このプラスチックシンチレータは、X 線領域での感度は比較的 low、ガンマ線領域における感度が高い。ここでは、 $10 \times 10 \times 200\text{mm}$ のシンチレータに $\Phi 10\text{mm}$ の受光面をもつ光電子増倍管を採用した。シンチレータと光電子増倍管の接合面は気泡の入りにくいグリスにて接合し、光電子増倍管及び接合部を覆うように金属ケースに封入した。シンチレータ及びケースに封入した光電子増倍管は余分な光を遮断するため、遮光テープにて固定した^[4]。



図 5 : シンチレーション型 BLM の構造。

3.2 ビームロス測定

シンチレーション型 BLM は、DTL の DT25 及び DT55 の近傍の通路側(+x 方向)及びユーティリティ側(-x 方向)の双方に計 4 カ所設置した(図 6)。この部分のビームエネルギーは 10~20MeV 程度であり、この部位で発生する放射線を測定し、DT25 及び DT55 の部位で、+x 及び-x の双方で発生するロスの状況を比較する。ここで、測定位置より上流側(MEBT1)にあるステアリング磁石の電流を変え、ビームロスの発生とビーム軌道の関係を調べた。なお、光電子

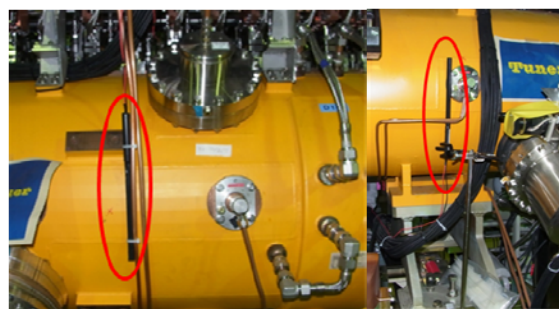


図6 : DTL1空洞表面に設置したシンチレーション型 BLM。DT25 近傍(左)及びDT55(右)に設置した BLM。

増倍管に印加する高電圧は、得られた信号利得が飽和しないように調整し、-800V とした。信号はシンチレータに飛来する放射線のイベントを逐次観察するために、高速でサンプリングを行うオシロスコープを用いて、波形の取得を行った。

3.3 測定結果

図 7 及び図 8 に DT25 で測定したビームロスを示す。DTL から SDTL 以降のビームロスを低減するように軌道調整を行った状態でのビームロス(図 7)と MEBT1 のステアリングを動かした場合のビームロスを示して(図 8)おり、軌道を振った場合の方がビームロスイベントが少ないことが分かる。また、図 9 及び図 10 に DT55 で測定されたビームロスを示す。DT55 では、軌道調整後のビームロスに比べ、MEBT1 のステアリングを動かした場合のビームロスイベントが少なくなる現象は見られなかった(図 9)。しかし、軌道を大きく動かした場合、図 10 のように非常に多くのビームロスイベントが発生することが観測された。

4. まとめ

DTL1 におけるビームロスはこの部分を通過するビーム軌道に依存することが分かった。DT25 では、リニアック全体のビームロスを低減する軌道調整を行った状態より、軌道をずらした方がビームロスが低減することから、この部分の DT の中心軸がずれている可能性が考えられる。しかし、これより下流の DT55 ではこの現象が顕著ではなかった。このことから、DTL に関してより詳細な調査を行っていく必要が考えられる。

また、ビームモニタの性能として、シンチレーション型 BLM にて、10~20MeV 程度の比較的低いエネルギーの部位でも良好なビームロスの観測ができた。このことから、シンチレーション型 BLM は、チューニングのツールとしても有望であることが確認できた。今後は、ビームロスイベントの量を数値化することで、より精度の高く、加速器のチューニングに適したツールに開発していく予定である。

参考文献

- [1] K. Hasegawa et al., "Status of J-PARC Accelerator Facilities after the Great East Japan Earthquake", Proc. of IPAC2011, September 2011, WEPS095, San Sebastian, Spain
- [2] T. Morishita et al., "Floor Deformation of J-PARC Linac after the Tohoku Earthquake in Japan", Proc. of IPAC2011, September 2011, WEPS049, San Sebastian, Spain
- [3] 伊藤崇, "大強度陽子加速器用リニアックの開発状況", 第 27 回リニアック技術研究会予稿集、8C-01、2002 年 8 月、京都テルサ

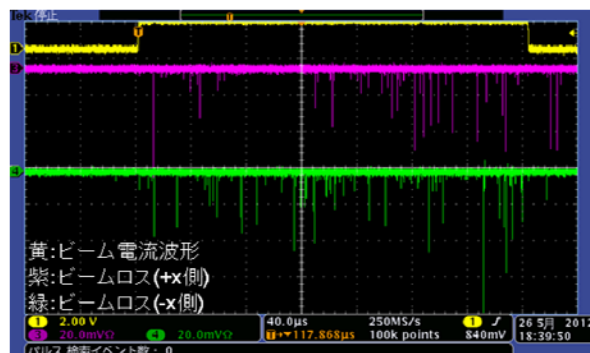


図7：DT25におけるビームロス発生状況(1)。

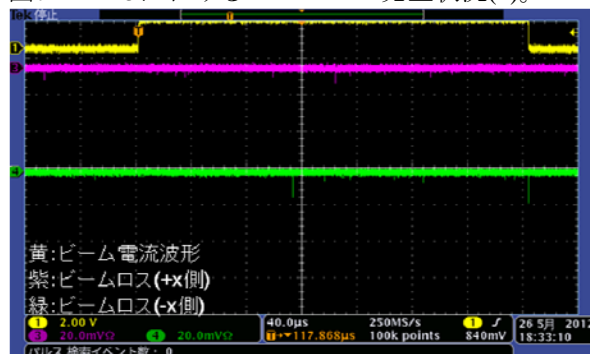


図8：DT25におけるビームロス発生状況(2)。図7とは、ビーム軌道が異なる。

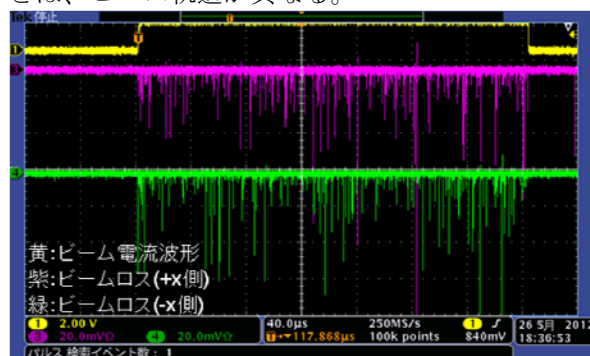


図9：DT55におけるビームロス発生状況(1)。

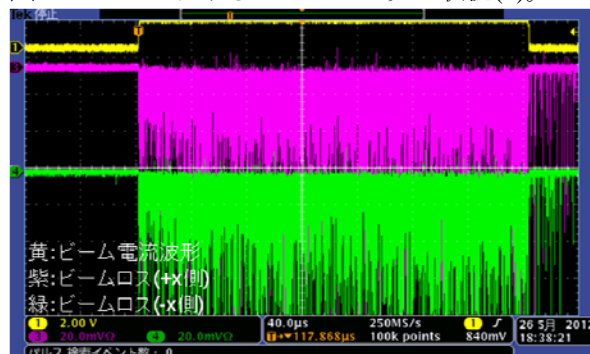


図10：DT55におけるビームロス発生状況(2)。図9とは、ビーム軌道が異なる。

- [4] A. Miura et al., "Beam Loss Detected by Scintillation Monitor", Proc. of DIPAC2011, May 2011, MOPD43, Hamburg, Germany