

BEAM LOSS DETECTED BY SCINTILLATION MONITOR

Akihiko Miura ^{#, A)}, Tomofumi Maruta ^{A)}, Hiroyuki Sako ^{A)}, Kazuo Hasegawa ^{A)}, Nobuo Ouch ^{A)},
Zenei Igarashi ^{B)}, Tomoaki Miyao ^{B)}, Masanori Ikegami ^{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

Ar-CO₂ gas proportional beam loss monitors (BLMs) have measured the beam loss through operations, but they are also sensitive to background noise of X-ray emitted from RF cavities. For the future energy upgrade of J-PARC linac, because 21 RF cavities are additionally installed in the beam line, the background noise would be serious problem. We employed the scintillation monitors to measure the beam loss which would bring more accurate beam loss measurements with suppression of X-ray noise. As the measurement results, a good signal to noise ratio is observed for the scintillation monitor with quite low sensitivity to the background X-ray. This paper describes the beam loss measurement system using a scintillation monitor.

シンチレーションを用いたビームロス測定

1. はじめに

J-PARC リニアックのビームコミッショニングでは、ビーム輸送中に発生するビームロスを低減し、下流の 3GeV シンクロトロン(RCS)へ入射するのに適したチューニングを行っている。ビームロスモニタ(BLM)は、チューニングに使用する重要なビーム診断機器の一つであり、同時に各機器に異常が生じた際に発生する大きなビームロス信号を感知し、緊急に装置を停止する重要な装置である。J-PARC リニアックでは、Ar-CO₂ ガス比例計数管を検出部とする BLM を採用し、運転に使用してきた^[1]。181MeV まで加速されたビームからのビームロスは、主にビームを構成する負水素イオン(H⁻)が配管内に残留したガスと衝突し、電子が 1 つ外れた中性粒子(H⁰)を生成することによって発生することが分かってきた^[2]。BLM は放射線測定装置であり、生成した

中性粒子が加速器構造物と衝突して出す放射線を測定している。しかし、現在使用している BLM の検出部は、X 線に感度を有することから、空洞が設置してある近傍では、空洞の RF からの X 線を感じて信号を出し、小さなビームロスの信号は見えにくい状態になっている(図 1)。できるだけ空洞の RF からの X 線と弁別した状態で小さなビームロスも検知できるシステムが必要となった。ここでは、シミュレーションにより、ビームロスにより発生する放射線を推定し、この結果に基づいて検出部装置を選定し、実際の運転中に発生する放射線を測定した。

2. ビームロスシミュレーション

2.1 シミュレーションコード

ビームロスで発生する放射線を推定するため、GEANT4 を用いたビームロスシミュレーションを実施した。ビーム配管内に残留するガスは、窒素(N₂)と仮定した。またその圧力は、加速器運転中のゲージ圧を参考に 1.0e-5 [pa]とした。GEANT4 には中性水素(H⁰)と窒素ガスとの反応が組込まれていないため、これを解析するためのライブラリを新規に作成した^[3]。なお、この反応の断面積については、既存の断面積データを参照した^[4-5]。

境界条件として、リニアックの SDTL の最上流部から 250m 下流の第 1 ベンドマグネットまでのビームダクト及びすべての空洞、四重極マグネット(QM)をモデル化した。ビームは約 50MeV で SDTL 空洞に入射し、15 対の空洞により 181MeV まで加速される。解析モデルでは、RF 加速空洞にて生成する電場及び QM などの磁石によって生成する磁場もモデル化した。

最上流部の SDTL 空洞に入る負水素イオンビームの各運動量成分などの初期条件は、リニアックの設

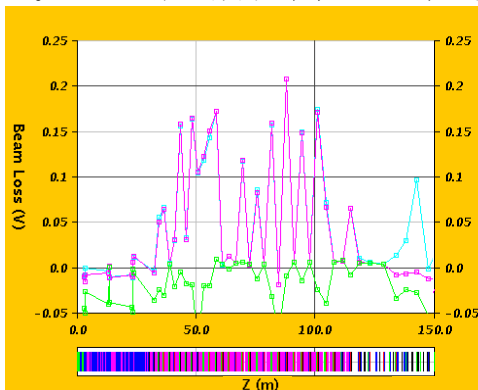


図 1 : SDTL セクションにおけるビームロス信号。ビーム運転中の信号(水色)、RF 運転中でビーム運転を停止している場合の信号(マゼンタ)及び加速器停止中の信号(緑)を示す。RF が運転中であれば、ビームの有無にかかわらず信号が現れる。

計パラメータとして使用されている IMPACT によって得られた Twiss parameter を参照した。

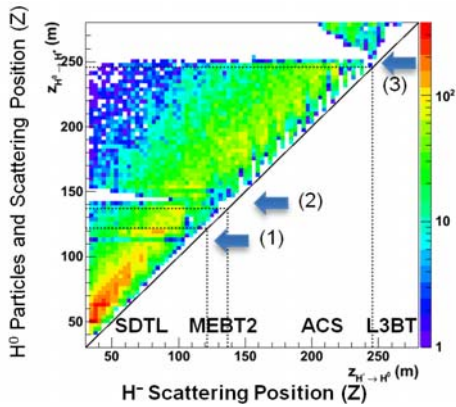


図 2：中性粒子が加速器構造物で散乱する位置とその頻度。(1)、(2)、(3)はビームダクトの口径が広がったため、発生頻度が低い場所。

2.2 ビームロスによって生じる放射線

GEANT4 のシミュレーションにおいて、 1.0×10^{12} 個の負水素イオン粒子の解析を行った。図 2 の斜めの線の上で負水素イオンと残留ガスとの相互作用が発生し、これより 20~50m 下流の位置で加速器構造物にて散乱する様子がわかる。中性粒子と加速器構造物との相互作用により発生する放射線の種類とその頻度を図 3 に示す。この結果によると、ビームロスが発生する場合に生じる放射線は、ガンマ線、中性子、陽子の発生頻度が相対的に多いことがわかる。

2.3 ビームロス測定に使用する検出器

上記の結果より、ガンマ線、中性子、陽子を測定することが有効であることがわかった。そこで、ガンマ線に感度の高いプラスチックシンチレータ及び中性子を観測する He-3 比例計数管を使用を検討し、まずプラスチックシンチレータと従来の BLM の比較を試みることにした。

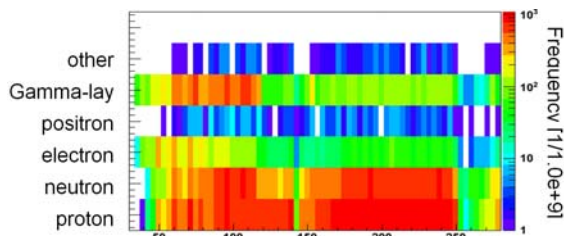


図 3：中性粒子と加速器構造物との相互作用により発生する放射線の種類とその頻度。

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 4)。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低く、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。

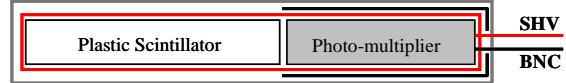


図 4：シンチレーション型 BLM の構造

3.2 ビームロス測定

シンチレーション型 BLM は、比較的低エネルギーの低い SDTL04 及び SDTL 05(90~100MeV)、エネルギーの高い

SDTL13 等に設置した。なお、光電子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、-600 ~ -700V とした。信号は波高に応じて、直接観測するほか、プリアンプ (Giga G5106) を使用して 1~10 倍に拡大した。さらに、シンチレータに飛来する粒子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 (2.5-GHz Tektronix oscilloscope DPO71254-R3) を用いて、波形の取得を行った。

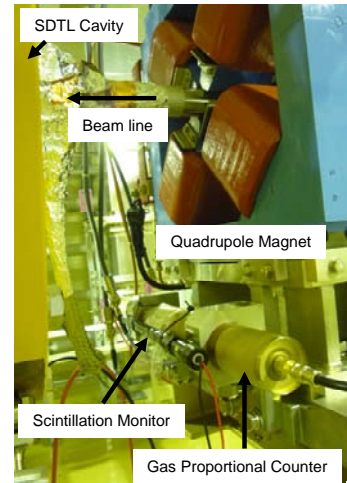


図 5：BLM の設置状況。QM 下流側に比例計数管型 BLM 及びシンチレーション型 BLM を並べて設置した。

3.3 測定結果

図 6 に SDTL13 における運転停止中の各モニターからの信号を示す。運転停止中ゆえ、ビーム電流は観測されないが、空洞の RF(パルス幅 600us)が運転中ゆえ、これから発生する X 線を従来型 BLM は検知している。

一方、図 7 は SDTL13 における運転中の各モニターからの信号を示しており、ビーム電流の検出されている部位(パルス幅 200us)でのみビームロスが観測されている。従来の BLM では小さなビームロスが発生してもその信号は明確に捉えることが難しいが、

シンチレーション型 BLM では検出したガンマ線の波高が大きいので、高エネルギー部では有効であることが確認された。

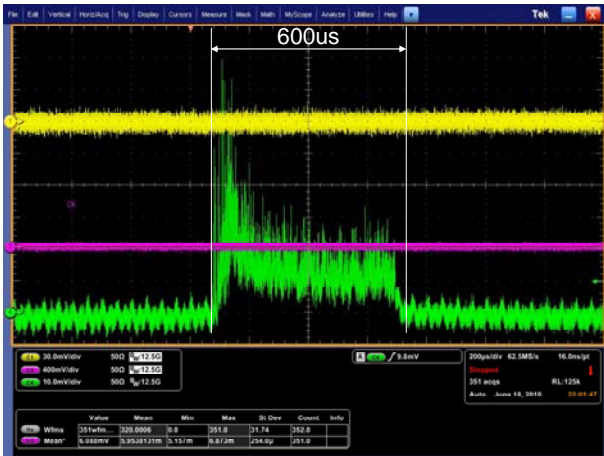


図6：運転停止中のSDTL13におけるBLM及び電流モニタからの信号。

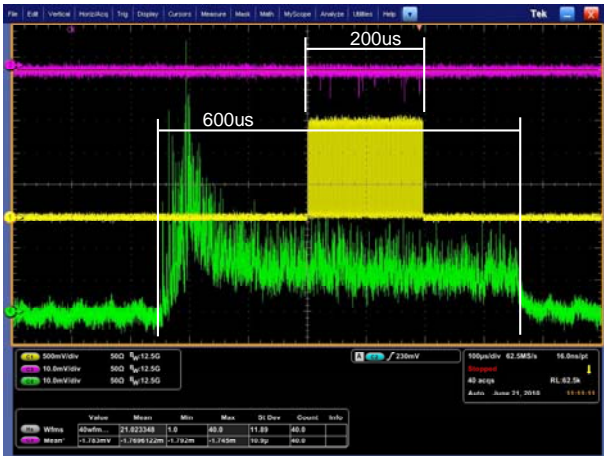


図7：運転中のSDTL13におけるBLM及び電流モニタからの信号。

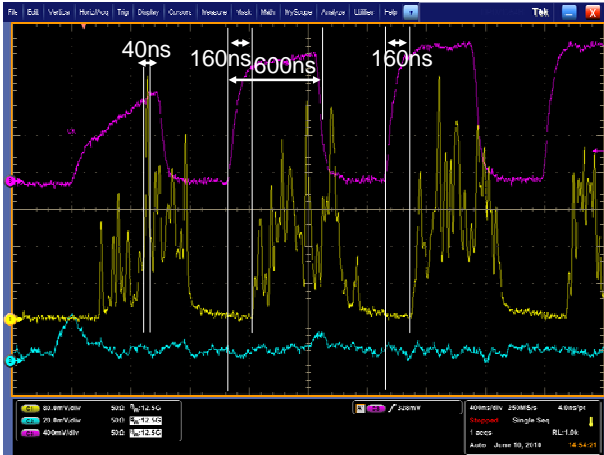


図8：運転中のSDTL13におけるBLM及び電流モニタからの信号。図7の測定条件に同じ。160nsの遅れは、プリアンプなどの回路によるもの。

いずれも、緑は従来のBLMからの信号、マゼンタはシンチレーション型BLMからの信号、黄は電流モニタの信号を表している。

また、図7のパルスの先頭部分を拡大して図8に示す。ここでは、信号利得を見やすくするためにプリアンプを使用した。このため、シンチレーション型 BLM の波形は反転増幅されている。拡大した図では、イベント毎に数十 ns の波形が見られ、シンチレータによりこのような高速な現象をとらえることができた。

SDTL04 及び SDTL05 でのシンチレーション型 BLM の測定結果を図9に示す。発生した各イベントでの波高が、SDTL13での測定に比べて低いため、空洞からの X 線による信号との差が小さいが、ビーム幅と同様のロスの信号を検出することができた。

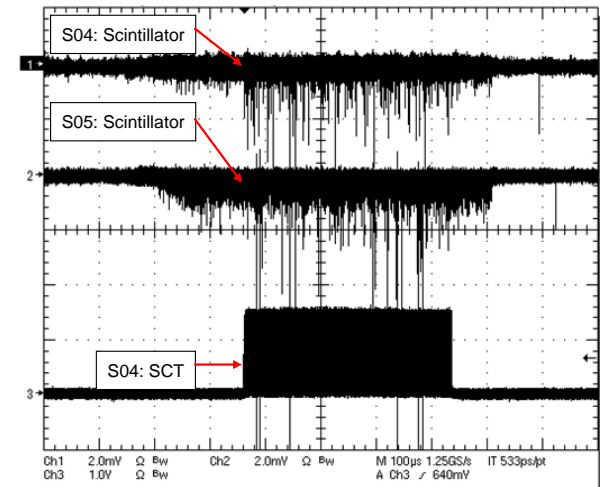


図9：運転中のSDTL04、SDTL05におけるBLM及び電流モニタからの信号。

4. まとめ

Ar-CO₂ ガス比例計数管 BLM は、空洞の RF からの X 線にも感度があり、小さなビームロスを検知することは難しい。しかし、シンチレーション型 BLM では比較的空洞からの X 線との弁別ができ、有効であることが示された。また、シミュレーションで示された他の放射線についての検出器を併用することで、より精度を向上することができる可能性がある。今後このような試験を逐次実施し、精度の高い BLM を開発する。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki ed., J-PARC Design Report, JAERI-Tech 2003-044, KEK Report 2002-13
- [2] A. Miura et al., "Residual Gas Pressure Dependence on Beam Loss", Proc. of LINAC10, September 2010, TUP075, Tsukuba, Japan
- [3] T. Maruta et al., "Study on the beam loss at J-PARC Linac by using Geant4 Simulation", Proc. of JPS 2011 Spring Meeting, 26pGAP-9, 2011
- [4] R. C. Webber and C. Hojvat, IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. NS-26, 4009, 1979
- [5] G. H. Gillespie, Phys. Rev. A16 (1997) 943.