

J-PARC ハドロン B ライン用強度モニタの開発

DEVELOPMENT OF B LINE INTENSITY MONITOR FOR J-PARC HADRON BEAMLIN

豊田晃久[#], 青木和也, 上利恵三, 秋山裕信, 家入正治, 倉崎るり, 里嘉典, 澤田真也, 白壁義久, 高橋俊行, 高橋仁, 田中万博, 広瀬恵理奈, 皆川道文, 武藤史真, 森野雄平, 山我拓巳, 山野井豊, 渡辺丈晃
Akihisa Toyoda[#], Kazuya Aoki, Keizo Agari, Hironobu Akiyama, Masaharu Ieiri, Yohji Kato, Ruri Kurasaki, Yoshinori Sato, Shinya Sawada, Yoshihisa Shirakabe, Toshiyuki Takahashi, Hitoshi Takahashi, Kazuhiro Tanaka, Erina Hirose, Michifumi Minakawa, Fumimasa Muto, Yuhei Morino, Yutaka Yamanoi, Hiroaki Watanabe
KEK

Abstract

The J-PARC Hadron Experimental Facility is a facility that performs particle and nuclear physics experiments using various secondary particles generated by irradiating a metal target with a 30 GeV proton beam that is slowly extracted over a period of approximately 2 seconds. The J-PARC Hadron B line is a beamline that uses a part of the current 81 kW A line proton beam. The current beam cycle is 4.24 seconds, and the beam intensity is about 1×10^9 to 1×10^{10} particles/spill. We developed two types of monitors to measure the beam intensity of the most upstream part of the B line. One is SMIM (Septum Magnet Intensity Monitor) and the other is BIM (B line Intensity Monitor). SMIM uses a triple scintillation detector to measure the beam loss caused by the magnet that scrapes a part of the beam from the A line, and BIM uses a triple scintillation detector to measure the beam loss caused by the vacuum foil upstream of the B line. We will report on the design, actual fabrication, and beam test results of each detector.

1. はじめに

J-PARC [1]ハドロン実験施設[2]は 30 GeV 陽子ビームを約 2 秒かけて取り出す遅い取り出しビームを利用する。ビームが金属標的に照射されることで生じる様々な二次粒子を利用して素粒子原子核物理実験を行っている。J-PARC ハドロン B ラインは、現在 81 kW の A ライン陽子ビームの一部を削り出して使用するビームラインである。ビームサイクルは現在 4.24 秒で、ビーム強度は約 1×10^9 から 1×10^{10} 個/spill である。今回は B ライン最上流の強度を測定するためのモニタ 2 種類を開発した。一つは SMIM(Septum Magnet Intensity Monitor)でもう一つは BIM(B line Intensity Monitor)である。SMIM は A ラインからビームの一部を削り出す磁石で生じるビームロスに 3 連シンチレーション検出器で測定するもので、BIM は B ライン上流部にある真空仕切り膜で生じるビームロスに 3 連シンチレーション検出器で測定するものである。それぞれの検出器の設計、実機製作およびビーム試験の結果などについて報告する。

2. セットアップ

2.1 SMIM セットアップ

Figure 1 に SMIM の平面レイアウト図を示す。ランバートソン磁石で A ラインビームの一部を B ラインに取り出す際に生じる 2 次粒子を 3 連のシンチレーション検出器で検出する。この 2 次粒子の数は B ラインビーム量に比例することが期待されるため、この数を数えることによって B ライン最上流のビーム量の相対評価が行える。

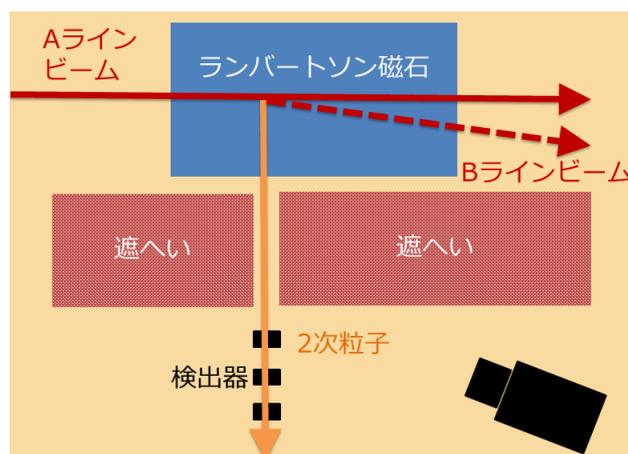


Figure 1: SMIM layout.

Figure 2 に Fig. 1 のカメラマーク位置から撮った写真を示す。写真ではわかりにくいですが赤い鉄ブロックの間に 1 cm 程度の隙間があり、そこから出てくる 2 次粒子を検出している。シンチレーターの大きさは幅 25 mm 高さ 10 mm 厚さ 5 mm である。光電子増倍管(PMT)は浜松ホトニクス の H3165B を使用している。

2.2 BIM セットアップ

Figure 3 に BIM の側面レイアウト図を示す。B ライン上流部には真空仕切り膜があり、そこで 2 次粒子が発生する。その 2 次粒子を天井遮へい上に設置した 3 連シンチレーション検出器にて検出する。この 2 次粒子数は B ラインビーム量に比例するので、この数を数えることで B ラインビーム量の相対評価が行える。

Figure 4 にビームライン側面から撮った写真を示す。

[#] akihisa.toyoda@j-parc.jp



Figure 2: SMIM photo from downstream.

天井遮へいに磁石の配線配管用隙間があり、そこから出てくる2次粒子を検出している。シンチレーターの大きさは長さ 200 mm、幅 150 mm、厚さ 5 mm で、PMT は浜松ホトニクス H1161 相当である。

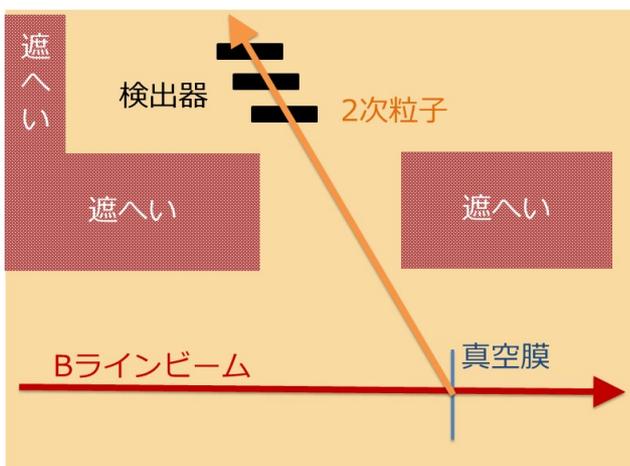


Figure 3: BIM layout.

2.3 SMIM/BIM 読み出し構成

SMIMとBIMの読み出しは全く同じであり、NIM回路とVME Scaler モジュール/CPU ボードで構成されている。PMTからのアナログ信号をNIM Discriminator回路に入れてパルス信号にし、適宜 Coincidence 回路に入れたのちに VME Scaler モジュールにて読み出す。VME CPUにて EPICS[3] 制御システムの IOC(Input Output Controller)プログラムが動いており、ネットワークを介して EPICS channel 情報を発出している。NUC クライアント側では EPICS OPI(Operation Interface)によって Scaler 情報が表示される。また EPICS Archiver Appliance[4]からの Channel Access により全データが保存される。

3. データ分析

3.1 SMIM データ分析

Figure 5 に SMIM シングルレート(1 番目のカウンター)の B ラインビーム強度依存性を示す。B ラインビーム強

度は B ライン最下流のダンプ内に設置されたイオンチェンバーによって評価されている。おおよそのリニアリティはあるが、特に低強度側に若干 excess があり B ラインビーム強度ゼロでもカウントがある。これは A ライン強度が上昇してきたことにより定常ロスが増えてきたことに起因していると思われる。

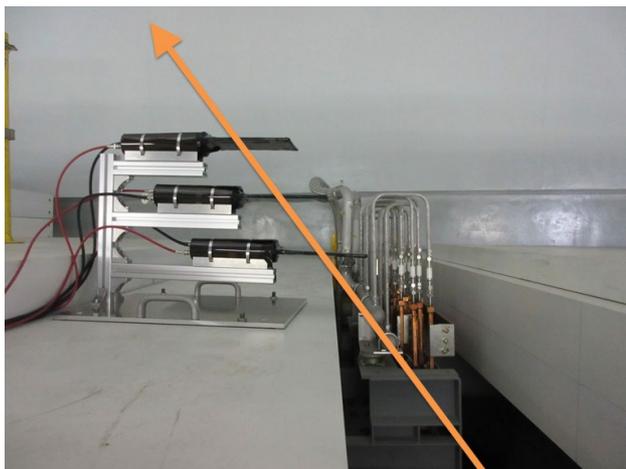


Figure 4: BIM photo from the side.

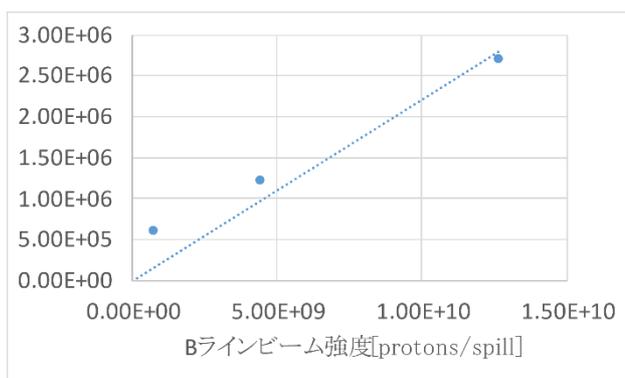


Figure 5: Dependence of the SMIM single rate (counts/spill) on the B line intensity at the end of the B line.

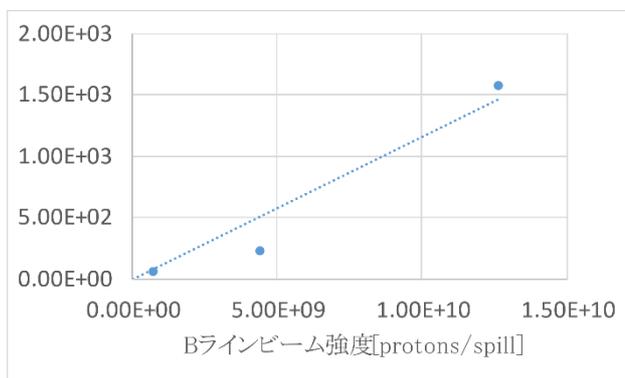


Figure 6: Dependence of the SMIM triple coincidence rate (counts/spill) on the B line intensity at the end of the B line.

Figure 6 に SMIM 三重コインシデンスレートの B ラインビーム強度依存性を示す。三重コインシデンスを取ることで B ラインビーム取り出しに無関係なビームロスの影響を低減することができるものと期待される。図によると特に 1.25×10^{10} protons/spill の B ラインビーム強度の点でカウントレートが著しく上昇していることが分かる。予想レートは B ラインビーム強度 1×10^{10} protons/spill で 200 counts/spill 程度のため、B ラインビーム強度

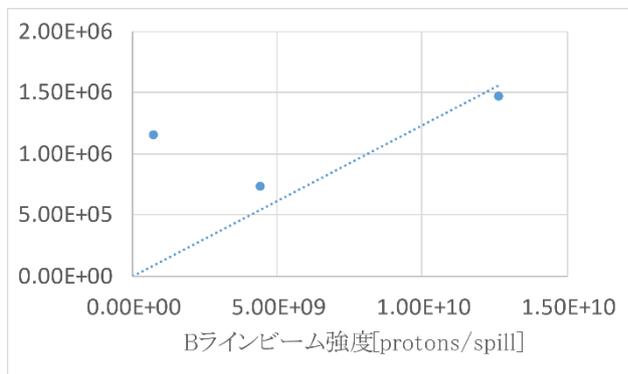


Figure 7: Dependence of the BIM single rate on the B line intensity (counts/spill) at the end of the B line.

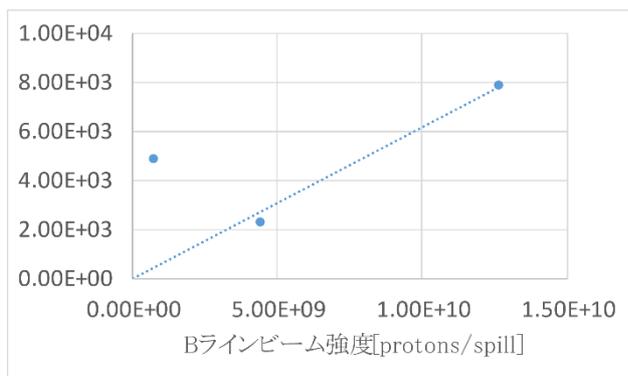


Figure 8: Dependence of the BIM triple coincidence rate (counts/spill) on the B line intensity at the end of the B line.

4×10^9 protons/spill 程度まではある程度のリニアリティがあるが、それ以上になるとリニアから上方に大きく乖離していくことが分かる。これは主に A ラインからのバックグラウンドが多いことによってアクシデンタルコインシデンスが生じていることが原因だと推測される。

3.2 BIM データ分析

Figure 7 に BIM シングルレート(1 番目のカウンター)の B ラインビーム強度依存性を示す。Figure 5 の SMIM シングルレートと比べると低強度の excess がさらに大きくなってリニアリティがなく、単調増加にもなっていない。A ラインからの定常ロス、特に B ライン分岐部のランバートソン磁石で生じた 2 次粒子が磁石などに当たって発生する 3 次粒子による影響が大きいと考えられる。

Figure 8 に BIM 三重コインシデンスレートの B ラインビーム強度依存性を示す。予想レートは 300 counts/spill 程度なので、ほぼ全域にわたってリニアリティがないことが分かる。低強度側では定常ロスによるカウント数の増加があり、それ以外の領域ではアクシデンタルによる影響を大きく受けている。

4. まとめと今後

J-PARC ハドロン実験施設 B ラインビーム強度を測定するモニタとして、SMIM と BIM の 2 種類のモニタを開発した。いずれも A ラインビーム強度の上昇に伴って、バックグラウンドによる影響が大きくなっている。Single rate では定常ロスの影響があり、Coincidence rate ではアクシデンタルの影響が大きく、リニアリティが低下している。

今後は検出器周辺に遮へい体を設置することによって、バックグラウンドを低減できないか検討を進めたい。

参考文献

- [1] J-PARC Web page.
<http://www.j-parc.jp>
- [2] K. Agari *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys., 2012, pp 02B009-1 – 02B009-16.
- [3] EPICS Web page.
<https://epics.anl.gov/>
- [4] https://slacmshankar.github.io/epicsarchiver_docs/