

DEVELOPMENT OF OTR BEAM PROFILE MONITOR FOR J-PARC HADRON BEAMLINE (2)

Akihisa Toyoda^{1,A)}, Keizo Agari^{A)}, Masaharu Ieiri^{A)}, Yohji Kato^{A)}, Yoshinori Sato^{A)}, Yoshihiro Suzuki^{A)}, Minoru Takasaki^{A)}, Hitoshi Takahashi^{A)}, Kazuhiro Tanaka^{A)}, Hiroyuki Noumi^{A)}, Erina Hirose^{A)}, Toshiyuki Mitsuhashi^{B)}, Michifumi Minakawa^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}, and Hiroaki Watanabe^{A)},

^{A)} Institute of Particle and Nuclear Studies (IPNS), High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Institute of Materials Structure Science (IMSS), High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) [1] hadron beam line under construction will provide the high intensity proton beam whose designed power is 750 kW. To handle such high intensity beam line safely, it is indispensable to measure the beam profile. We are developing the OTR (Optical Transition Radiation) monitor as the profile monitor. In the last presentation, we reported the background problem of the prototype OTR detector. To understand a source of the problem and reduce the background, we developed the OTR monitor using an optical fiber system. In this article, we will present a result of a test experiment for the new OTR monitor.

J-PARCハドロンビームライン用OTRビームプロファイルモニタの開発(2)

1. はじめに

現在茨城県東海村に建設中であるJ-PARCハドロン実験施設では、大強度の陽子ビームラインを利用する。遅い取り出し(約0.7秒)で定期的に取り出されたビームは、様々な原子核素粒子実験を行うために提供される。このような大強度ビームを安定に運転するためには、耐熱性、耐放射線性に優れたビームプロファイルモニタが必要となる。また、同時にメンテナンス性を考慮して、検出器自身で発生するビームロスをも最小限に抑える必要がある。その目的で我々は前回からOTR光を用いた検出器を開発している。

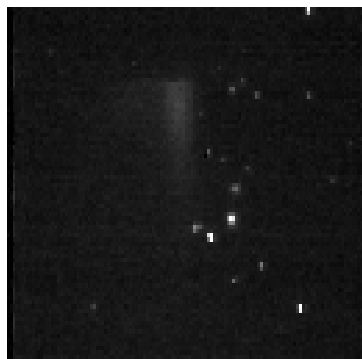


図1：意図的にビームロスを発生させた場合に観測された典型的なOTRイメージ

2. 前回の実験結果

前回我々は、プロトタイプOTR検出器を用いてOTR光を確認し、またリファレンスマニターであるSPIC(Segmented Parallel Plate Chamber) [2]と矛盾しないビームプロファイルを検出することに成功した。そのテスト実験を行った際に、次の2つの問題があることが判明した。

- 1) 星状のバックグラウンド
- 2) 光検出器系の放射線損傷

一つ目の問題は、図1に示すようにビームロスが多く発生する状況で星状のバックグラウンドがシグナル観測を妨げてしまうというものである。ここで、

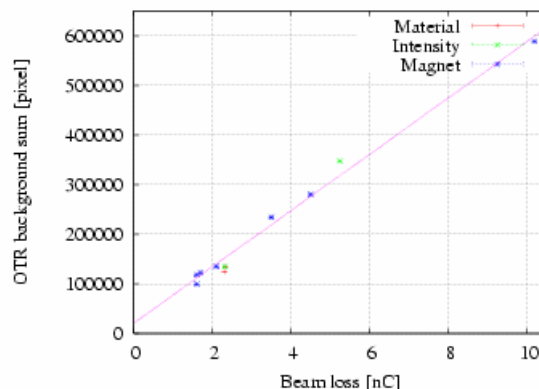


図2：バックグラウンド光量のビームロス依存性

¹ E-mail: akihisa.toyoda@j-parc.jp

ビームロスを変えながら、星状のバックグラウンドの収量を測定したのが図2である。バックグラウンドがほとんどビームロスに比例していることがわかる。また、図3に示すようにビームロスはビームラ

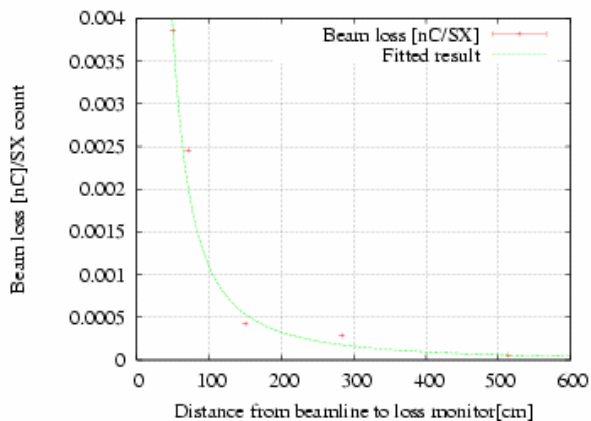


図3：ビームロスのビームラインからの距離依存性の測定結果

インからの距離の2乗に反比例する(点ロスの場合)ので、カメラ位置を遠ざけることによって星状のバックグラウンドを低減できる可能性がある。また、カメラ部のビームロス低減すれば二つの耐放射線性の問題も同時に緩和できるので、この対策は有効である。

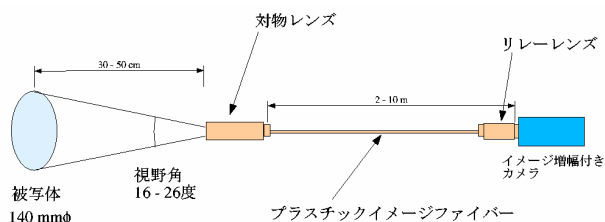


図4：OTRファイバー光学系概念図

3. ファイバーを用いたOTR検出器

ガンマ値の低い陽子ビームからのOTR光は、ビームラインから遠ざかるほど拡散していく。よって、遠い位置でOTR光を検出するには、カメラ部まで光を輸送して、さらに集光する必要がある。今回、我々はイメージファイバーを用いて光を輸送するシステムを構築した(図4)。本システムでは一旦対物レンズによってファイバーに集光し、ファイバー出口で受光面に光を拡大している。カメラ部は前回と同様にイメージ増幅器と耐放射線カメラを組み合わせ使用した。また、実機での使用を想定し、OTRスクリーンをリモートで着脱する機構を製作した。

4. ビームテスト結果

完成した実機仕様のOTR検出器をKEK-PS EP2-Cビームラインにインストールしてテストを行った。前回同様にSPICモニターの直上流に設置し、ビームロスモニターを対物レンズ位置、およびカメラ部位置に設置した。対物レンズからスクリーンの距離は30 cmおよび50 cmとしてデータを取得した。

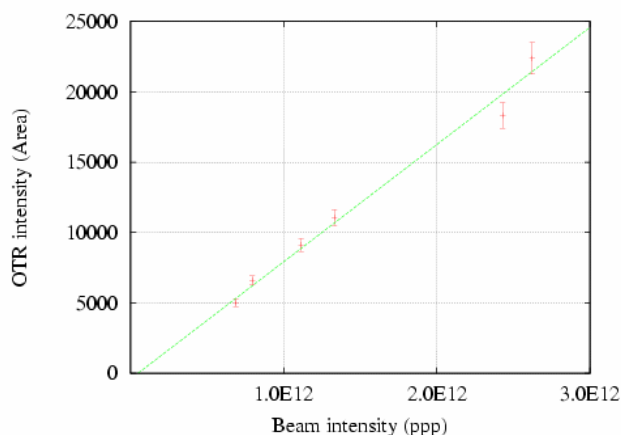


図5：OTR光量のビーム強度依存性

図5はビーム強度を変えながらOTR光の光量変化を測定したものである。光量がビーム強度にリニアに依存していることが確認できる。

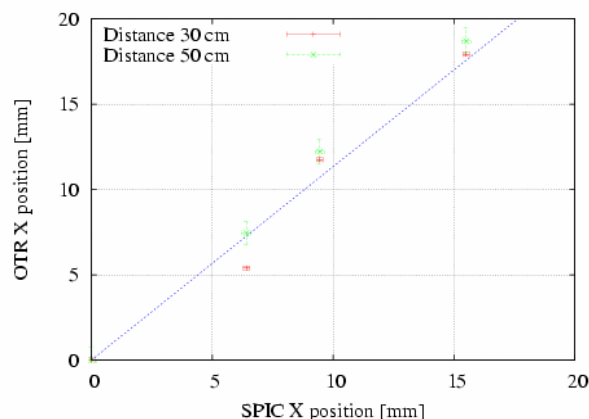


図6：OTR像のX位置のビーム位置依存性

次に、ビーム位置依存性(X方向)を測定した。図6は、リファレンスモニターであるSPICのX位置とOTR検出器のX位置の相関を示している。線形応答性に問題がないことがわかる。

最後にビーム幅依存性(X方向)について評価した。図7はプロファイル幅(σ)に関するSPICとOTRの相関を示している。前回のプロトタイプと同様、OTRの方が幅が広がる傾向があるものの、線形応答性には特に問題がないことがわかる。

解析はY方向に関しても行われ、特に問題がないことを確認した。

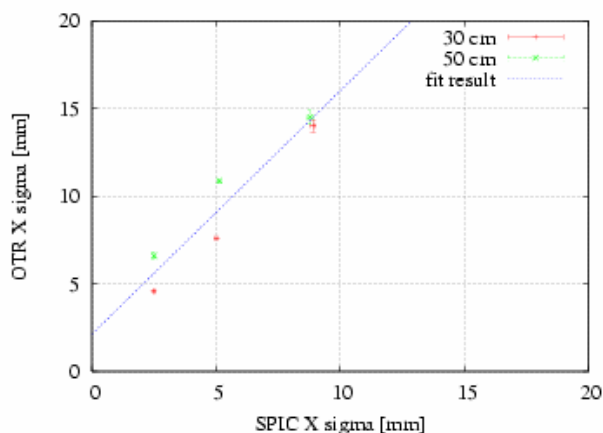


図7：OTR像のX方向ビーム幅のビームサイズ依存性

5. バックグラウンドについて

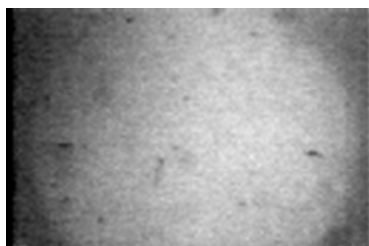


図8：ビームオフ時の画像

ここでは、ファイバーを利用したことでのどの程度バックグラウンドを低減できたかどうかを評価する。バックグラウンドの量を正確に測定する目的で、スクリーンを取り除いて評価した。その際に観測された映像を図8に示す。ファイバーエッジがくっきり見えていて、ファイバー内が比較的明るくなっているのがわかる。よって、ファイバー内とファイバー外の両方のバックグラウンドに関して評価した。

また、バックグラウンドの起源を探る目的で標的からの距離について30 cmと50 cmの二つのデータを取得した。

図9にOTRバックグラウンドとビームロスの対物レンズ位置依存性を示す。まず、ビームロスに関しては、対物レンズ位置においては距離に反比例しており、カメラ位置に関しては距離依存性がないという当然の応答を示している。それに対して、バックグラウンドに関しては、ファイバー内、ファイバー外のいずれに関しても距離に反比例していることがわかる。ただし、減少量はビームロスに比べて緩やかであることがわかる。

この結果からわかることとしては、以下のことが挙げられる。

- バックグラウンド量がカメラ位置ではなく、主に対物レンズ位置に依存している。これは

ファイバーでカメラをいくら離してもS/Nが向上しない可能性を示唆している。もちろんカメラの耐放射線性という意味ではカメラを離す意義は大きい。

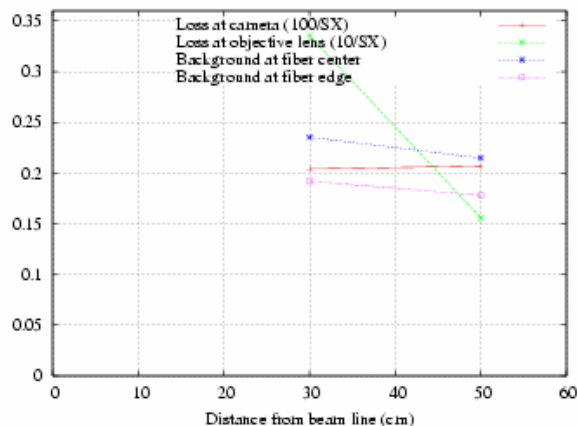


図9：OTRバックグラウンドとビームロスに関する対物レンズ位置依存性

- バックグラウンドの変化量が対物レンズ位置のビームロスの変化量よりかなり小さい。原因としては、上流で発生したビームロスが光学系真空窓、もしくは対物レンズ自身でチェレンコフ光を発生し、これが主要バックグラウンドとなっていることが考えられる。

6. まとめ

今回、我々はファイバーを用いた実機仕様のOTRプロフィールモニターを開発することに成功した。またバックグラウンドの起源をある程度推定することができた。ファイバーを用いた場合、カメラの集積線量を抑えることはできる。しかし、S/N向上のためには、大口径の集光対物レンズおよび大口径のイメージファイバーが必要になる。

7. 謝辞

本研究の一部は、文部省科学研究費基盤研究(A) (15204024、17204019)、若手研究(B) (17740169)をうけてなされた。

参考文献

[1] <http://www.j-parc.jp>
[2] K.H. Tanaka et al, "Improvement in the profile and emittance measurement system of the KEK-PS external beam line", KEK preprint 91-27.