

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

Akihisa Toyoda*, Keizo Agari, Erina Hirose, Masaharu Ieiri, Yohji Katoh, Michifumi Minakawa, Hiroyuki Noumi, Yoshinori Sato, Yoshihiro Suzuki, Hitoshi Takahashi, Minoru Takasaki, Kazuhiro Tanaka, Yoshikazu Yamada, Yutaka Yamanoi, Hiroaki Watanabe,
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

J-PARC hadron beamline under construction will provide a high intensity proton beam whose power is 750 kW. For such high intensity beamline, it is necessary to prepare a beam monitor to observe the beam status precisely without fault. The beam loss at the beam monitor should be as small as possible. For this purpose, we developed a beam profile monitor to detect the OTR (Optical Transition Radiation) light created at a reflecting screen located at the beamline. We tested its performance with a proton beam at the KEK-PS accelerator. The result of the beam test such as a beam response, a background condition, and so on will be presented.

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

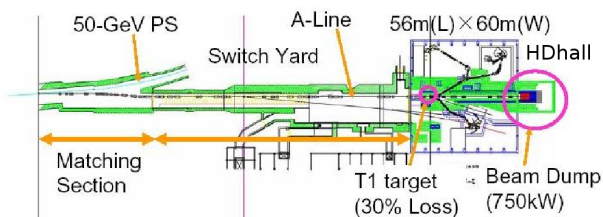


図 1: J-PARC hadron hall layout

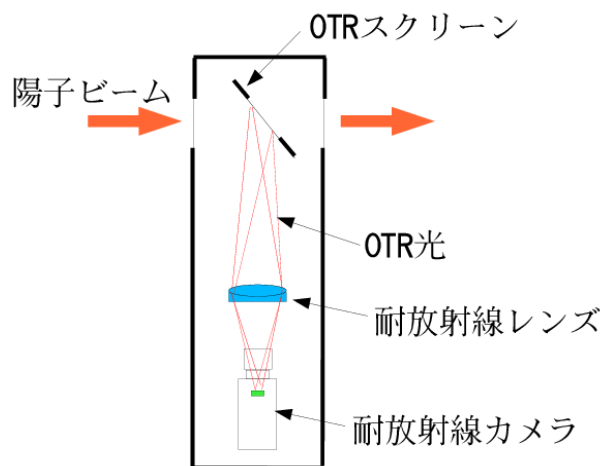


図 2: OTR 検出器レイアウト

1. 導入

現在茨城県東海村に建設中である J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex)¹の原子核素粒子実験施設では、大強度 (750 kW) の陽子加速器を利用して様々な原子核素粒子実験を行うことを目的としている。ハドロン実験施設^[1, 2]においては、図 1 に示す遅い取り出しビームラインを利用する。ビームは約 1 秒間に渡って定常的に取り出され、ビームサイクルは 4 秒間程度となる予定である。図に示すように、取り出されたビームは Switch Yard と呼ばれる区間を通り HD ホールに導かれ、T1 陽子標的 (30% ビームロス)^[3] に照射される。残りのビームは 750 kW ビームダンプ^[4] に導かれる。

このような大強度ビームラインを安定して確実に運転するためには、耐熱、耐放射線性にすぐれたビーム状態モニターが必須である。また、ビームライン自体のメンテナンス性を損なわないために、自身が発生するビームロスを最小限に抑えて、残留放射能レベルを抑える必要がある。

そのようなビームモニターの内的一种であるプロファイルモニターの候補として、OTR (Optical Transition Radiation) 光^[5]を用いた検出器の R&D を今回行った。OTR 光の光量は、発光体の物質質量ではなく、反射率

に比例するために、ビームライン上のビームロスを最小限に抑えることができる。今回我々は、OTR 検出器の R&D を目的として、100 μm のアルミ箔を反射体として用意し、KEK-PS 12 GeV 陽子ビームラインを使用して OTR 検出器の特性を調査した。

2. 実験装置

テスト実験は、KEK-PS EP2-C ビームライン上に図 2 に示すようなセットアップを設置して行った。ビーム強度は約 2.0×10^{12} protons / pulse (約 1.7 秒間取り出し) であった。直下流には KEK-PS EP1/EP2 ビームラインにおいて標準プロファイルモニターとして使用されている、SPIC (Segmented Parallel-plate Ion Chamber)^[6]を設置し、リファレンスとして利用した。図 2 にあるように、45 度傾けた OTR スクリーン (材質 Al 100 μm) で発生した OTR 光を耐放射線レ

* E-mail: akhisa.toyoda@j-parc.jp

¹ <http://j-parc.jp/index.html>



図 3: OTR 検出器データの一次解析結果

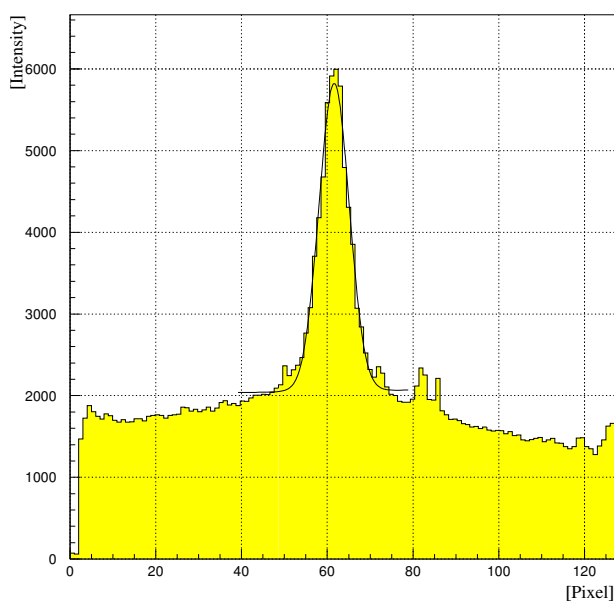


図 4: OTR 検出器データの二次解析結果。X 方向に射影したプロファイルを示す。

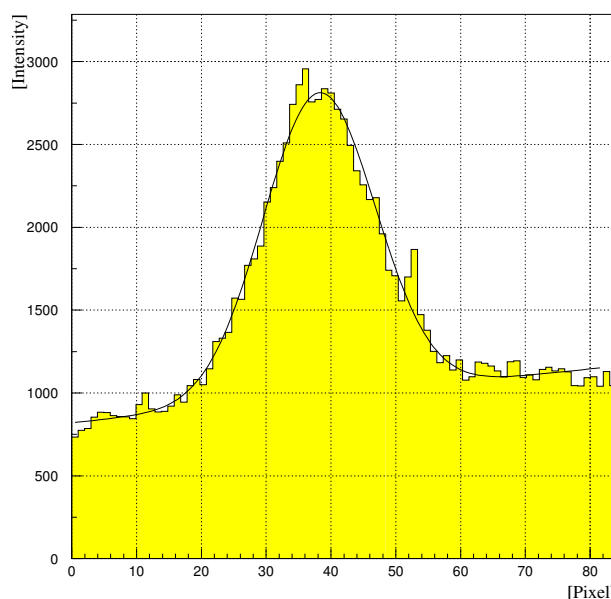


図 5: OTR 検出器データの二次解析結果。Y 方向に射影したプロファイルを示す。

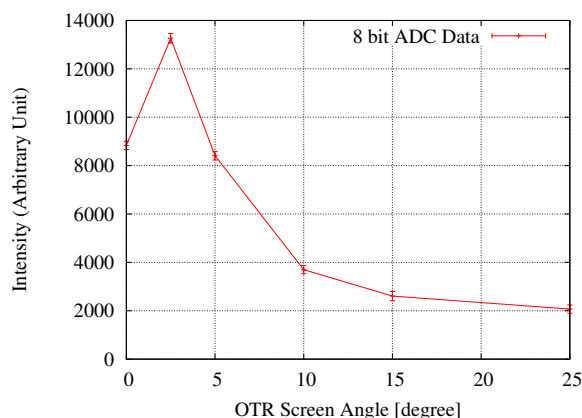


図 6: OTR スクリーン角度依存性。横軸が 45 度からスクリーンを立てる方向に傾けた角度で、縦軸がビーム量で規格化された OTR 光の強度。

レンズで集光し、耐放射線カメラ (CID カメラ; Thermo Electron Co. ²) にて映像としてデータを取得した。OTR スクリーンの大きさは縦 14.1 cm、横 10 cm である。OTR スクリーンからレンズまでの距離は 50 cm とし、レンズとしては F1.2、口径 41.7 mm ϕ のものを使用した。カメラの出力である NTSC 映像は、8 bit カラーイメージ取り込みボード (PC-MV7DX/U2; BUFFALO INC³) を介し、Windows PC 上に MPEG4 映像として HDD に記録した。

3. 解析

前節で記録した映像を映像処理ソフトを使用して、ビーム取り出しタイミング (Signal) とビームなしタイミング (Background) からそれぞれ 50 フレーム (約 1.7 秒) ずつ切り出して、画像群として記録した。この画像群を一次解析して得られた映像が図 3 である。一次解析では、Signal/Background それぞれの画像 (720

x 480) を 128 x 85 の配列データに落とし、この配列データ群を積分した後に、Signal から Background を引き、JPEG イメージに変換している。図から分かるように、画面中央にはっきりとビームによって誘起された OTR 光と考えられる光が観測されている。OTR 光周辺にはビームロス起因と考えられるバックグラウンド光点が観測されている。

二次解析の結果を示しているのが、図 4、5 である。二次解析では、一次解析後の画像からバックグラウンド光点を取り除き、適切な領域を切り出して X/Y 方向に射影積分している。

4. 実験結果

図 6 に示すのが、OTR のスクリーンの角度を傾けていった際に OTR 光量がどのように変化していくか

²<http://www.thermo.com/>

³<http://www.melcoinc.co.jp/>

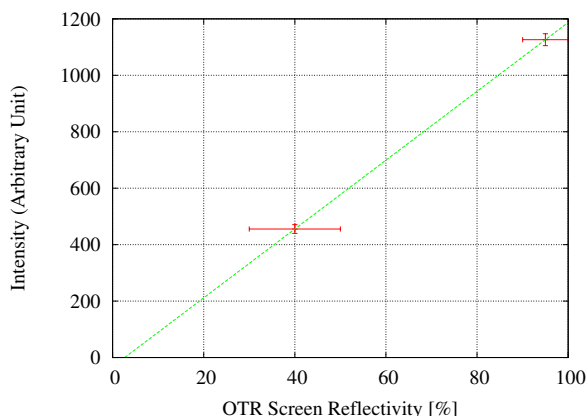


図 7: OTR スクリーン材質依存性。横軸が OTR スクリーンの反射率で、縦軸がビーム量で規格化された OTR 光の強度。

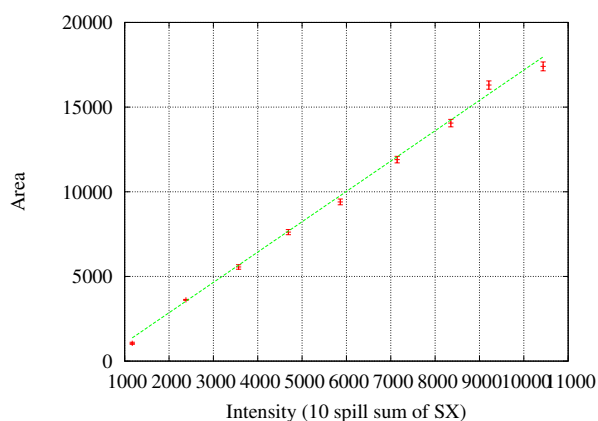


図 8: ビーム強度依存性。横軸がビーム強度モニター (SEC) の値で、縦軸がビーム量で規格化された OTR 光の強度。

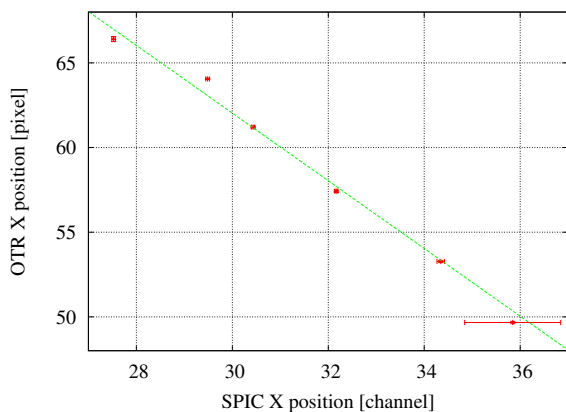


図 9: X 方向のビーム位置依存性。横軸が SPIC モニターで観測されたビーム中心位置で、縦軸が OTR 光で観測されたビーム中心位置を示す。

を示したものである。OTR 光量は X 方向に射影積分したヒストグラムをガウス分布でフィットし、その面積から求めている。OTR 光特有の前方に鋭いピークを持った光量分布を示しているのが分かる。12 GeV 陽子の場合には理想的には 4.5 度にピークを持つはずであるが、有限の分布を持ったビームからの光を有限の立体角で観測していることによって、前方にピーク位置がずれている。

図 7 には、OTR スクリーンの反射率を変えた際の OTR 光量の変化を示している。反射率 40% の点は Ti(厚さ 50 μm) スクリーンによるデータである。反射率に光量が比例しており、OTR 光の特性を示していることが分かる。以上に二点によって、正しく OTR 光を観測していることが確認できた。

図 8 は、ビーム強度を 2×10^{11} protons/pulse から 2×10^{12} protons/pulse まで変えた場合の OTR 光の強度の変化をプロットしたものである。ビーム強度に比例した OTR 光を観測していることが確認できる。図 9 は、上流の偏向電磁石の設定を変更してビームを左右に振った場合のビーム中心位置の変化を示したものである。SPIC モニターで観測された位置に OTR 光の X 位置が比例しており、正しくプロファイルが測定できていることが確認できる。

5. まとめ

Al 100 μm の反射体を用いて OTR 検出器のプロトタイプを製作し、KEK-PS 12 GeV ビームラインにてビームテストを行った結果、ビームプロファイルを観測することに成功した。スクリーン角度、材質の光量依存性が OTR 光の特性と一致しており、正しく OTR 光を観測していることを確認した。また、ビーム強度に光量が比例していることを確認し、標準モニターである SPIC とプロファイルが一致していることを確認した。

参考文献

- [1] K.H. Tanaka et al., Technical design report for the slow-extraction beam facility at the 50-GeV PS in KEK-JAERI joint project, KEK internal report 2002-8.
- [2] K.H. Tanaka et al., Technical design report II for the slow-extraction beam facility at the 50-GeV in J-PARC, KEK internal report 2004-3.
- [3] Y. Yamanoi et al., Design of the production target for slow extraction beam lines at K-hall, Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, October 2001, p.393-395.
- [4] K. Agari et al., Design and R&D status of NP-hall beam dump in J-PARC, Proceedings of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, November 2003, to be printed.
- [5] V.L. Ginzburg et al., Sov. Phys. JETP, **16** (1946) 15.
- [6] K.H. Tanaka et al., "Improvement in the profile and emittance measurement system of the KEK-PS external beam line", KEK preprint 91-27.