

Development of OTR beam profile monitor for J-PARC hadron beamline (4)

Akihisa Toyoda^{1,A)}, Keizo Agari^{A)}, Masaharu Ieiri^{A)}, Yohji Kato^{A)}, Akio Kiyomichi^{A)}, Yoshinori Sato^{A)}, Shinya Sawada^{A)}, Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Yoshihiro Suzuki^{A)}, Minoru Takasaki^{A)}, Hitoshi Takahashi^{A)}, Kazuhiro Tanaka^{A)}, Megumi Naruki^{A)}, Hiroyuki Noumi^{B)}, Erina Hirose^{A)}, Toshiyuki Mitsuhashi^{A)}, Michifumi Minakawa^{A)}, Ryotaro Muto^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}, Hiroaki Watanabe^{A)},

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization,

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} RCNP

10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract

We have successfully extracted 50 GeV proton beam into J-PARC hadron facility, a slow extraction beamline. Beam intensity was as low as 120 W due to an accelerator trouble. Nevertheless, we succeeded to measure a beam profile by a newly-developed OTR (Optical Transition Radiation) monitor. Production of the OTR monitor, optical adjustment, installation and alignment to the beamline, and a measured OTR profile will be presented. New optical system proved useful to observe clear beam profile without Cerenkov background which had been previously measured as main background source with proto-type OTR monitor at KEK-PS. Measured position agreed well with that of a reference monitor, but agreement was poor with respect to the width. The reason and future prospect will also be described.

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(4)

1. はじめに

J-PARCハドロンビームラインは大強度陽子ビーム(50 GeV, 15 μ A)を利用して様々な素粒子原子核実験を行う施設である。この施設におけるビームプロファイルを測定する目的で、我々はOTR(Optical Transition Radiation)ビームモニターを開発してきた。前回^[1]我々は、バックグラウンドが少なく耐放射線に優れ、かつOTR光を十分カバーできる立体角を持った、ニュートン式をベースにしたカタディオプトリック系の新規光学を開発した。今回我々はこの新規光学をビームラインに設置し、ビームプロファイルを観測した。

2. OTRモニターについて

OTRモニターはJ-PARCハドロン施設の最上流部の高真空区間におけるビームプロファイルを測定する目的で設置される。図1はOTRモニターの設置位置付近の状況を示している。OTR1は最上流の4重極電磁石q01の直上流に、OTR2は4重極電磁石q02の直上流に、OTR3は垂直偏向電磁石v04の直上流に0.5 mm以下の精度で設置された。

図2は例としてOTR2モニターの設置状況を示している。ビームライン上にはOTRチェンバーが設置され、内部は高真空に保たれている。チェンバー内には斜め45度に傾いた厚さ7 μ mのアルミニウム箔をOTRスクリーンとして用意した。またOTRチェンバーの直上流にはリファレンスマニター

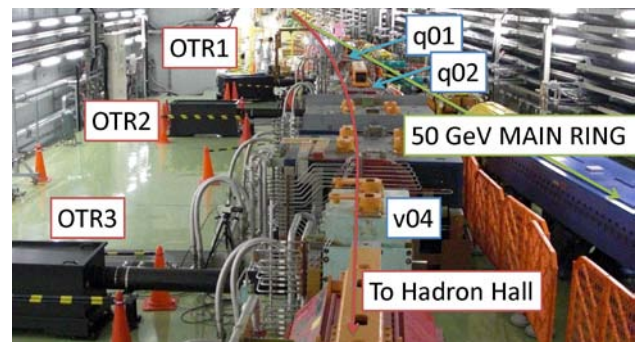


図1: OTRモニター設置位置付近

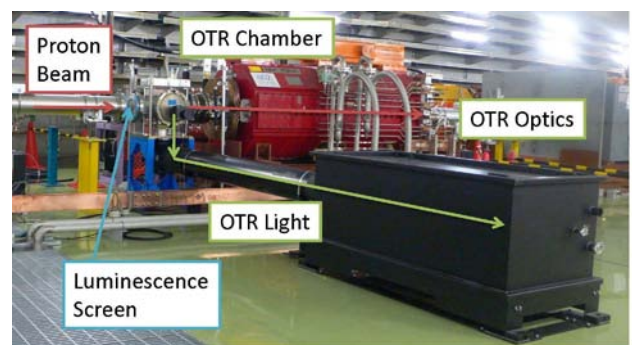


図2: OTR2の光学の設置状況

として蛍光板を設置した。蛍光板からの発光はレンズとカメラによって捕らえられ可視化される。下方に放出されたOTR光はまず真空を仕切るための150 ϕ

¹ E-mail: akihisa.toyoda@j-parc.jp

熔融石英製の窓を通り抜け、平面ミラーでOTR光学系に向け90度反射する。その後、放射線の影響を最小限に抑えるためにビームラインから5 m先に設置されたOTR光学系に入射する。光学に関しては参考文献^[1]に詳しく述べられている。

OTR3はOTR2と同様の構成となっている。OTR1に関しては、今回はコミッションングが主目的であ

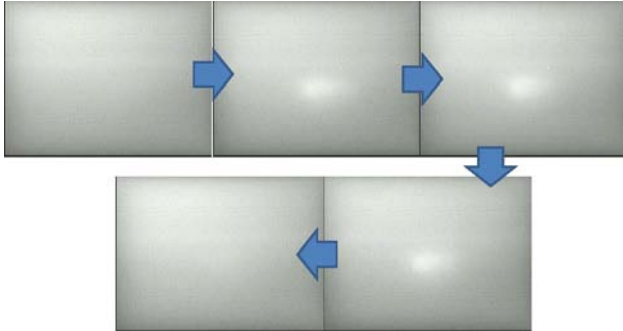


図3:OTR3における連続ショット

あったこともあり、安全をみてスクリーンを蛍光板とした。

3. J-PARCにおけるOTR光の初観測

2009年1月27日にハドロン施設のコミッションングが開始され、同日ビームダンプまでのビームトランスポートに成功した。その後ビーム調整がなされたが、加速器トラブルにより連続運転時で最大120 W(1.5×10^{11} protons/spill)という極めて低い強度にとどまった。また第一期段階のためビーム運動量は30

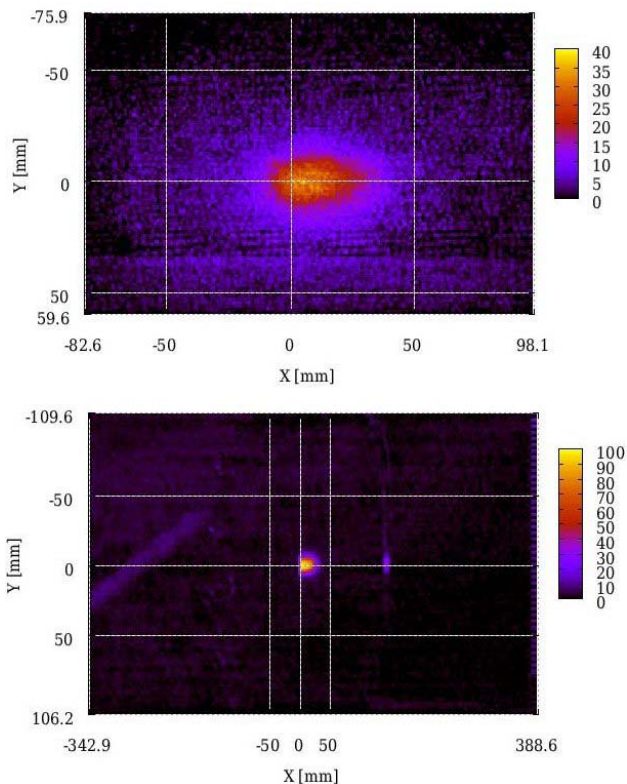


図4: 典型的なOTR光のイメージ(上)、およびリファレンスモニターのイメージ(下)

GeV/cであった。

それにも関わらず図3に示すようにJ-PARCにおいて初めてOTR光を観測することに成功した。各フレームは40 ms間隔となっている。取り出しの長さは0.7秒が規定値であるが、今回は加速器の問題のため100 ms程度とかなり短いものとなった。図3を見るとOTR光によるプロファイルが3フレーム分のみ記録されており、残光のないOTR光の特徴がうかがえる。

4. 解析結果および議論

図3のイメージ群を積分し、ビームのないフレームの情報を積分および減算することで図4のようなイメージを得た。図中の黄色の線はフレーム位置を示している。よって、100 mm x 100 mmの領域が有感領域である。リファレンスモニターに関しては斜め方向から見ていることによりX方向が短く映っている。OTR光に関して、KEK-PSにおけるプロトタイプモニターにおいて観測されていたレンズなどにおいて発生したチェレンコフ光起源と考えられる星状のバックグラウンドが全く観測されていないこと

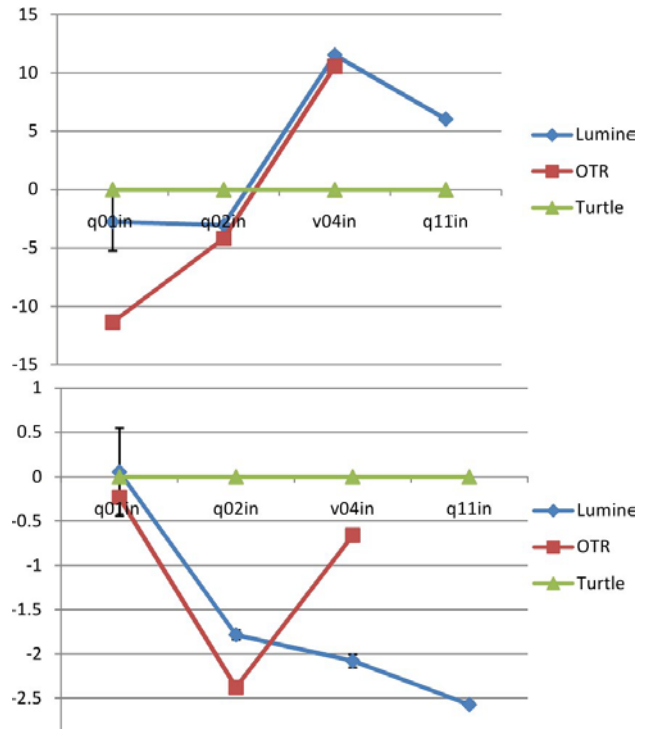


図5: プロファイルのX位置(上)およびY位置(下)。

が分かる。これにより今回開発した光学が設計通りに働いていることが分かる。

図4のイメージをX方向およびY方向に射影して得られた1次元ヒストグラムをガウス関数および1次の多項式で構成されるフィット関数でフィットした。図5に位置情報に関しての蛍光板(青)、OTR(赤)、およびDecay Turle^[2]の計算結果の比較を示す。1 mm程度の範囲内でお互いに一致していることが分かる。

続けて図6に幅情報に関しての図5と同様な比較

を示した。蛍光板に関してはDecay Turtleの計算結果とよい一致を示していることが分かる。通常蛍光

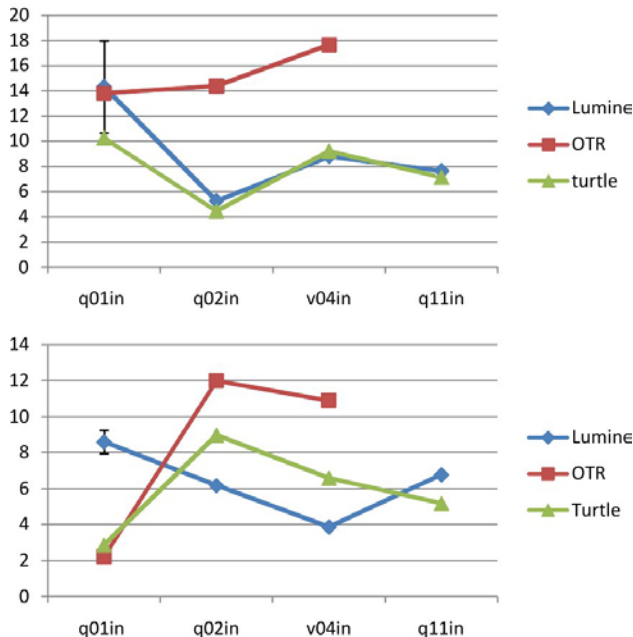


図6: プロファイルのX幅(σ)(上)およびY幅(下)

板は幅を過大評価する傾向があるが、今回は強度が低かったことにより線形性のよい領域だったと考えられる。それに対してOTRでは幅を過大評価してしまっていることが分かる。幅の増加分は、OTR2に関しては約8 mm、OTR3に関しては約14 mmである。

この原因に関しては、以下のような現象によるものが考えられる。

1. 赤外線による効果
2. 真空膜でのOTRによる効果
3. OTR光の拡散による効果
4. 光学輸送系での乱反射による

まず、1に関して、現状のビーム強度で発生する熱をMARS^[3]とANSYS^[4]で計算し、発生する赤外線の量を評価した。その結果、OTR光の6桁落ち程度にしかならず全く寄与しないことが分かった。

2に関しては、真空仕切り用の膜がSUS製であることにより、ここで発生したOTR光が反射率の高いOTRスクリーンで反射して光学に入り影響を与える可能性がある。光学計算ソフトZEMAX^[5]を利用してSUS膜で発生したOTR光が実際のプロファイルよりどの程度広がるのかを評価した。その結果、2 mm程度の分解能の悪化の原因になることが分かった。しかしこれでは現在のビームの広がりを説明することはできない。

3に関しては、OTR光は30 GeV/cの陽子に対して1.8度程度広がりを持って放出される。この場合でOTR発生位置を変えることで、効率の位置依存性を計算機シミュレーションで評価した。その結果広がりが小さく中心が一番効率がよい、つまり幅を広げる効果がないことが分かった。

4に関しては、考えられる乱反射光ではトランスポート管で必ず反射することになる。トランスポート用の管の内部がアルマイト処理されており、反射

率は1%程度と低い。よって強度的に寄与は小さいと考えられる。

以上を考慮すると物理的にこのような幅の増加をもたらす原因はなさそうである。そこで考えられるのが、イメージ増幅器(IIT)の過大光遮断装置である。今回のビームは、本来の状態と異なりスパイク状の時間構造を持っている。よって、IITの遮断装置が不安定になりこのような結果になったものと思われる。これに関しては次回のビームタイムで遅い取り出し機器がアップグレードされ、ビームの時間構造が改善されれば原因が確定ものと考えられる。

5. 新規光学系の開発

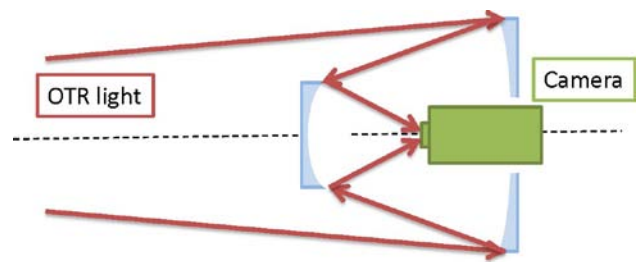


図7: 開発中の新規光学の概念図

今回の結果により、J-PARCハドロンビームラインの最高強度においても利用できるプロファイルモニターの開発に成功した。ただし、この光学には多くのレンズが含まれており交換頻度が高く交換作業にも手間がかかる。よって現在図7に示すような新規光学を開発中である。この光学はほぼ無限の耐放射線性をもつ反射鏡2枚から構成されているため、よりメンテナンス性が高い。現在光学シミュレーションが完了し、光学の製作途中である。次回のビームタイムまでに光学試験を終了し、ビームラインに設置、そしてビーム試験に臨む予定である。

6. 結論

今回我々はJ-PARCハドロンビームラインにおいて初めてOTRプロファイルを測定した。リファレンスモニターとの比較では位置はよく再現したが、幅に関しては過大評価となった。原因に関しては次回のビームタイムにおいて検証する予定である。またメンテナンス性を高めた新規光学を構築中で、この光学の性能試験も同時に行う予定である。

参考文献

- [1] A. Toyoda, et al., "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(3)", 第5回日本加速器学会リニアック技術研究会プロシーディングス, 2008.
- [2] K.L. Brown, Ch. Iselin, D.C. Carey, Decay Turtle, CERN74-2, 1974.
- [3] N.V. Mokhov, 'MARS Code Developments, Benchmarking and Applications', Fermilab-Conf-00-066, 2000.
- [4] <http://www.cybernet.co.jp/ansys/>
- [5] <http://www.zemax.com/>