

マルチスクリーンプロファイルモニターのターゲットの改良と光学要素及び測定器の特性の評価

NEW TARGET POSITIONER FOR BEAM HALO MEASUREMENT AND CHARACTERISTICS OF OPTICAL DEVICES AND DETECTOR ON THE MULTI-SCREEN PROFILE MONITOR

大森雄基^{#,A)}, 秋野英之^{A)}, 橋本義徳^{B)}, 三橋利行^{C)}, 大津 聡^{A)}, 手島昌己^{B)}, 外山 毅^{B)}
Yuki Omori^{#,A)}, Hideyuki Akino^{A)}, Yoshinori Hashimoto^{B)}, Toshiyuki Mitsuhashi^{C)}, Satoru Otsu^{A)}, Masaki Tejima^{B)},
Takeshi Toyama^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.: 2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

^{B)} KEK/J-PARC: 2-4 Shirakata Shirane, Tokai, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1195

^{C)} KEK: 1-1 OHO, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In a multi-screen profile monitor, two-dimensional beam profile from beam core to beam halo can be measured with a sensitivity of 6-digit or more over. But beam halo of this has been measured by only the targets in the horizontal direction. Hence newly target-set of alumina screens for simultaneous measurement of beam halo of both vertical and horizontal direction was installed. These targets are positioned by two linear actuator actuators they are set in parallel in a vacuum port. Each target has an area of $100 \times 50 \text{ mm}^2$ and a thickness of 0.5 mm. They are arranged on the left, right, top and bottom of the beam in cross-sectional plane. They are open and close symmetrically with respect to the beam axis in both directions of the horizontal and vertical. These aperture sizes are covered in the range of 130 mm from 30 mm, both directions either.

Also the spatial distributions of transmittance of mainly part of optics were measured with a small light source. One was the large-diameter Offner relay optical system as focusing optics, which has a 300 mm diameter of the primary mirror. The other was the imaging screen with a size of $120 \times 120 \text{ mm}^2$.

This paper report on a new driving mechanism for halo targets and the transmittance characteristics of these optical system.

1. はじめに

J-PARC メインリング(MR) への入射ビーム(3Gev)の 2次元プロファイル計測のためのマルチスクリーンプロファイルモニターの開発を行ってきた[1-3].

これまでのマルチスクリーンプロファイルモニターでは、 1×10^{13} Proton/bunch のビームを、チタンスクリーンの OTR によりコアからのビームプロファイルを計測し、アルミナスクリーンの蛍光によりビームハローを計測することで、6桁までの2次元のプロファイルを計測できることを示した[1, 2]. それは、Fig.2 に示すような3連のスライド式ターゲットを用いて、ビームコア(チタンフォイル)とビームハロー(アルミナスクリーン)はターゲットを切り替えて測定したものであった. これをさらに発展させてビームコアとビームハローの同時計測を行うために4方向のアルミナスクリーンとチタンフォイルを同時にセットできるようにターゲットとその駆動装置の改良を行った(Fig.1). さらに、オフ

ラインにおいて測定光学系であるオフナー光学系の透過率分布の特性を測定した.

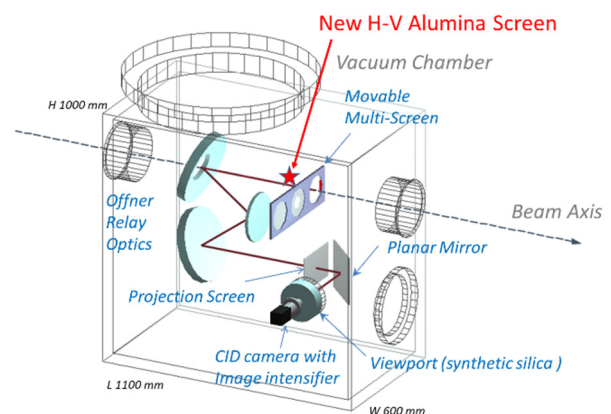


Figure 1: The solid view for the beam profile monitor using multi-screen with adding new H and V alumina screen as shown in Fig.5.

[#] z-omori@post.j-parc.jp.

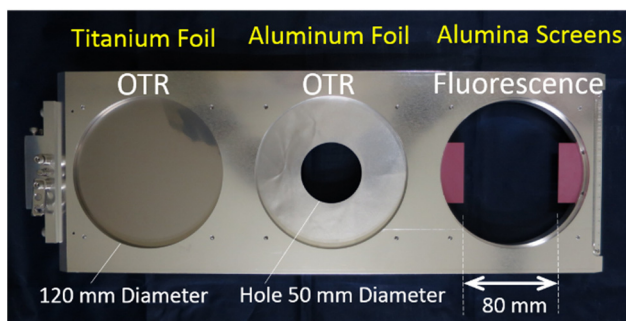


Figure 2: Three screens set on the automatic sliding stage.

2. 4方向アルミナターゲット

2.1 機械的特徴

Fig.3 に示すように 4 方向アルミナターゲットはチタンフォイルの前面に配置され、ビームコアからの OTR とビームハローからの蛍光を同時に計測することを目的とする。このターゲット装置の製作に当

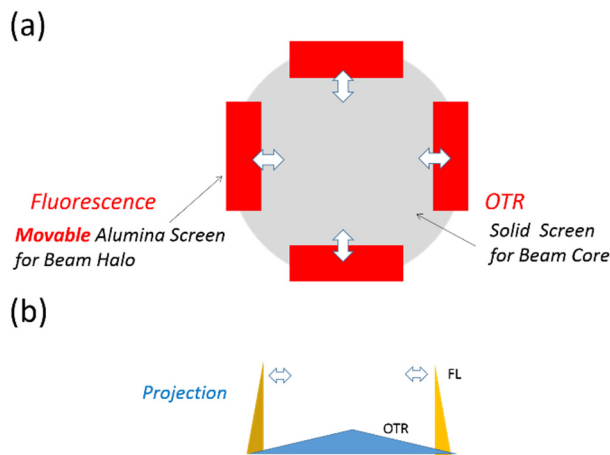
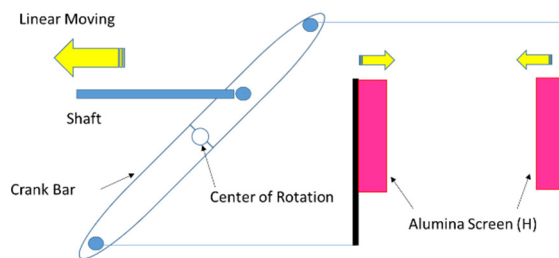


Figure 3: Conceptual view of simultaneous measurement with OTR for beam core and fluorescence for beam halo. (a) schematic layout of screens, (b) a layout of expected light projection.

たっては、次の 4 つの条件が付加された。(1) 既存の 3 連ターゲット(Fig.2) と共存させる、(2) チタンフォイル (3 連ターゲット) との距離は Offner 光学系の被写界深度である 15 mm 程度とする、(3) 駆動用の直線導入機は横(H)、縦(V)それぞれ独立して一つとし、水平横方向の真空ポート (3 連ターゲットの駆動装置と正反対) をこれに充てる。(4) ターゲットの開閉では、機械中心に対称に上下ペアの上と下ターゲットが連動して開閉される (または左右ペアの左と右ターゲット)。

(a) Horizontal



(b) Vertical

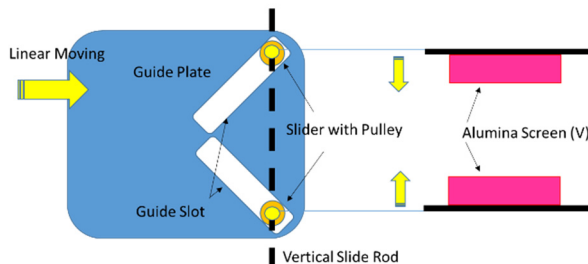


Figure 4: Mechanical method of operation for screen positioning.

条件の(3), (4)から, Fig.4 の駆動方式を考案した。直線導入動作は、既存の 3 連ターゲットの直線導入機と反対側の真空ポート (図の左手) から行わせることが必要であった。このため図に示すように、横方向の 2 軸(H, V)の直線動作により、H と V のターゲットを独立に駆動できるようにした。H の駆動では、水平方向の駆動力でクランクを回転させ、その回転を 2 つの逆向きの直線動作に変換する。V の駆動にはガイドプレートのガイド切欠にプリー付のスライダを動作させることにより、直線動作を垂直動作に変換している。

Fig.5 の写真はインストールした HV ターゲットとその駆動機構である。赤色の 4 枚のスクリーンがアルミナターゲットであり、その後方 15mm の位置に

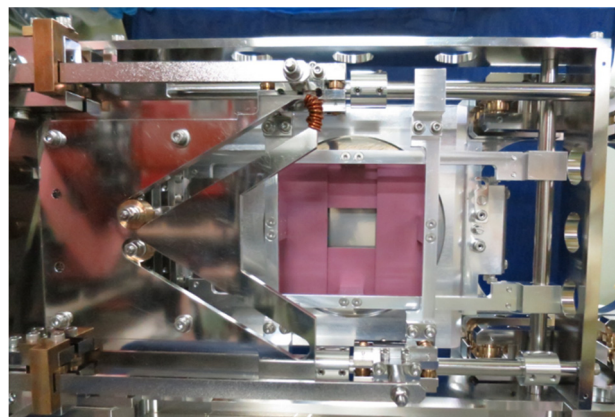


Figure 5: The installed H-V alumina screen and mechanics. The H and V alumina screens are set closed position. Behind them there is an existing titanium foil of the triple screen.

は 3 連ターゲットのチタンフォイルが配置されている。これらの動作機構における摺動部のすべてには、3 連ターゲットと同じリン青銅製のカムフォロワー [3] を使用した。H, V それぞれのターゲットの内側のエッジ間距離は、30~125mm を可変である。またその位置再現性は、200 μm 以下であった。

セットされた 4 つのアルミナスクリーン発光強度のばらつきはアルミナに含まれる Cr の量に依存すると考えられるため、4 枚のアルミナスクリーン (京セラ A486) は、同じロットで製作した 100 \times 100 \times 0.5t 2 枚を使用した。さらにこれらを YAG レーザーによりそれぞれ 2 分割したペアにし、それぞれ上下、左右に割り当てている。

2.2 代表的計測例

3 連ターゲットのチタンフォイルと 4 方向アルミナターゲットによりビームコアとハローの同時計測を行った [4]。測定したビームは、 1.5×10^{13} Proton/Bunch の大強度ビームである。計測に用いたイメージンシファイア (Fig.1, [1, 2]) のゲインはビームコアの OTR の光強度に合わせてあり、そのときに、計測器が飽和しない位置にアルミナエッジの位置を合わせた。計測例を Fig.6 に示す。図中の H 60 mm と V 54 mm は、H 及び V のアルミナスクリーンのエッジ間距離を示している、これは 4 桁以下のハローを計測できる位置である。計測は 5 ショットを平均したものである。図の下側と左側に

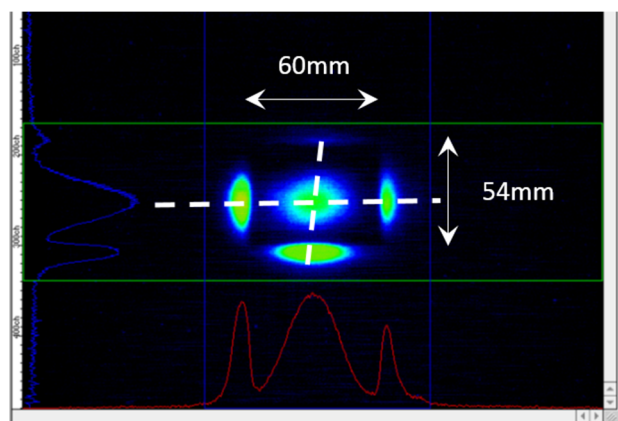


Figure 6: A measurement example using the H and V alumina screen with titanium foil. Beam core and beam halo which density was less than four orders than beam core's one were measured simultaneously.

は、図内の青と緑の直線で囲まれた矩形のエリア内の各画素の輝度データを射影した、それぞれ H と V のプロファイルカーブが示されている。これにより光量分布がわかる。ビーム中心はやや左及び下側に変位しているが、これはビーム軌道をこのように設定してあるためである。またビームのコアは水平・垂直方向ともに対称な分布であるが、左右のハローは上下方向に非対称であり、上下のハローは左右方向に非対称である。その様子はハローの分布の中心を通る破線で示した。この非対称な理由はビーム光

学系を担当するグループメンバーにより現在、解析中である。このように 2 次元の高感度プロファイル計測では、ビームの非対称性や回転、またそのときの強度分布を含む情報を提供することができるようになった。

3. Offner 光学系の透過率分布測定

3GeV 陽子ビームからの OTR は、 ± 13.5 度の大きな角度広がりをもつ。この光を集光するために大口径のオフアクシス光学系である Offner 光学系が採用された [1-3]。真空内に収められている Offner 光学系 (Fig.1) の製作写真とその光学寸法図面を Fig.7 に示す。Offner 光学系は 3 つの球面ミラーで構成されており、Fig.6 に示すように同心の R500 と R250 の位置にそれぞれ凹面鏡と凸面鏡を配置してある。

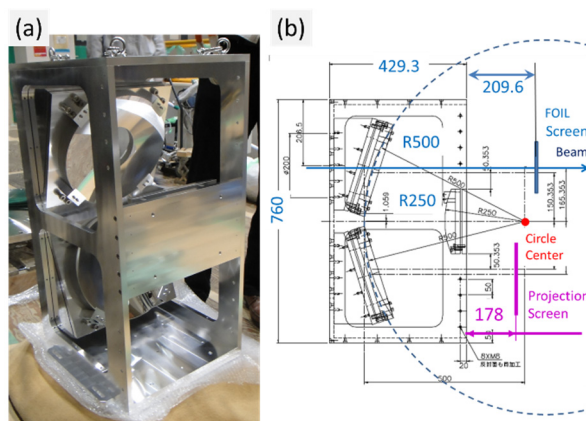


Figure 7: The Offner relay optical system. (a) All components were mounted a housing made of aluminum. The upper convex mirror has a beam hole which diameter of 120 mm. (b) The geometry between the beam screen and the projection screen.

透過率分布の測定はオフラインで予備器を用いて行った。測定は Fig.8 に示すようにターゲット位置にピンホール光源を水平(H)・垂直(V)ステージに載せて移動させて、下側のプロジェクションスクリーンに結像するスポットの光量を 140 x 130 を測定することで行った。光量は γ 値が 1 の CCD カメラを用いて、その信号を AD 変換して求めた。測定結果を Fig.9 に示す。中央部の水平の 12cm の領域では、30%以下のばらつきでほぼ平坦な分布を示しているが、垂直方向の中央部の 5cm の外側では、一様に透過率が減少していることが分かった。

この理由を考察してみると次のようになると思われる。まず Offner 光学システムは同心球面の光学系であるがこれを Fig.1, 7 に示すようにオフアクシスの光学系として使用している。ここで、外側の凹面ミラーの曲率半径を 500 mm に選び、内側の凸面ミラーの曲率半径を 250 mm にしている。このときオフアクシスの幾何学的条件から内側の凸面鏡は球心から 250 mm の位置にセットすることができず (結像しない) 少しずれた 263 mm の位置になる。

これまでこのことは調整範囲内と考えてきたが、実際はこのとき凸面鏡と凹面鏡の表面は平行ではない。このため光軸中心での焦点距離と垂直方向に離れた位置での焦点距離に差異が生じるため光軸から離れた領域の光透過率が減少してしまう現象となって表れると考えられる。このことは、逆に凸面鏡を現在の球心からの距離 263mm から曲率半径と同じ 250 mm の位置に移動させると、光軸中心では焦点が合わずに、垂直方向に離れた領域がフォーカスされることになって表れてくる。この Offner システムは、F ナンバーが約 0.7 であり焦点深度が浅いためこのようなズレが顕著に表れるためとも言える。

この対策として球心から 263mm の位置に内側凸面鏡をセットするには、曲率半径が 263 mm の球面をもつ鏡にすれば、透過率の高い範囲を垂直方向に広げることができると予想される。

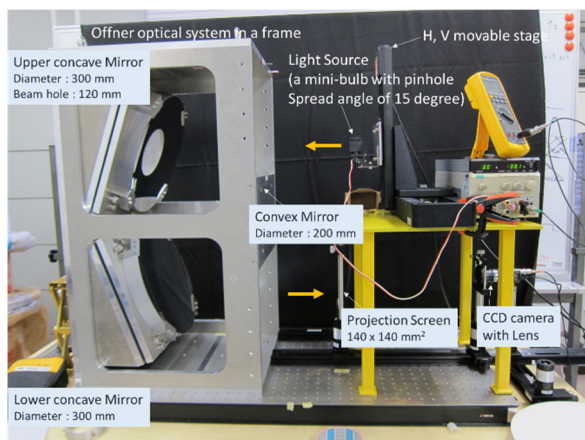


Figure 8: A setup for light transmission measurement for the Offner system using pinhole light source.

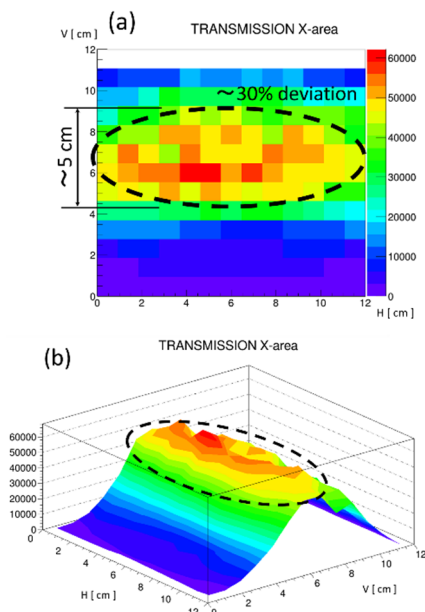


Figure 9: A light transmission distribution of the Offner system. (a) 2D contour plot and (b) 3D's.

4. まとめ

4 方向のアルミナスクリーンをその駆動機構とともにインストールすることにより、OTR によるビームコアとこれらのアルミナスクリーンからの蛍光によるビームハローの測定が同時に行えるようになった。また、垂直方向のビームハローの計測を行えるようになった。Offner システムの光透過率分布の計測を行い、12cm(H)-5cm(V)の領域では、30%以下の光量差で測定できることを示した。この外側の垂直方向の領域では、透過率が大きく下がるのが分かった。これは、凹面鏡と凸面鏡が平行でない、すなわち同心球面でないことがその理由であると考察した。この点は、今後より詳細な計測と解析を行い、改善すべき課題となった。

参考文献

- [1] M. Tejima, Y. Hashimoto, et al., A Two-Dimensional Beam Profile Monitor Having High Dynamic Range by Using Multi-Screen, Proc. 10 th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2013 (in Japanese).
- [2] Y. Hashimoto, et al., A Development of High Sensitive Beam Profile Monitor Using Multi-Screen, Proc. IBIC2013, 338-341.
- [3] M. Tejima, et al., "Fabrication Summary on the Equipment of an OTR Beam Profile Monitor for the J-PARC 3-50BT", Proc. 10 th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2013 (in Japanese).
- [4] Y. Hashimoto, et al., A Two-dimensional Beam Profile Monitor with High Dynamic-Range using Multi-Screen for Intense Proton Beams, in these proceedings.