

HIBMCにおける遅い取り出しビームの横方向ビームプロファイル測定 TRANSVERSE BEAM PROFILE MEASUREMENT FOR SLOW EXTRACTED BEAM IN HIBMC

栗山靖敏^{*A)}、石禎浩^{A)}、上杉智教^{A)}、不破康裕^{A)}、
須賀大作^{B)}、赤城卓^{B)}、清水勝一^{B)}、原田秀一^{B)}、沖本智昭^{B)}

Yasutoshi Kuriyama^{*A)}, Yoshihiro Ishi^{A)}, Tomonori Uesugi^{A)}, Yasuhiro Fuwa^{A)}
Daisaku Suga^{B)}, Takashi Akagi^{B)}, Masakazu Shimizu^{B)}, Shuichi Harada^{B)}, Tomoaki Okimoto^{B)}

^{A)}Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)

^{B)}Hyogo Ion Beam Medical Center (HIBMC)

Abstract

At Hyogo Ion Beam Medical Center (HIBMC), Proton (or Carbon) beam from a medical synchrotron has been used for the purpose of the cancer therapy treatment. The beam accelerated in the synchrotron has been extracted slowly and transport to the treatment room. To improve the beam utilization efficiency, new scheme for the irradiation is under development at HIBMC. To develop and optimize this new scheme, transverse beam profile measurement for the slow-extraction beam was done. In this report, the detail about transverse beam profile measurement is described.

1. 背景

兵庫県立粒子線医療センター(以下、HIBMCと略)は、2001年世界初の陽子線治療と炭素イオン線治療の両方が行える施設として開院し、以来7,000例を超える患者さんを治療してきた [1]。HIBMCではシンクロトロンで生成された陽子線または炭素線を照射室まで輸送して治療に利用している。表1に、HIBMCに設置されている加速器の概要を示す。

Table 1: HIBMC Accelerator Specifications

Ion Source	ECR Ion Source × 2
Injector	RFQ (1 MeV/u) Alvarez DTL (5 MeV/u)
Main Ring	Synchrotron
Energy	320 MeV/u (Carbon) 230 MeV (Proton)

HIBMCには、治療照射室が5室あり、陽子線専用のガントリ照射室が2室と陽子線及び炭素線を使用できる固定照射ポート照射室が3室ある [2]。図1にHIBMCのレイアウト概略図を示す。

これまでの治療では、横方向の照射野確保のため、ブロードビーム照射法と呼ばれる細い粒子線ビームをワブラ電磁石等で一樣に拡げた後に、患部形状に合わせてコリメーター等でカットする手法が使用されてきた。ブロードビーム照射法でのビーム利用効率は、大凡20~40%程度であり、生成ビームの半数は治療に使用されない。そのため、ビーム利用効率の向上、照射時間の短縮化、患者被曝の低減を目的として、HIBMCではスキニング照射法の導入を目指した開発研究が実施されている。

スキニング照射法では、ビームを拡げない、ペンシルビームの状態で使用し、目標とする照射野を点で

*kuriyama@rri.kyoto-u.ac.jp

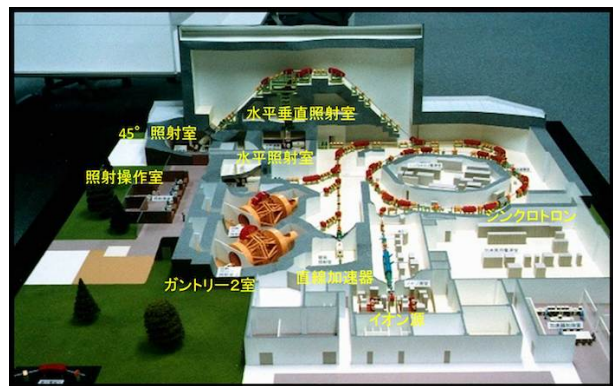


Figure 1: HIBMC Layout.

塗りつぶすことを行う。ブロードビーム照射法と比較して、ピンポイントでビームが照射されるため、安全性の要求が厳しく、装置の照射精度が要求される。

2. 測定概要

ビーム照射位置の安定性を測定するために、2017年2月に固定照射ポートが設置されている開発照射室のアイソセンターにおいて遅い取り出しで取り出されたビームを時間でスライスしたプロファイル撮影を行った。

横方向のビームプロファイル画像の取得には、X線増感紙をスクリーンとし、蛍光を撮影するために外部トリガー同期対応のCCDカメラ撮影システムを使用した。表2に測定に使用した機材の詳細について、また図2に実験セットアップを撮影したものを示す。

図2において、シンクロトロンより取り出されたビームは紙面裏側から表側に向かって入射され、カメラスタンドを利用して設置されたX線増感紙にビームがヒットすることで蛍光を得る。図2で手前左側に見える一眼レフカメラは、蛍光の様子を観測することを目的に設置されたもので、一眼レフカメラの奥右側に見えるカメラがプロファイル測定に使用したCIS製のCCDカ

Table 2: Equipments for the Profile Measurement

Screen	FUJIFILM X-ray Intensifying Screen
Camera	CIS VCC-GC20U11CL
Frame Grabber	AVAL DATA APX-3318
Trigger Generator	NF Corporation WF1974

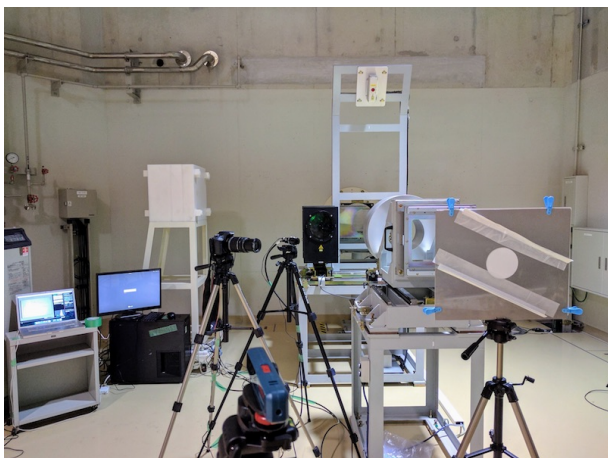


Figure 2: Measurement setup.

メラである。

スキャンニング照射を想定した運転パラメーターにセットされたシンクロトロンは繰り返し周期 2 秒で運転され、遅い取り出しを使用することで、ビームは約 1 秒に渡り照射室に輸送される。表 3 に今回のプロフィール測定で使用した加速器の運転パラメーターについて示す。

Table 3: Machine Parameters for the Profile Measurement

Repetition	0.5 Hz
Extraction	Slow Extraction
Extraction Length	~ 1 sec
Particle	Carbon 320 MeV/u
Measurement Point	Isocenter

測定では、ビームの照射位置の時間方向の安定性を測定するために、加速器のマスタートリガーに対して、50 ms 間隔のスレーブトリガー 38 個を生成し、このスレーブトリガーをカメラの撮影タイミングとして使用した。図 3 にマスタートリガーとスレーブトリガー並びに偏向電磁石の励磁場ターンの時間関係性についてオシロスコープで測定したものを示す。

図 3 において、CH1 が偏向電磁石の励磁場パターン、CH2 がカメラのトリガーとして使用した 38 個のスレーブトリガー、CH3 が 2 秒周期のマスタートリガーである。偏向電磁石のフラットトップのタイミングでビームはシンクロトロンより約 1 秒に渡って取り出される。

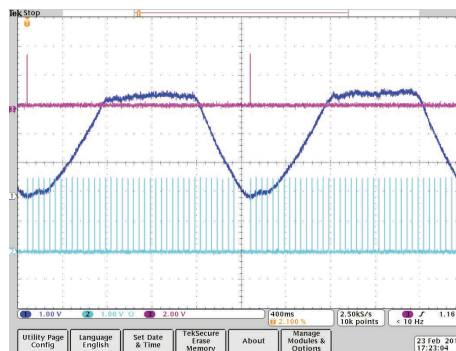


Figure 3: Camera trigger timing.

3. ビーム位置精度の評価

図 4 に得られたプロフィール画像より構築した 2 次元ビームプロフィールの 1 例を示す。

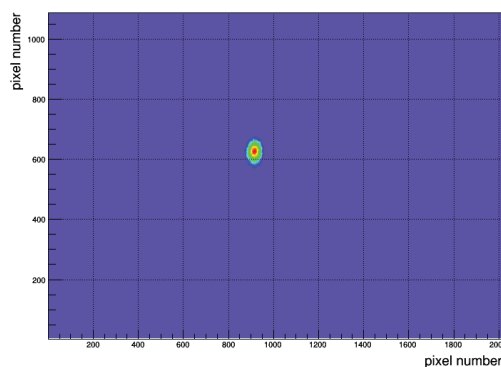


Figure 4: 2-dimension beam profile.

取得したビームプロフィールより水平・垂直それぞれのプロジェクションプロットを作成し、ビーム中心の算出を行った。図 5, 6 に水平・垂直方向のプロジェクションプロットの 1 例を示す。

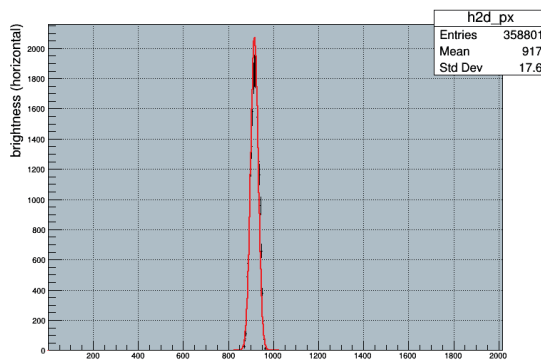


Figure 5: Horizontal projection.

測定では 50 ms 間隔の撮影を実施し、7,200 枚の画像を取得した。ビーム OFF での撮影画像を除いた 2,234 枚の撮影画像について、ビーム中心を求めヒストグラ

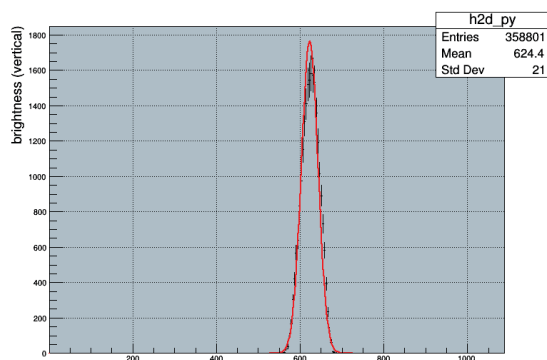


Figure 6: Vertical projection.

ムを作成した。図 7, 8 に、水平・垂直のビーム中心位置のヒストグラムを示す。

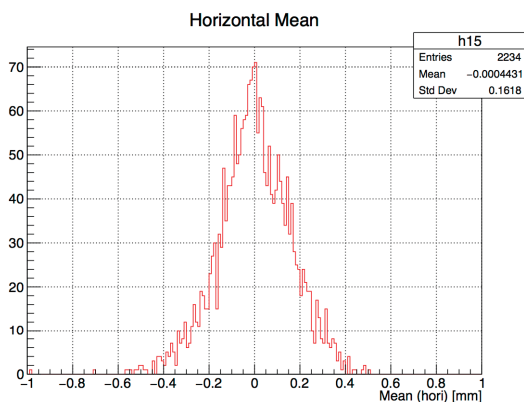


Figure 7: Distribution of the beam center in horizontal direction.

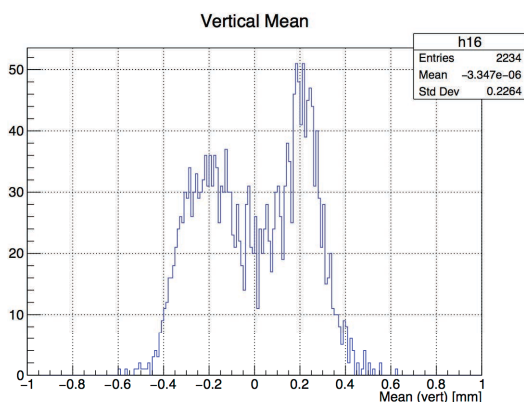


Figure 8: Distribution of the beam center in vertical direction.

図 7 より水平方向と垂直方向のビーム中心の全幅はともに $\pm 0.5 \text{ mm}$ であり、スキャンニング照射を実施する場合に一般的に求められるビーム位置精度 $\pm 0.3 \text{ mm}$ (全幅) と比較して大きく、要求水準を満たしていない。

ビーム強度の時間変化のプロットに、ビーム中心のプロットを重ねたものを図 9 に示す。

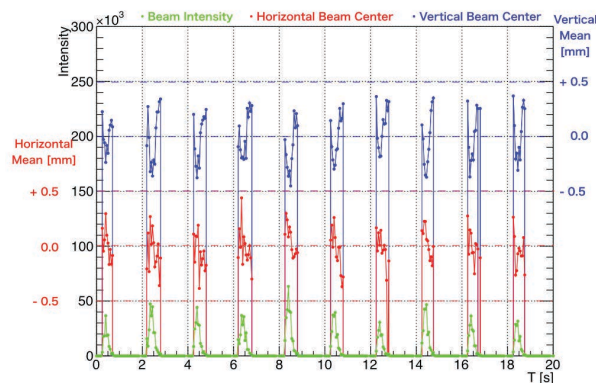


Figure 9: Beam center position (intensity) vs time.

図 9 より分かるように、ビーム強度とビーム中心はともに時間に対して相関を持っており、各ビームスピンとも類似の動きを示している。

4. まとめ

HIBMC では、ビーム利用の高度化を目指して、スキャンニング照射のための開発研究が行われている。スキャンニング照射では高いビーム位置精度 (全幅 $\pm 0.3 \text{ mm}$) が要求されるため、スキャンニング照射を目指して開発されているビームについて、そのビーム位置精度が要求精度を満たしているか判断するための横方向ビームプロファイルの測定を実施した。その結果、現段階においては、ビーム位置は $\pm 0.5 \text{ mm}$ 程度の幅を持っており、改善が必要であることが判明した。今後はプロファイル測定を通じ、さらにビーム位置精度を高めるための研究開発を推進していく。

参考文献

- [1] <http://www.hibmc.shingu.hyogo.jp/>
- [2] H. Harada, "2012 年高エネルギー加速器セミナー OHO 受講用テキスト", 加速器医療応用 1 重イオンビーム 1; <http://accwww2.kek.jp/oho/oho12/text.html>