

ハドロンシンクロトロン内動的バンプ形成による遅い取り出し時ビーム位置制御

EXTRACTED BEAM CONTROL BY DYNAMIC BUMP IN SYNCHROTRON

鳥飼幸太^{A)}, 山田聡^{A)}, 金井達明^{A)}, 想田光^{A)}, 遊佐顕^{A)}, 田代睦^{A)}, 久保田佳樹^{A)}, 松村彰彦^{A)}, 島田博文^{A)}, 竹下英里^{B)}

Kota Torikai^{A)}, Satoru Yamada^{A)}, Tatsuaki Kanai^{A)}, Hikaru Sohda^{A)}, Ken Yusa^{A)}, Mutsumi Tashiro^{A)}, Yoshiaki Kubota^{A)}, Akihiko Matsumura^{A)}, Hirofumi Shimada^{A)}, Eri Takeshita^{B)}

^{A)} Gunma University Heavy ion Medical Research Center (GHMC)

^{B)} Kanagawa Cancer Center Hospital (KCCH)

Abstract

A movement of a beam axis during beam extraction occurs due to a slow extraction method by beam acceleration. A 3rd resonance extraction method is applied in Gunma University Heavy ion Medical Center (GHMC). Dynamic beam axis control during the extraction is tested. The axis fluctuation is classified into a 1) position deviation, 2) angle deviation, and 3) momentum deviation and calculated by position data from three beam position monitors. The trial shows that the

1. 概要

群馬大学・重粒子線医学センター[1]に設置されたハドロンシンクロトロンは粒子線治療で利用され、遅い取り出し法が用いられる。電磁石の磁気飽和、シンクロトロン内アライメントエラー、出射時ビームエネルギー変化等により、取り出し開始から終了までの間に射出ビーム軸が変動する。ビーム軸変動は治療における照射野均一性を悪化させるため、これを抑制することが望ましい。そこで、シンクロトロン運転パターンにビーム軸変動を抑制する、時間的に変動するバンプ軌道を発生させることによる軸変動の抑制を試みた。方法として、射出セプタム電磁石位置に射出位置、射出角の変化をもたらすバンプ軌道をシンクロトロン内ステアリング電磁石を用いて生成する手法を採用した。本手法により、群馬大学重粒子線シンクロトロンにおいて、ビーム軸の時間的変動は±0.6mm 程度まで抑制された。本手法によって重畳されるバンプ軌道はビーム非射出時にも発生しているが、重畳によるビーム漏れは観測されなかった。本手法では取り出しビームラインにおけるアライメントエラーが動的補正量誤差を発生させる要因となっているため、アライメントエラーを取り込む手法についても検討を行う。

2. ビーム軸変動の計算法

シンクロトロン内では 1)射出位置、2)射出角度、3)運動量変化に伴いビーム位置が変動する。そこでシンクロトロン内射出セプタム電磁石位置で、位置変動(x)、角度変動(x')、運動量変動($\Delta p/p$)を生じた場合のビームモニタ位置での観測量を計算し、3 台のビーム位置モニタの結果から連立方程式を解くことによって各変動量の大きさを推定することとした。Table1 に試験時のシンクロトロンパラメータについ

て示す。

Table 1: Accelerator Settings

Beam energy	380MeV/u
Cycle	2.7sec
Acceleration time	0.7sec
Beam intensity	1.0 x 10 ⁹ pps
Extraction time	1.0sec

Figure 1 に試験対象としたビームライン図および測定モニタ位置を示す。

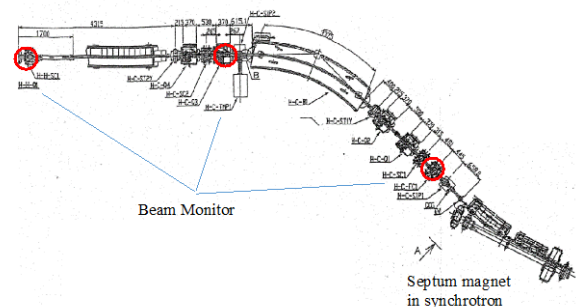


Figure 1: Schematic diagram of extraction beam line in GHMC.

Figure 2 にセプタム電磁石から水平ビーム治療室 (BHC)アイソセンタまでの、射出位置変動、射出角変動、運動量変動によるビーム軌道変化を示す。

1 秒間の取り出し時間におけるビーム位置変動は射出後のビームラインに設置された 3 台のスクリーンモニタを用いて CCD カメラで撮像された。CCD カメラは秒間 30 フレームで Figure 3 の例に示されるスクリーンを画像化し、ビーム重心を輝度分布の高

い領域から計算し実効的なビーム軌跡とした。ビームモニタ位置での変動と変動要素との関係は

$$u_{H-CL-SC1,x} = 0.843x + 4.15x' - 0.959 \frac{\Delta p}{p} \quad 1)$$

$$u_{H-CL-SC2,x} = 0.327x + 8.22x' - 0.664 \frac{\Delta p}{p} \quad 2)$$

$$u_{H-H-SC1,x} = -0.614x + 0.75x' + 3.67 \frac{\Delta p}{p} \quad 3)$$

として与えられる。

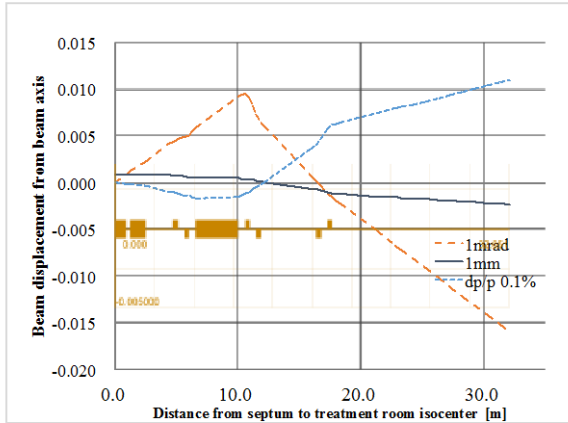


Figure 2: Displacement from septum magnet to treatment room isocenter (horizontal beam course) due to position fluctuation, beam axis fluctuation, and momentum deviation of the beam.

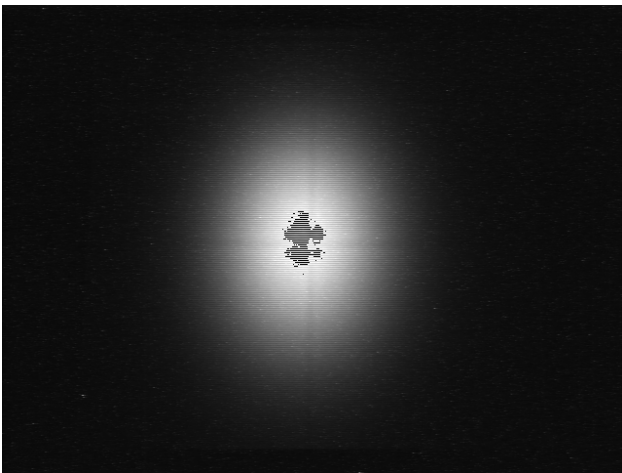


Figure 3: Example of output picture from beam position monitor.

3. ビーム軸変動の OPF 取り込み

計算された変動量のうち、補正が可能な量である出射位置変動ならびに出射角変動について、シンクロトロン内にステアリング電磁石でバンブ軌道を生じ、シンクロトロン内軌道補正に用いられている電流パターンに補正量を足し合わせた OPF ファイルを作成した。

4. 実験結果

補正前後のビーム軌道測定結果を Figure 4 ならびに Figure 5 に示す。補正前は±3.8mm あったビーム動きは補正により±0.5mm まで減少した。

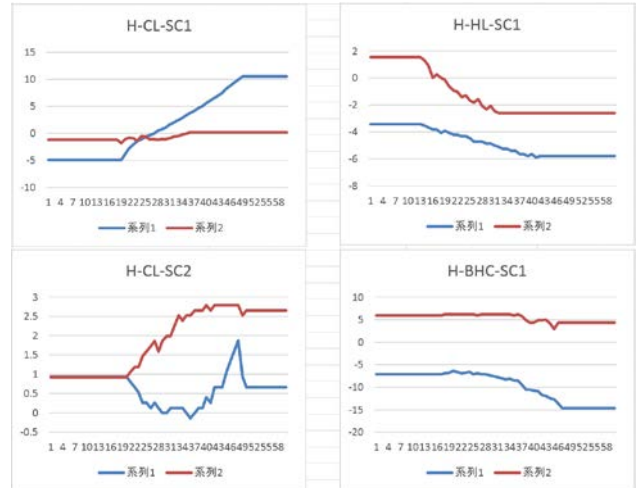


Figure 4: Calculated beam orbit before beam orbit correction.

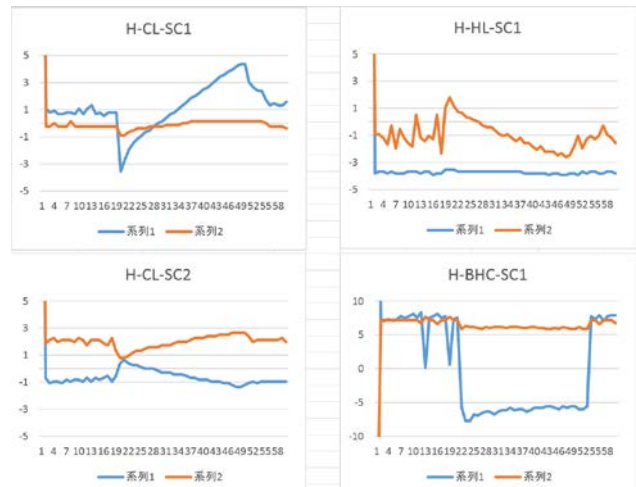


Figure 4: Calculated beam orbit after beam orbit correction.

4. まとめ

今後は本補正法に加え、ビームライン上の電磁石アライメントエラーを含めた補正を行う予定である。

参考文献

- [1] 想田光、山田聰他、本 Proceedings、SSFP19.