

九州国際重粒子線がん治療センターの現状

PRESENT STATUS OF SAGA-HIMAT

金澤光隆^{#,A)}, 遠藤真広^{B)}, 溝田学^{A)}, 日向猛^{A)}, 綱島義一^{A)}, 佐藤弘史^{A)}, 大音龍太郎^{A)}, 工藤祥^{A)},
塩山善之^{A)}, 北村信^{A)}, 十時忠秀^{A)}, 中川原章^{A)}

Mitsutaka Kanazawa^{#,A)}, Masahiro Endo^{B)}, Manabu Mizota^{A)}, Takeshi Himukai^{A)}, Yoshikazu Tsunashima^{A)},
Hiroshi Sato^{A)}, Ryutarō Ooto^{A)}, Sho Kudo^{A)}, Yoshiyuki Shioyama^{A)}, Makoto Kitamura^{A)}, Tadahide Totoki^{A)},
and Akira Nakagawara^{A)}

A) Ion Beam Therapy Center, SAGA-HIMAT Foundation

B) National Institute of Radiological Sciences

Abstract

SAGA-HIMAT is a cancer therapy project with carbon ion beam, which is promoted by Saga prefecture with public private partnership. After beam commissioning, we have started the treatment at the end of August 2013. Since then we have gradually increased patient number, and accumulated patient number was 858 before maintenance period at middle of July 2015. For the treatment, two rooms are now available (room A and room B). To increase capacity of the HIMAT facility, we have started the construction of the third treatment room C with a scanning system.

1. はじめに

九州国際重粒子線がん治療センター (SAGA HIMAT) [1,2,3]では、2013年8月末に治療がスタートして以来、順調に患者治療を行うことができていて、2015年7月下旬の集中メンテナンスまでに事業計画で想定した以上の858名の患者治療を行う事ができている。運転に関しても順調で、小さなトラブルはあるが、その日に予定した治療を中止せざるを得ないトラブルはこれまでに午前に治療をキャンセルした1回と建屋施設のUPSに起因すると考えられるトラブルで1日治療をキャンセルした合計1.5日にとどまっている。これまでは2室のみでの運用であったが、治療可能患者をさらに引き上げるべく、現在、スキャニング照射法を実現する3室目の整備を行っている。この計画は2013年の終わりから検討していたが、2014年度になって正式に計画をスタートさせた。本報告ではSAGA HIMAT 運転の現状について述べるだけでなく、3室目の整備の進捗状況についても述べる。

2. 治療患者数の現状

治療は2013年8月27日に前立腺で開始して以来、12月には頭頸部・骨軟部腫瘍、2014年3月には肺、肝臓などの呼吸性移動を伴う腫瘍の治療を開始した。又、4月からは2室目の利用を開始した。Figure 1に月ごとの患者数を示すが、この間治療患者数は順調に増加している。2014年度の治療患者数は554名に上り、施設の立ち上げは順調に進んでいる。Figure 2には2015年6月までの九州及び山口県の県別患者数を示すが、福岡県が一番多く、それに佐賀県、長崎

県、熊本県と続く。人口当たりの患者数では佐賀県がトップで次が福岡県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、山口県、鹿児島県の順になっていて、距離的に近い所から多く患者が来院している事がわかる。

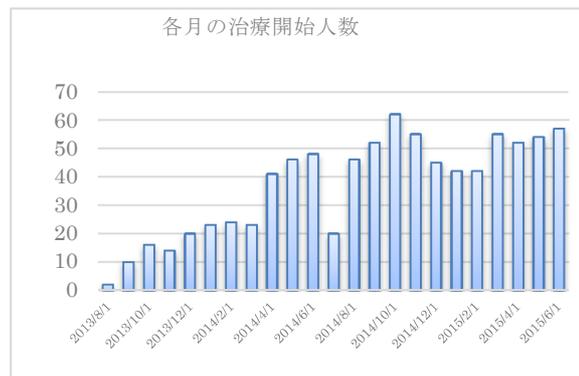


Figure 1: Monthly patient number.

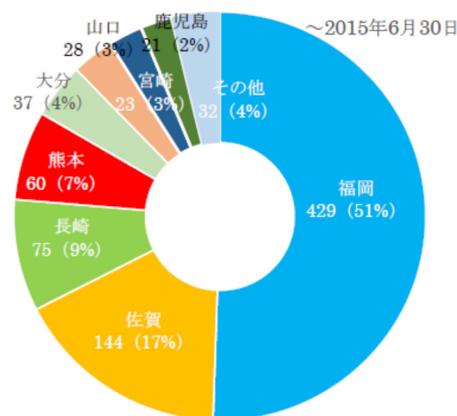


Figure 2: Patient numbers of prefectures in Kyushu and Yamaguchi area.

[#] kanazawa-mitsu@saga-himat.jp

3. 加速器の運転状況及び課題

年間の加速器の運転に関しては7月末に2週間のメンテナンス期間（製造メーカーによる）を設けている。通常の一週間のスケジュールは月曜日にメンテナンス等を行い、治療運転は火曜日から金曜日を使い行っている。治療を行う日は6時半から加速器を立ち上げて、8時45分から治療を開始、治療後はQA測定のための運転を22時頃まで行い、その日の運転を終了している。土曜、日曜はQA測定、R&D及びメーカーによるメンテナンスを必要に応じて行っている。このような運転をした結果の2014年度の使用電力量をFigure 3に示す。7月の使用電力量が少なくなっているのはメンテナンスが入っているからであるが、それ以外に4月が少ないのは治療照射と次の治療照射の間にシンクロトロンのフラットベース運転を行って、使用電力を抑えた結果である。



Figure 3: Monthly consumed electric power at the SAGA-HIMAT facility in the 2014 financial year.

3.1 イオン源

イオン源は設計で必要とされているビームのピーク強度 $200\mu\text{A}$ は得られているが、長期間運転しているとFigure 4に示すように2ヶ月程度でベース電流の上昇スピードが大きくなり、現状では4ヶ月から5ヶ月程度で 10mA 近くまで上昇してきた時点で、引出電極とセラミックスを交換している。同じ設計の群馬大学のイオン源ではこのような事は起きていないため、現在出来るだけ群馬大学と同じパラメータ（マイクロ波の時間幅、ピークビーム強度、等）での運転にしてみたが、依然として問題は解決していない。この、引出電極とセラミックスを交換は土曜と日曜の2日間で行う必要があり、交換後のビーム運転で最初必ずしも十分な強度が得られない場合があり、ぜひこの回数を減らす必要がある。そのため、今年のメンテナンスでは磁場測定を行った、その結果、磁場に関しては群馬のものと同じと変わり無い事を確認できた。そこで現在は引き出し電極部分の真空度を改善する事を検討している。

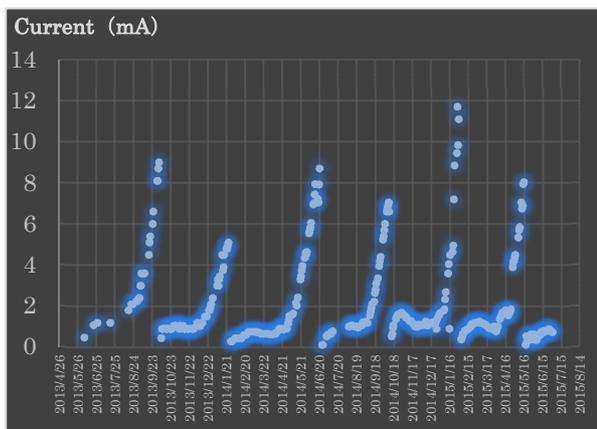


Figure 4: Base current in a power supply of extraction voltage.

3.2 線形加速器

線形加速器に関しては運転を開始してから2年以上が経過した現在、以前よく起こっていたRFQの連続放電が起こらない期間が長くなるようになってきている。連続放電の頻度の上昇してきた場合には月曜のメンテナンスの時間にエージングを行う事で対応している。IHについても真空の悪化を伴って加速電圧が不安定になる様な現象が多発していたが、これもエージングを行う事で落ち着いてきている。

3.3 シンクロトロン

シンクロトロンの運転周期はメーカーから引渡しを受けた段階では呼吸同期用と非呼吸同期用で同じ周期（約3秒）で運転していたが、ビームを取り出せるフラットトップは1秒でビーム照射できる呼吸ゲートと合っている時間が短く、呼吸同期照射する場合、照射時間が非常に長くなるケースがあった。そこで、できるだけ呼吸ゲートとビームを取り出せるフラットトップが合っている時間を長くするために、4秒周期の運転パターンを作成した。290MeV/u 運転では周期とフラットトップの時間をそれぞれ2.8秒、1.0秒から4.0秒、2.4秒へ、400MeV/u 運転ではそれぞれ3.1秒、1.0秒から4.0秒、2.3秒へ変更した運転パターンになっている。このように呼吸同期照射と非呼吸同期照射で違ったシンクロトロンの運転ファイルを使う場合でも、高エネルギー輸送系のパラメータは同じものを使う事ができている。

3.4 高エネルギー輸送系

シンクロトロンから各治療室までの輸送系をFigure 5に示すが、3室とも水平ビームラインと垂直又は45度ラインの2つのビームラインがアイソセンターで交差するようになっている。シンクロトロンから取り出されたビームは各ビームラインに分岐する前の共通な所でダブルアクロマティックにしている。又、各治療室のアイソセンターでもダブルアクロマティックになるようなオプティクスにしてあ

る。治療照射を行う直前にはアイソセンターの上流約 9m の所に設置したストリップライン型モニターでビーム位置と幅を確認してから実際の治療照射を行っている。

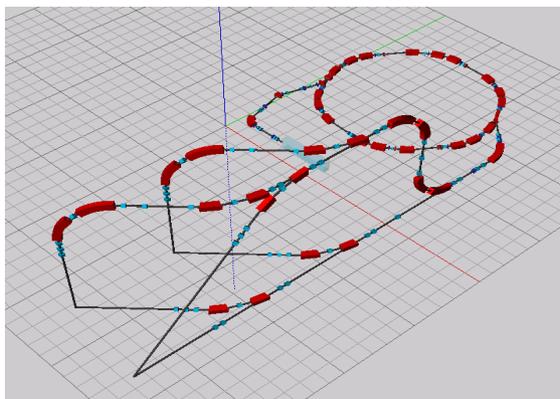


Figure 5: Beam lines in the SAGA-HIMAT facility.

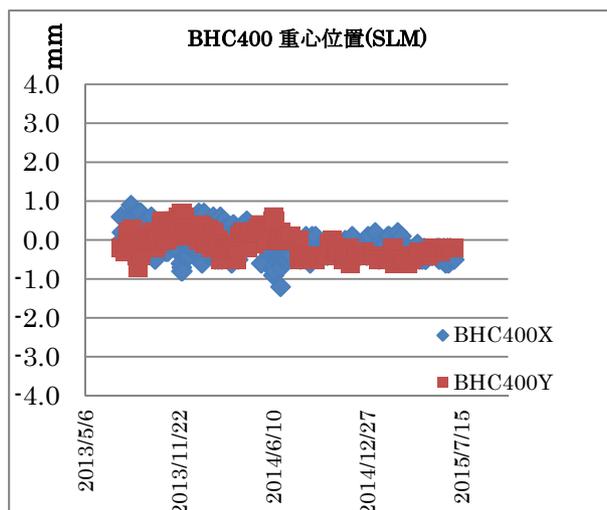


Figure 6: Trend of the beam center at the strip line monitor in the horizontal beam line for the room B.

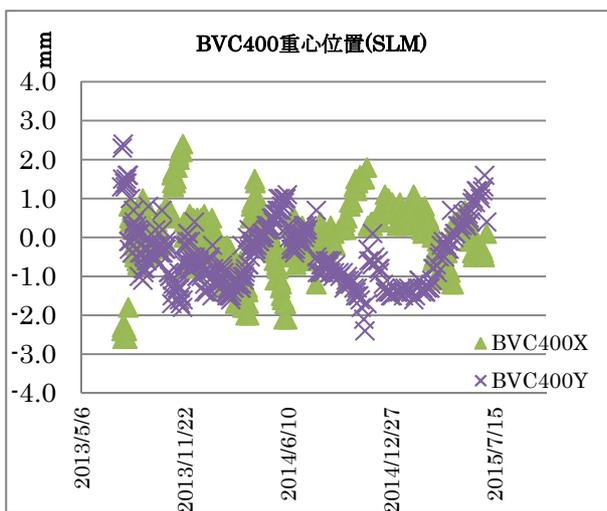


Figure 7: Trend of the beam center at the strip line monitor in the vertical beam line for the room B.

B 治療室の水平及び垂直ビームラインの朝立ち上げ時に測定したストリップラインモニターでのビーム中心の値を、400MeV/u のエネルギーの場合についてそれぞれ Figure 6 及び Figure 7 に示す。図を見てわかるように水平コースの場合は一年を通して比較的变化が小さく、これまでビーム軸の調整をしないで済んでいる。それに対して Figure 7 に示すように垂直コースの場合は許容値の判断に使っている $\pm 2\text{mm}$ を超えてずれてきて数ヶ月毎にビーム軸の調整をしており、最近もこの調整の頻度は初期運転開始時と同程度である。

又、実際の運転ではエネルギーの低い 290MeV/u の運転が続く事があるが、それを模擬して 400MeV/u の運転のあと 290MeV/u 運転に切り替えてストリップラインモニターの所でのビーム軸の変化を測定した結果を Figure 8 に示す。この変化は特に BHC コースで顕著で、1 時間で 2mm 変化しており、軸ズレの許容値の上限になっており、毎照射ごと初期化運転をするなど、対策が必要になっている。

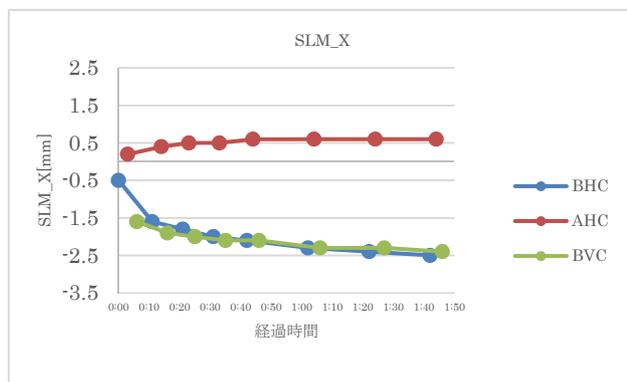


Figure 8: Beam center drift at the strip line monitor after energy change from 400MeV/u to 290MeV/u in the synchrotron.

4. スキャンニング照射室整備

スキャンニング照射を 2017 年春に実現するべく、現在第 3 室目の整備を進めている。第 3 室目(C 室)へのビーム輸送ラインに関しては、偏向電磁石とその真空ダクトは SAGA-HIMAT 建設当初にすでに設置済みであったので、今回はそれ以外の比較的小さな機器(四極電磁石、ステアリング電磁石、モニター、真空ダクト等)を設置すれば良くなっていて、現在 Figure 9 に示すように電磁石類の設置は終了している。又、治療室内は遮蔽鉄板の取り付けを含む建屋工事がほぼ終了しており、ビームラインの照射系機器の設置を今年の 9 月中までに完了させる予定である。10 月にはビーム試験を開始する予定であり、2016 年度中の完成を目標にスキャンニングシステムを立ち上げる予定である。ただしこのためのビーム試験は治療照射及び QA 測定が終了した夜間及び土日にしか行うことができないという条件の下に行わざるを得ず、立ち上げスケジュールを決める要因になっている。



Figure 9: Installed magnets in the horizontal beam line for the room C.

謝辞

加速器の様々な問題に関して相談にのっていただいている放医研・物理工学部及び群馬大学・重粒子線医学研究センターの方々に感謝いたします。建屋設備の運転に関しては九州重粒子線施設管理株式会社に依っています。C室整備に関しては築島千尋プロジェクトマネージャーを先頭に三菱電機（株）に依っています。又、日々の運転、運転データの取得に関しては加速器エンジニアリング（株）の宇野隆之、大江修司、山口浩司、尾島総、佐藤惣二郎、緒方里咲の各氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 九州国際重粒子線がん治療センター、事業計画 Ver.2.0, Jan, 29, 2010.
- [2] M.Endo, et al., SAGA-HIMAT (Heavy Ion Medical in Tosu), PTCOG49, May 2010.
- [3] M.Kanazawa, et al., Beam Test of SAGA-HIMAT, 加速器学会 2013.