

## SAGA-HIMAT 立ち上げの現状とスキャニング照射室整備

### PRESENT STATUS OF SAGA-HIMAT AND CONSTRUCTION OF A SCANNING IRRADIATION SYSTEM

金澤光隆<sup>#,A)</sup>, 遠藤真広<sup>A)</sup>, 日向猛<sup>A)</sup>, 綱島義一<sup>A)</sup>, 佐藤弘史<sup>A)</sup>, 大音龍太郎<sup>A)</sup>, 新開英秀<sup>A)</sup>, 工藤祥<sup>A)</sup>, 塩山善之<sup>A)</sup>, 北村信<sup>A)</sup>, 十時忠秀<sup>A)</sup>

Mitsutaka Kanazawa<sup>#,A)</sup>, Masahiro Endo<sup>A)</sup>, Takeshi Himukai<sup>A)</sup>, Yoshikazu Tsunashima<sup>A)</sup>, Hiroshi Sato<sup>A)</sup>, Eishu Shinkai, Sho Kudo<sup>A)</sup>, Yoshiyuki Shioyama<sup>A)</sup>, Makoto Kitamura<sup>A)</sup>, and Tadahide Totoki<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Ion Beam Therapy Center, SAGA-HIMAT Foundation

#### 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 287 before maintenance period at middle of July 2014. For the treatment, two rooms are now available (room A and room B). To increase capacity of the HIMAT facility, we have started the design study 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) は 2008 年に重粒子線治療施設を鳥栖市に建設する構想を発表する事で始まった[1,2,3]。その後 2011 年 2 月には建屋建築がスタートし、2012 年 10 月には予定どおり建屋が完成。装置に関しては 2012 年 1 月に搬入に始まり、2012 年 12 月にビームテストがスタート、2013 年 8 月末には治療をスタートさせる事が出来ている。加速器の運転に関しても順調で、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午前中に治療をキャンセルした 1 回にとどまっている。又、運転に関しては、治療照射でビームが必要な時だけシンクロトロンを運転し、使用電力の低減を確認することが出来た。又、現在は治療の為に 2 室を運用しているが、3 室目が未整備の状態に残されている。現在の治療希望患者の多さを考慮して、治療可能患者をさらに引き上げるべく、3 室目の整備を予定よりも早期にスタートさせる事にした。しかも、この部屋での照射方法は他の 2 室で利用されているワブラーを使ったパッシブな照射方法ではなく、癌への線量集中性がより良いと考えられるスキャニング照射法で行う計画である。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

装置メーカーの三菱電機から部分引き渡しを受けたのは 2013 年 7 月で、ここから治療照射のためのコミッショニングを、二つある治療室の 1 室 (B 室) で開始した。最初は前立腺の治療を行う為の条件を

揃える事に限定し、出来るだけ早く治療照射が開始出来る様にした。治療は 8 月 27 日に予定どおり開始できた。その後、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への治療照射を開始した。又、2014 年 1 月には 2 つ目の治療室 (A 室) でのコミッショニングをスタートして、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おり、2014 年 6 月には 1 日の照射患者数が最大 37 人に上った。この数は事業計画で初年度に目標とした治療患者数 200 人を超えるペースで、施設の立ち上げは順調に進んでいる。Table 1 には 6 月までの九州の県別の患者数を示すが、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、熊本県の順になっていて、距離的に近い所から患者が集まっている事がわかる。

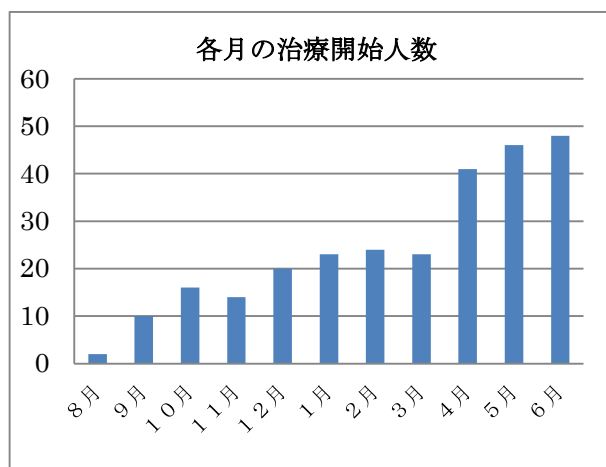


Figure 1: Monthly patient number.

<sup>#</sup> gakkai@kasokuki.com

Table 1: Patient Number of Prefectures in Kyushu Area and Some Other Regions

福岡県	1 4 5
佐賀県	4 9
長崎県	1 8
熊本県	1 4
大分県	1 3
宮崎県	5
鹿児島県	6
沖縄県	3
中国地方	1 3
関東	2
合計	2 6 8

### 3. 加速器の運転状況及び課題

#### 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は 200 $\mu$ A で、Figure 2 に示すように毎日の運転で設計値以上のビーム強度が得られ、ビームが出せなくなる様なトラブルは無く運転出来ている。ただ長期間運転しているとビーム引出電源のベース電流が上昇してきて、現在5ヶ月程度で引出電極とセラミックスを交換する必要がある。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での運転にしてベース電流の増加をチェックしている。現在違いとして残っているのはイオン源の停止時にマスフローとそのすぐ上流にあるバルブ間のガスを放出している事が残っており、このガスを放出しないように停止手順を変更する予定である。又、引出電極とセラミックスを交換した後でイオン源の強度を上げるために長いエイジング時間が必要な場合が最近有り、引出電極交換を週末の2日間で行う必要があることから、このエイジング時間を短くする方が必要になっている。

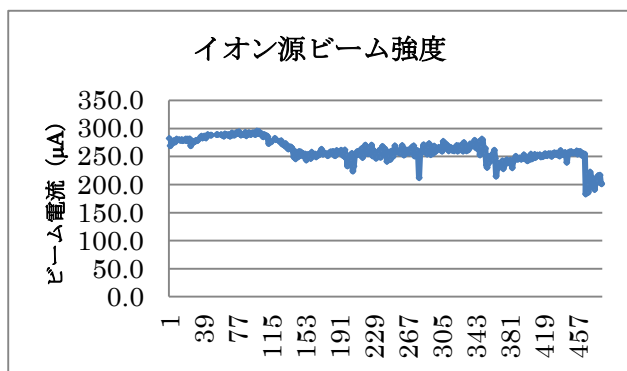


Figure 2: Beam current of C<sup>4+</sup> at the first faraday cup.

#### 3.2 線形加速器

入射器で問題になっているのは RFQ の連続放電である。この放電が照射に使いたい時と重なって起

きると治療照射がすぐには開始できなくなってしまう、場合によっては患者の位置決めをし直す必要もありうる。現在、これを避けるためにタンク電圧を下げて運転せざるを得ず、この為シンクロトロンでのビーム強度が低下してしまっている。後段の APF-IH 型線形加速器に関しては、放電が起こっても連続する事は無く、1パルスの放電で正常に戻るため治療には影響が無く、タンク電圧を下げることも無く順調に運転出来ている。

#### 3.3 シンクロトロン

シンクロトロンの運転では使用電力を減らすために、ビームを使っていない時はフラットベース運転を自動で行う運転モードを1ヶ月間行った。治療では多くの時間は患者位置決めに使われ、実際にビームを使っている時間は短時間である。そこで、このビームを使う時間だけシンクロトロンに必要なパターン励磁する事で、使用電力の節約を図った。Figure 3 に三菱から引き渡されてから最近までの月間の使用電力量を示すが、ビーム利用時だけパターン励磁する運転は4月に行った。この図の傾向からこのような省エネ運転で浮いてくる電力料は100MWh程度である事がわかる。この図で引き渡した後使用電力が多いのは財団のコミッションングのビーム測定があり、これに加えて三菱の利用が継続していたためである。さらに、最近使用電力量が増加しているのは患者数の増加に伴って治療照射及びその後に行う QA 測定の為にビーム運転する時間が増加しているためである。

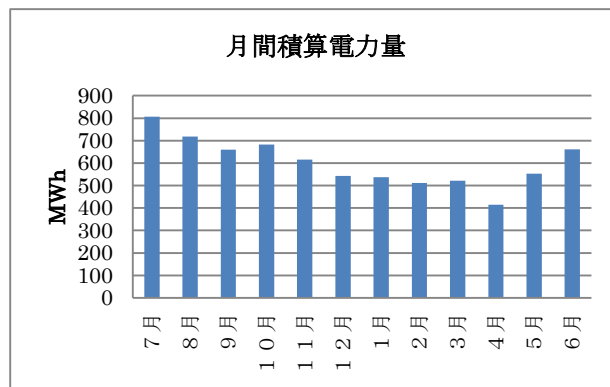


Figure 3: Monthly consumed electric power in the SAGA-HIMAT facility.

#### 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 4 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いる。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。

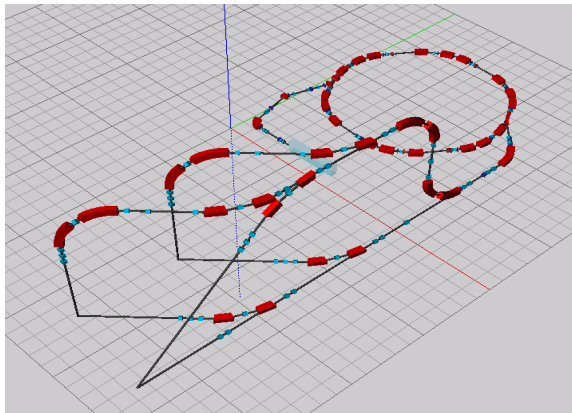


Figure 4: Beam lines in the SAGA-HIMAT facility.

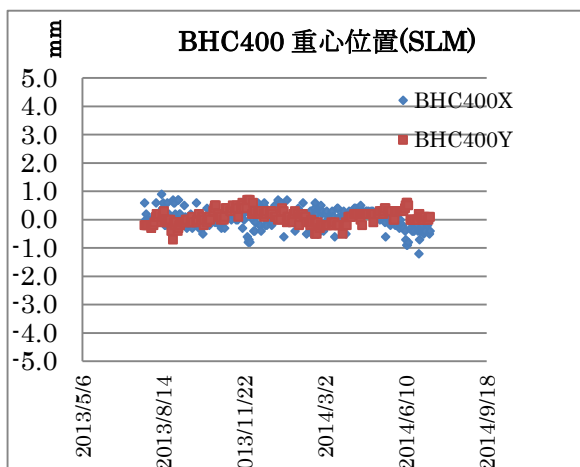


Figure 5-1: Trend of the beam center at the strip line monitor in the horizontal beam line for the room B.

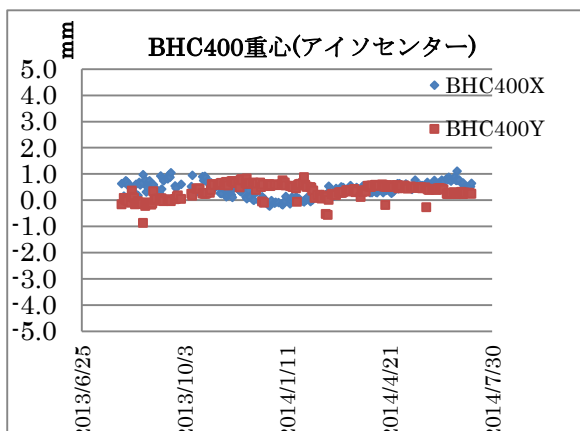


Figure 5-2: Trend of the beam center of the horizontal beam line at the iso-center of the room B.

又、朝にはこのストリップライン型モニターとアイソセンターにスクリーンモニターを設置してビーム軸を確認している。例として B 治療室、400MeV/u

のエネルギービームの場合の約一年間のデータを Figure 5 及び Figure 6 に示す。Figure 5-1、 Figure 5-2 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、これまで一年近くビーム軸の調整をしないですんでいる。それに対して Figure 6-1 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何回かビーム軸の調整をしている。このようにストリップラインモニターでずれが大きくなるような場合でも、Figure 6-2 に示すようにアイソセンターでのビーム位置の変化は $\pm 1\text{mm}$  と半分程度に小さくなっている。これはストリップラインモニターとアイソセンターの所のベータ関数がそれぞれ 20m、5m である事と整合的である。

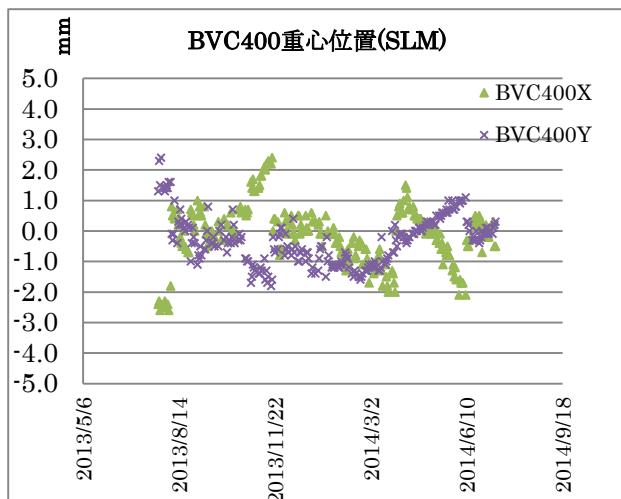


Figure 6-1: Trend of the beam center at the strip line monitor in the vertical beam line for the room B.

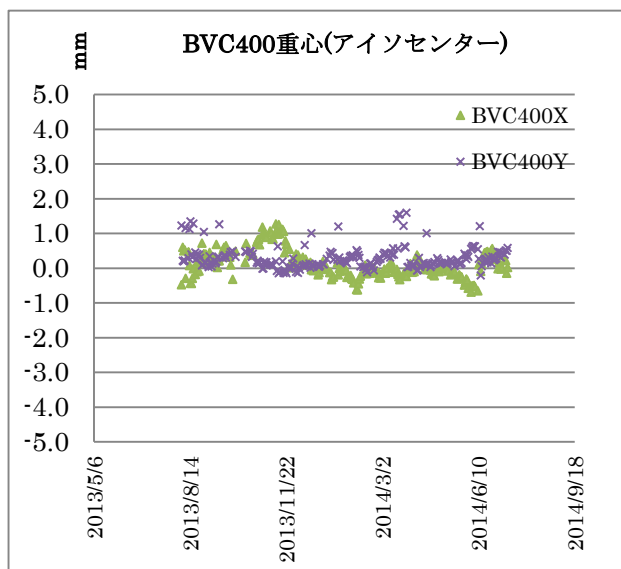


Figure 6-2: Trend of the beam center of the vertical beam line at the iso-center of the room B.

#### 4. スキャニング照射室整備

当初、SAGA-HIMAT の事業計画の方針で「患者の増加に対応して、放医研でのスキャニング照射の開発結果を見極めながらこの照射システムの導入を予定」としていた。ところが、SAGA-HIMAT での治療患者数は当初の想定以上に多く、さらに治療待ち行列も増加している。これらの状況を踏まえて2013年の暮れから第3室目（C室）の整備について検討を行ってきた。その結果、早急にスキャニング照射装置をC室に整備する事を決定した。ビームラインに関してはC室へ分岐するビームライン上にすでに真空ダクトがセットされた偏向電磁石が設置されており、ケーブル設置もほとんど済んでいる。予定では今年度中に放射線遮蔽の鉄板の設置を含むC室の建屋工事をほぼ終了させる予定である。装置に関しては今年中に基本設計を行い、それと並行してキーになるモニター類の試作及びそのビーム試験を予定している。又、患者周りの治療台及び位置決めシステムに関しては治療室の制約も考慮して、現在A、B治療室で使われている治療台と同じ物を使い、患者位置決めのためのX線管とフラットパネルの配置もA、B治療室と同じ配置を採用する予定である。このような配置ではX線管がビームラインに入るスペースが必要なため、ビームラインの真空窓が患者から遠ざかる事と、空気の層が厚くなるため多重散乱の為ビーム径が多少増大するが、患者位置決めの互換性を優先した。

#### 5. 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た放医研・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。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）の佐野悦信、宇野隆之、大江修司、山口浩司、尾島総、佐藤惣二郎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., SAGA-HIMAT PROJECT FOR CARBON ION RADIOTHERAPY, 加速器学会 2011.