

SAGA-HIMAT の現状 PRESENT STATUS OF SAGA-HIMAT

金澤光隆[#]

Mitsutaka Kanazawa

Ion Beam Therapy Center, SAGA-HIMAT Foundation

Abstract

In 2016 financial year, 651 patients were treated at SAGA-HIMAT by use of two treatment rooms. To increase treatment capacity of the facility, we have started the construction of the third treatment room C with a scanning irradiation system at the beginning of 2014. This construction was required to do without interruption on the treatment in room A and room B. With this requirement, installations of the beam line and irradiation devices were carried out in the night time and weak end, and beam tests were also. Now the scanning irradiation system is almost ready for patient treatment with some improvements of control system. In this presentation, we will present of scanning irradiation 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]では、2013年8月末にB室1室での治療がスタートし[3]、2014年の4月には2室目のA室での治療もスタートさせた。その後順調に治療を行う事が出来、年度ごとの治療患者数を Figure 1 に示すが、当初の事業計画で想定した値を上回ることができている。

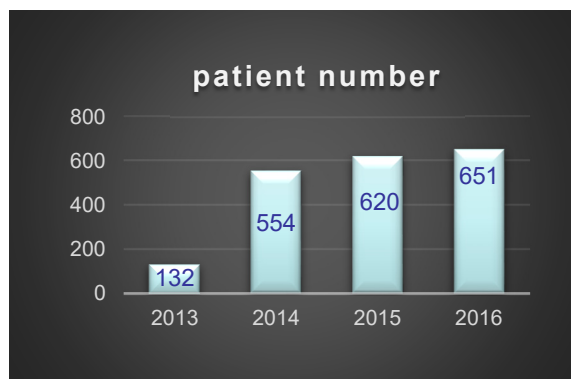


Figure 1: Patient number in each financial year.

Figure 2 に来院患者の県別の患者数を示すが、九州及び山口県からの患者で94%を占めている。Figure 3には部位別の治療患者数を示すが、ほぼ2/3が前立腺の患者が占めている。この様に当初予想した以上の患者の来院を確認できた初年度の段階で、3室目の整備の検討を開始した。A、B室での治療開始にあたっては、技術的にも実績のあるワブラー照射法を採用した。其のいかもあり、順調な治療立ち上げを可能にしたと考えられる。一方、放射線医学総合研究所にて研究開発が進められていたスキヤニング照射法が、2013年の3室目(C室)の検討を開始時点で実用化されており、この照射法を使った治療が多くの患者の治療に利用されて、順調に利用されていた。そこでSAGA-HIMATでも、3室目ではこのスキヤニング照射法を採用する事にした。2014年度からは正式にメーカーとC室整備の契約し、3年間で完

成させる計画とした。その際条件としたのは、A及びB室での治療には影響しないようにという事で、建設作業のための特別な治療休止期間は設けなかった。したがって建屋の工事、装置設置及び装置立ち上げは、センターがビームを使わない夜間、週末及び7月後半に設けている2週間の装置メンテナンス期間を利用して行はれた。現在、このC室でのスキヤニング照射装置はビーム試験が順調に進み[4]、薬機承認も下りて、治療照射に向けて制御ソフト整備及びビームテストを行っている所である。本報告では、SAGA-HIMATの運転状況を含めた現状について報告する。

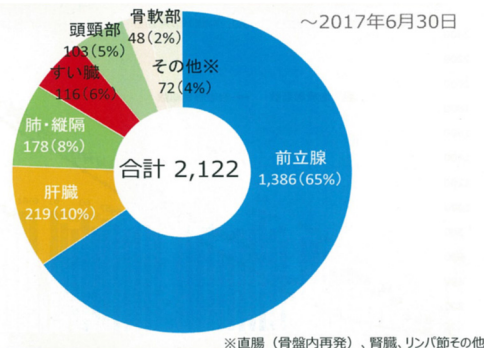


Figure 2: Patient number of each cancer type.

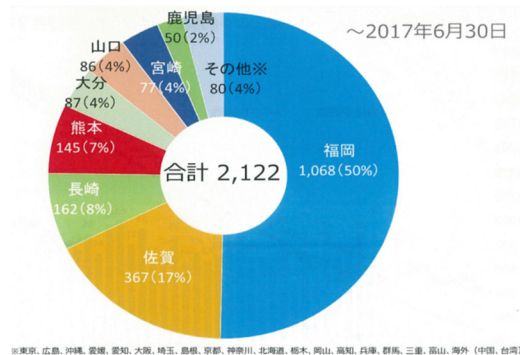


Figure 3: Patient number of each prefecture.

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

2. 加速器の運転状況

これまで治療開始からほぼ4年が経過して、その間運転で出てきた不具合の改善等行ってきた。Figure 4 に2014年度から各系の装置の不具合件数を示す。2016年度の大きな変化としては照射系のトラブルが減少していることで、これは治療台のサーボアンプの電源を動作させていない時は電源を切るようにしたことが寄与している。又、この年に入射系の件数が増大しているのは、RFQ 型線形加速器の終段アンプの真空管のスクリーングリッド・クローバー回路動作が頻発したためである。これは2016年7月に新しい真空管に交換してからの現象である。幸いクローバー回路が動作するのは、朝に線形加速器を立ち上げて30分以内が多く、この場合は治療照射には影響しないので、この真空管の使用を継続した。

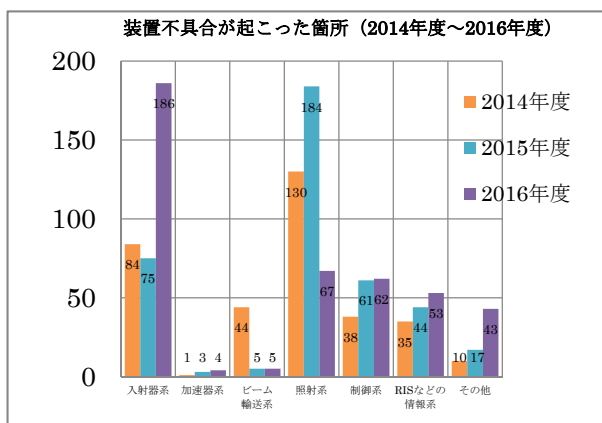


Figure 4: Years trouble frequencies in each system.

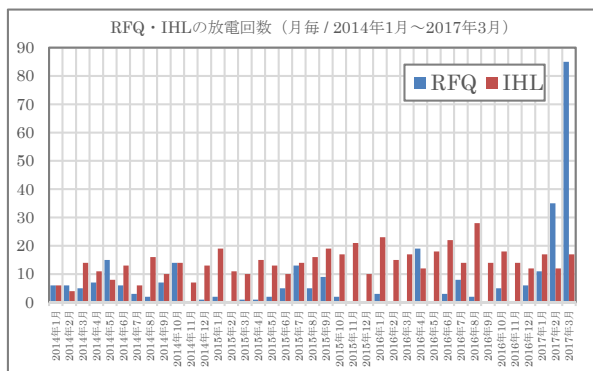


Figure 5: Discharge frequencies of RFQ and IH linac.

又、この装置不具合にはカウントしていないが、治療照射に影響しているものとして、RFQ 型線形加速器の連続放電がある。この放電が治療照射中に起こり止まらなければ、その患者の治療照射を中断する事にもつながるため、解決したい現象である。この放電の頻度を Figure 5 に示すが、だんだん枯れてくるような様子はなく、放電が少ない時期と多い時期が交互に繰り返すように見える。Figure 5 には IH 型線形加速器の放電頻度も示すが、IH 型の場合の放電は、単パルスの場合がほとんどであり、治療照射に対する影響は小さい。

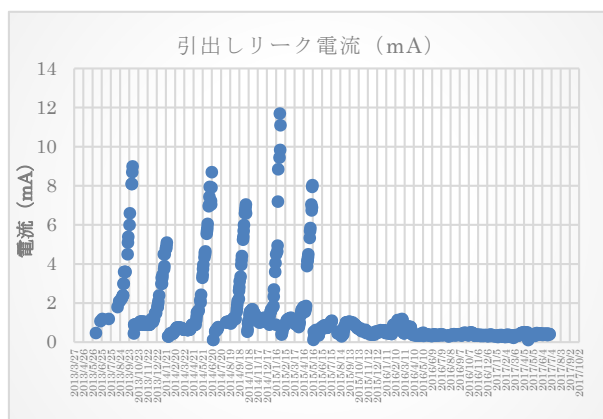


Figure 6: Base current of an extraction HV power supply of ECR ion source.

又、以前から問題になっていた、イオン源の引き出し電源のベース電流が、引き出し電極を交換した後は低いが、Figure 6 に示すように運転時間が3~4か月で上昇してきた。電源が設定電圧の30kV 出せなくなっていた。この問題は、運転しているうちに、徐々にビーム強度が増加してきた段階で、メタンガスの流量を絞ることによって避けられることが分かった。このことから引き出し電極の処の真空度が関係していると考えられた。そこで2016年のメンテナンスの時に、アノード電極の中心以外にあった穴を塞いだものを使用し、引き出し電極部の真空度の改善をした。その結果、引き出し電極交換直後のメタンガスの流量が多い時のベース電流も小さくできて、かつ必要なビーム強度の200 μ A(C⁴⁺)程度は得られることがわかった。現在電極交換から1年が経過しているがベース電流の上昇は見られず、安定した運転ができています(Figure 6)。

3. スキャンニング照射室立ち上げの現状

A 及び B 治療室の運用開始時点では C 治療室へのビームラインは偏向電磁石の設置及びケーブル配線のみがされていた。今回の工事ではその他のビーム輸送系機器及び照射系機器の設置を行った。C 治療室整備の計画は2014年度初めにスタートし、現在ハードウェア的には完成している。治療室の様子を Figure 7 に示すが、この5月末には薬機承認を受けることができています。この治療室での治療台及び位置決めシステムは B 室と全く同じ設計にしており、A、B 室での使い勝手と同じになるようにしている。Table 1 にスキャンニング照射システムの主要パラメータを示すが、方式としては放射線医学総合研究所にて実績があり、システムの立ち上げが短期間で済むと考えられる、ハイブリッド方式を採用した。照射機器の配置はアイソセンターからの距離が水平と垂直で同じ位置関係になるように配置されている。上流からスキャンニング電磁石(x,y)、正副線量モニター、正副位置モニター(x,y)、リップルフィルター、レンジシフターが配置されている。位置決めのための X 管はスペースの制約で線量モニター及び位置モニターと同一のフレームに取り付けられて、それぞれ利用するときにビームライン上に移動させて使用する。

スキャンニング電磁石と電源の仕様は 240×240mm² の範囲を走査できるように、かつ呼吸同期照射に対応でき

るようなスキャンスピードが得られるように決めた(体軸方向:100m/s、横方向:50m/s)。Figure 8 には 100MeV/u から 400MeV/u までのスキヤニングで利用する各エネルギーのアイソセンターでのビームサイズをリップルフィルターの $\sigma=1\text{ mm}$ と $\sigma=2\text{ mm}$ それぞれの場合について示す。ビームエネルギーの減少と共にビームサイズは増大するので、ビームエネルギーは低い複雑な形状が予想される頭頸部のような場合には $\sigma=1\text{ mm}$ のリップルフィルターの利用を想定している。計画した正確な線量分布を得るためにはスキヤニング電磁石でスキヤンするビームの高い位置精度が必要である。そこでシステムでは位置モニターを使ったフィードバックを適用する。2mm 間隔でビームを照射した場合について、Figure 9-1 はフィードバックを使わない場合で、Figure 9-2 はフィードバックを適用した場合である。フィードバックを使った場合にはビーム位置は $\pm 0.1\text{ mm}$ 以内に入っており、十分精度よくビーム位置を制御出来ている事を確認できた。

立方体の照射テストではビームの飛程をシンクロトロンエネルギーとレンジシフターの厚さを制御して、 $60\times 60\times 80\text{ mm}^3$ の体積を物理線量が一樣になるように照射した。シンクロトロンのエネルギーは 350, 380, 400MeV/u を利用し、リップルフィルターの $\sigma=2\text{ mm}$ (σ) のものを使用した。線量分布(計画値)を測定値と共に Figure 10 に示すが、計画値と測定値が良く一致しており、精度よくスキヤニング照射出来る事を確認できた。スキヤニング照射のハードウェアの動作精度は確認できたので、今後は制御ソフトウェアの整備を行って、治療照射ができるようにする予定である。又、最初は $\sigma=2\text{ mm}$ のリップルフィルターの利用を先行させるが、 $\sigma=1\text{ mm}$ のリップルフィルターの利用についても早期に開始する予定である。スキヤニングの呼吸同期照射に関しては装置としては対応しているので、これについても、検証を経て利用する予定である。

Table 1: Specs of the Irradiation System

Max. field size	220×220 mm ²
Beam energy	100 ~ 400 MeV/u, eleven steps
Range shifter	0.25 ~ 16 mm, seven leaves
Beam intensity	3 ~ 30×10 ⁷ pps, five steps
Ripple filter	$\sigma=1\text{ mm}$ (AL), $\sigma=2\text{ mm}$ (PMMA)
Scanning speed	100 m/s (x), 50 m/s (y)



Figure 7: Treatment room C.

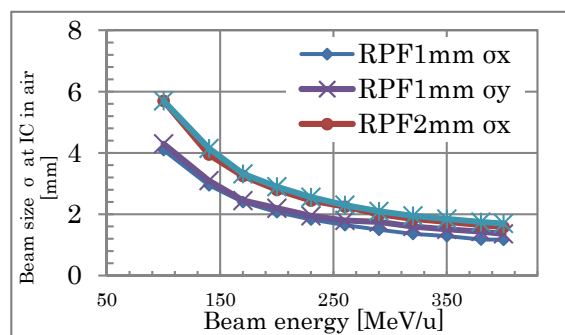


Figure 8: Beam spot sizes at the iso-center with ripple filter of $\sigma=1\text{ mm}$ and 2 mm .

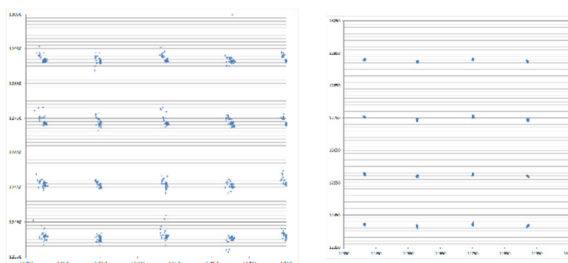


Figure 9-1: Scanned beam position without feedback. Figure 9-2: Scanned beam position with feedback.

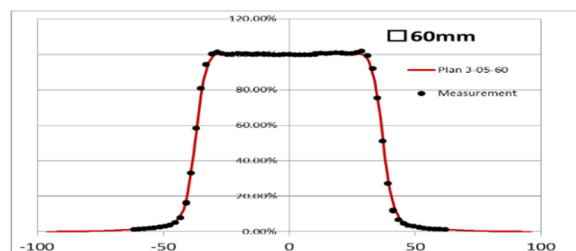


Figure 10: Measured transverse dose distribution at the center of SOBP. Red line shows the planned value.

謝辞

このスキヤニング照射装置の設計、製作、及びビームテストに関して、築島千尋氏をプロジェクトマネージャーとする三菱電機(株)に感謝します。又、スキヤニング照射装置の設計検討及びビームテストに関して群馬大学・重粒子線医学研究センター及び放射線医学総合研究所・加速器工学部の方々からの有益なアドバイスに感謝いたします。

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, PTCOG49, May 2010.
- [3] M. Kanazawa et al., "Beam Test of SAGA-HIMAT", Proceedings of the 10th PASJ, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, pp.9-13.
- [4] M. Kanazawa et al., "Construction of a Scanning System at SAGA-HIMAT", Proceedings of the 13th PASJ, Chiba, Aug. 8-10, 2016, pp.233-237.