

群馬大学重粒子線医学センターの現状

PRESENT STATUS OF GUNMA UNIVERSITY HEAVY ION MEDICAL CENTER

中尾政夫^{#, A)}, 川嶋基敬^{A)}, 松村彰彦^{A)}, 酒井真理^{A)}, 島田博文^{A)}, 田代睦^{A)},
Varnava Maria^{A)}, 遊佐顕^{A)}, 想田光^{B)}, 野田耕司^{C)}

Masao Nakao^{#, A)}, Motohiro Kawashima^{A)}, Akihiko Matsumura^{A)}, Makoto Sakai^{A)}, Hirofumi Shimada^{A)},
Mutsumi Tashiro^{A)}, Maria Varnava^{A)}, Ken Yusa^{A)}, Hikaru Souda^{B)}, Koji Noda^{C)}

^{A)} Gunma University Heavy Ion Medical Center

^{B)} Yamagata University

^{C)} National Institutes for Quantum Science and Technology

Abstract

Gunma University Heavy Ion Medical Center (GHMC) has been providing heavy ion particle therapy since 2010. By April of 2024, we have treated a total of 7175 patients. The number of patients treated in FY2023 was 797. We report on the time statistics of accelerator operation, treatment, experiments, and trouble at GHMC.

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学研究センター(GHMC)は2005年に設立され、2007年に重粒子線照射施設建設を開始、2010年3月に治療開始し[1]、2016年から保険診療を開始した。2024年4月までに延べ7175症例の治療を行っている。GHMCの治療用加速器と治療室の諸元をTable 1に示した。本発表では主に2023年度の治療状況、運転統計についてまとめた。

2. 治療状況

GHMCの治療室は3室あり、A室が水平、B室が水平と垂直、C室が垂直の合計4ポートで照射が可能である。これらのポートは全てワブラー電磁石と散乱体でビームを拡大し、マルチリーフコリメータとボーラスを使用してビームを成形するブロードビームを用いた治療である。これら治療室とは別に、スキャニング電磁石でスポットスキャニング照射を行う研究専用の垂直ポートを持つD室がある。

2023年6月までの歴年と部位ごとの治療件数の統計をFig. 1に示した[2]。2023年度は797件となった。泌尿器(前立腺)が6割を占め、次いで肝臓、膵臓、骨軟部の順となっている。1件あたり照射回数は4-16回であり、基本的に週4回照射を行うため1日に約50ポート程度の照射を行っている。基本的には月曜日がユーザ点検とマシンスタディを行い、火曜日から金曜日まで治療を行う。加速器は7時から立ち上げ8:40に治療開始し、17~20時まで治療を行うスケジュールとなっている。治療後には、火・金曜日は新患測定(ポートごとの患者QA)、水曜日は装置QA、木曜日は実験(生物・物理)を行い、23~0時頃に立ち下げている。

2021年度までは毎年1月に治療停止期間を設ける集中点検方式であったが、2022年度からは金~月曜日の4日間の点検を年度に6回と、週末や祝日を利用した点検・修理を行う分散点検方式に移行した。停止期間がなくなったため治療可能な日数が増加するメリットがある一

[#] nakaom@gunma-u.ac.jp

方、4日間の点検時には、これまで月曜日に行っていたメンテナンスとビーム調整の時間が減少する。

Table 1: Specification of GHMC

Ion source	ECR, Permanent Magnet
RF frequency	10 GHz
Ion	C ⁴⁺
Extraction Voltage	30 kV
Injector	RFQ, APF IH-DTL
RF frequency	200 MHz
RF Power	140 kW (RFQ), 400 kW (DTL)
Ion energy	600 keV/u (RFQ), 4 MeV/u (DTL)
Synchrotron	
Ion	C ⁶⁺
Ion energy	290, 380, 400 MeV/u
Circumference	63.3 m
Max. extraction particle number	1.0 × 10 ⁹ pps (Typ.) 1.58 × 10 ⁹ pps (Max.)
Max. range in water	25 cm (400 MeV/u)
Irradiation system	
Irradiation method	Broad beam Layer stacking
Irradiation field	15 × 15 cm
Max. SOBP width	14 cm
Irradiation room	A. Horizontal B. Horizontal, Vertical C. Vertical

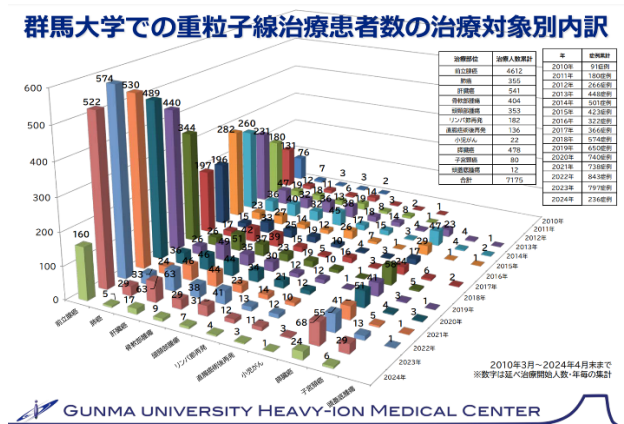


Figure 1: Yearly treatment number by cancer site [2].

3. 運転状況

Figure 2 に稼働時間の 2023 年度までの毎月の統計を示した。稼働状況は治療(treatment)、準備・測定・実験(preparation, experiment)、故障(failure)の項目に分けて表示した。また、故障時間は大きなトラブルが発生した際に増大している。

Figure 3 に各月の稼働率の変化を示した。稼働率の定義は前年度までと同様である[3, 4]。つまり、装置稼働率 R_{total} は、

$$R_{total} = 1 - \frac{T_{fail}}{T_{avail} + T_{fail}}$$

(T_{fail} は故障時間、 T_{avail} は正常稼働時間)で定義される。故障時間は、1 室以上が正常に使用できなかった時間、および使用はできるが異常の調査のために本来の目的に使用できなかった時間を含む。また、治療稼働率 R_{treat} は、

$$R_{treat} = 1 - \frac{T_{delay}}{T_{treat} + T_{delay}}$$

(T_{delay} 治療遅延時間、 T_{treat} は治療時間)で定義される。故障により特定のコースが使用不可能となったが、コース振り替えにより治療を実施した場合は遅延時間に含まれない。2022 年度の装置稼働率は 98.1%、治療稼働率は 98.6% となった。Figure 4 に過去の各年度ごとの稼働率を示した。2019 年度は未集計となっている。

生物分野・物理分野の実験が、木曜日治療終了後または土日祝日に行われている。群大関係者を含む研究グループのみ利用可能であるが 2022 年度の課題件数は 21 件(生物 12 件、物理 9 件)であった。実験のために最終週末が予約されているが点検等で加速器が使用不可でなければ他の日も可能であり、点検のない週末の多くは実験が行われている。治療で使用可能なエネルギーは 290, 380, 400 MeV/u のみであるが、実験用に 140, 170 MeV/u のエネルギーのビームも利用可能である。

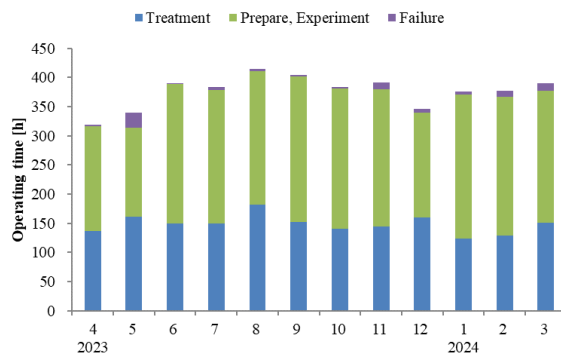


Figure 2: Operating time of accelerator system in GHMC.

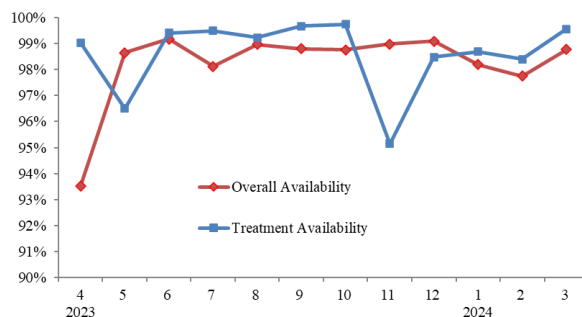


Figure 3: Total availability and treatment availability of the facility of GHMC.

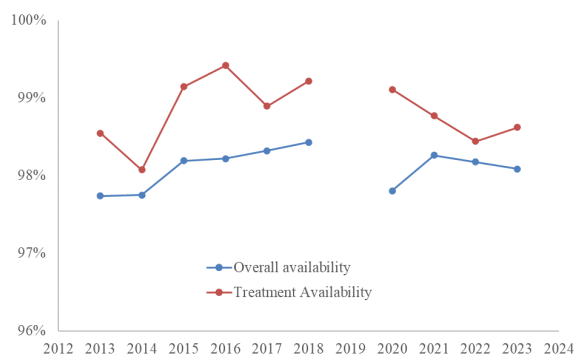


Figure 4: Total availability and treatment availability of the facility of each year.

4. 主な故障と対処

2023 年度の主な故障を挙げる。この間に当日の治療を延期せざるを得なかったのは 1 回のみであった。

始業点検時にシンクロトロン高周波制御盤の電源に軽故障の表示を発券したため盤の電源の OFF/ON を実施したが正常に再起動しなかったため治療ができなくなった。メーカーと電話でやりとりして制御計算機の Prozesse

スを再起動した後に PLC を再起動したところ正常起動した。当日正午から治療再開したが一部患者の治療を翌日に延期せざるを得なかった。その後、メーカーにより運用回避策が伝えられたためその後はこの遅延は発生していない。しかしながら、問題発生時におけるメーカーとのコミュニケーションが重要であることが明らかになった。

この他の大きなトラブルとして以下の 2 つの事象が発生した。位置決め用の X 線 FPD の故障により翌日夜の修理完了まで当該治療室の治療が不可能になり他の治療室に治療を振り替えた件。室内 ITV カメラ(照射中の患者の様子をチェックするために必須)のモニタリング用 PC の HDD が故障したため予備機と交換した件。このような加速器以外のシステムも故障すれば当該治療室が使えなくなるため、これらの治療に必要な全ての設備も安定して動くようにしておく必要がある。

5. イオン源のトラブル

2024 年 3 月末からイオン源のベース電流(引出電源の RF を掛けていないときの電流)が増加し始めた。正常時は Fig. 5(b) のようにイオン源に RF を掛けていないときにはほとんど 0 である電流が、Fig. 5(a) のように電流が流れていた。また、Fig. 5(c) のように異常な電流が流れる状態と正常な状態を約 5 分周期で繰り返していた。この状態でもイオン源から取り出されるイオンの量に変化はなく、治療に問題はなかった。異常発生時に流れる電流は増加していき 6 月には 6 mA となった。30 kV で 6 mA の電流が流れたとすると 180 W の発熱がどこかで発生しているが、放射温度計・熱電対の計測でも温度上昇は見られなかった。水冷している内側で発熱していても外側からは場所が分からない。イオン源引き出し用の高圧電源を疑って交換したが改善しなかった。

6 月のイオン源の定期メンテナンス時に Fig. 5(d), (e) のような放電痕が見られたので放電箇所が特定できた。電極の交換、放電痕のヤスリがけを念入りに行うことで放電は発生しなくなった。

この現象の原因について、引出電極間の真空度が一定の範囲内でのみ放電が発生するような状況になっていたため放電が続いて真空が悪化しすぎると放電が止まっていたのではないかと考えている。

6. まとめ

2023 年度も群大重粒子線医学センターは高い稼働率を保っているが、更に高めていくことが必要である。

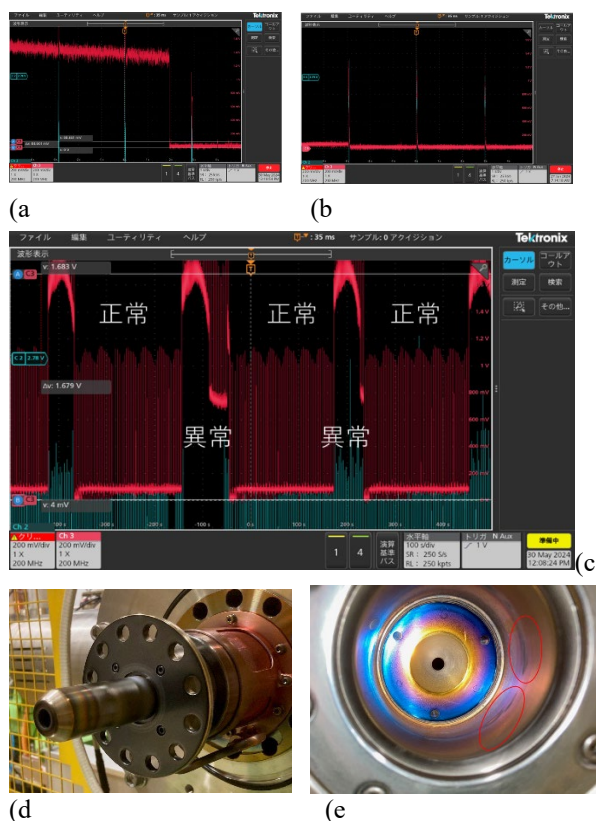


Figure 5: (a) Abnormal current of HV source (b) Normal current of HV source (c) Bistable anomaly current (d) Extraction electrode with discharge (e) Another surface of discharge.

謝辞

重粒子線治療装置の運転記録の取得について、(株)日立ハイテク、三菱電機プラントエンジニアリング(株)および加速器エンジニアリング(株)の皆様の多大なご協力を頂きました。

参考文献

- [1] T. Ohno *et al.*, “Carbon Ion Radiotherapy at the Gunma University Heavy Ion Medical Center: New Facility Set-up” *Cancers*, 2011, 3(4), pp. 4046-4060.
- [2] 群馬大学 医学部附属病院 重粒子線医学センター, <https://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/page.php?id=11>
- [3] 想田光, 「重粒子線治療装置の運転統計」, 2018 GHMC Physics Division Report. Mar. 2019, pp. 19-24.
- [4] 中尾政夫, 「重粒子線治療装置の運転統計」, 2022 GHMC report. Feb. 2024, pp. 8-12.
- [5] 想田光, 「粒子線治療装置運転・維持管理データベース PT-DOM の開発」, *Proc. PASJ2022, Kitakyusyu (Online meeting)*, Japan, Oct. 2022, pp. 146-150.