

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)}, 野田耕司^{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)}

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

^{A)} Gunma University Heavy Ion Medical Center

^{B)} Yamagata University

Abstract

Gunma University Heavy Ion Medical Center (GHMC) has been providing heavy ion particle therapy since 2010. By the end of FY2022, we have treated a total of 6,104 patients. The number of patients treated in FY2022 was a record high, 875. Instead of the periodic inspection in January, we implemented a 6-time maintenance of four days, which increased available machine time. We are currently developing a database of past troubles (PT-DOM) so that we can prevent troubles or reduce restoration time. We also 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月に治療開始した[1]。2016年から保険診療を開始し、その後も適用の範囲が広がってきた。その結果2022年度までに延べ6104名を治療している。GHMCの加速器や治療室の諸元をTable 1に示した。本発表では2022年度の治療状況、運転統計についてまとめた。またトラブルの情報を収集して過去と同様のトラブルが発生したときに早急に復旧できるよう、2023年4月から使用開始しているトラブルデータベースについても報告する。

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ラスを使用してビームを成形するブロードビームでの治療である。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]。2022年は暦年で843件、年度で875件といずれも過去最多件数となった。前立腺が2/3を占め、次いで肝臓、膵臓、頭頸部、骨軟部、肺の順となっている。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うことになる。GHMCでは基本的に月曜日がメンテナンスで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。その後月曜日はマシンスタディ、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

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

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

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 回行い、週末や祝日を利用した点検・修理も従来通り行う分散点検方式に移行した。停止期間が無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方、分散点検時には月～木曜日で治療、金～月曜日に分散点検といったスケジュールになるため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機会が年間 12 回減少することになる。

群馬大学での重粒子線治療患者数の治療対象別内訳

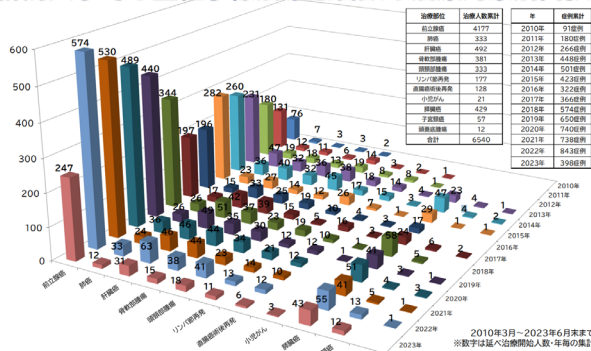


Figure 1: Yearly treatment number by cancer site [2].

3. 運転状況

Figure 2 に稼働時間の 2020 年度から 2022 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(preparation)、実験(experiment)、故障(failure)の項目に分けて表示した。2021 年と 2022 年は集中点検のため 1 月の治療時間が大きく減少しているが、2023 年はあまり減少していないことが見て取れる。また、故障時間は年に 1-2 回程度大きなトラブルが発生した際に増大していることが分かる。

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 98.2%、治療稼働率は 98.4% となった。

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。

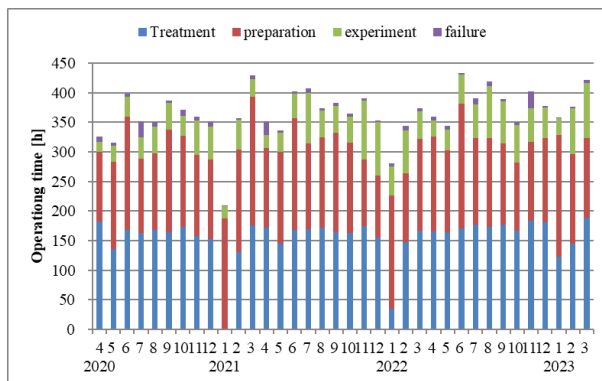


Figure 2: Operating time of accelerator system in GHMC.

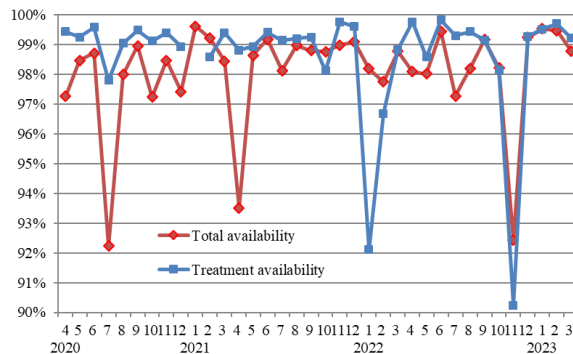


Figure 3: Total availability and treatment availability of the facility of GHMC.

4. 主な故障と対処

2022 年度の主な故障を挙げる。

Figure 3 で 2022 年 11 月に稼働率が低下しているが、これが 2022 年度に最も復旧に時間を要したトラブルであった。11 月 10 日木曜日に A 室の患者位置決め用を使用している X 線の FPD (Flat Panel Detector) が故障した。朝から画像に一本の線状のノイズが入っていたが治療に問題ないと判断していたものの 17 時頃に高圧電源も掛からず完全に使用不能の状態になった。当日夜にメーカー技術者により FPD の故障であり交換が必要と判明したが、FPD の交換は 12 日土曜日となった。当日 A 室の残りの治療は水平コースのある B 室に振り替えることができたが、金曜日の A 室の治療は全てを B 室に振り替えられず修理後翌週月曜日に振り替えることとなった。重粒子線治療の稼働率の観点では加速器・照射システムの稼働率と同様に位置決め用 X 線機器の稼働率も重

要である。

2022年7月28日と08月26日に、いずれも落雷が原因と思われる停電が発生した。いずれも治療終了後であり、当日中に復旧したため治療に影響は無かった。7月の停電を機に停電復旧のためのチェックリストを作成し8月の停電で活用した。

他にも、電源やRFアンプのファンが停止したことが検知されて制御上で重故障となり治療が停止した件が複数回発生した。予備部品として保管してあった中古ファンに交換し、いずれも1時間以内に復旧した。使用中のファンと保管していた中古ファンは型番が異なるため予備品を探すのに若干手間取った。予備部品について、Excelで型番や所在のリストを作って検索できるようにしているが、同等品は同じ番号で管理するなど探しやすい対策が必要と考えられる。

5. トラブルデータベース PT-DOM

重粒子線治療装置のトラブルは、前節で記した数十分以上治療が停止し速やかな復旧が求められる比較的大きなトラブルから、イオン源の単発放電のように数秒で自動復帰するものの多発する場合には放置できないトラブルまで多岐にわたる。前者においては、トラブル復旧作業中にオペレータが過去の同様のトラブルを参照するため当時の報告書などを探していると復旧までの時間が長くなってしまふ。後者においては、頻度を監視して頻発するようになった場合にメンテナンス日などに処置する必要がある。発生するトラブルの総件数は1年で千件程度であり何年もExcelなどで管理していると巨大で使用しにくいファイルになってしまうが、データベース化することで使いやすいシステムを作成できる。

PT-DOM (Particle Therapy Database of Operation and Maintenance)は、トラブル事象を登録、分類、検索できるWebアプリケーションである[5]。PT-DOMはPostgreSQLによるデータベースとDjangoのフレームワークを使用しておりUbuntu Linuxサーバ上で動作し、ネットワークに接続したPC上のWebブラウザからアクセスする(Fig. 4)。発生したトラブルは全て「トラブル事象」として、発生日時、発生デバイス、発生状況、応急処置、復旧時間等をオペレータが登録する。各トラブル事象は「トラブル類型」に分類される。加速器のトラブルは同じトラブルが再発しやすく、そのトラブルの調査や修理対応などは一カ所にまとめた方が分かりやすい。また「トラブル類型」に紐付いた「トラブル事象」の統計を見れば発生頻度も知ることができる。また、発生時に治療が停止するような大きなトラブルはオペレータから群大の物理スタッフに電話連絡があるが、小さなトラブルについてはPT-DOMを用いて連絡・確認している。

PT-DOMは既に山形大で2021年1月から運用を開始しており[5]、群大では2023年3月から仮運用を開始し、2023年4月より本格運用を開始した。サーバは重粒子線センター内に設置し、内部のみ公開としている。2020年頃から昨年度まではTeamsでトラブルの情報を共有していたが、ここに蓄積されたデータはMicrosoft Power Automateを使用してcsv形式でエクスポートしてPT-DOMに取り込んだ。ただしTeamsの「投稿」を

Microsoft Power Automateで処理するのは複雑であったため、投稿に対する返信を取り込むことができなかった。また、毎日の運転時間、治療時間、治療件数等を昨年度まではExcelシートに入力して集計していたが、今後は毎日オペレータがPT-DOMに登録することで運転統計を自動的に算出することが可能となる。



Figure 4: A screenshot of PT-DOM (Particle Therapy Database of Operation and Maintenance).

6. まとめ

2022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。分散点検方式となり、点検のための運転停止期間が無くなったこともあり治療件数は過去最多となった。更に安定した運転を行っていくためにトラブルデータベースであるPT-DOMを整備した。

謝辞

重粒子線治療装置の運転記録の取得について、日立製作所、三菱電機プラントエンジニアリング株式会社および加速器エンジニアリング株式会社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.*, *Cancers*, 3, 4046 (2011).
- [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.
- [4] 中尾政夫, 「重粒子線治療装置の運転統計」, 2021 GHMC report.
- [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」, 第19回加速器学会年会, (2022).