

山形大学医学部東日本重粒子センターの現状(5)

CURRENT STATUS OF EAST JAPAN HEAVY ION CENTER, FACULTY OF MEDICINE, YAMAGATA UNIVERSITY (5)

岩井岳夫^{#, A)}, 想田 光^{A)}, 宮坂友侑也^{A)}, イソンヒョン^{A)}, 柴宏博^{A)}, 石澤美優^{A)}, 小野拓也^{A)}, 山澤喜文^{A)},
谷地 守^{A)}, 勝間田匡^{B)}, 佐藤亜都紗^{B)}, 佐藤啓^{A)}, 土谷順彦^{A)}, 上野義之^{A)}, 根本建二^{A)}
Takeo Iwai^{#, A)}, Hikaru Souda^{A)}, Yuya Miyasaka^{A)}, Sung-Hyun Lee^{A)}, Hongbo Chai^{A)}, Miyu Ishizawa^{A)},
Takuya Ono^{A)}, Yoshifumi Yamazawa^{A)}, Mamoru Yachi^{A)}, Masashi Katsumata^{B)}, Azusa Sato^{B)}, Hiraku Sato^{A)},
Norihiko Tsuchiya^{A)}, Yoshiyuki Ueno^{A)} and Kenji Nemoto^{A)}

^{A)} Yamagata University

^{B)} Accelerator Engineering Corporation

Abstract

In 2017, the Yamagata University Faculty of Medicine started a heavy ion radiotherapy facility construction project, and in February 2021, it began treating prostate cancer with a horizontal beam. After that, in May 2022, we started treating head and neck cancer using a rotating gantry, and in October 2022, we were able to treat all target areas except the eyeball. A fixed irradiation room with only a horizontal port is used for treatment of prostate cancer. With around 30 irradiations per day, the number of patients who have already completed treatment has exceeded 800. Until April 2023, it was operating without any major problems, but at the end of April 2023, the scanning magnet broke down, and the horizontal port was forced to stop operation for seven weeks. In the rotating gantry irradiation room, the beam is adjusted for each gantry angle, and the treatment area is increased while increasing the usable angle. Currently, it is possible to set the beam introduction angle in increments of 15 degrees. In the future, we will continue to re-adjust the beam transport system on the upstream side of the gantry and make angle interpolation work to further increase the angles that can be used for treatment.

1. はじめに

山形大学医学部東日本重粒子センターは、国内 7 番目の重粒子線治療施設として、2021 年 2 月に患者への治療を開始した[1]。

当センターの治療システムは東芝エネルギー株式会社製であり、①炭素線専用シンクロトロン ②小型スキャニング電磁石 ③超伝導回転ガントリー を特徴としている。①については群馬大学で実現した小型普及型炭素線専用シンクロトロンと同構成で作られているが、省エネルギーのために磁極間隙が短縮されており、真空ダクトも新しい設計が施されている。②はスキャニング電磁石からアイソセンターまでの距離を従来の約 9 m から 3.5 m に大幅に短縮できるようになり、建屋の小型化に資するとともに③の回転ガントリーの小型化にも貢献した。③の回転ガントリーは炭素線用としてはハイデルベルク大学、QST に次いで世界で 3 台目になり、同型の回転ガントリーは韓国の延世大学において現在調整が進められており、その後ソウル国立大学病院にも導入されることになっている。

2. 重粒子線治療の現状

2021 年 2 月の運転開始当初は水平ポートを持つ固定照射室での前立腺癌の治療のみ実施していたが、その後回転ガントリーの調整が進み、2022 年には回転ガン

トリー照射室を運用開始し、順次対象部位を広げて行った。コミッションの詳細については[2]を参照いただきたい。

2022 年度前半は段階的に治療部位を拡大していき、後半(10 月以降)はすべての対象部位(眼球を除く)への治療を実施した。2022 年度の年間治療実施患者数は全部位合計で 534 名であった。2023 年度も順調に患者数は推移し、2023 年 7 月 7 日に 1000 人目の治療が完了した。Figure 1 に治療開始以来の月別の治療実施件数と累積患者数を示す。全部位の治療受付を開始した 2022 年 10 月～2023 年 8 月途中の部位別の治療実施割合を Fig. 2 に示す。最も多い前立腺が約 7 割を占め、11%の肝臓と 7%の膵臓が続く。頭頸部や骨軟部は少ないながらもコンスタントに申し込みがあるが、保険適用にまだなっていない肺、転移性腫瘍、腎臓などの部位はそれほど多くない。先進医療全体で 5%程度にとどまっており、95%は公的保険での治療が占めている。

次に治療の申し込みがあった患者の地域分布を Fig. 3 に示す。患者の約 2/3 を山形県内が占め、17%の宮城県が続く。青森、岩手、秋田、福島は毎月 3～4 人程度の申し込みがあり、合わせて 98%は東北地方からの申し込みである。他は新潟県や北海道、首都圏からの申し込みもあり、海外からの患者も 2 名治療を実施した。集患の課題としては山形県外での認知度がまだまだ低いことであり、今後は県外向け広報の強化により県外患者の割合を半分程度まで増加させることを目指している。

[#] iwai@med.id.yamagata-u.ac.jp

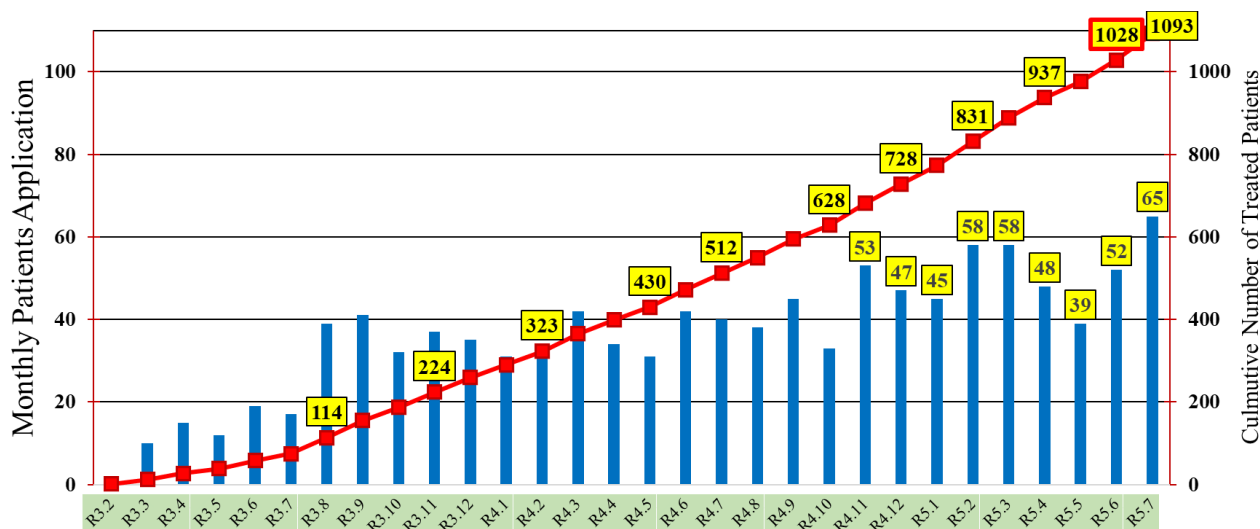


Figure 1: Accumulated number of completed patients and monthly therapy application.

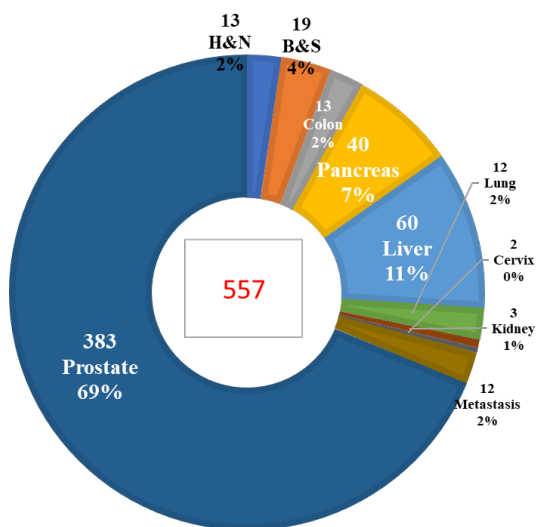


Figure 2: Distribution of Treated Site.

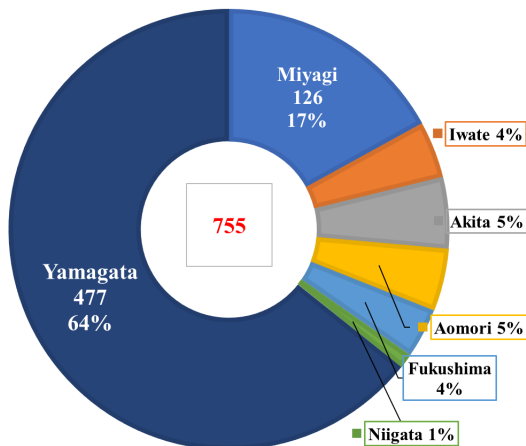


Figure 3: Distribution of Patients' Home Location.

3. 重粒子線治療装置の現状

Figure 4 に治療開始以来の月別の治療稼働率の推移を示す。運用開始から3 か月はソフト・ハード両面で様々な不具合に遭遇し、稼働率としては満足いくものではなかった。その後固定照射室での前立腺癌治療は順調に実施でき稼働率も 95 %以上をキープしていたが、2022 年 10 月に回転ガントリー照射室を全面運用開始以降少しトラブルも増え、やや稼働率が低下する傾向にあった。2023 年 4 月にはスキャニング照射装置の故障により固定照射室が使用できなくなったため稼働率は大きく落ち込み、6 月にはスキャニング照射装置電源の故障で両室とも数日間の治療停止を余儀なくされたためここでも下落した。

不具合の種類としては照射装置周りが約 3/4 を占める。代表的な不具合は前述のスキャニング照射装置関連であるが、照射ソフトウェアのピットフォールも軽微なものから治療をいったん見合わせる重大なものまで様々である。次に多いのが加速器関連の不具合であり(22%)、大きなもので真空ベローズのリーク、アインツェルレンズ電源の故障、超伝導電磁石電源の不具合、イオン源マスフローコントローラの故障などが発生した。その他では冷却水など建屋系の不具合も発生するが、中性子起因が疑

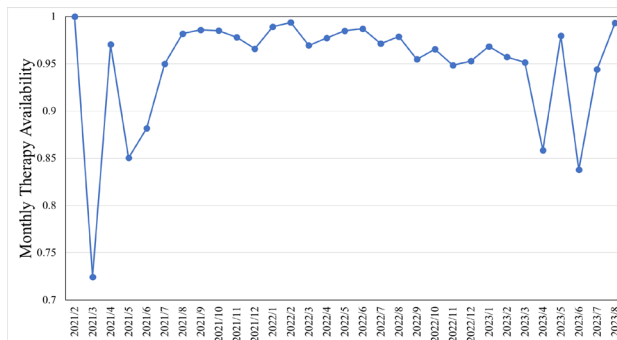


Figure 4: Trend of Monthly Therapy Availability of our System.

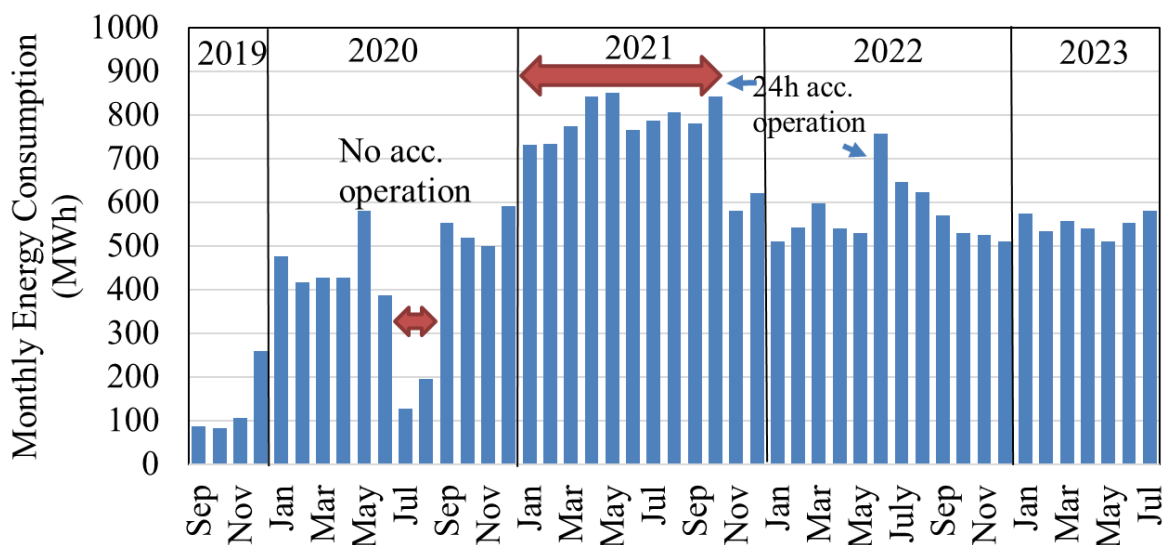


Figure 5: Trend of Monthly Energy Consumption.

われるような事例も含まれる。代表的なものとしては加速器室内の警告用回転灯複数台の故障発生であり、中性子起因が強く疑われるが、詳細な故障原因は不明である。

安定運用上の懸念としては、新型コロナウイルス禍やウクライナ戦争による電気電子部品の不安定なサプライチェーンが挙げられる。これらの部品は全体的に長納期化しており、仮に予備品の準備がなかった場合には長期の稼働停止につながるリスクを伴う。こうしたシナリオに陥らないよう、メーカー側も保有予備品を拡大する準備を進めている。

当センター全体の月別の電力量推移を Fig. 5 に示す。コミショニングで 24 時間運転を実施していた期間(2021 年 1 月～10 月)は 800 MWh/month 前後まで達していたが、その後は 500 ～600 MWh/month 程度で安定している。電力量としては当初の想定程度で推移しているが、エネルギー価格の高騰のために実際の経費は 2 倍程度かかるようになっており、年間の増加額としては 1 億円前後と見積られる。経費節減のためさらなる省エネルギー方策が望まれており、先行施設で試行された加速器の待機運転[3]や、冬季の外気導入による加速器室冷房[1]などを今後積極的に導入していくことにしている。

4. まとめ

山形大学医学部東日本重粒子センターは 2022 年 10 月に予定していた対象部位の全ての治療を開始した。2022 年 4 月に公的保険の対象となる部位が増加したため、当初想定よりも多くの患者からの治療申し込みがあり、2023 年 7 月には累計 1000 人目の治療を完了した。装置の不具合は他施設よりもやや多い傾向であり、3/4 は照射システム関連である。電力量としては想定通りだが価格の高騰が激しいため、今後は省エネルギー方策の導入による経費削減を試みる予定である。

謝辞

本施設の整備にあたっては、文部科学省施設整備費補助金および平成 24 年度文部科学省補正予算「次世代型重粒子線装置の開発に向けた革新的技術開発」、山形県「次世代型重粒子線がん治療装置開発整備補助金」や多数の寄附によるご支援をいただきました。また、建屋の建設に関して、株式会社日本設計、株式会社竹中工務店の皆様のご尽力に感謝いたします。治療装置の設置、調整、運転にあたっては、東芝エネルギーシステムズ株式会社、株式会社ビードットメディカル、加速器エンジニアリング株式会社の皆様のご尽力に感謝いたします。また、困難な時に貴重なご助言をいただいた量子科学技術研究機構の皆様にも深く感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Iwai *et al.*, “山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状(3)”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2021), August 8-12, Online, 2021, https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2021/proceedings/PDF/MOQA/MOQA02.pdf
- [2] H. Souda *et al.*, “重粒子線治療用小型回転ガントリーの多角度ビーム調整”, Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), August 29-September 1, Funabashi, Japan, 2023.
- [3] M. Kanazawa *et al.*, “SAGA-HIMAT 立ち上げの現状とスキャニング照射室整備”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2014), August 8-12, Aomori, Japan, 2014, pp. 874-877, https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/SAP1/SAP122.pdf