

2020 年度 年報

2020 GHMC Annual Report

群馬大学 重粒子線医学研究センター

目次

2020 年度年報の発刊に向け.....	2
メンバー	3
QA/QC 運用変更等	
炭素線治療計画の現状	
Current status of treatment planning for carbon-ion therapy	5
重粒子線治療装置の運転統計	
Operation Statistics of Heavy Ion Irradiation System.....	9
CT 値-阻止能比変換の校正方法更新に向けた水等価距離の比較	
Comparison of water equivalent path lengths toward the revision of the calibration method of CT-number to stopping-power-ratio conversion.....	13
線量指示点がアイソセンタと異なる場合の 患者校正深測定位置の検討	
Examination of the position of patient calibration depth measurement in case of shifted weight point from the isocenter	17
GHMC における 2020 年のポータス使用状況について	
Usage Survey of Range Compensator at Gunma University Heavy Ion Medical Center in 2020.....	21
IMRT 治療計画数の推移	
Number of IMRT treatment plans.....	23
装置開発	
カーボンナイフ微小ビームの応用に向けた 動物位置決め用 X 線画像装置の導入	
Installation of X-ray radiography system for animal positioning toward the application of Carbon-Knife fine beams	27
その他研究	
照射内変動を考慮した積層原体照射の線量分布評価	
Evaluation of dose distributions for the layer-stacking conformal irradiation with intrafractional movement	33
X 線治療装置によって発生する中性子の試験的測定	
Pilot measurement of neutron flux generated from a LINAC	37
2020 年度医学物理士試験対策用 WEB サイトの利用者に関する調査	
FY2020 Analysis of the Users of the Test-Preparation Web-Site for Medical Physicist.....	40
マシンタイム報告	
生物・物理基礎研究に関するマシンタイムの利用報告	
Report of MT users for basic research.....	46
学位論文要旨	
Dissertation Abstract.....	65
DeepLearning を用いた高精度画像生成.....	66
ヒトリンバ芽球様細胞における放射線と模擬微小重力同時曝露による染色体異常頻度の増加.....	67
業績.....	68

2020 年度年報の発刊に向け

令和2年度は、新型コロナウイルス感染症が猛威を振るい、世界を一変させました。我々が参加するほぼすべての学術大会や研究会は現地開催を断念し、オンラインなど新たな様式にて実施されました。会議や打ち合わせの多くもオンラインに移行し、これまでのような出張が激減しました。学内業務と学外業務はモザイク状にスケジュールされ、時差さえ調整出来れば、海外の粒子線治療施設の仲間や異分野の研究者とライブで自分のデスクからコミュニケーションできるようになりました。私たちは、失うことばかりではなく、適応しながら新たなものを得ています。新型コロナウイルス感染症が落ちついた頃に待ち受ける社会を想像しながら前進していきたいと思えます。

重粒子線治療患者数は、新型コロナウイルス感染症のパンデミック下にもかかわらず過去最大の740人でした。これは、短い治療期間で通院可能な重粒子線治療の利点が医療のニーズとしても高いことを示しています。また、スタッフ一同による感染予防対策の徹底にも敬意を表したいと思います。治療を安全に行うためには、物理学部門による治療の品質保証(QA)と品質管理(QC)も不可欠です。昨年の重粒子線治療装置の治療稼働率は99%以上と優れ、普及型重粒子線治療装置としての役割を十分に果たしていますが、稼働から10年を超えて経年劣化対応やアップグレードについて具体的に検討するフェーズになっています。本レポートでは、重粒子線治療の線量分布計算に用いるCT値-阻止能比変換の校正、線量指示点がアイソセンタと異なる場合の患者校正深測定位置に関する検討、カーボンナイフ微小ビーム照射に必要な位置決め装置の開発、X線照射装置に伴い発生する中性子線の測定など、いずれも安全で正確な治療に資する検討が盛り込まれています。当施設では、重粒子線照射実験を希望する物理学、生物学、医学分野の研究者に対し、一定の制約の下に重粒子線のマシンタイム利用を受け入れています。報告書では、最近の研究活動の一端を紹介出来るのではないかと思います。

群馬大学では重粒子線医学推進機構の改組が行われ、令和3年4月より新たな体制が始動しました。これまで機構内に設置されていた2つのセンターは重粒子線医学研究センターの1つに束ねられ、田代睦副センター長、高橋昭久教授、河村英将教授がそれぞれ物理学部門、生物学部門、医学部門の責任者として重粒子線医学の研究と教育を担います。また、重粒子線医学センターは、診療を担う医学部附属病院の中央診療施設として、これまで通り先進的で安全な重粒子線治療の提供に努めて参ります。関係各位のご支援とご協力を引き続きよろしくお願い申し上げます。

令和3年5月7日

重粒子線医学研究センター センター長
大野 達也

メンバー

教員

センター長 教授 大野 達也
副センター長 准教授 田代 睦

医学生物学部門

教授 高橋 昭久
教授 河村 英将
講師 松井 博
助教 佐藤 浩央
助教 柴 慎太郎
助教 吉田 由香里
助教 武者 篤
助教 岡野 奈緒子
研究員 八高 知子
協力研究員 安藤興一

物理学部門

助教 遊佐 顕
助教 島田 博文
助教 松村 彰彦
助教 久保田 佳樹
助教 川嶋 基敬
助教 酒井 真理
助教 中尾 政夫
協力研究員 PARAJULI Raj Kumar
協力研究員 荒川 和夫
協力研究員 金井 達明

博士課程学生

D4 石居 隆義, 大崎 晃平
D3 Yang Li, 安達 拓也
D1 Chen Jing-Ni, Zhang Shenke, Zhou Yuan

修士課程学生

生命医科学専攻

M2 岡本 直也, 山之内 佐久也
M1 鳴海 克希, 小林 優斗,
GERGUIS, Fady Nagy Lotfy

特別研究学生 (東北大学)

M2 前田 奈穂子

理工学部電子情報理工学科 (櫻井研)

M1 長谷部 有希, 山崎 滉都

学部学生医学部医学科 (MD-PhD コース)

B5 神戸 峻輔
B3 杉山 弘一

QA/QC 運用變更等

炭素線治療計画の現状

Current status of treatment planning for carbon-ion therapy

島田 博文

Hirofumi Shimada

Abstract: Statistics of the patients treated with carbon-ion therapy in 2020 were summarized. Planned beam parameters such as the port directions and types of the irradiation methods were also summarized.

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学研究センターでは、2010年3月より炭素線治療を開始し、2020年末までに4,561名の患者に対して治療を行っている。本レポートでは、2020年1月から12月までに治療を受けた患者の部位別月別の患者数、治療計画数、ビーム数および照射方法による内訳をまとめる。

2. 治療人数

当センターにおける炭素線治療開始以来の治療患者数の年次推移を Fig. 1 に示す。これまでの全患者数は4,561名で、2020年1月から12月までの年間の治療患者数は昨年より90名多い740名と想定以上の増加となり、昨年に引き続き最多治療人数を更新した[1]。

2020年治療患者数の部位別内訳およびその月別推移をそれぞれ Fig. 2 および Fig. 3 に示す。泌尿器（前立腺）の割合が昨年同様に最も高く、全体の7割弱を占めている。

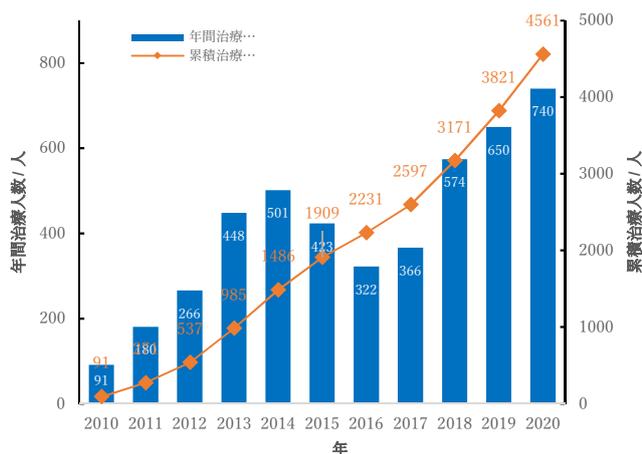


Fig. 1 年間および累計治療人数

Table 1 医療制度または診療区分ごとの治療患者数

先進医療 A	先進医療 B	保険診療	海外患者	臨床試験
159	8	567	4	2

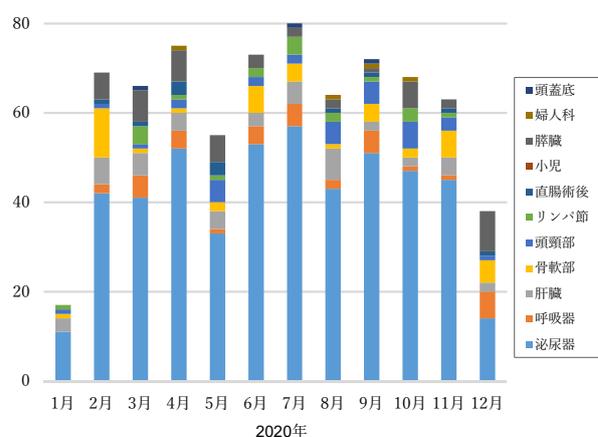


Fig. 2 月別の治療部位別の患者数の推移

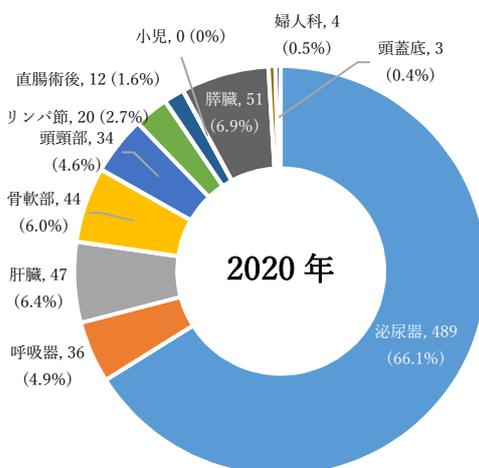


Fig. 3 年間の治療部位別の内訳

一方で、他の臓器においても昨年と同じ割合の患者数であり前立腺だけでなく全体に増加していることが分かる。月別では7月に過去最高の80名を記録し、治療を完全に休止する定期メンテナンス前後で治療人数が減る1月と12月を除くと月平均で68.5人となった。

Table 1 に医療制度または診療区分ごとの患者数を示す。保険診療が567人と最も多く、前立腺の他に頭頸部腫瘍と骨軟部腫瘍で80人ほど治療している。昨年の保険診療の503人から64人増加しており、保険診療以外の患者数も増加していることが分かる。

3. 治療計画

2020年の治療計画数およびビーム数の部位別内訳をTable 2に示す。年間治療人数740名に対する全治療計画数は1,011、ポート総数は3,111となっている。1患者あたりの平均治療計画数は1.4、平均ポート数は4.2であり、前年とほぼ同じである。

治療計画について、通常SOBPビームと積層原体照射のビーム数、垂直と水平ビーム数、呼吸同期有無、多門照射とパッチ照射の患者数の部位別内訳をそれぞれFig. 4(a), (b), (c)および(d)に示す。Fig. 4(a)より、積層原体照射は頭頸部のおよそ93%、骨軟部の55%、直腸の63%、症例数は少ないが頭蓋底の80%で使用されているが、全ビームに対する積層ビームの割合は12%程度となっている。Fig. 4(b)のビームの方向については、泌尿器でほぼ全てが水平ビームであるのに対して、他の部位では垂直と水平がほぼ同じ割合か、若干垂直ビームの利用が多い状況である。しかし、症例数の多い前立腺の影響により、全ビームに対しての水平ビームの割合はおよそ80%となっている。Fig. 4(c)の呼吸同期については、肝臓、膵臓、呼吸器(肺)、リンパ節での利用が多い状況となっている。全患者に対する呼吸同期採用症例の割合は20%程度である。Fig. 4(d)の多門照射(ある

Table 2. 治療計画立案概要

	患者数	計画数	ポート数
泌尿器	489	493	1968
呼吸器	36	86	170
肝臓	47	55	127
骨軟部	44	87	215
頭頸部	34	88	220
リンパ節	20	40	94
直腸術後	12	21	44
膵臓	51	117	227
子宮	4	18	31
頭蓋底	3	6	15
計	740	1011	3111

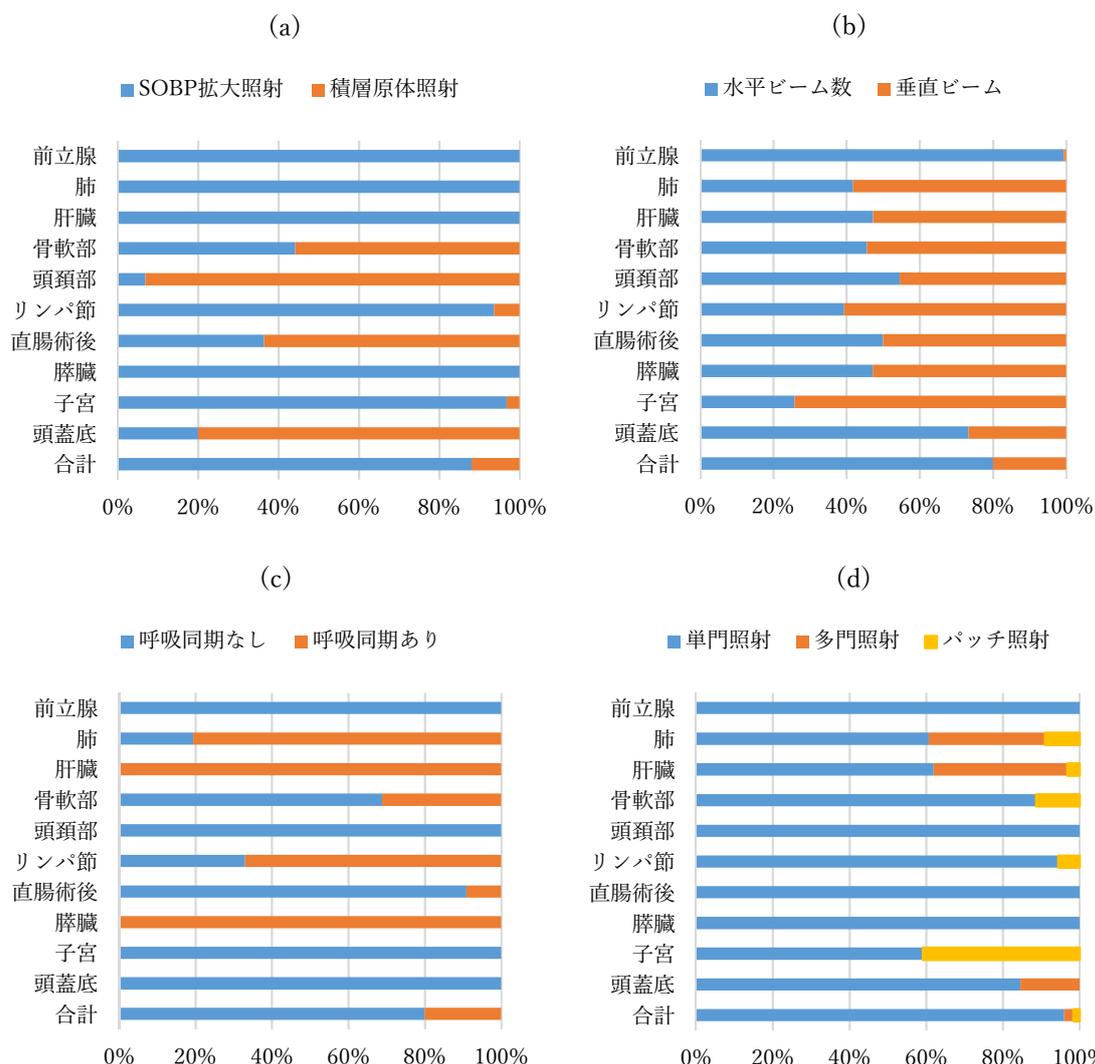


Fig. 4 治療部位別の各種照射方法の内訳 (a)SOBP 拡大照射/積層原体照射、(b)水平/垂直ビーム、(c)呼吸同期照射有無、(d)単門/多門/パッチ照射

照射回で同一ターゲットに 2 ポート以上で照射) とパッチ照射 (ある照射回で 2 つ以上の異なるターゲットに対して 2 ポート以上で照射) の割合について示す。照射数は照射回での複数ポートの組合せ数とした。多門照射は肺と肝臓の 1 日 2 門による照射が約 30% で全体の大半を占める。その他、頭蓋底腫瘍でリスク臓器を避けるために多門照射を選択した例もあった。パッチ照射については、一つのターゲットを分割して 2 つ以上のターゲットを照射する場合と、孤立的に 2 つ以上のターゲットを 1 照射回で照射する 2 つのケースがある。前者は腫瘍サイズの大きい骨軟部腫瘍に対してターゲットを分割して照射した例が約 10% あり、後者は肺、肝臓、リンパ節、子宮などの近傍のリンパ節を含む複数のターゲット照射した例を合わせて約 10% あった。その他に照射野拡大法である単円ワブリングと螺旋ワブリングの割合については、螺旋ワブリングが前立腺のみでわずか 1.9% であった。螺旋ワブリングはビーム飛程が不足する、すなわちターゲットが体表面から深い場合に使用されるが、積層原体照射法や呼吸同期照射法などとの組合せ使用に制限があるため採用されなかったと推定される。

4. まとめ

2020年の治療患者数、治療計画数、ポート数および照射方法について照射部位別に統計をまとめた。ほぼすべての項目について、当センターにおける2010年の治療開始以来の最多となった。

参考文献

- [1] 田代 睦. 炭素線治療の治療計画・QA測定の現状報告. 2019 GHMC Physics Division Report. pp.7-11.

重粒子線治療装置の運転統計 Operation Statistics of Heavy Ion Irradiation System

中尾政夫
Nakao Masao

Abstract: Increasing the availability of the entire treatment facility is important for the spread of heavy particle therapy. Here are some operating statistics for FY2020. There is also explained some of the problems and how to deal with them. Both tangible and intangible measures are necessary to prevent the decrease in the availability rate due to aging of the facility.

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学研究センターは、普及型重粒子線治療装置による炭素イオンを用いた治療照射を2010年より開始した。シンクロトロン等の加速器を用いた治療を普及させていくためには、施設の稼働率を高め、治療の遅延時間を短くすることが不可欠である。

本報告では2020年度の運転統計と、主なトラブルとその対処について報告する。

2. 統計の算出方法

稼働率の定義は、以前の統計との比較を容易にするために2018年度のレポート[1]と同様の定義を用いた。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。装置稼働率・治療稼働率の算出に当たっては、装置ログノートおよび運転技術員より提出された週報に基づいて算出した。

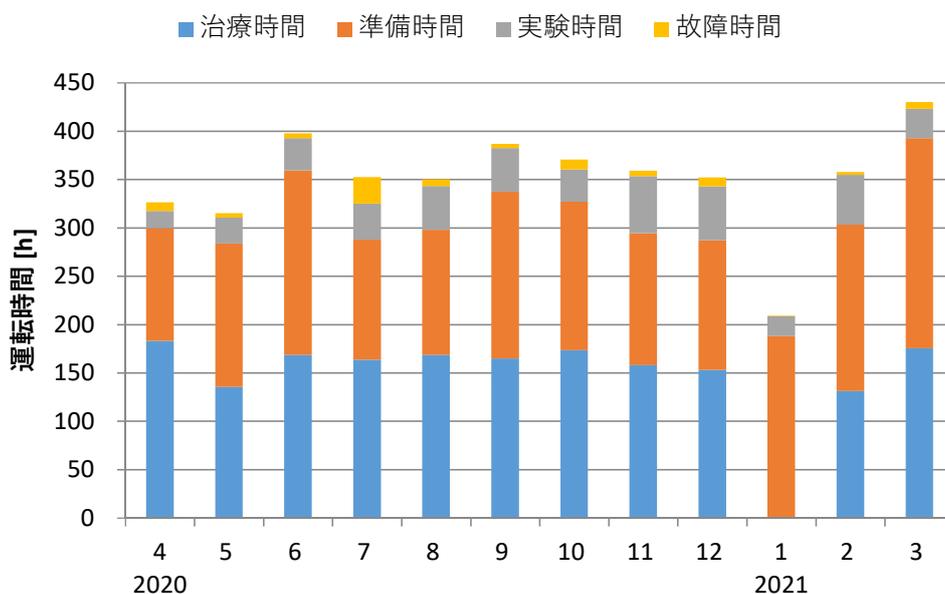


Fig. 1. Monthly operating statistics.

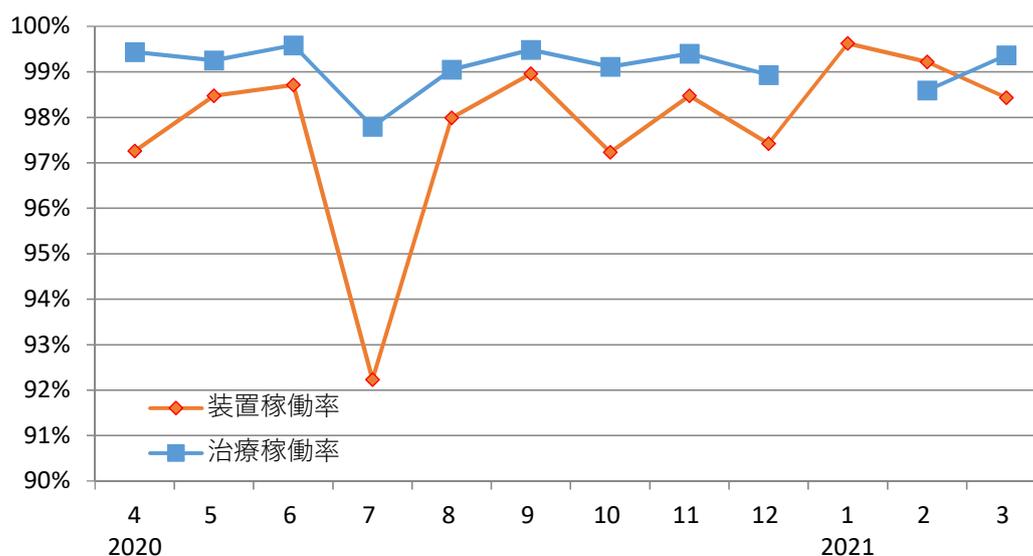


Fig. 2. Monthly total availability (orange) and treatment availability (blue) operating statistics.

3. 2020 年度の運転統計

Fig.1 に月別の稼働時間, fig.2 に月別の装置稼働率・治療稼働率を示した. 1月は治療がないため治療稼働率は空欄となっている. 治療稼働率が装置稼働率よりも高くなっているのは, トラブルが治療には影響しなかったか, 治療時間外に発生したトラブルを治療時間前に復旧できたことを示している. 2020 年度は数時間治療が停止するような大きなトラブルは起こらなかった. しかしながら, 2020 年 7 月には朝の立ち上げ時に FPD の故障が判明し, 急遽他の治療室に振り替えることで治療が行えた事例があった. 翌日に FPD の交換が完了するまでは故障中であったため装置稼働率は大きく低下しているが, 治療室の振り替

えが可能であったため治療稼働率の低下は小さい。これは装置のトラブルを事後の対処によってカバーできた例といえる。スタッフの技術・経験の蓄積で高い治療稼働率を維持できているが、直ぐに対処できないような大きな故障の発生を防ぐために今後も事前予防を行っていく必要がある。

4. トラブル事例

2020年度のトラブルのうち重要と思われるものを以下に挙げる。

自然災害による影響としては、2021年2月13日の福島県沖のM7.3の地震があり前橋市昭和町では震度3(前橋市は震度4)であったが、地震は土曜日の夜間で装置にも影響はなかった。2020年7月30日の治療中には緊急地震速報が発表されたが、照射を一時中断したものの問題なく治療は再開された。また、2020年8月4日には遠雷による瞬停が発生し、45分治療が遅延した。

入射器RFQのHPAアンプのクローバ異常が2020年9月～12月にかけて朝の立ち上げ直後に頻発していたが、治療に影響したのは1回であった。2021年1月の定期点検時に真空管を交換したためこの問題は起こらなくなった。大出力の半導体アンプが実用化され、新しい重粒子線施設では採用され始めているので、可能であれば更新していくのが好ましいと考えられる。

治療施設ではないが、D室のレンジシフタの制御が故障するトラブルが発生した。この制御系はD室へのHEBT、スキャン磁石、レンジシフタ等を制御しているが、10年前に制作されたものであり既に予備部品が手に入らず、メーカーから借用して仮復旧した。故障したIOモジュールは同じ製品を10台使用し、以前にも1台故障しており、大量に使用している部品は予備を入手しておくのが良いと思われる。

X線装置や治療室内のカメラが正しく表示されない異常が頻発している。ほとんどの場合は装置の再起動などで数分後には正常動作するようになるが、部品の交換が必要になることもある。重粒子線施設外では余り起こらない事象なので中性子によるソフトウェア・ハードエラーであると考えられるが、近年は国内外で宇宙線由来の中性子によるソフトウェア対策の研究が盛んになってきており、対策について情報収集していきたい。

5. まとめ

群馬大学重粒子線医学センターの重粒子線治療装置は、2020年度の年間で99%以上の治療稼働率を達成しており、普及型重粒子線治療装置の役割を果たしている。一方で、運転開始から10年以上が経過し、部品の経年劣化による故障や保守部品が入手困難となる可能性も高くなり、サブシステムの更新を進めていく必要がある。運転の現場としてもトラブルの予防、対処の迅速化、再発防止の取り組みを着実に進めていくことが重要である。

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)の運転技術員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] 想田光 「重粒子線治療装置の運転統計」2018 GHMC Physics Division Report

CT 値-阻止能比変換の校正方法更新に向けた水等価距離の比較 Comparison of water equivalent path lengths toward the revision of the calibration method of CT-number to stopping-power-ratio conversion

田代 睦

Mutsumi Tashiro

Abstract: Toward the revision of the calibration method for CT-value to stopping-power-ratio (SPR) conversion at GHMC, comparison of water equivalent path length (WEPL) between the two methods was examined for various clinical cases. WEPLs from the patient surface to the distal end of the target were calculated for the planned beams of the cases using the old and new conversion methods. The difference of WEPLs was 0.24 mm (0.25% of WEPL) in standard deviation and 0.68 mm (1.17%) at maximum. These values are less than the expected beam range error of 2% originating from the CT-value to SPR conversion error. The influence of the revision of the conversion method on the dose distributions is considered to be negligible in practice. The revised conversion method has been adopted in clinical practice for dose distribution calculations in the treatment planning system since January 2021.

1. はじめに

粒子線治療における線量分布計算では、CT 値から粒子線の阻止能比に変換してビーム経路上の水等価距離を計算している^[1]。光子線治療で一般に用いられる組織等価材料の直接測定では粒子線に対して精度が十分でないことから、粒子線治療では人体組織組成を考慮して阻止能比を換算する化学量論的手法が一般的となっている。国内の粒子線治療施設では2003年に兼松らにより提案された校正手法が標準的に用いられており^[2,3]、群馬大学でも採用されてきた。2016年に兼松らによって提案された新たな手法は、校正のための物質や測定方法は従来通りを踏襲しながら、より詳細に標準人体組織を分類したものであり^[4,5]、重粒子線治療多施設共同臨床研究(J-CROS)のQA・QC分科会でも変換方法の更新が促されている。

当施設でも校正方法を更新するにあたり、新旧の方法で実際にどの程度水等価距離計算に違いがあるのかを確認するために、既存の患者治療計画情報を用いて差異を評価したので以下に報告する。

2. 方法

2.1. 変換関数

新旧校正方法により得られたCT 値-阻止能比変換関数を Fig. 1 に示す。Fig. 1(a)は体幹部撮影用(FOV 550 mm)、(b)は頭頸部撮影用(FOV 450 mm)のものである。旧方法では、人体組織の主成分である筋肉と、空気、脂肪、骨の4種類の人体組織の阻止能比を求め、人体各組織は筋肉とそれ以外3つの物質との二元混合物と近似して直線をつないでいる。一方、新方法では、標準人体組織を密度別に11種に分類し、折れ線の数が増えている。高CT

値側では、従来と比べて Hydroxyapatite を考慮したため高 CT 値側まで変換関数が延びている。

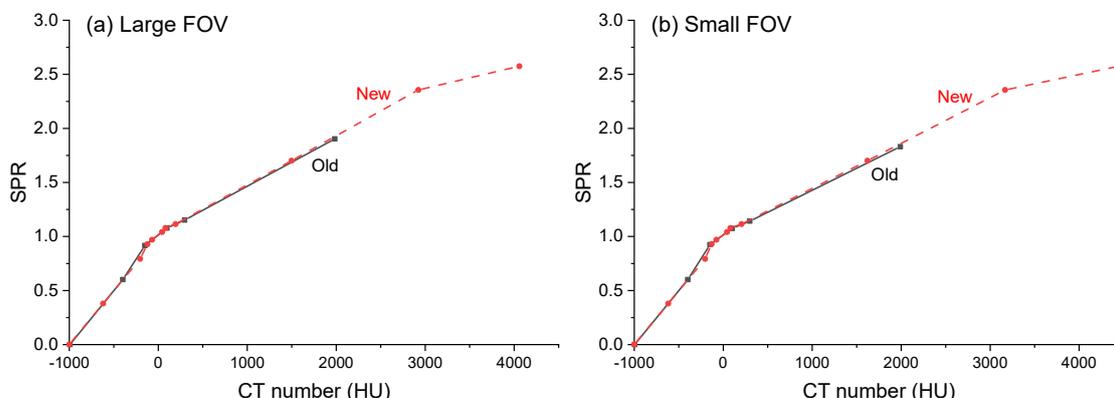


Fig. 1. Old (black solid) and New (red dashed) conversion functions of large FOV (550 mm) for trunk and small FOV (450 mm) for head-and-neck CT scans.

2. 2. 患者情報と水等価距離計算

実患者体内の水等価距離を評価するために、これまでに重粒子線治療を受けた患者の CT 画像や治療計画情報を利用した。症例の内訳としては、骨軟部、頭頸部、肝臓、肺、前立腺から各 5 名、婦人科 1 名を無作為に抽出し、実際に使用されたビームについて患者表面から標的遠位部までの経路について、各部位に対してそれぞれ数十本、合計 330 本を無作為に抽出した。2 つの変換方法の比較のため、経路方向は垂直か水平のビーム軸方向で固定とし、ファンビームの効果（斜め方向）は無視した。経路上の CT 値を抽出し、CT 値とボクセルサイズからそれぞれの変換方法により水等価距離の積算値を求め、2 方法による水等価距離の差異を評価した。

3. 結果と考察

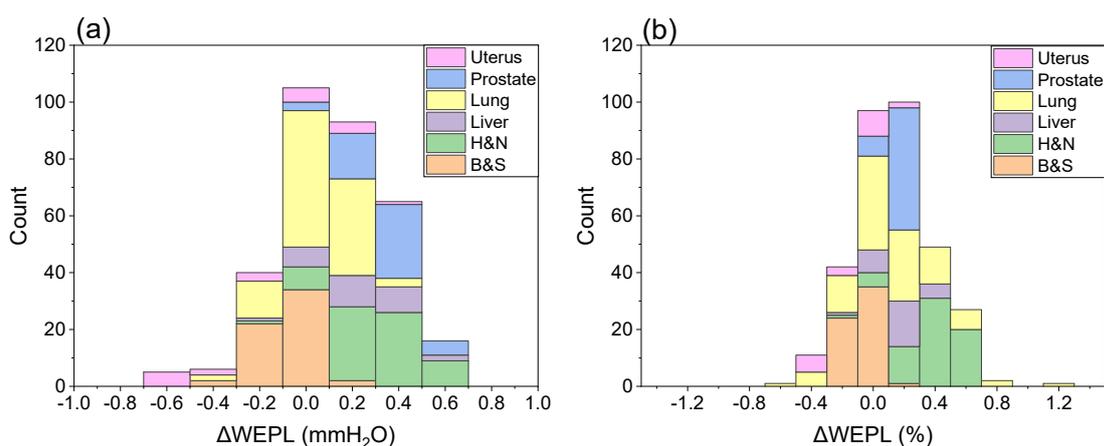
抽出した経路について 2 つの変換方法により得られた水等価距離と、その差異についてまとめたものをそれぞれ Table 1 と 2 に示す。また、水等価距離の差異をヒストグラムにしたものを Fig. 2 に示す。Fig. 2(a)は横軸に水等価距離(mmH₂O)を、(b)は全水等価経路（ビーム飛程）に対する割合(%)で示している。

Table 1. Water equivalent path length (WEPL) extracted for various cases and beams.

	B&S		H&N		Liver		Lung		Prostate		Uterus		All	
	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New
N	60		70		30		100		50		20		330	
	WEPL (mmH ₂ O)													
AVG	122.0	121.9	80.3	80.6	130.1	130.3	60.3	60.4	200.5	200.8	160.6	160.4	109.4	109.6
STD	47.7	47.7	13.4	13.5	24.9	25.0	22.8	22.8	6.3	6.4	30.2	30.2	55.8	55.9
Min	38.6	38.6	53.9	53.9	93.2	93.1	29.9	30.1	188.6	188.8	112.0	112.1	29.9	30.1
Max	189.0	188.7	111.9	112.5	163.9	164.3	121.5	121.3	213.8	214.4	211.0	211.2	213.8	214.4

Table 2. Difference of WEPLs (Δ WEPLs) between the two methods.

N	B&S		H&N		Liver		Lung		Prostate		Uterus		All	
	60		70		30		100		50		20		330	
Δ WEPL (mmH ₂ O, %)														
	mmH ₂ O	%	mmH ₂ O	%	mmH ₂ O	%	mmH ₂ O	%						
AVG	-0.09	-0.08	0.30	0.37	0.23	0.17	0.05	0.12	0.35	0.17	-0.18	-0.11	0.13	0.14
STD	0.10	0.09	0.16	0.18	0.17	0.13	0.14	0.29	0.13	0.07	0.32	0.20	0.24	0.25
Min	-0.31	-0.29	-0.12	-0.18	-0.11	-0.12	-0.37	-0.59	0.05	0.02	-0.68	-0.43	-0.68	-0.59
Max	0.29	0.19	0.66	0.66	0.53	0.46	0.40	1.17	0.62	0.30	0.30	0.17	0.66	1.17

**Fig. 2.** Histograms of Δ WEPL expressed in mmH₂O (a) and percent (%) of WEPL (b).

経路の水等価距離の平均値はおよそ 109 mm、最大はおよそ 214 mm で前立腺の場合であった。 Δ WEPL 分布を見ると、それぞれの部位により分布に若干の違いが見られるが、これは部位によってビーム経路上の組織分布に何らかの偏りがあるためと思われる。全体としてはほぼ 0 (0.13 mm) を中心に分布していることがわかる。

新旧方法での水等価距離の差異は標準偏差で 0.24 mm (0.25%)、最大で 0.68 mm (1.17%) であった。これらは、元々想定していた CT 値-阻止能比変換での飛程のセットアップエラーである 2% を、試行した全例で十分下回っている。したがって、新方法への移行による線量分布への影響は、臨床実用上ほとんど無視できる程度と考えられる。

4. まとめ

CT 値-阻止能比変換の校正方法更新に向けて、新旧方法について実症例ビームに対して水等価距離の比較を行った。その差異は、臨床実用上無視できる程度であることが確かめられた。この結果から、2021 年 1 月の治療計画より新しい校正方法による変換関数に切り替えて運用を開始した。

参考文献

- [2] 田代 睦, 島田博文, 川嶋基敬. 特集 粒子線治療 6 治療計画. *Radioisotopes* 2015, 64: 394-399.
- [3] Kanematsu N, Matsufuji N, Kohno R, et al. A CT calibration method based on the polybinary

- tissue model for radiotherapy treatment planning. *Phys. Med. Biol.* 2003, 48: 1053-1064.
- [4] Kanematsu N. 多二元校正法による放射線治療計画用 CT 装置の品質管理. *Jpn. J. Med. Phys.* 2003, 23(2): 140-146.
- [5] Kanematsu N, Inaniwa T, Nakao M. Modeling of body tissues for Monte Carlo simulation of radiotherapy treatments planned with conventional x-ray CT systems. *Phys. Med. Biol.* 2016, 61: 5037-5050.
- [6] Kanematsu N, Mori S, Inaniwa T. 粒子線治療計画のための CT 値—阻止能比変換の校正方法の更新. *Jpn. J. Med. Phys.* 2017, 37(1): 34-37.

線量指示点がアイソセンタと異なる場合の 患者校正深測定位置の検討

Examination of the position of patient calibration depth measurement in case of shifted weight point from the isocenter

田代 睦

Mutsumi Tashiro

Abstract: In case that the position of the weight point is different from that of the isocenter, the amount of deviation of the measurement position from the center axis at the patient calibration depth measurement had to be set manually. Even after the update of the irradiation system in 2014, it is still unsupported when the treatment couch rotates like non-coplanar irradiation. In such a case, the coordinates are manually input at the measurement according to the check sheet of the weight point shift, but the manual input has a risk of inducing a mistake. Therefore, the calculation method of the deviation amount is presented here so that the system can automatically calculate the deviation amount even with the couch angles.

1. はじめに

当センターで使用している治療計画装置では、線量指示点（いわゆる ICRU 基準点）に対してビームの処方線量が指定される。一般的に、アイソセンタは PTV 中心に設定され、線量指示点はアイソセンタと同一であることが多い。しかし、PTV の形状や、リスク臓器への線量低減のために MLC がビーム中心軸付近まで設定されることなどから、アイソセンタ周辺での線量均一性が保たれない場合には、その他 PTV 内で線量分布が均一な点を線量指示点とすることがある。治療照射前に行われる患者校正深測定では、線量指示点への線量とビームのモニタカウントとの関係が測定により求められる。その測定で校正深はレンジシフトを挿入した状態での線源データの SOBP 中心深さであるが、ビーム軸と垂直な面方向（横方向）については、MLC が計画された条件で測定が行われたため、線量指示点がアイソセンタと異なる場合には、そのずれ量だけ横方向にずらして測定する必要がある。

患者校正深測定時の横方向のずれ量の設定は、以前はすべて手入力による設定が必要であったが、誤入力によるリスクを低減するために、照射システム側で自動計算して設定されるように 2014 年に改修された。しかし、ノンコプラナ照射のように治療台回転が付いた場合の治療計画については現状未対応である。件数が極めて限られることから、そのような場合には線量指示点のチェックシートにしたがって測定時に手入力をする事となっているが、件数が限られるが故にその場面に遭遇した場合の対応に慣れておらず、ミスを誘発するリスクがある。

そこで、治療台回転がある場合にもシステム側で自動的にずれ量を計算するように改修すべく、そのずれ量の計算方法を示すこととする。

2. 方法と結果

2.1. ずれ量の算出方法

線量指示点がアイソセンタと異なる場合の、患者校正深測定時の照射系システムでの測定点座標の計算方法を以下に示す。ここでは、

- ノンコプラナ時 (Rotation あり) に対応する
- 計画時にロール角 ϕ を付けたビームに対応する
- 水平/垂直コースや、Head First(HF)/Feet First(FF)の場合分けを統一的に扱うようにする

ことを目的として、ずれ量の計算方法をまとめる。

アイソセンタを原点とする治療計画の座標系 (Fig. 1(a)) 上に設定された線量指示点が、どのように移動 (回転) するかを計算し、さらに照射系測定座標系 (Fig. 1(b)) への座標変換を行う。

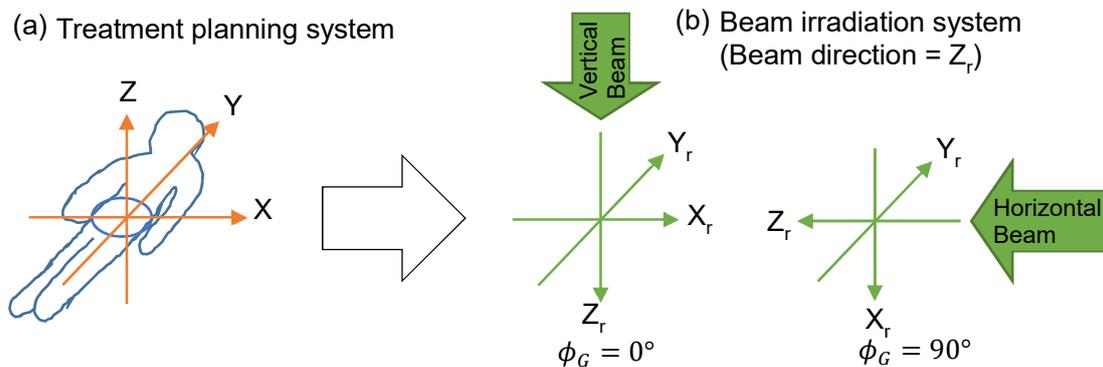


Fig. 1. Coordinate systems for treatment planning system (a) and beam irradiation system (b).

治療計画情報上で、アイソセンタ座標 (x_{IC}, y_{IC}, z_{IC}) 、線量指示点座標 (x_{WP}, y_{WP}, z_{WP}) のとき、図 1(a) のようなアイソセンタを原点とする治療計画座標系での線量指示点座標は、

$$\vec{X}_{RTP} = (x_{RTP}, y_{RTP}, z_{RTP}) = (x_{WP} - x_{IC}, y_{WP} - y_{IC}, z_{WP} - z_{IC})$$

である。

各移動および変換行列は、以下の通りである。

- HF/FF の場合 (x, y が正負逆になる)

$$R_z(\theta_{rot}^{HF,FF}) = \begin{pmatrix} \cos \theta_{rot}^{HF,FF} & -\sin \theta_{rot}^{HF,FF} & 0 \\ \sin \theta_{rot}^{HF,FF} & \cos \theta_{rot}^{HF,FF} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{HF のとき、} \theta_{rot}^{HF,FF} = 0^\circ, R_z(0^\circ) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{FF のとき、} \theta_{rot}^{HF,FF} = 180^\circ, R_z(180^\circ) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- 計画ビームにロール角 ϕ が付いた場合（体軸(y 軸)まわりの回転）

$$R_y^{Roll}(\phi) = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix}$$

ϕ : 計画時のロール角

- コプラナ/ノンコプラナ : 計画ビームにローテーション角 θ が付いた場合

$$R_z^{Rot}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

θ : 計画時のローテーション角

- 照射系の測定座標系（垂直コース：ガンドリ角 $\phi_G = 0^\circ$ ）への座標変換

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

z 座標のみ符号が逆転

- 水平コースへの変換（ガンドリ角 $\phi_G = 90^\circ$ への回転）（左手系の座標変換）

$$R_y^G(\phi_G) = \begin{pmatrix} \cos \phi_G & 0 & \sin \phi_G \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_G & 0 & \cos \phi_G \end{pmatrix}$$

$$\phi_G = 0^\circ \text{ のとき、} R_y^G(0^\circ) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\phi_G = 90^\circ \text{ のとき、} R_y^G(90^\circ) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

以上の行列を用いると、治療計画座標系の線量指示点座標 $\vec{X}_{RTP} = \begin{pmatrix} X_{RTP} \\ Y_{RTP} \\ Z_{RTP} \end{pmatrix}$ から照射系測定

座標 $\vec{X}_r = \begin{pmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{pmatrix}$ への変換は、以下のように計算される。

$$\vec{X}_r = R_y^G(\phi_G) M R_z^{Rot}(\theta) R_y^{Roll}(\phi) R_z(\theta_{rot}^{HF,FF}) \vec{X}_{RTP}$$

ただし、測定深は常に校正深であるため、 z_r の値は用いられず、ラテラル方向のみ電離箱を (x_r, y_r) ずらして測定することとなる。

2.2. 模擬治療計画による確認試験

各体位についてファントムの CT 画像を得て、それぞれの体位にて模擬治療計画を作成した。その時に線量指示点をアイソセンタと異なる位置に設定し、ずれた線量指示点を中心とする標的を設定した。また、垂直/水平ビームやローテーション角やロール角をいくつか設定した。治療計画の条件を Table 1 にまとめる。これらの条件の組み合わせ、各体位およびビーム方向に対して 6 ビームずつ、合計 48 ビームの治療計画を作成し、算出されたずらし量の分だけ患者校正深測定にて電離箱をずらしたときに、電離箱中心が標的により設定される MLC 開口中心に来ることを確認した。結果、目視であるが電離箱移動が正しく行われていることが確認できた。

Table 1. Simulated treatment planning conditions

Patient position	HFS, HFP, FFS, FFP
Beam direction (ϕ_G (deg))	Vertical (0), Horizontal (90)
Rotation angle (θ (deg))	-20 ~ +20, -160 ~ -180
Roll angle (ϕ (deg))	-10, 0, 5, 10, 15, 20

3. まとめ

提示した計算方法にて、ノンコプラナ（ローテーション角）やロール角に対応することが可能となった。これを基にメーカーと協議して、今後照射系システムを改修する予定である。

GHMC における 2020 年のボーラス使用状況について Usage Survey of Range Compensator at Gunma University Heavy Ion Medical Center in 2020

松村 彰彦
Akihiko Matsumura

Abstract: The range compensator (RC) made of high density polyethylene (HDPE) is used to adjust the range of carbon ions to the target in patient body at Gunma University Heavy Ion Medical Center (GHMC). There are two types of RCs. One is fabricated by drilling the HDPE block and the other is fabricated by punching HDPE plates and stacking them. The latter one can be prepared in a relatively short period of time. Some kinds of heights of RC can be used to fit the target size in clinical practice. In this report, the result of usage survey of RC at GHMC in 2020 is summarized.

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学センター（GHMC）では、ボーラスと呼ばれる器具を使用して体内での炭素線の飛程を調整している。ボーラスは、比較的水に密度が近く、加工・取り扱いが容易な高密度ポリエチレン（HDPE）で製作されている。GHMC では、固体ボーラス（外注、納期は中 2 営業日）とタレパンボーラス（病院 1 階で作成、発注翌日に納品可）という 2 種類のボーラスを使用している。通常は固体ボーラスを使用するが、準備期間が短い症例や、治療中に計画を変更した場合等にタレパンボーラスを使用している。

本報告では、2020 年のボーラスの使用状況についてまとめる。

2. 方法

統合型放射線治療情報管理支援システム（IRIS）上にある、2020 年 1 月～12 月末までに納品されたボーラスデータを月毎に集計した。この中には、三次元測定機での検査結果が NG であったボーラスや、研究用に作成されて臨床で使用していないボーラスも含まれる。また、固体ボーラスで納品されたものの治療期間中に歪みが確認され、タレパンボーラスで作り直した場合等のように、同一 ID で重複するものも区別せず集計した。これらのごく限られた数であるため、結果に与える影響は少ないと考えられる。

3. 結果・考察

Fig.1 に 2020 年のボーラス納品数の内訳と月毎の納品数を示す。2020 年に納品されたボーラスは計 1,776 個で、内訳は固体ボーラスが 1,570 個（88.4 %）でタレパンボーラスは 206 個（11.6 %）であった。月毎の納品数を見ると、定期点検明けの 1 月は納品数が減少していた一方で、定期点検前の 12 月は、肺 4 回照射の症例が比較的多かったため大きな現象は見られなかった。また、6 月と 9 月は一時的に納品数が増えたが、それ以外はほぼ横ばいで、月平均の納品数は 148 個であった。

また、タレパンボーラスの月平均の納品数は 17.2 個（80mm ワーク材：14.4 個/月、160mm ワーク材：2.8 個/月）であった。8 月には、固体ボーラス加工業者が夏季休暇のため、その

間はすべてタレパンボーラスで対応した。本年はコロナの影響で一時的に固体ボーラスが納品されない場合やワーク材の原料調達のリードタイムが長くなることに備え、4月・5月にワーク材を早めに発注して十分に在庫を確保していたため、ワーク材は問題なく対応できた。ただし、タレパンのケースが足りなかったため、80mmのタレパンボーラスの一部を160mmの高さで対応した。そのため、80mmのタレパンケースを追加で発注し2021年4月に納品予定である。

Fig.2は高さ別のボーラス納品数を示している。ただし、タレパンは使用したワーク材の高さではなく、設計データの高さを示している。固体ボーラスは前立腺で主に使用される40mmと60mmの割合が高く、この2種類で全体の8割近くを占めている。一方で、タレパンは部位によらず、ほぼランダムに使用されているため、絶対数の少ない160mm以外はほぼ同程度の割合となっている。これらは例年と同様の傾向である。

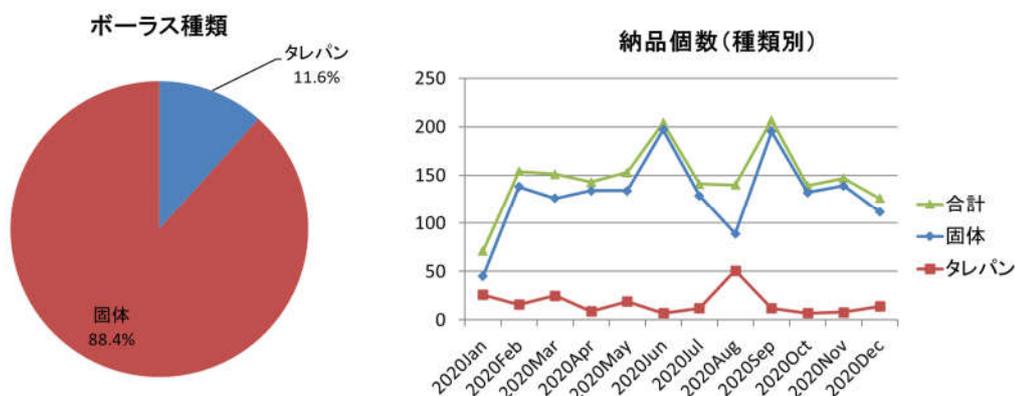


Fig. 1. 2019年のボーラス納品数の内訳（左図）と月毎の納品数。

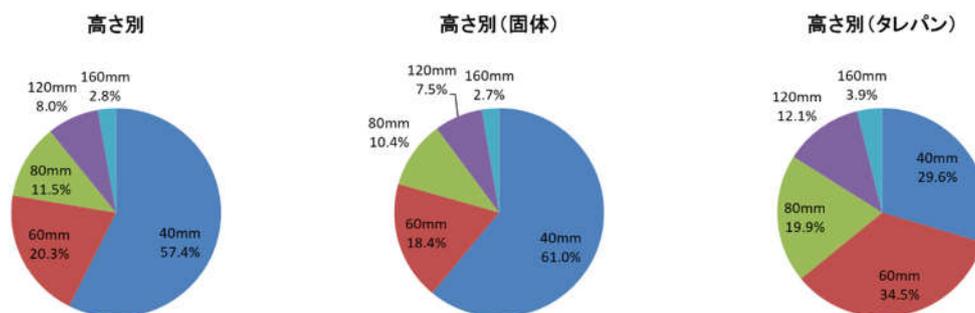


Fig. 2. 高さ別のボーラス納品数。タレパンは使用したワーク材の高さではなく、設計データの高さを示している。

4. まとめ

2020年のボーラス納品数についてまとめた。8月はタレパンボーラス使用が増えたため、80mmのケースが足りなくなった。80mmケースを追加発注して対応すると共に、固体ボーラス加工業者に対しても安定して供給できるように調整してもらう予定である。

IMRT 治療計画数の推移 Number of IMRT treatment plans

酒井 真理
Makoto Sakai

Abstract: In Gunma university hospital, we prepare approximately 300 plans of Intensity Modulated Radiation Therapy (IMR) per year, and the number is increasing every year. Therefore, reducing the workload has become an issue. In this study, we investigated the annual number of treatment plans prepared. Also, we examined the number of SIB plans that were judged to require re-planning when dose distribution was confirmed during the process. As a result, the number of IMRT plans increased at a rate of 10~20% per year in almost all sites except the prostate, and the SIB method introduced in 2018 contributed significantly to the reduction of workload. In addition, there have been few cases of re-planning due to deterioration of dose distribution, suggesting the possibility of reducing the number of dose distribution checks.

1. はじめに

群馬大学放射線科では年間 300 件程度の IMRT 治療計画を作成しており、治療前に電離箱と Delta4 を用いた品質保証 (Quality Assurance, QA) 測定を行っている。IMRT 実施件数は増加傾向にあり、業務量の増加が問題となっている。これまで 2018 年 4 月には前立腺がんに対する重粒子線治療が保険適応となり、現在は原則 IMRT を行わないこととなっている。また 2018 年秋より頭頸部の IMRT については 2018 年度より標的体積内同時ブースト (Simultaneous Integrated Boost : SIB) 法を導入し、プラン作成や QA の負担軽減を図ってきた。また 2019 年度には電離箱測定位置の見直しを行い、負担軽減を行った。これらの結果を踏まえて、治療計画作成件数等の推移を調査し、まとめることとした。

2. 方法

MRT 進捗管理シートのデータを元に群馬大学医学部附属病院で 2016 年 4 月から 2021 年 3 月までに治療が開始された IMRT の治療計画について評価を行った。治療計画は Eclipse で作成した。頭頸部腫瘍に対する SIB 法の場合には、3~4 週間後に CT を再撮影し、線量分布の確認を行った。線量分布は担当医が確認し、顕著な悪化が見られる場合には再計画を行った。またそれ以外にも、治療中の患者状態変化を見て担当医が再計画を指示する場合や、固定具が患者に合わなくなった場合には、再計画が行われた。

3. 結果

部位別の治療人数の推移を Fig. 1 に示す。2018 年度に前立腺がん IMRT が大幅に減少し、全体としてもわずかに治療計画作成件数の減少が見られた。また SIB 法の導入により、確認 CT での分布確認のみとなった件数も増加したため、頭頸部の治療計画件数の増加が抑制できている。確認 CT 撮影時に固定具の再作成や線量分布の悪化が見られた場合にはリプランとなるが、これは治療計画作成件数としてカウントされている。Fig. 2 にリプランとなった件数とその割合を示す。初期にはリプランの割合が 20%程度であったが、2020 年

度では4%まで低下していた。

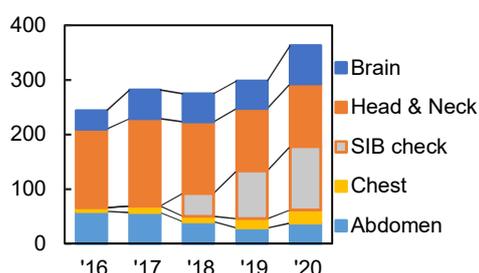


Fig. 1. Number of planning cases per year

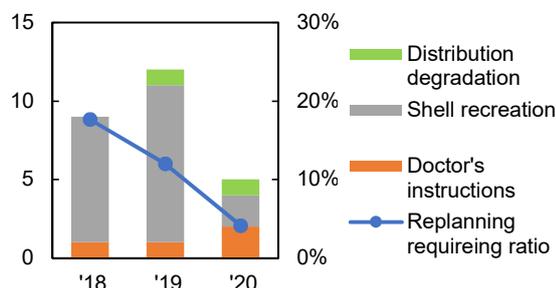


Fig. 2. Percentage of replanning

4. 考察

2016年度と比較すると2020年度の確認プランも含めた治療計画件数は1.5倍に増加していた。頭頸部がんに対する治療計画が多くを占めるため、SIB法の導入による負担軽減効果は非常に大きいと言える。ただし、治療人数は（前立腺がんを除いて）年10~20%の割合で増加しており、今後もこの傾向が続く場合には、何らかの負担軽減措置が必要となると考えられる。

2018年度の頭頸部SIB法運用開始以降において、確認プランで再計画が必要と判断された症例は2件であった。先行研究においても、体系変化による線量分布の悪化が見られるケースは少ないとの報告が有る^[1-3]。分布確認の必要性が低い患者を簡便に判断できる指標を見つけることができれば、確認プランの作成量を減らすことができると考えられる。腫瘍体積は、放射線治療中にも不規則に減少し、患者の体形変化も線量分布に影響を与えると考えられる^[4-6]。先行研究においては元の腫瘍体積^[7]やステージ^[7,8]、化学療法との併用の有無^[9]、年齢^[7]等との間で相関が指摘されている。一方で体重変化との相関は小さかったとの報告がある^[10]。これら先行研究を参考に、本院での傾向について調査し、今後の治療方針に役立てる必要が有ると考えられる。

5. まとめ

本院でのIMRT治療件数は年間10~20%の割合で増加しており、重粒子線治療が前立腺癌に保険適用となった効果は限定的であったと言える。本院におけるIMRTの主なターゲットは頭頸部癌であり、SIB法を用いたことによる治療計画作成の負担軽減効果は大きい。今後の治療件数増加を見据え、さらなる負担軽減について検討が必要と考えられるが、年間100件程度作成されている確認プランについては、負担軽減の可能性が有ると考えられる。

参考文献

- [1] David JN, Ping-Lin Y, Shannon YKS, et al. Anatomical change during radiotherapy for head and neck cancer, and its effect on delivered dose to the spinal cord. *Radiother Oncol.* 2019;130:32-38.
- [2] Narita Y, Kato T, Ono T, et al. Effect of anatomical change on dose distribution during

- radiotherapy for maxillary sinus carcinoma: passive scattering proton therapy versus volumetric-modulated arc therapy. *Br J Radiol.* 2018;92(1093):20180273.
- [3] Suzanne B, Marcel J, Olga HV, et al. Protocolised way to cope with anatomical changes in head & neck cancer during the course of radiotherapy. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol.* 2019;12:34-40. 1. 2013;6:356-366.
- [4] David S, Blaise B, Bruce CVC, et al. Multisociety Consensus Quality Improvement Revised Consensus Statement for Endovascular Therapy of Acute Ischemic Stroke. *Int J Stroke.* 2018;13(6):612-632.
- [5] Jerry LB Jr, Adam SG, K Kian A, et al. Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004;59(4):960-70.
- [6] Ryota B, Hitoshi I, Takashi K, et al. Changes of tumor and normal structures of the neck during radiation therapy for head and neck cancer requires adaptive strategy. *J Med Invest.* 2013;60(1-2):46-51.
- [7] Shuai L, Chengming L, Zhenhua G, et al. The Predictive Value of Tumor Volume and Its Change on Short-Term Outcome for Esophageal Squamous Cell Carcinoma Treated With Radiotherapy or Chemoradiotherapy. *Front Oncol.* 2021;10:586145.
- [8] Wenyong T, Yingjie W, Ming Y, et al. Analysis of geometric variation of neck node levels during image-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma: recommended planning margins. *Quant Imaging Med Surg.* 2018;8(7):637-647.
- [9] Suzanne B, Marcel J, Olga HV, et al. Protocolised way to cope with anatomical changes in head & neck cancer during the course of radiotherapy. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol.* 2019;12:34-40.
- [10] Bando R, Ikushima H, Kawanaka T, et al. Changes of tumor and normal structures of the neck during radiation therapy for head and neck cancer requires adaptive strategy. *J Med Invest.* 2013;6:356-366.

装置開発

カーボンナイフ微小ビームの応用に向けた

動物位置決め用 X 線画像装置の導入

Installation of X-ray radiography system for animal positioning toward the application of Carbon-Knife fine beams

田代 睦、吉田 由香里、加納 洋介

Mutsumi Tashiro, Yukari Yoshida, Yosuke Kano

Abstract: An X-ray radiography system has been installed on the scanning beam port at the treatment room D for precise positioning of small animals toward the application of fine carbon-ion beam experiments. We describe an overview of the system and show the test result of the X-ray imaging. This system is expected to be useful not only for the carbon-knife applications but also for general scanning irradiation experiments.

1. はじめに

カーボンナイフはシャープな線量分布と高 LET から頭蓋内微小疾患等に対する治療法として期待され、治療室 D のスキャニングポートにてこれまで数~10 mm 程度の照射野形成試験が行われてきた^[1]。更に我々は 1 mm サイズの微小炭素イオンビームの形成試験を行い、微小ビームに対して線量計サイズ以下の空間分解能で線量の定量を行うため、逐次近似法を用いた線量分布再構成法を提案し、また、フィルタ処理を導入して線量分布の定量化を行ってきた^[2-4]。

このような微小ビームの応用として、動物などの試料内の特定微小部位への照射が考えられている。そのためには試料に対してサブミリメートルでの位置決め精度が要求される。照射直前に試料の位置決めを可能とするために、X 線装置の導入を行ったので、以下にその概要を述べる。

2. 機器構成

機器構成の全体図を Fig. 1 に示す。X 線管やフラットパネルセンサ(FPS)の制御や画像取得を 1 つの PC で行えるようにしている。より詳細な 3 次元での位置決めには 2 式の X 線管と FPS が望ましい。しかし、ビーム軸方向の試料位置による炭素線の打ち込み深さの変化はほとんど無視できるため、ラテラル方向の X 線装置の優先度は低いと考えられる。一方、ビーム軸に対するラテラル方向の位置精度が非常に重要となる。このため、ここではビーム方向像（フロントル）の X 線撮像が可能となるようビーム軸上に 1 式の X 線装置を導入した。

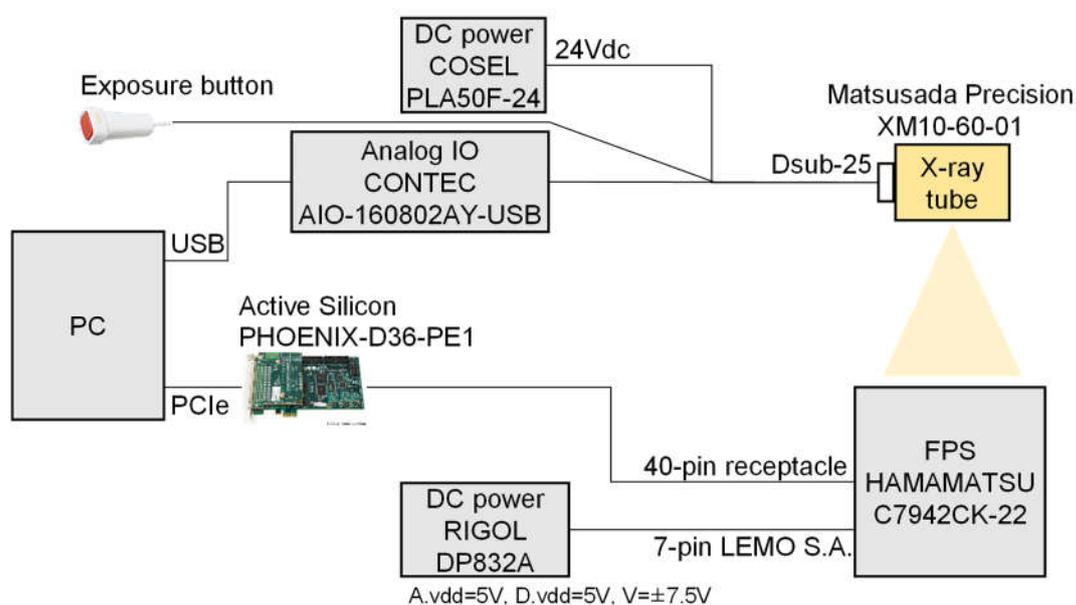


Fig. 1. Schematic diagram of device configuration and connection for X-ray radiography system.

2. 1. X 線管

X 線管としては松定プレジジョン（株）の X 線モジュール(XM10-60-01)を採用した。X 線装置の基本仕様を Table 1 に示す。管電圧として 60 kV 程度、焦点サイズとしては可能な限り小さいものが望ましいが、管電流や価格との兼ね合いで、また、ビームラインへの着脱を想定して重量やサイズなどに対する要請から、本機器が選択された。管電流は若干小さいことが懸念されたが、曝射時間で調整が可能のため利用可能と判断した。

Table 1. Basic specification of the X-ray module.

Tube voltage	10-60 kV
Focus size	0.05 mm
Tube current	33-166 μ A
Max power output	10 W
Window material	Glass
Irradiation angle	20 degree
Operation mode	Continuous
Dimensions	279 x 101 x 101 mm ³

X 線装置への入力電源として要求される性能は 24 V \pm 1 Vdc、1.2 A であり、それ程高精度の電源は不要なため、小型で安価な組込型電源として COSEL の PLA50F-24 を採用した。出力制御としては、USB 接続のアナログ入出力ユニット（CONTECAIO-160802AY-USB）を用いて、PC のからの最大 10V のアナログ出力、具体的には出力管電圧のコントロール入力 (V_{CON})、出力管電流コントロール入力 (I_{CON}) により出力管電圧および管電流をそれぞれ制御できる。また、モニター用として X 線装置からのモニター出力、具体的には出力電圧モニター出力 (V_M)、出力電流モニター出力 (I_M) を読むことで、PC 上で X 線管の電圧および電流をモニターすることができる。各制御用電圧と実出力との関係を Table 2 に示す。

Table 2. Relationship between control voltage and output.

		Control voltage	Output
Output voltage control input	V_{CON}	1.67-10 V	10-60 kV
Output current control input	I_{CON}	2-10 V	33-166 μ A
Output voltage monitor output	V_M	1.67-10 V	10-60 kV
Output current monitor output	I_M	2-10 V	33-166 μ A

X線曝射の際には、安全性の確保の観点から、ボタンを押している間のみX線が出力されるようにするために、押しボタン式のスイッチを配線し、X線装置のリモートスイッチ端子に接続した。

2.2. フラットパネルセンサ(FPS)

X線の受像器としては、浜松ホトニクス（株）のフラットパネルセンサ(FPS) (C7942CK-22)を採用した。小動物用として必要となる大きさ(12 cm×12 cm)を持ち、画素サイズが十分小さいもの(0.05 mm)として本製品が選択された。FPSの基本仕様をTable 3に示す。

Table 3. Basic specification of the FPS.

Pixel size	50 x 50 μ m ²
Photodiode area	120 x 120 mm ²
Number of pixels	2400 x 2400 pixels
Number of active pixels	2240 x 2344 pixels
Readout	Charge amplifier array
Video output	RS-422 (differential), 12-bit
Output data rate	15.15 MHz
Scintillator	CsI
Incident X-ray energy	80 kVp

FPSへの電源は0.1V程度の安定性が求められるため、FPSメーカーで使用実績のある直流電源(RIGOL DP832A)を用いた。FPSの制御は浜松ホトニクス（株）の画像取得ソフトウェア Hipic (U8913-01)を用いている。これは露光時間やタイミングの制御が容易になっている。これらの制御信号や画像データの送受信は、PCIe 拡張カードであるグラバボード(Active Silicon PHOENIX-D36-PE1)を介して行われる。

3. X線モジュールの設置

X線モジュールに対しては、微小ビーム照射で使用できるように、コリメータと同じく照射ポートに設置可能となるように、専用の治具を製作した。D室照射ポートの下流端には、元々拡張用のレンジシフタ用ホルダが設置できるようになっていたため、そのホルダと同一形状で代わりに設置できるものを製作した。Fig. 2 にポートに設置された治具の写真を示

す。X線モジュールと微小ビーム用のコリメータが取り付けられるようになっている。X線モジュールは、X線撮影時にはX線管の焦点が炭素線のビームライン上に一致するように挿入させ、炭素線照射時には待避させることが可能となっている。それとは独立に、微小ビーム用のコリメータの脱着も可能となっている。

FPS側は現状では専用の治具は製作されていない。このため、位置決め後に照射を行う場合には、試料の下側に設置したFPSに対しては、試料位置を調整し、位置決め後にFPSのみ取り除いて照射をする手順が必要となっている。

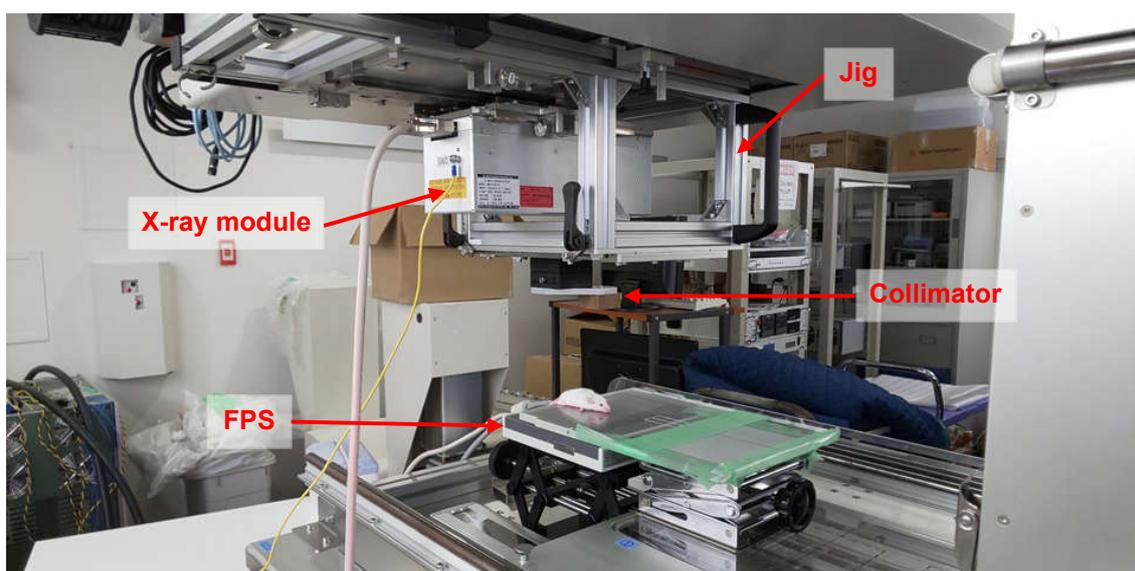


Fig. 2. Photograph of the jig installed in the port, built-in X-ray module and collimator for fine carbon-ion beam. The FPS and an animal sample for imaging test are also shown on the downstream side of the port.

4. X線撮像試験

Fig. 2 に示された状態で、生体 (C57BL/6J マウス) を用いて X 線撮像試験を行った。得られた画像の一部を Fig. 3 に示す。Fig. 3(a)はコリメータ無しの状態、(b)は $\phi 1$ mm のコリメータを挿入した状態の画像である。この 2 枚の画像を重ねることにより、試料上でのビーム照射位置を特定することができる。ただし、X線のファンビーム効果のため、X線源点、コリメータ、FPSの位置により、撮像されたコリメータの開口径は、実際よりも大きく見えていることに注意が必要である。構築した X 線撮像システムによりサブミリメートルの精度で撮像が可能であることが示された。

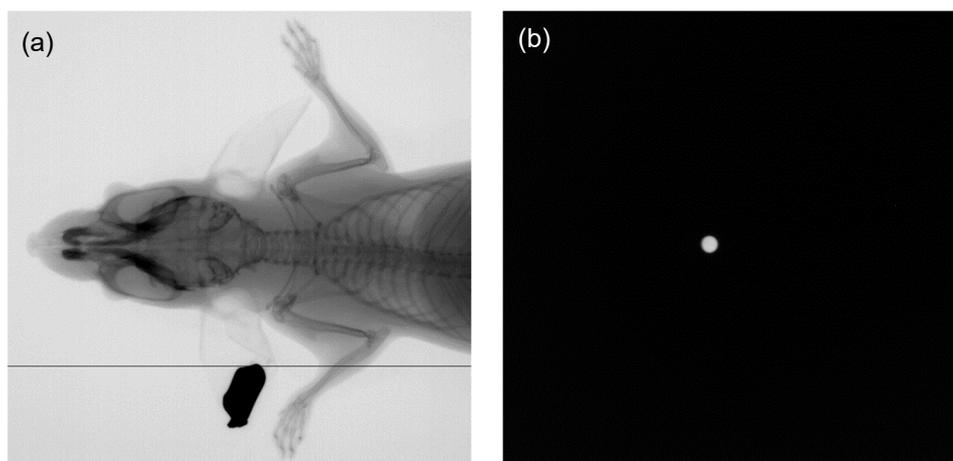


Fig. 3. Part of the captured images by the X-ray radiography system without (a) and with the collimator (b).

5. まとめ

微小ビームの動物照射への応用を目指して、治療室 D のスキヤニングポートに X 線撮像システムを導入した。器機類の接続や制御が正常に動作することを確認することができた。このシステムは微小ビームに限らず、治療室 D の動物実験の位置決め利用可能である。

参考文献

- [1] Keawsamur M, Matsumura A, Souda H, et al. Development of stereotactic radiosurgery using carbon beams (carbon-knife). *Phys. Med. Biol.* 2018, 63: 045024.
- [2] Tashiro M, Souda H, Torikoshi M. Dose distribution reconstruction of fine carbon-ion beams using iterative approximation. *Jpn. J. Med. Phys.* 2018, 38: Sup. 3, 77.
- [3] Tashiro M, Souda H, Yoshida T and Sakurai H. Filtering process examination for dose distribution reconstruction of fine carbonion beams using iterative approximation. *Jpn J Med Phys* 2019, 39: Sup. 3, 22.
- [4] Tashiro M, Souda H, Yoshida T and Sakurai H. Reconstruction of dose distributions for fine carbon-ion beams using iterative approximation toward carbon-knife. *Phys. Med. Biol.* 2020, 65: 225023.

その他研究

照射内変動を考慮した積層原体照射の線量分布評価 Evaluation of dose distributions for the layer-stacking conformal irradiation with intrafractional movement

長谷部 有希、田代 睦、櫻井 浩
Yuki Hasebe, Mutsumi Tashiro, Hiroshi Sakurai

Abstract: While layer-stacking conformal irradiation can reduce unnecessary doses outside the target, intrafractional motion may worsen the uniformity of dose distribution in the target. In this study, we calculated axial clinical dose distribution changes to find out how much internal structural fluctuations affect the target dose uniformity when the target is displaced in the beam direction. As a result, we found that the dose change exceeding $\pm 5\%$ in the SOBP region occurs with the displacement of 1 to 2 mm.

1. はじめに

積層原体照射はビームを層状に分割して重ね合わせて照射する方法であり、標的外のプロキシマル側の線量が低減され原体性が高い治療が可能になる。積層原体照射中に呼吸性移動やガス移動等の構造変動により標的への水等価深さが変化すると線量均一性が悪化するため、現状では体内構造に動きがある場合は適用されていない。今までに呼吸性移動による積層原体照射の物理線量測定による線量均一性の評価が行われている。^{[1][2]}本研究では照射中のスライス間で発生する構造変動に着目し、ビーム軸方向の体内変動とそれに伴う飛程変動がどの程度影響するかを調べるために線量均一性評価を行った。

2. 方法

直径 90 mm の球標的を想定し、標的中心を通るビーム軸上の線量分布を計算により再現した。単層の線源データや治療計画装置から取り出したウェイト情報等を使用して、実際の治療計画と同様の計算方法を用いて計算した。線源データをビーム上流方向に 2.5 mm ずつシフトしてウェイトを乗じて積算し、生物学的効果比(RBE)を乗じて計算した^[3]。RBE 計算では線源データから得られる深さごとの α 、 $\sqrt{\beta}$ に係数(積算線量に対する各スライスの線量比)を乗じることにより線量平均として α_{mix} 、 $\sqrt{\beta_{mix}}$ を算出した後に RBE を計算した^[4]。 α 、 β は LQ モデルのパラメータであり、LET に依存する。そして今回はスライス間のビーム軸方向の標的変位のみに着目した。Fig. 1 に示した図は静止状態での深部線量分布であり合計で 37 スライスある。任意のスライス番号以降のビームを±方向(-:ビーム上流方向、+:ビーム下流方向)にシフトした時の線量分布を計算した。計算ではビーム変位により標的変位を再現した。算出した線量分布について SOBP 内における処方線量に対する変化割合を求め、 $\pm 5\%$ を基準として線量均一性を評価した。

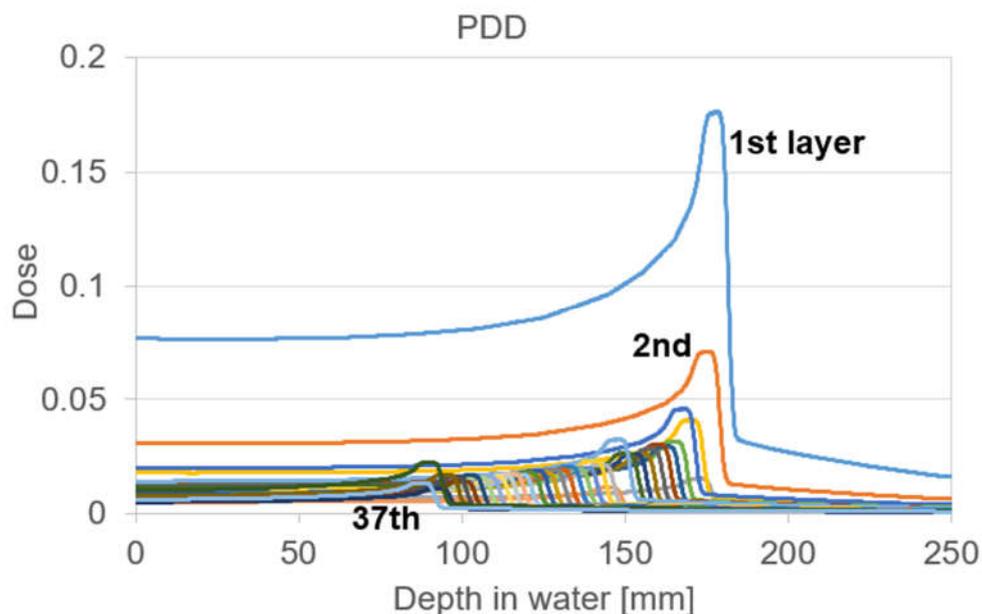


Fig. 1. Depth-Dose profile for each layer with static condition.

3. 結果と考察

計算結果の例を Fig. 2 に示す。処方線量 100% に対して -5% を超えている領域が発生していることが確認できる。スライス番号と変位ごとに最大の線量変化率を示した結果を Fig. 3 に示す。スライス毎に変位量を増加させると、とある変位量から最大の線量変化率が 5% を超える。そのうちの最小の変位量を取り出した結果を Table 1 に示す。Table 1 の結果より、スライス番号が大きくなるほど最小変位量は増加していることが示された。スライス番号が大きくなるとスライスのウエイトが小さくなるためである。また、ウエイトの大きいスライス番号がシフトした場合は 1-2 mm の変位量でも最大線量変化率が 5% を超える領域が発生することが示された。

今回の線量計算は軸方向の線量の最大、最小のみを取り扱っている。実際には 3 次元標的の体積全体に対する線量変化の割合を算出するほか、標的の変位スピード等があり、これらを考慮することにより平均化される可能性がある。

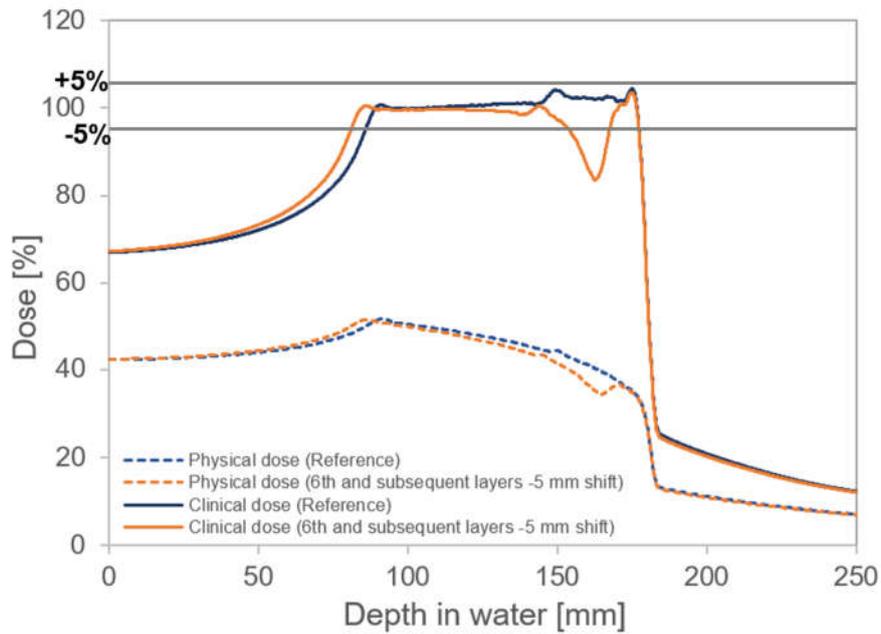


Fig. 2. Physical and clinical dose distributions with -5 mm residual range shift for the 6th and subsequent layers.

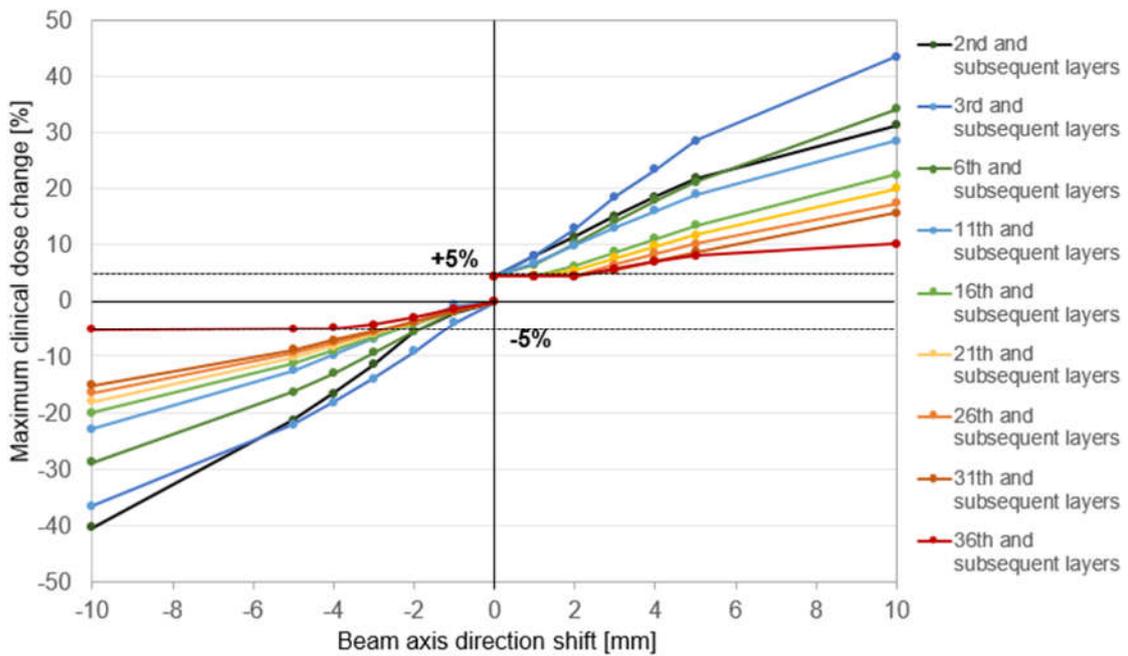


Fig. 3. Maximum clinical dose change depending on the shift amount with the layer at which the shift started.

Table 1. Minimum shift amount with maximum clinical dose change exceeding $\pm 5\%$.

Layers [th and subsequent]	Minimum shift amount [mm]	
	- direction	+ direction
2	2	1
3	2	1
6	2	1
11	3	1
16	3	2
21	3	2
26	3	3
31	3	3
36	5	3

4. 結論

ウエイトの大きいスライスにおいては 1-2 mm の標的変位により最大線量変化が基準とした $\pm 5\%$ を超える領域が発生することが示された。

参考文献

- [1] Tajiri S, Tashiro M, Mizukami T, et al. Margin estimation and disturbances of irradiation field in layer-stacking carbon-ion beams for respiratory moving target. *Journal of Radiation Research*. 2017;58:840-848.
- [2] 長谷部有希. 重粒子線による呼吸同期積層原体照射の線量分布測定と評価. 令和元年度 学士学位論文. 2020.
- [3] Kanai T, Kanematsu N, Minohara S, et al. Commissioning of a conformal irradiation system for heavy-ion radiotherapy using a layer-stacking method. *American Association of Physicists in Medicine*. 2006;33:2989-2997.
- [4] Kanematsu N, Endo M, Futami Y, et al. Treatment planning for the layer-stacking irradiation system for three-dimensional conformal heavy-ion radiotherapy. *American Association of Physicists in Medicine*. 2002;27:2823-2829.

X線治療装置によって発生する中性子の試験的測定 Pilot measurement of neutron flux generated from a LINAC

酒井 真理
Makoto Sakai

Abstract: The number of patients with a cardiac implantable electronic device is increasing, and there are concerns about malfunction due to radiotherapy. In particular, high-energy X-rays (>10 MV) produce neutrons through photonuclear reactions and high-energy neutrons would affect electronic devices. The Japanese Society for Radiation Oncology guideline classifies X-ray therapy with more than 10MV as high risk. However, the evidence has not been sufficiently gathered. The magnitude of the risk is thought to depend on the irradiation site and environment. In this study, we investigated whether it is possible to measure fast neutrons produced by X-ray therapy equipment easily to obtain basic data for risk assessment.

1. はじめに

不整脈治療装置としてペースメーカーや植込み型除細動器が普及し、世界中で多数の移植が行われている。これら植込み型心臓電気デバイス (Cardiac Implantable Electronic Devices: CIEDs) の装着患者に放射線治療を行う際には、放射線によって誤作動を起こすリスクが懸念される。特に 10 MV 以上の光子線を利用する場合には光核反応などにより中性子が発生し、特に高エネルギーの中性子は電子機器への影響が大きいとされている。そのため 10 MV 以上の光子線は、日本放射線腫瘍学会のガイドラインにおいても高リスクに分類されている^[1]。しかしながら、エビデンスは十分とは言えず、各治療における環境や条件に依存する要因も大きいと考えられる。そこで本研究では、リスク評価のための基礎データを得るため、本学 X 線治療装置から発生する高エネルギー中性子について簡便に測定ができないか検討した。

2. 方法

2.1. リニアック

群馬大学付属病院に設置されている放射線治療装置 Elekta Synergy (エレクタ株式会社) を使用した。加速エネルギーは 10 MV とし、照射野が $5.6 \times 5.6 \text{ cm}^2$ となる条件下で照射を行った。連続運転によるオーバーヒートを防止するため、本研究では 20 分照射を 3 回繰り返し、各照射の間に 2 分間の装置冷却時間を設けた。合計 60 分の照射における MU 値の合計は 14570 であった。

2.2. 照射サンプル

本研究では高エネルギー中性子を測定するため、アルミニウム箔 ($2 \times 2 \times 0.1 \text{ cm}^3$, __ g) を放射化させ、その放射化量を測定した。アルミニウムは閾値 3.3 MeV で $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 反応を起こす (Fig. 1)。 ^{24}Na は半減期 15 時間で β 崩壊し、1.37 MeV と 2.75 MeV の γ 線を放出する。これら γ 線の測定量から ^{24}Na の生成量を測定し、高速中性子の発生量を算出す

ることができる。

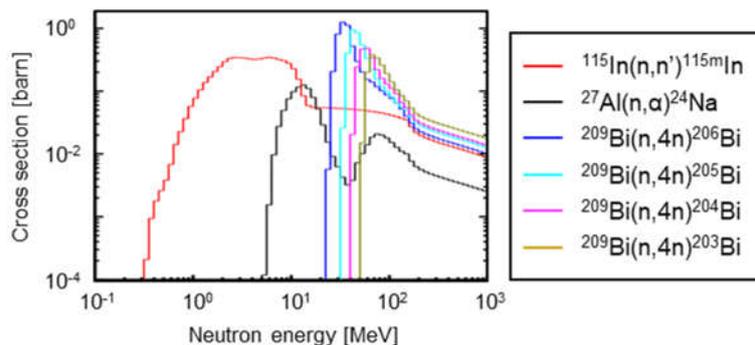


Fig. 1. Cross-sections of the $^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$, $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$, and $^{209}\text{Bi}(n,xn)^m\text{Bi}$ monitor reaction as a function of neutron energy.

2. 3. 実験体系

上述のアルミニウムサンプルを LINAC の照射ポート出口に設置した (Fig. 2)。60 分間 X 線を照射後、アルミニウムサンプルを回収し、照射終了 12 分後 (照射開始から 74 分後) から 24 時間 CZT 検出器 (GR-1, KromeK) で γ 線を測定した。



Fig. 2. Irradiated aluminum sample.

3. 結果

CZT 検出された γ 線のエネルギースペクトルを Fig. 3 に示す。図には参考のため、バックグラウンド測定と重粒子線を照射したアルミニウムサンプルの測定結果を合わせて表示している。 $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 反応由来の γ 線は測定されなかった。重粒子線によって発生する中性子計測の経験から energy window を 1320~1400 keV とした場合、本実験でのカウント数は 91 であり、計数率は BG 測定時と同程度となっていた。

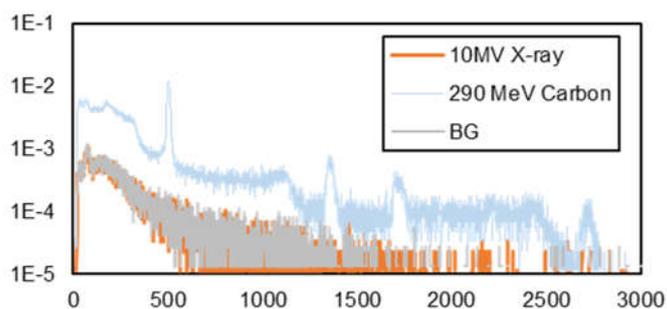


Fig. 1. Gamma ray energy spectrum from irradiated aluminum

4. 考察

X線治療装置内の構造は複雑であり、その形状や組成については詳細を知ることも難しい。そのため、シミュレーションによって、中性子の発生量や分布を算出することは困難なため、実測が重要となっている。今回の測定では ^{24}Na 由来の γ 線を計測することはできなかったが、仮にenergy window内の91カウントが全てBG成分とし、その 3σ (=28.8カウント)を検出限界とすると、本実験における中性子フラックスは 1.3×10^4 neutron/cm²/sec以下となる。先行研究において、照射ポートでのフラックスが測定された例は見られないものの、妥当な結果と考えられる^[2,3]。今回の測定に用いた放射化反応の閾値は3.3 MeVであり、より低いエネルギーの光速中性子については測定できていない。 $^{115}(\text{n}, \text{n}')^{115\text{m}}\text{In}$ 反応は閾値が0.3 MeVであり、断面積が大きいことなどから、放射化を検出できる可能性がある。ただし、電子機器への影響が懸念されるのは数MeV以上の高エネルギー中性子とされており、 $^{115}(\text{n}, \text{n}')^{115\text{m}}\text{In}$ 反応を用いる場合には、リスクを過大評価する可能性があり、注意が必要である。

5. まとめ

本研究では $^{27}\text{Al}(\text{n}, \alpha)^{24}\text{Na}$ 反応を用いて放射線治療装置(LINIAC)から発生する中性子の測定を試みた。その結果、 ^{24}Na 由来の γ 線を計測することはできず、本研究の条件下での高速中性子束は 1.3×10^4 neutron/cm²/sec以下と推定された。

参考文献

- [1] 日本放射線腫瘍学会・日本循環器学会編, 植込み型心臓電気デバイス装着患者に対する放射線治療ガイドライン, 2018
- [2] Felix M, Georges AM, Logan M, et al. The impact of treatment parameter variation on secondary neutron spectra in high-energy electron beam radiotherapy. *PhysPhysica Medica*. 2020;80:125-133.
- [3] Najmeh M, Hashem MH, Laleh RM, et al. Neutron spectrometry and determination of neutron contamination around the 15 MV Siemens Primus LINAC. *J Radioanal Nucl Chem*. 2015;04:1001-1008.

2020 年度医学物理士試験対策用 WEB サイトの利用者に関する調査 FY2020 Analysis of the Users of the Test-Preparation Web-Site for Medical Physicist

酒井 真理
Makoto Sakai

Abstract: To provide a ubiquitous system to study the coverage, I launched a website “Test-preparation for Accreditation Exam of Medical Physics using Past Exams”. To assess the need and the improvement of the website, the information of user and utilization situation was studied using registration information, questionnaire, and access data analytics. The number of student users increased compared to last year. And there was a decrease in the number of accesses, probably mainly due to the drop in the number of examinee with the expansion of Covid-19.

1. はじめに

本邦において医学物理士となるためには医学物理士認定機構の試験に合格する必要がある。認定試験は内容が物理学・生物学・医学と広範に及び、臨床的な知識も要求されるが、その教科書とできるものが少なく、試験全体をカバーできる講習会も東京での開催に限られている。簡便でユビキタスな学習の機会を提供するため、2017年7月1日より認定試験過去問を使用した学習用 WEB ページ「過去問で学ぶ医学物理士試験対策」(<http://sakai-m.showa.gunma-u.ac.jp/>)を作成・公開している。本 WEB ページでの過去問および解答解説案の公開については医学物理士認定機構との間で利用許諾契約書を交わして本年度の公開を承諾いただき、サイトの利用については登録制としている。

今後の WEB ページ運用を継続する必要性やその際の課題についての基礎資料とするため、アクセス解析を行い利用者情報や利用状況を集計している。また毎年2月下旬にアンケートを実施し、利用者の状況を把握している。これらの結果及び登録時の情報をまとめ解析した。

2. 調査方法

本サイトの利用登録時に伺っている所属機関や職種、および google analytics を用いたアクセス解析の結果を集計した。さらに、昨年度の試験日から今年度の試験日までに利用者登録されていた145名に対して、2/15にメールにてアンケート依頼文を送付した。WEB 上での回答を基本として依頼し、PDF での回答も受け付けた。ID 記名式で下記項目のアンケートを行った。締め切りは2週間後の3/1とした。

- ・ ID (必須)・アカウントの継続希望 (必須)・職種・取得済み関連資格
- ・勉強環境・受験の有無・可否・サイトを知ったきっかけ・主なアクセス方法
- ・利用頻度・満足度・改善点/要望等

アンケートは95名から回答をいただいた。登録 ID と利用継続の希望のみを必須としたが、回答いただいた全ての方が他の項目についても回答を下された。ただし、一部に未記入

の項目もあり、項目ごとに回答数は若干の違いがある。

3. 結果

3.1. 利用登録情報の集計結果

3.1.1. 利用登録人数

2 利用登録人数の推移を Fig. 1 に示す。017/7/1 に WEB ページを公開し、現在も継続して WEB ページの公開している。2020 年度医学物理士認定試験の試験日（9/26）までの登録者数は 911 名となった。その後も緩やかに登録者数は増加し、2/28 時点では 948 名となっている。登録者数の増加ペースは試験後にやや緩やかとなったものの、現在もほぼ一定のペース（5 名/週程度）で増加している。

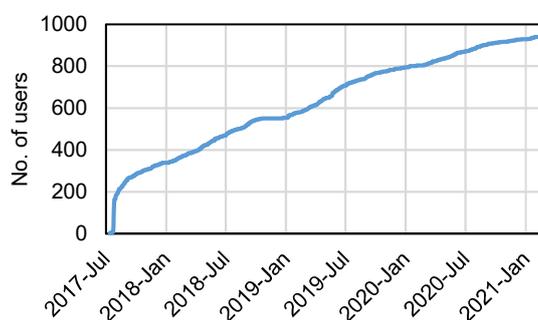


Fig. 1. Number of the users

3.1.2. 職種

登録時の情報をもとに、利用者の職種を医療職・学生・教員/研究職・民間企業の 4 項目に分類した。利用者からの申請時には職種を自由に記載いただいているため、当方で適宜分類した（例えば医療職には診療放射線技師や医師、医学物理士が含まれている）。昨年度までと構成比率はおおよそ変わらなかった。診療放射線技師が多いものの、やや比率は低下し 69%（←73%）となった。一方、学生の割合は昨年引き続いて増加傾向が見られ 24%（←20%）に上昇した。（（）内の数値は昨年度調査時）

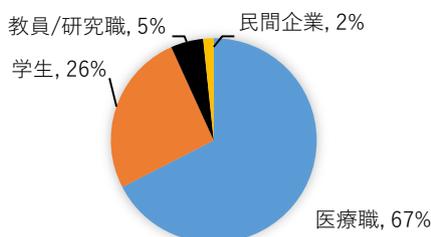


Fig. 2. User's Occupation

3.2. アクセス解析結果

3.2.1. アクセス数

2017/8/15 に Google Analytics に登録し、アクセス解析を開始した。年度別の日別アクセ

ス数（セッション数）の推移を示（Fig. 3）す。試験日の位置が合うように、2017～2019年度分はグラフをシフトさせている。アクセス数は昨年度までと比較して15%程度少なく、特に試験直前のアクセス数は30%～40%程度少なくなっていた。これは受験者数が例年の70%程度に留まったことが主な原因と考えられる。また曜日/時間別のアクセス数を Fig. 4に示す。曜日・時間別にみると平日の午後の利用が多くなっており、これまで多かった夜間や週末のアクセスが減少していた。

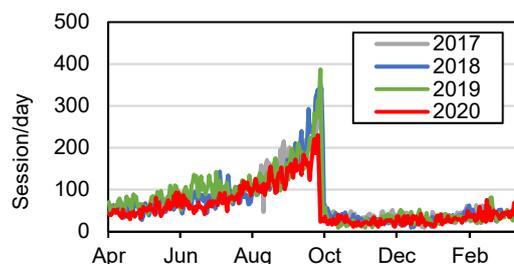


Fig. 3. Time Course of session number7/1 に WEB

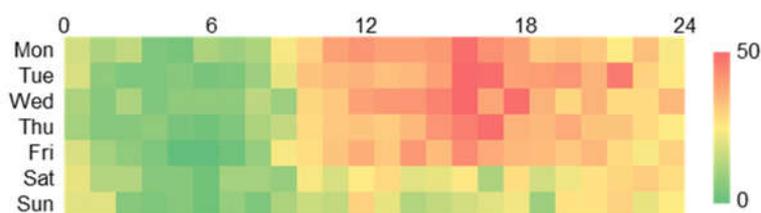


Fig. 4. Hourly session number by day of the week

3. 2. 2. 利用端末と地域

アクセス端末は PC と mobile が同程度であったが、昨年に比べ PC での利用割合が増加していた（Fig 5 左）。アクセス元の地域別割合を見ると都市部からのアクセスが多くなっていた（Fig 5 右）。

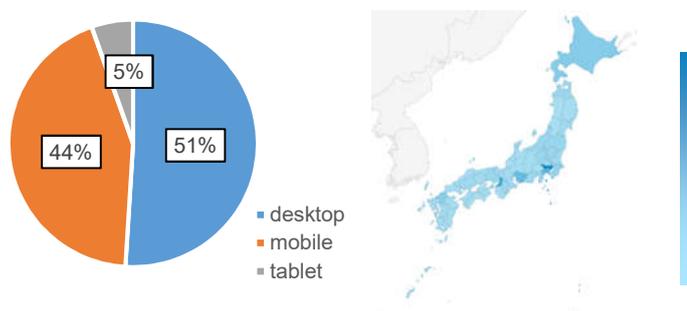


Fig. 5. Device (left) and access region (right)

3. 3. アンケート解析結果

3. 3. 1. 試験の可否及び利用継続の希望

29 名の方が認定試験を受験しており、合格者は 17 名であった（合格率 41%）。本 WEB

サイト利用者の合格率は全体の合格率よりやや高い結果となった。回答者の内 89/94 名が継続を希望すると回答した。ただし、継続を希望しないとした 5 名中 4 名が認定試験に合格していた。残る 1 名は学生であり、本年度の試験に出願しなかったと回答した。

3.3.2.取得済み資格

取得済みの資格について、複数回答可で伺ったところ、77 名の方が診療放射線技師資格を有していた (Table 1)。また半数以上の方が主任者 1 種資格を取得され、また 6 割以上の方が (診療放射線技師以外の) 何らかの資格を有していた。

Qualification	No
Radiological technologist	77
Professional Radiotherapy technologist	17
senior radiation protection supervisor	57
junior radiation protection supervisor	1
Radiotherapy quality manger	1
Medical physicist	17
Other	6

3.3.3.満足度

満足度については総合的な満足度、操作性・使いやすさ (操作性)・読みやすさ (可読性)・解説の質・解説の量の 5 項目について満足 (5 点) から不満 (1 点) までの 5 段階で評価をいただいた。総合的には高い満足度 (4.5) と昨年度同様に評価いただいた。また解説の質 (3.8→4.0) や解説の量 (3.7→4.0) に改善が見られた。ただし、ID のみとはいえ、記名式のアンケートである点や、比較的満足度の高い方ほどアンケート回答率が高くなると考えられることから、解釈には注意が必要である。解説の量を増やしてほしいとのコメントはまだ複数寄せられており、特に物理における計算問題の解説を求めるコメントが多かった。

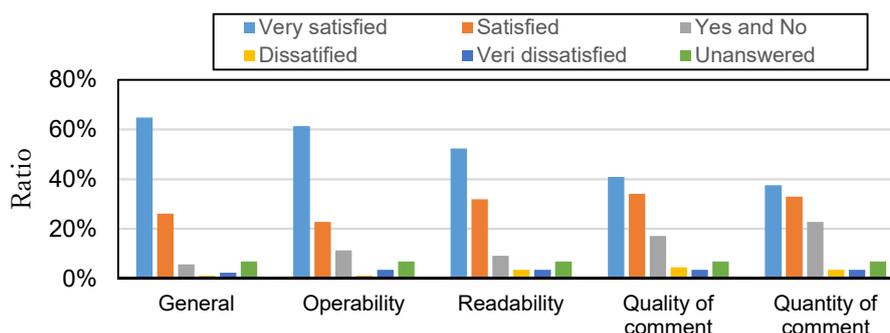


Fig. 6. Satisfaction level

4. 考察

利用登録者数は現在も一定のペースで増加している。曜日/時間別のアクセス数をみると平日の出勤時刻や昼休憩、退勤後にあたる様な時間のアクセスが減少し、平日午後のアクセスが多くなっていった (Fig. 4)。学生の利用登録者が増加していること (Fig. 2) や新型コロナウイルスの感染拡大に伴って外出自粛が求められていたことなどから、自宅からの利用

が増加した可能性が示唆される。PC での利用が増加していることもこれを支持している。アクセス地域は都市部で多くなっていた。これは診療施設数や人口が多いことが要因と思われるが、IP アドレス等の所在地登録が主に都市部となっているため、実態よりも都市部を過大評価している可能性が有る。

勉強環境について自由記述で伺ったところ、指導者や仲間がいないと答えた方は 33 名に上っており、学生の利用者が増えた現在においても、学習環境が十分に整っているとはいえない状況が続いていると思われる。

満足度についてのアンケート結果からはおおむね良好な返答をいただけており、解答の質・量ともに満足度が向上した。解答の量を増加させたためと思われるが、可読性に関する満足度の低下は見られていない。ただし、ID のみとはいえ記名式のアンケートである点や、比較的満足度の高い方ほどアンケート回答率が高くなると考えられることから、解釈には注意が必要である。誤答を指摘するコメントが複数あることから、より注意して解答を作成すると共に、それらの指摘を具体的に連絡いただけるように働きかけたい。解説に図を追加してほしい旨のコメントが複数見られたため、検討していきたい。

5. まとめ

昨年度に引き続き、同様のアンケートを行い、変化を確認した。今年度は受験者数が減少しており、アクセス数も同様の減少が見られた。今後も WEB サイトの運営継続を求める声が多いことから、来年度についても認定機構に契約をお願いしたいと考えている。その際、解説の増加などが求められていることから、できる限り対応していきたい。

参考文献

- [1] Kadoya N, Karasawa K, Sumida I, et al. The current status of education and career paths of students after completion of medical physicist programs in Japan: a survey by the Japanese Board for Medical Physicist Qualification. *Radiol Phys Technol* 2015;8:278–85.
- [2] Kadoya N, Karasawa K, Sumida I, et al. Educational outcomes of a medical physicist program over the past 10 years in Japan, *J Radiat Res.* 2017;58(5):669–674.
- [3] Kron T, Cheung KY, Dai J, et al. Medical physics aspects of cancer care in the Asia Pacific region. *Biomed Imaging Interv J.* 2008; 4(3): e33.
- [4] Kron T, Azhari HA, Voon EO, et al. Medical physics aspects of cancer care in the Asia Pacific region: 2011 survey results. *Biomed Imaging Interv J.* 2012; 8(2): e10.

マシンタイム報告

生物・物理基礎研究に関するマシンタイムの利用報告

Report of MT users for basic research

GHMC マシンタイム委員会

GHMC MT committee

GHMC では放射線医学、生物学、物理学の研究で重粒子線照射実験を希望する研究者に対して、治療時間外にマシンタイム利用を受け入れている。今年度の利用状況および各研究者の実施結果報告書をまとめた。なお、報告書は承諾を得ている課題のみ本誌に掲載した。

1. 利用期間

2020年4月～2021年3月

2. 利用課題件数

27件（うち生物20件、物理7件）

3. 月ごとの利用時間・利用回数

	生物(h) [うち準備時間(h)](ビーム条件)	物理 (回)
4月	15.5 [9] (SOBP, mono)	2
5月	15 [9] (SOBP, mono)	2
6月	16.5 [9] (SOBP, mono)	3
7月	23 [9] (SOBP, mono, scanning)	2
8月	14.5 [6] (SOBP, mono, scanning)	3
9月	12.5 [9] (SOBP, mono)	3
10月	20.5 [9] (SOBP, mono)	2
11月	25.5 [12] (SOBP, mono, scanning)	3
12月	14.5 [9] (SOBP, mono)	4
1月	10 [6] (SOBP, mono, scanning)	1
2月	17.5 [6] (SOBP, mono, scanning)	5
3月	19.5 [12] (SOBP, mono, scanning)	1
年間合計	204.5 [105.0]	31

文責：吉田 由香里

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令 和 3 年 2 月 18 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者 柴田淳史
 所 属 部 局 名 未来先端研究機構
 職 名 ・ 氏 名 准 教 授 柴 田 淳 史

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20B2
研 究 課 題 名	炭素線におけるDNA損傷応答メカニズムの解明
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	30分、1回
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) 申請者は重粒子線が誘発するDNA二本鎖切断(DSB)とその修復機構に着目して研究を行った。放射線誘発DSBは二つの主要な経路、NHEJおよびHRのいずれかにより修復される。重粒子線特異的なHR促進因子として、APEX1を見出し、その分子機構を解明中である。さらに重粒子線医学研究センターの佐藤浩央助教とともに重粒子線誘導性の免疫応答変化について解析を行っている。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	別紙に記載
特 記 事 項	特になし

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

論文発表

1. Quantitative volumetric analysis of the Golgi apparatus following X-ray irradiation by super-resolution 3D-SIM microscopy.

Takahiro Oike, Yuki Uchihara, Tiara Bunga Mayang Permata, Soehartati Gondhowiardjo, Tatsuya Ohno, and **Atsushi Shibata**,
Medical Molecular Morphology, in press

2. DNA Repair and Signaling in Immune-Related Cancer Therapy.

Kakoti S, Sato H, Laskar S, Yasuhara T, **Shibata A**.

Front Mol Biosci. 2020 Sep 8;7:205. doi: 10.3389/fmolb.2020.00205. eCollection 2020. PMID: 33102516

3. DNA double-strand break end resection: a critical relay point for determining the pathway of repair and signaling.

Katsuki Y, Jeggo PA, Uchihara Y, Takata M and **Shibata A***.

Genome Instability & Disease, 155–171, 2020.

4. Comparison of Clonogenic Survival Data Obtained by Pre- and Post-Irradiation Methods.

Oike T, Hirota Y, Dewi Maulany Darwis N, **Shibata A**, Ohno T.

J Pers Med. 2020 Oct 15;10(4):171. doi: 10.3390/jpm10040171.

PMID: 33076277

5. Roles for 53BP1 in the repair of radiation-induced DNA double strand breaks.

Shibata A, Jeggo PA.

DNA Repair (Amst). 2020 Sep;93:102915. doi: 10.1016/j.dnarep.2020.102915.

PMID: 33087281

6. Roles for the DNA-PK complex and 53BP1 in protecting ends from resection during DNA double-strand break repair.

Shibata A, Jeggo PA.

J Radiat Res. 2020 Sep 8;61(5):718-726. doi: 10.1093/jrr/rraa053.

PMID: 32779701

7. Induction of Micronuclei in Cervical Cancer Treated with Radiotherapy.

Kobayashi D, Oike T, Murata K, Irie D, Hirota Y, Sato H, **Shibata A**, Ohno T.

J Pers Med. 2020 Sep 3;10(3):110. doi: 10.3390/jpm10030110.
PMID: 32899112

8. Reporting of methodologies used for clonogenic assays to determine radiosensitivity.

Oike T, Komatsu S, Komatsu Y, Nachankar A, Darwis NDM, **Shibata A**, Ohno T.
J Radiat Res. 2020 Nov 16;61(6):828-831. doi: 10.1093/jrr/rraa064.
PMID: 32823284

9. Relative Biological Effectiveness of Carbon Ions for Head-and-Neck Squamous Cell Carcinomas According to Human Papillomavirus Status.

Osu N, Kobayashi D, Shirai K, Musha A, Sato H, Hirota Y, **Shibata A**, Oike T, Ohno T.
J Pers Med. 2020 Jul 25;10(3):71. doi: 10.3390/jpm10030071.
PMID: 32722522

10. RNF8 promotes high linear energy transfer carbon-ion-induced DNA double-stranded break repair in serum-starved human cells.

Nakajima NI, Yamauchi M, Kakoti S, Cuihua L, Kato R, Permata TBM, Iijima M, Yajima H, Yasuhara T, Yamada S, Hasegawa S, **Shibata A**.
DNA Repair (Amst). 2020 Jul-Aug;91-92:102872. doi:
10.1016/j.dnarep.2020.102872. Epub 2020 May 20.
PMID: 32502756

11. UBC13-Mediated Ubiquitin Signaling Promotes Removal of Blocking Adducts from DNA Double-Strand Breaks.

Akagawa R, Trinh HT, Saha LK, Tsuda M, Hirota K, Yamada S, **Shibata A**, Kanemaki MT, Nakada S, Takeda S, Sasanuma H.
iScience. 2020 Apr 24;23(4):101027. doi: 10.1016/j.isci.2020.101027. Epub 2020 Mar 31.
PMID: 32283528

学会発表

1. 日本分子生物学会年会 第43回フォーラム

柴田淳史「ゲノムの安定性維持機構の破綻による細胞影響から病態理解へ」

2. 日本放射線影響学会第 63 回大会

柴田淳史「G1 期細胞における DNA 二本鎖切断修復選択機構」

3. 日本抗加齢医学会総会第 20 会

柴田淳史「転写活性領域における DNA 二本鎖切断修復の経路選択機構」

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

2021 年 2 月 12 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 大学院医学系研究科泌尿器科学

職名・氏名 助 教 新 井 誠 二

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	2 0 B 9
研 究 課 題 名	重粒子線とBH3ミメティクス併用による前立腺癌を含む新規固形癌治療法の開発
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	合計0.5時間、回数1回
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日(注1)
実 験 の 結 果	<input type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input checked="" type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) 本年度は新型コロナウイルス感染症の影響で、予定通りに実験を進めることができなかった。しかし、その中でも前立腺癌LNCaP細胞を用いて、BH3ミメティクスと重粒子線の併用効果をcolony formationアッセイで検討した。その結果、重粒子線とMCL1阻害の併用が、重粒子線とコントロール(DMSO)もしくはBCLXL阻害剤との併用に比べて、有意にcolony形成阻害作用を示すことがわかった。別の実験でX線との併用を行ったところ、同様にMCL1阻害との併用が有意にcolony形成能を阻害していた。次年度は、LNCaPにおいて上記結果の再現性を確認するとともに、他のcell lineでの併用効果について確認する。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	特になし
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令 和 3 年 3 月 13 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 泌尿器科

職名・氏名 助 教 官 澤 慶 行

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20 B 10
研 究 課 題 名	オートファジーとアポトーシスの相乗効果に着目したスタチンの抗腫瘍効果の研究
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	5回、1時間30分
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input checked="" type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) スタチン投与による前立腺癌細胞株におけるオートファジー亢進の効果を確認していたが、重粒子線照射併用でも同様にオートファジー亢進が確認できた。また、MTSアッセイによりスタチンと併用することで照射単独よりもより殺細胞効果があることが判明した。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	2020年度 日本がん学会にて途中経過を発表した(PJ14-20-7) オートファジーに着目した去勢抵抗性前立腺癌細胞に対するスタチンの抗腫瘍効果の研究
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

2021 年 2 月 10 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 腫瘍放射線学

職名・氏名 講 師 尾 池 貴 洋

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20 B 11
研 究 課 題 名	各種がん細胞におけるLETとin vitroクローン原性ならびにDNA損傷修復応答の関心の解明
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	9回、合計約9時間
報 告 書 の 区 分	<input checked="" type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 2021 年 3 月 31 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施 結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) さまざまなLETプロファイルにおけるクローン原性およびgammaH2AX foci体積のデータを、複数のがん細胞株で取得した。現在、当実験データと物理シミュレーションしたLETプロファイルの相関解析をおこない、あるLETプロファイルが誘導するDNA修復動態とクローン原性の予測アルゴリズムの開発に取り組んでいるが、本プロジェクトに係る生物データ自体は予定通り取得したため、本課題はひとまず終了とさせていただきます。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	上記解析が完了し次第、論文投稿予定
特 記 事 項	なし

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令 和 3 年 3 月 17 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 大学院医学系研究科 泌尿器科学

職名・氏名 助 教 岡 大 祐

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20B13
研 究 課 題 名	前立腺癌細胞株におけるスタチン投与後のBRCA1関連遺伝子の発現変化の解析及び、スタチン投与によるX線及び重粒子線治療効果への影響
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	90分6回
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日(注1)
実 験 の 結 果	<input type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input checked="" type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) 前立腺細胞株(PC-3,22RV1,Lncap-LA)に対して、重粒子線照射(1-4Gy:細胞により変更)を行い、それぞれの細胞にてスタチン併用群と非併用群の間で、cell count、MTSにてスタチン併用抗腫瘍効果を認めた。またコロニー形成アッセイにてPC-3でのX線との抗腫瘍効果の違いについて確認。コロニー形成アッセイでもスタチン併用効果を確認したがこちらは有意な実験結果を認めなかった。今後次なる実験としてヌードマウスを用いたスタチンと重粒子線併用の抗腫瘍効果の評価を行う。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令和 3 年 3 月 21 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 重粒子線医学研究センター

職名・氏名 助教 吉田 由香里

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20B14
研 究 課 題 名	マウス悪性黒色腫に対する放射線照射の局所制御効果とサイトカイン発現量との関連
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	1時間(計1回)
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input checked="" type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) C57BL/6Jマウス(♀ 8週齢)にマウスメラノーマB16F10細胞(5E5cells)を大腿皮下に移植し、腫瘍径が7-8 mmになった時点で、炭素線6 cmSOBP(290 MeV/n)中央にて、物理線量20Gyを下肢のみ照射した。本実験は、MD-PhDの学生が主に担う予定であったが、コロナ禍により実験に参加することが出来なかった。3月のMTにおいて照射を行ったため、現在経過観察中であり、解析結果は得られていない。ノギスで腫瘍径を経時的に計測し、28日後の血清採取、脾細胞培養(脾臓摘出後、脾細胞を培養し、照射24時間後、48時間後、72時間後で上清を回収)を行う。そしてELISA法等を用いてサイトカイン発現量の解析し、局所効果とサイトカインの関係を調べる予定である。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	学会発表 第22回菅原・大西記念 癌治療増感シンポジウムin 奈良(奈良)2020.2.8-9
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

2021 年 2 月 10 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 腫瘍放射線学

職名・氏名 講 師 尾 池 貴 洋

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20 B 16
研 究 課 題 名	GHMC・iROCK間での炭素イオン線の生物学的効果の比較
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	1回、合計約1時間
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日(注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) 本研究はiROCKの炭素イオン線ビームの生物学的効果をGHMCをリファレンスとして検証することを目的とする。今年度はエネルギー290 MeV/u、6 cm SOBP中心におけるHCT-116細胞株のコロニー原性データを取得した。現在、神奈川がんセンターが当実験データとiROCKでの実験データとを比較検証中である。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	当実験データはiROCKの塚原愛海氏の修士論文の一部として発表される予定であるが、詳細は未定である。
特 記 事 項	なし

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

2021 年 2 月 10 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 腫瘍放射線学

職名・氏名 講 師 尾 池 貴 洋

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20 B 18
研 究 課 題 名	がんにおけるCu-ATSM集積と炭素イオン線RBEの関連の解明(動物実験部分)
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	1回、合計約3時間
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日(注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) ヒトがん細胞株H1299、HCT-15を用いて作製したヌードマウス腫瘍移植片に炭素イオン線(6 cm幅SOBP中心など)を照射し、抗腫瘍効果の評価を行った。現在も腫瘍径の測定を継続中である。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	なし
特 記 事 項	なし

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令和 03 年 03 月 05 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 重粒子線医学推進機構

職名・氏名 助 教 酒 井 真 理

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20 P - 1
研 究 課 題 名	コンプトンカメラを用いた重粒子の飛程検出にむけた基礎検討
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	10回・70時間
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施 結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) 昨年度に引き続き718keV即発 γ 線をコンプトンカメラで測定する実験を行った。黒鉛ターゲットの位置を動かすことにより、ブラッグピーク位置が変化する様子をコンプトンカメラでイメージングすることに成功した。論文にまとめ投稿したものの、Red JournalからはRejectとなってしまったため、別誌に投稿するための準備を進めている。 また、粒子線照射によって生じる様々な二次粒子についても検討を行っている。コンプトンカメラに多くのDeadTimeを生じさせていると考えられる低エネルギー γ 線をQSTと協力して測定している。コンプトンカメラ含めこれら検出器に不具合をもたらすと考えられる中性子について、これまではシミュレーションベースで検討を行っていたが、京都工繊大の小林先生の協力のもと、電子機器への影響を直接測定する研究を始めた。これについては次年度は別研究として発展させる予定である。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	1. Sakai et al., Improved iterative reconstruction method for Compton imaging using median filter, PLoS One, 6;15(3):e0229366, 2. Yamaguchi et al., Estimation of shifts of therapeutic carbon-ion beams owing to cavities in a polyethylene target by measuring prompt X-ray images, JJAP, 59 87001, 3. Sakai et al., Crosstalk Reduction Using a Dual Energy Window Scatter Correction in Compton Imaging, Sensors, 20(9), 2453, 4. Shiba et al., Use of a Si/CdTe Compton Camera for in vivo real-time monitoring of annihilation gamma rays generated by carbon ion beam irradiation, Front Oncol, 10:635
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令 和 3 年 02 月 19 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 群馬大学 大学院理工学府

職名・氏名 准 教 授 加 田 渉

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントime利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	2 0 P 2
研 究 課 題 名	ワイドバンドギャップ半導体を用いた線量測定技術の開発
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	30時間(4日, 8/30, 11/29, 12/27, 01/31)
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日(注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施 結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は, その理由等を含む。) 本研究では、ワイドバンドギャップ半導体を用いた線量測定体系の実現を目指し、半導体検出器により、重粒子線ブラッグカーブ各位置でのエネルギースペクトル取得を通じて照射線量分布を計測可能とするシステムの開発に取り組んだ。本年は、昨年より継続して群馬大学理工学府で開発される高絶縁性ダイヤモンド単結晶基板、4H SiC Schottky Barrier Diode (SBD)を用いた検出器素子を利用した。可動水槽により炭素線各侵入位置を模擬した照射により、LETスペクトルを各水深で測定した。測定されたスペクトルを用いて水等価LETスペクトルを算出し、平均LET値を利用して、生物学的効果比RBE10の分布をMKモデルを利用して推定した。他の検出器と比較して、RBE10がやや高い値にとどまった。これは低エネルギー側チャンネル信号において、フラグメント粒子の影響とみられるピークが一部計測できていない点であり、引き続き回路等の改良を行いながらGHMCにおけるRBE10分布推定をより正確にする研究を継続する。また粒子線治療強度程度までに動作する電流読み出し方式を開発した。本測定体系についても今後検討を継続し、粒子線計測応用を展開したい。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください (注2)	1. 論文 [1-1]. W. Kada et al, J. Phys.: Conf. Ser. 1662 (2020) 012015. doi: 10.1088/1742-6596/1662/1/012015. 2. 学会発表 [2-1]. 柳澤理央, 加田渉, 横田凌, 山口阜平, 大崎晃平, 酒井真理, 松村彰彦, 大島武, 牧野高紘, 炭素線がん治療場線量分布の高精度解析を目的としたSiC半導体線量計素子の開発, 第35回 研究会「放射線検出器とその応用」, 高エネルギー加速器研究機構(online), 2021年1月20日、21日、22日。 [2-2]. 横田 凌, 柳澤 理央, 山口 阜平, 大島 武, 牧野 高紘, 酒井 真理, 松村 彰彦, 加田 渉, 炭素線がん治療場向けのSiC半導体検出器開発, 日本原子力学会 関東・甲越支部「第14回 学生研究発表会 -原子力・放射線分野-」, 東海大学(online), 2021年3月04日。

特 記 事 項	
---------	--

注意事項

- (注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。
- (注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

令和3年3月12日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実験責任者

所属部局名 重粒子線医学推進機構

職名・氏名 助 教 松 村 彰 彦

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20P3
研 究 課 題 名	1次元半導体検出器アレイの開発
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	44時間、6回
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施
	結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) Si半導体素子の個体差を調査した。その結果、同サイズの素子では、逆バイアス電圧を全空乏層化できる範囲内で多少変化させても、出力される波形やノイズレベルに大きな差が見られないことがわかった。また、拡大ビーム法における線質の照射野サイズ依存性についても測定を行った。その結果、散乱角の大きいフラグメント領域では炭素に比べて相対的に変化量が大きいことがわかった。さらに、照射野効果が検出器の大きさに依存すると考えられたため、サイズの異なる2種類の電離箱を用いて、拡大ビーム法とスキャンング法の両方で照射野効果を測定し、評価を行った。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	・鳴海克希、松村彰彦、「炭素線照射野効果の検出器サイズ依存性」、第58回群馬放射線腫瘍研究会、2021年2月6日(土)、Zoom ・Akihiko Matsumura <i>et al.</i> , 「Radial LET Measurements for Therapeutic Carbon Pencil Beam」, 第121回日本医学物理学学会学術大会、2021年4月16日(金)、横浜(予定) ・Katsuki Narumi and Akihiko Matsumura, 「Evaluation of Radiation Quality Variation for Broad Beam Method of Carbon Ion Radiotherapy」, 第121回日本医学物理学学会学術大会、2021年4月16日(金)、横浜(予定)
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

2021年3月11日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 重粒子線医学研究センター

職名・氏名 准教授 田代 睦

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20P6
研 究 課 題 名	ガフクロミックフィルム黒化度と線量分布との比較検証
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	10時間 2回
報 告 書 の 区 分	<input checked="" type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 2020年7月29日(注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施 結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) ガフクロミックフィルムに対する炭素線の線量分布を得るための単純化した利用方法として、治療用ビームにて婦人科用スパーサーでのフィルム測定において、コリメータによるエッジ部分のペナンプラと治療計画線量分布との関係を得る目的で検証測定を行った。治療用SOBPビームを用いて水ファントムに対して単純な治療計画を作成し、計画物理線量、フィルム測定による黒化度、同じ位置での電離箱による物理線量分布を測定し、それらのペナンプラ形状の対応位置の比較を行う。SOBP内の複数の深さ位置に対して測定を行い、深さ依存性についても調べた。 結果として、婦人科治療用のビーム条件では、黒化度(netOD)と物理線量はほぼ比例関係にあり、黒化度分布から線量のある程度定量化できることが確認できた
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	論文投稿予定(タイトル等未定)
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

G H M C 照 射 実 験 実 施 結 果 報 告 書

平成 年 月 日

群馬大学重粒子線医学研究センター長 殿

実 験 責 任 者

所属部局名 重粒子医学研究センター

職名・氏名 助 教 川 嶋 基 敬

群馬大学重粒子線医学研究センター マシントイム利用規定2-(8)に基づき、下記のとおり報告します。

記

課 題 番 号	20 P 7
研 究 課 題 名	radiochromic filmを用いた治療用炭素線のLETおよび線量分布の確認方法の確立
マシンタイム利用時間 (合計時間および回数)	16h、2回
報 告 書 の 区 分	<input type="checkbox"/> 終了報告 <input type="checkbox"/> 中止報告 <input type="checkbox"/> 不実施報告 <input checked="" type="checkbox"/> 次年度継続予定 実験(終了・中止)年月日 平成 年 月 日 (注1)
実 験 の 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり実施 <input type="checkbox"/> 一部変更して実施 結果の概要(終了又は中止若しくは不実施の場合は、その理由等を含む。) 本研究では、これまでに提案されているmono-peakの炭素線に対するLETと線量の測定を応用して、臨床で用いられている拡大ブラッグピークの炭素線に対する測定法の開発に務めた。 SOBPを用いて各LETに対してキャリブレーションカーブを求めて、同様の解析を行う事によって点線量とLETを求めた。電離箱による測定とGEANTシミュレーションによるLETと概ね一致した。 現在、治療計画で測定を行うようなプロファイルの線量を求めるプログラムの作成に努めている。
業 績 (学会発表等、予定を含む) * 枠内におさまらない場合には別紙に記載してください	<u>群馬放射線腫瘍学会@202102</u>
特 記 事 項	

注意事項

(注1) 終了又は中止した場合は、終了又は中止した年月日を記入すること。

(注2) 得られた業績(例:雑誌論文、図書、工業所有権などについて、著者名、論文標題、雑誌名、巻・号、発行年、頁、出版社など)を記載すること。必要に応じて別紙に記載すること。

學位論文要旨

Dissertation Abstract

李 洋

(学位論文のタイトル) Title

Dose assessment for patients with stage I non-small cell lung cancer receiving passive scattering carbon-ion radiotherapy using daily computed tomographic images: A prospective study

(非小細胞肺癌 I 期の炭素イオン線治療における日々のCTを用いた線量評価：前向き研究)

(学位論文の要旨)

Carbon-ion radiotherapy (CIRT) has been considered as a more effective treatment for early-stage non-small cell lung cancer (NSCLC) than conventional radiotherapy due to its fine dose distribution. However, inter-fractional anatomical changes such as tumor displacement and soft tissues deformation have great impacts on the dose distribution, even in hypofractionated CIRT. These deviations between fractions may cause a severe dose reduction in target. Therefore, detecting and quantifying these uncertainties is important to ensure the robustness of the treatment. This study aimed to assess dose distributions for NSCLC with passive scattering CIRT using daily computed tomography (CT) images. We enrolled 10 patients with stage I NSCLC and acquired a total of 40 daily CT image series under the same settings as the treatment planning CT images. The daily CT images were used to evaluate the reproducibility of tumor positions and dose distributions. The daily dose distributions were calculated on the daily CT images using the irradiated beam parameters for both bone matching (BM) and tumor matching (TM) positions, and accumulated dose distributions were calculated using a deformable image registration for both positions. Moreover, the dose volume parameters were compared in terms of tumor coverage and lung exposure, and statistical analyses were performed. The prescribed dose was 60 Gy (RBE) in 4 fractions. The case with CTV V95 < 95% was defined as unacceptable. In addition, required margins were proposed to improve the dose distribution in BM and TM.

Large inter-fractional tumor displacements were observed, especially in superior-inferior direction. A moderate negative correlation was obtained between dose coverage and tumor displacement. 32.5% of tumor displacements were greater than 5 mm, which caused that 25% of 40 fractional dose distributions were unacceptable with BM, compared with 2.5% with TM. Using BM, three patients' accumulated dose distributions were unacceptable; however, all were satisfactory with TM. The required margins in patients with poor dose distribution were 5.9 and 4.4 mm for BM and TM, respectively.

This study establishes that CT image-based TM is robust compared with conventional BM for both daily and accumulated dose distributions. Hence, daily CT alignment is recommended for patients with stage I NSCLC receiving CIRT.

(生命医科学専攻課程)

DeepLearning を用いた高精度画像生成

専攻分野名: 生命医科学専攻 氏名: 岡本直也

1) 序論

重粒子線治療はターゲットへビームを正確に照射するために、照射直前に患者をビーム照射位置に合わせる作業(患者位置合わせ)が必要となる。患者位置合わせには治療計画時の CT 値からシミュレートして生成された画像(DRR 画像)と、照射直前に撮影された X 線画像を用いる。しかし、DRR 画像は X 線画像と比較すると低画質かつ低鮮鋭度であり、さらに X 線画像はノイズの影響や患者の身体状態の変動等が原因で、DRR 画像と見え方が異なる場合がある。現在は放射線技師の手動調整によって対応しているが、技術や経験の差から人による精度のばらつきが生じる原因となる。本研究では Deep Learning を利用し、画像の高画質化及び日々の患者の変動に対応した DRR 画像を作成することによって、患者位置合わせの精度を向上させることを目的とする。

2) 研究方法

画像の学習と生成を行うモデルは Deep Learning による画像生成モデルのフレームワークとして知られている「pix2pix」を基に作成した。モデルは入力画像を教師画像に近づけて出力するような学習を行うため、本研究では教師画像を DR 画像、入力画像を DRR 画像とした。画像は過去の重粒子線治療で使用した患者データから収集して使用した。モデルの学習後は、新たな入力による出力画像-教師画像間の類似度から生成画像の精度を評価した。この際、類似度指標として差分二乗和(SSD)と相互相関(ZNCC)を用いた。先行研究では SD マップを使用したマスク領域の設定を行い、日々の変化が小さい領域のみを学習に用いた。本研究では、不確定性の大きい腸管の領域をマスクすることによる画像精度の改善を試みた。

3) 結果と考察

学習画像 560 枚、テスト画像 40 枚として学習を行った結果、生成画像-DR 画像間の SSD と ZNCC (平均値±標準偏差)はそれぞれ 45.95 ± 24.14 と 0.911 ± 0.049 であった。SD マップを使用した際の生成画像-DR 画像間ではそれぞれ 39.95 ± 15.46 と 0.916 ± 0.22 であった。

4) 結論

Deep Learning の技術を応用することにより従来の DRR 画像よりも高画質化し、見え方が DR 画像に近い画像を生成することが可能となる。さらに高画質化するためには、SD マップによって計算されたマスク領域に加えて、日々の変動が大きい腸内ガス領域や関節付近の骨位置の変化をあらかじめ除外して画像精度の向上を検討する。

5) 今後の研究の進め方

DRR 画像の見え方を DR 画像により近づけるようなモデルの構築を目指し、生成画像の評価とパラメータの改良を重ねていく。

(生命医科学専攻課程)

ヒトリンパ芽球様細胞における放射線と模擬微小重力同時曝露による染色体異常頻度の増加

専攻分野名: 生命医科学専攻 氏名: 山之内佐久也

【序論】人類のさらなる宇宙進出が計画されている。宇宙空間では宇宙放射線と微小重力 (Microgravity: μG) の二つの特殊な環境ストレスに晒され続けることになるが、複合影響は十分に明らかにされていない。先行研究の接着細胞と比較して、浮遊細胞での放射線と模擬 μG の複合影響の有無を明らかにすることを本研究の目的とした。

【方法】細胞はヒトリンパ芽球様 TK6 を用いた。模擬 μG は 3D クリノスタットを用い、3 次元的に細胞を回転させて重力方向を連続的に変化させ、細胞にかかる重力ベクトルの合計を時間的にほぼゼロにした。放射線と模擬 μG の同時曝露は本研究室で既に作製したシステムを利用した。3D クリノスタットからの回転信号を利用して、X 線照射では高速開閉シャッター、炭素線照射では呼吸同期システムを用いて、回転を止めることなく細胞面が放射線のビーム方向に対して垂直になる瞬間のみ照射を行った。1G 対照実験として水平回転台の細胞に同タイミングで照射した。放射線照射後、コロニー形成法による細胞生存率解析と 3 色蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法による染色体異常解析を行った。X 線と炭素線の比較として生物学的効果比 (Relative Biological Effectiveness: RBE) を算出した。複合影響についてはフィッシャーの正確確率検定およびロジスティック回帰分析を行った。

【結果と考察】X 線及び炭素線の 10% 細胞生存率の線量は 1G と模擬 μG で違いは無く、1.38 Gy 及び 0.8 Gy (RBE: 1.7) であった。一方、X 線及び炭素線の細胞 100 個あたり 20 個の染色体異常頻度は 1G で 1.26 Gy 及び 0.46 Gy (RBE: 2.7)、模擬 μG で 1.08 Gy 及び 0.38 Gy (RBE: 2.8) であった。模擬 μG と X 線の組み合わせで 1.635 倍、炭素線との組み合わせで 1.487 倍にオッズ比が上昇した。また、フィッシャーの正確確率検定において、1G と比較して模擬 μG で X 線 0.5 Gy の単純型染色体異常頻度、X 線 1.1 Gy および 1.5 Gy の全染色体異常頻度で有意差が示された。

模擬 μG 下では DNA 損傷が正しく修復されずに、染色体異常を残したまま細胞が増殖する可能性が示唆された。

【まとめ】本研究の結果は接着細胞のみならず浮遊細胞においても放射線と模擬 μG の複合影響を示し、放射線のみの影響で評価する従来の方法では μG である宇宙空間での発がんリスクを過小評価する可能性があることを示唆した。今後は遺伝子突然変異解析などの他のエンドポイントを用いて地上実験にて複合影響を調査するとともに、そのメカニズムの解明が重要である。今後は宇宙実験を計画し実証し、最終的には安全に宇宙環境で生活するための防護策や緩和策へと繋げていくことが求められる。

*なお、本内容は筆頭論者として Life (Basel). 2020, 10, 187 に掲載済み。

業績

論文

Clinical Study

1. Shirai K, Suzuki M, Akahane K, Takahashi Y, Kawahara M, Yamada E, Wakatsuki M, Ogawa K, Takahashi S, Minato K, Hamamoto K, Saito K, Oshima M, Konishi T, Nakamura Y, Washino S, Miyagawa T. Dose-volume Histogram-based Predictors for Hematuria and Rectal Hemorrhage in Patients Receiving Radiotherapy After Radical Prostatectomy *In Vivo* 2020;34(3):1289-1295.
2. Abe T, Kobayashi N, Aoshika T, Ryuno Y, Saito S, Igari M, Hirai R, Kumazaki YU, Miura YU, Kaira K, Kagamu H, Noda SE, Kato S. Pattern of Local Failure and its Risk Factors of Locally Advanced Non-small Cell Lung Cancer Treated With Concurrent Chemo-radiotherapy *Anticancer Res* 2020;40(6):3513-3517.
3. Faisal HH, Kubo N, Nuryadi E, Prihartono J, Atmakusuma TD, Rachmadi L, Oike T, Nakano T, Gondhowiardjo SA, Adham M. Patterns of Care and Outcome Analysis of Nasopharyngeal Carcinoma: An Indonesian Single Institution Study *Asian Pac J Cancer Prev* 2020;21(5):1481-1485.
4. Takakusagi Y, Katoh H, Kano K, Anno W, Tsuchida K, Mizoguchi N, Serizawa I, Yoshida D, Kamada T. Preliminary result of carbon-ion radiotherapy using the spot scanning method for prostate cancer *Radiat Oncol* 2020;15(1):127.
5. Okonogi N, Wakatsuki M, Mizuno H, Fukuda S, Cao J, Kodrat H, Lau FN, Calaguas MJ, de Los Reyes RH, Chansilpa Y, Uddin AFMK, Adylkhanov T, Cho CK, Tsegmed U, Hoang NC, Ohno T, Nakano T, Kato S; Forum for Nuclear Cooperation in Asia. Preliminary survey of 3D image-guided brachytherapy for cervical cancer at representative hospitals in Asian countries *J Radiat Res* 2020;61(4):608-615.
6. Sato H, Okonogi N, Nakano T. Rationale of combination of anti-PD-1/PD-L1 antibody therapy and radiotherapy for cancer treatment *Int J Clin Oncol* 2020;25(5):801-809.
7. Adachi A, Kawamura H, Yoshida D, Kawahara M, Kudo S, Ebara T, Nakano T. Whole-bladder Radiation Therapy for Lymph Node-negative Bladder Cancer With Muscle Invasion in Elderly Patients *Anticancer Res* 2020;40(5):2905-2909.
8. Irie D, Murata K, Kaminuma T, Oike T, Ohno T. Oral Gastrografin Facilitates Delineation of Intestinal Tracts in CT-Based Brachytherapy for Uterine Cervical Cancer *Cureus* 2020;12(5):e8367.
9. Tomizawa K, Kaminuma T, Murata K, Noda SE, Irie D, Kumazawa T, Oike T, Ohno T.

- FIGO 2018 Staging for Cervical Cancer: Influence on Stage Distribution and Outcomes in the 3D-Image-Guided Brachytherapy Era *Cancers (Basel)* 2020;12(7):1770.
10. Tomizawa K, Miyazaki T, Yamaguchi A, Honda R, Hoshino M, Yanai M, Miyamae Y, Kurosaki R, Shimizu H, Arakawa K, Ide M. Malignant peripheral nerve sheath tumour of the oesophagus: a case report *Surg Case Rep* 2020;6(1):186.
 11. Tsuchida K, Inaba K, Kashihara T, Murakami N, Okuma K, Takahashi K, Igaki H, Nakayama Y, Maejima A, Shinoda Y, Matsui Y, Komiyama M, Fujimoto H, Ito Y, Sumi M, Nakano T, Itami J. Clinical outcomes of definitive whole pelvic radiotherapy for clinical lymph node metastatic prostate cancer *Cancer Med* 2020;9(18):6629-6637.
 12. Darwis NDM, Oike T, Kubo N, Gondhowiardjo SA, Ohno T. Characteristics of PSA Bounce after Radiotherapy for Prostate Cancer: A Meta-Analysis *Cancers (Basel)* 2020;12(8):2180.
 13. Shiba S, Shibuya K, Okamoto M, Okazaki S, Komatsu S, Kubota Y, Nakano T, Ohno T. Clinical impact of Hypofractionated carbon ion radiotherapy on locally advanced hepatocellular carcinoma *Radiat Oncol* 2020;15(1):195.
 14. Kobayashi N, Abe T, Noda SE, Kumazaki YU, Hirai R, Igari M, Aoshika T, Saito S, Ryuno Y, Kato S. Stereotactic Body Radiotherapy for Pulmonary Oligometastasis from Colorectal Cancer *In Vivo* 2020;34(5):2991-2996.
 15. Abe T, Ryuno Y, Saito S, Aoshika T, Igari M, Hirai R, Kumazaki Y, Kaira K, Kagamu H, Ishida H, Noda SE, Kato S. Stereotactic body radiation therapy using CyberKnife for T1N0M0 lung cancer patients with severe pulmonary dysfunction *J Radiat Res* 2020;61(6):903-907.
 16. Okonogi N, Shinnosuke M, Fukahori M, Furuichi W, Inaniwa T, Matsufuji N, Imai R, Yamada S, Kanematsu N, Tsuji H. Dose-averaged linear energy transfer per se does not correlate with late rectal complications in carbon-ion radiotherapy *Radiother Oncol* 2020;153:272-278.
 17. Kubo N, Kubota Y, Oike T, Kawamura H, Sakai M, Imamura A, Komatsu S, Miyasaka Y, Sato H, Musha A, Okano N, Shirai K, Saitoh JI, Chikamatsu K, Ohno T. Skin Dose Reduction by Layer-Stacking Irradiation in Carbon Ion Radiotherapy for Parotid Tumors *Front Oncol* 2020;10:1396.
 18. Musha A, Shimada H, Kubo N, Kawamura H, Okano N, Miyasaka Y, Sato H, Shirai K, Saitoh JI, Yokoo S, Chikamatsu K, Ohno T. Evaluation of Carbon Ion Radiation-Induced Trismus in Head and Neck Tumors Using Dose-Volume Histograms *Cancers* 2020;12(11):3116.
 19. Takakusagi Y, Oike T, Kano K, Anno W, Tsuchida K, Mizoguchi N, Serizawa I, Yoshida D, Katoh H, Kamada T. Prostate-specific antigen dynamics after neoadjuvant androgen-

- deprivation therapy and carbon ion radiotherapy for prostate cancer *PLoS One* 2020;15(11):e0241636.
20. Yoshimoto Y, Sasaki Y, Murata K, Noda SE, Miyasaka Y, Hamamoto J, Furuya M, Hirato J, Suzuki Y, Ohno T, Tokino T, Oike T, Nakano T. Mutation profiling of uterine cervical cancer patients treated with definitive radiotherapy *Gynecol Oncol* 2020;159(2):546-553.
 21. Abe T, Saito S, Iino M, Aoshika T, Ryuno Y, Ohta T, Igari M, Hirai R, Kumazaki Y, Ebihara Y, Nakahira M, Sugawara M, Noda SE, Kato S. Results of definitive radiotherapy with concurrent chemotherapy for maxillary sinus carcinomas with neck lymph node metastasis *J Radiat Res* 2021;62(1):104-109.
 22. Abe T, Saito S, Iino M, Aoshika T, Ryuno Y, Ohta T, Igari M, Hirai R, Kumazaki Y, Miura Y, Kaira K, Kagamu H, Noda SE, Kato S. Effect of durvalumab on local control after concurrent chemoradiotherapy for locally advanced non-small cell lung cancer in comparison with chemoradiotherapy alone *Thorac Cancer* 2021;12(2):245-250.
 23. Takakusagi Y, Yoshida D, Kusano Y, Kano K, Anno W, Tsuchida K, Mizoguchi N, Serizawa I, Katoh H, Imura K, Takayama Y, Minohara S, Kamada T. Dosimetric Comparison Between Carbon-ion Radiotherapy and Photon Radiotherapy for Stage I Esophageal Cancer *In Vivo* 2021;35(1):447-452.
 24. Miyasaka Y, Komatsu S, Abe T, Kubo N, Okano N, Shibuya K, Shirai K, Kawamura H, Saitoh JI, Ebara T, Ohno T. Comparison of Oncologic Outcomes between Carbon Ion Radiotherapy and Stereotactic Body Radiotherapy for Early-Stage Non-Small Cell Lung Cancer *Cancers (Basel)* 2021;13(2):176.
 25. Puspitasari A, Cerri M, Takahashi A, Yoshida Y, Hanamura K, Tinganelli W. Hibernation as a Tool for Radiation Protection in Space Exploration Life (Basel) 2021;11(1):54.
 26. Otani Y, Ohno T, Ando K, Murata K, Kato S, Noda SE, Murofushi K, Ushijima H, Yoshida D, Okonogi N, Isohashi F, Wakatsuki M, Nakano T. Dosimetric feasibility of computed tomography-based image-guided brachytherapy in locally advanced cervical cancer: a Japanese prospective multi-institutional study *J Radiat Res* 2021;rraa138.
 27. Sato H, Demaria S, Ohno T. The role of radiotherapy in the age of immunotherapy *Jpn J Clin Oncol* 2021;51(4):513-522.
 28. Okamoto M, Shiba S, Okazaki S, Miyasaka Y, Shibuya K, Kiyohara H, Ohno T. Feasibility and Safety of Repeated Carbon Ion Radiotherapy for Locally Advanced Unresectable Pancreatic Cancer *Cancers (Basel)* 2021;13(4):665.
 29. Musha A, Ohno T. Subcutaneous Emphysema Caused by Third Molar Extraction. *OTO Open*. 2021 5(1):1-2
 30. 武者 篤. 放射線性口腔粘膜炎の発症予測. *The Kitakanto Medical Journal*. 2021 71(1):77-78.

31. Musha A, Fukata K, Saitoh JI, Shirai K, Abe T, Mizukami T, Kawashima M, Yokoo S, Chikamatsu K, Ohno T, Nakano T. Tongue surface model can predict radiation tongue mucositis due to intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancer. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2020 Jan;49(1):44-50.

Biological Study

32. Oike T, Ohno T. Molecular mechanisms underlying radioresistance: data compiled from isogenic cell experiments *Ann Transl Med* 2020;8(6):273.
33. Osu N, Kobayashi D, Shirai K, Musha A, Sato H, Hirota Y, Shibata A, Oike T, Ohno T. Relative Biological Effectiveness of Carbon Ions for Head-and-Neck Squamous Cell Carcinomas According to Human Papillomavirus Status *J Pers Med* 2020;10(3):71.
34. Oike T, Komatsu S, Komatsu Y, Nachankar A, Darwis NDM, Shibata A, Ohno T. Reporting of methodologies used for clonogenic assays to determine radiosensitivity *J Radiat Res* 2020;61(6):828-831.
35. Kobayashi D, Oike T, Murata K, Irie D, Hirota Y, Sato H, Shibata A, Ohno T. Induction of Micronuclei in Cervical Cancer Treated with Radiotherapy *J Pers Med* 2020;10(3):110.
36. Oike T, Hirota Y, Dewi Maulany Darwis N, Shibata A, Ohno T. Comparison of Clonogenic Survival Data Obtained by Pre- and Post-Irradiation Methods *J Pers Med* 2020;10(4):171.
37. Shiba S, Wakatsuki M, Ohno T, Nakano T. Differences in Linear Energy Transfer Affect Cell-killing and Radiosensitizing Effects of Spread-out Carbon-ion Beams *Anticancer Res* 2020;40(10):5497-5502.
38. Takahashi A, Yamanouchi S, Takeuchi K, Takahashi S, Tashiro M, Hidema J, Higashitani A, Adachi T, Zhang S, Guirguis FNL, Yoshida Y, Nagamatsu A, Hada M, Takeuchi K, Takahashi T, Sekitomi Y. Combined Environment Simulator for Low-Dose-Rate Radiation and Partial Gravity of Moon and Mars *Life* 2020;10(11):274.
39. Yamanouchi S, Rhone J, Mao JH, Fujiwara K, Saganti PB, Takahashi A, Hada M. Simultaneous exposure of cultured human lymphoblastic cells to simulated microgravity and radiation increases chromosome aberrations. *Life (Basel)* 2020;10:187.
40. Ma L, Sakamoto Y, Kanai A, Otsuka H, Takahashi A, Kakimi K, Imai T, Shimokawa T. Characterization of a novel murine colon carcinoma subline with high-metastatic activity established by in vivo selection method. *Int J Mol Sci* 2020;21:2829.
41. Kim EH, Kim JY, Kim MS, Vares G, Ohno T, Takahashi A, Uzawa A, Seo SJ, Sai S. Molecular mechanisms underlying the enhancement of carbon ion beam radiosensitivity of osteosarcoma cells by miR-29b. *Am J Cancer Res* 2020;10:4357-4371.
42. Kim EH, Kim MS, Takahashi A, Suzuki M, Vares G, Uzawa A, Fujimori A, Ohno T, Sai S.

Carbon-ion beam irradiation alone or in combination with zoledronic acid effectively kills osteosarcoma cells. *Cancers (Basel)* 2020;12:698.

43. Ito SS, Nakagawa Y, Matsubayashi M, Sakaguchi YM, Kobashigawa S, Matsui TK, Nanaura H, Nakanishi M, Kitayoshi F, Kikuchi S, Kajihara A, Tamaki S, Sugie K, Kashino G, Takahashi A, Hasegawa M, Mori E, Kirita T. Inhibition of the ATR kinase enhances 5-FU sensitivity independently of nonhomologous end-joining and homologous recombination repair pathways. *J Biol Chem* 2020;295:12946-12961.
44. Puspitasari A, Yamazaki H, Kawamura H, Nakano T, Takahashi A, Shirao T, Held KD. X-irradiation of developing hippocampal neurons causes changes in neuron population phenotypes, dendritic morphology and synaptic protein expression in surviving neurons at maturity. *Neurosci Res* 2020;160:11-24.

Physical Study

45. Sakai M, Parajuli RK, Kubota Y, Kubo N, Yamaguchi M, Nagao Y, Kawachi N, Kikuchi M, Arakawa K, Tashiro M. Crosstalk Reduction Using a Dual Energy Window Scatter Correction in Compton Imaging Sensors (*Basel*) 2020;20(9):2453.
46. Shiba S, Parajuli RK, Sakai M, Oike T, Ohno T, Nakano T. Use of a Si/CdTe Compton Camera for In vivo Real-Time Monitoring of Annihilation Gamma Rays Generated by Carbon Ion Beam Irradiation *Front Oncol* 2020;10:635.
47. Kawashima M, Matsumura A, Souda H, Tashiro M. Simultaneous determination of the dose and linear energy transfer (LET) of carbon-ion beams using radiochromic films. *Phys Med Biol.* 2020;65(12):125002.
48. Yokoyama A, Kubota Y, Kawamura H, Miyasaka Y, Kubo N, Sato H, Abe S, Tsuda K, Sutou T, Ohno T, Nakano T. Impact of Inter-fractional Anatomical Changes on Dose Distributions in Passive Carbon-Ion Radiotherapy for Prostate Cancer: Comparison of Vertical and Horizontal Fields *Front Oncol* 2020;10:1264.
49. Tashiro M, Souda H, Yoshida T, Sakurai H. Reconstruction of dose distributions for fine carbon-ion beams using iterative approximation toward carbon-knife *Phys Med Biol* 2020;65(22):225023.
50. Kubota Y, Okamoto M, Shiba S, Okazaki S, Matsui T, Li Y, Itabashi Y, Sakai M, Kubo N, Tsuda K, Ohno T, Nakano T. Robustness of daily dose for each beam angle and accumulated dose for inter-fractional anatomical changes in passive carbon-ion radiotherapy for pancreatic cancer: Bone matching versus tumor matching *Radiother Oncol* 2021;157:85-92.
51. Li Y, Kubota Y, Okamoto M, Shiba S, Okazaki S, Matsui T, Komatsu S, Ohno T. Determination of Deformable Image Registration Algorithms for Accumulating Dose in

- Carbon-ion Radiotherapy for Pancreatic Cancer *Anticancer Res* 2021;41(2):835-843.
52. Lee SH, Sunaguchi N, Nagao A, Hirano Y, Sakurai H, Kano Y, Torikoshi M, Kanai T, Tashiro M. Calculation of Stopping-Power Ratio from Multiple CT Numbers Using Photon-Counting CT System: Two- and Three-Parameter-Fitting Method *Sensors (Basel)* 2021;21(4):1215.
53. Sakai M, Kubota Y, Kubo N, Tashiro M Evaluating the Certification Examination for Medical Physicists in Japan Via Questionnaire Survey and Access Analyses *Kitakanto Med J* 2020;70(4):379-385
54. Yamaguchi M, Yamamoto S, Kitano M, Kubota Y, Sakai M, Akagi T, Nagao Y, Kawachi N Estimation of shifts of therapeutic carbon-ion beams owing to cavities in a polyethylene target by measuring prompt X-ray images *Jpn J Appl Phys* 2020;59:87001

学会発表

1. 武者 篤, 横尾 聡. 頭頸部重粒子線治療における開口障害発症線量の解析. 第 74 回日本口腔科学会学術集会, Apr. 2020
2. Makoto Sakai, Parajuli Raj Kumar, Yoshiki Kubota, Nobuteru Kubo, Kazuo Arakawa. Compton Imaging with median root prior expectation-maximization (MRP-EM). *JSMP* 119. Apr. 2020
3. 武者 篤, 久保亘輝, 宮坂勇平, 岡野奈緒子, 河村英将, 今村文香, 小松秀一郎, 佐藤浩央, 高安幸弘, 柴野正人, 新國 撰, 井田翔太, 横尾 聡, 近松一朗, 大野達也. 群馬大学における頭頸部非扁平上皮癌に対する重粒子線治療の長期成績. 第 44 回日本頭頸部癌学会, Jul. 2020
4. 神戸智幸, 神戸美保子, 武者 篤, 横尾 聡. Hybrid MMF System を用いて治療を行った下顎骨骨折の 1 例. 第 20 回日本外傷歯学会総会・学術大会, Sep. 2020
5. 神戸智幸, 神戸美保子, 武者 篤, 横尾 聡. あおり運転後に殴打され顔面頸椎打撲を認めた刑事事件の 1 例—医療従事者として知っておくべき社会問題—. 第 20 回日本外傷歯学会総会・学術大会, Sep. 2020
6. 久保田 佳樹, 岡本 雅彦, 柴 慎太郎, 岡崎 祥平, 松井 利晃, Li Yang, 板橋 佑典, 津田 和寿, 中野 隆史, 大野 達也, 膵臓がんの炭素線治療における日々の変化に対するビーム方向ごとのロバスト性の評価, 第 33 回日本放射線腫瘍学会学術大会, Oct. 2020
7. Yang Li, Yoshiki Kubota, Masahiko Okamoto, Shintaro Shiba, Shohei Okazaki, Toshiaki Matsui, Takashi Nakano, Tatsuya Ohno, An effective registration method for accumulating dose of pancreatic cancer, 第 33 回日本放射線腫瘍学会学術大会, Oct. 2020
8. Yang Li, Yoshiki Kubota, Masahiko Okamoto, Shintaro Shiba, Shohei Okazaki, Toshiaki

- Matsui, Takashi Nakano, Tatsuya Ohno, A study on the adaptive carbon-ion radiotherapy for pancreatic cancer with passive irradiation method, 第 33 回日本放射線腫瘍学会学術大会, Oct. 2020
9. 吉田 由香里, 宇宙惑星居住科学連合・若手の会の紹介と今後の展望, 日本マイクログラビティ応用学会 第 32 回学術講演会 (JASMAC-32), Oct. 2020
 10. 高橋 昭久, 山之内 佐久也, 竹内 和臣, 高橋 祥吾, 田代 睦, 日出間 純, 東谷 篤志, 安達 拓也, Shenke Zhang, Fady Nagy Lotfy Guirguis, 吉田 由香里, 永松 愛子, 秦 恵, 竹内 邦人, 高橋 亨, 関富 勇治, 深宇宙, 月, 火星を模擬した装置開発, 日本マイクログラビティ応用学会 第 32 回学術講演会 (JASMAC-32), Oct. 2020
 11. 柿沼 志津子, 鈴木 健之, 鶴岡 千鶴, 森岡 孝満, 柳原 啓見, 神戸 峻輔, 高橋 昭久, マウスを用いた宇宙空間模擬環境による生体影響評価, 日本マイクログラビティ応用学会 第 32 回学術講演会 (JASMAC-32), Oct. 2020
 12. 池田 裕子, 村谷 匡史, 日出間 純, 秦 恵, 藤原 敬己, 想田 光, 吉田 由香里, 高橋 昭久, 3D クリノスタット同期照射システムとヒト線維芽細胞における細胞周期関連遺伝子の発現プロファイル変化, 日本放射線影響学会 第 63 回大会, Oct. 2020
 13. 大泉 昂之, 山邊 聡一郎, 山之内 佐久也, 舟山 知夫, 高橋 昭久, 中村 麻子, 模擬宇宙環境の DNA 損傷修復カインेटイクスへの影響, 日本放射線影響学会 第 63 回大会, Oct. 2020
 14. 山之内 佐久也, 竹内 和臣, 高橋 祥吾, 田代 睦, 日出間 純, 東谷 篤志, 安達 拓也, Shenke Zhang, Fady Nagy Lotfy Guirguis, 吉田 由香里, 永松 愛子, 秦 恵, 竹内 邦人, 高橋 亨, 関富 勇治, 高橋 昭久, 月や火星の低重力と低線量率放射線の複合環境模擬装置の開発, 日本放射線影響学会 第 63 回大会, Oct. 2020
 15. 鈴木 健之, 鶴岡 千鶴, 上西 睦美, 岡部 まゆみ, 遠坂 歌子, 柳原 啓見, 神戸 峻輔, 吉田 由香里, 武島 嗣英, 森岡 孝満, 大平 充宣, 高橋 昭久, 柿沼 志津子, APCMin/+ マウスを用いた宇宙空間模擬環境による生体影響評価, 日本放射線影響学会 第 63 回大会, Oct. 2020
 16. 佐藤 浩央, Combination of radiotherapy and immune checkpoint inhibitor as a novel cancer treatment strategy, 日本放射線影響学会 第 63 回大会, Oct. 2020
 17. Yuhei Miyasaka, Yuya Yoshimoto, Kazutoshi Murata, Shin-ei Noda, Ken Ando, Takeshi Ebara, Noriyuki Okonogi, Takuya Kaminuma, Seiji Yamada, Hayato Ikota, Hideaki Yokoo, Tatsuya Ohno and Takashi Nakano, 子宮頸部腺癌に対する放射線治療における免疫関連分子の検討, 日本放射線影響学会 第 63 回大会, Oct. 2020
 18. 佐藤 浩央, Present status and issues for clinical application of radiotherapy combined with immune checkpoint inhibitor, 第 58 回日本癌治療学会学術集会, Oct. 2020
 19. H. Sato, T. B. M. Permata, W. Gu, S. Kakoti, T. Oike, T. Yasuhara, T. Nakano, T. Ohno, and A. Shibata, Regulation of DNA damage signal-dependent PD-L1 upregulation in

- cancer cells after ionizing irradiation, 2020 Astro Annual Meeting, Oct. 2020
20. 武者 篤, 久保亘輝, 北田陽子, 平井知佳, 金 舞, 浅見拓哉, 岡野奈緒子, 河村英将, 横尾 聡, 大野達也. 頭頸部重粒子線治療時の患者向け冊子改訂の試み. 日本放射線腫瘍学会第 33 回学術大会, Oct. 2020
 21. 久保 亘輝, 河村 英将, 水上 達治, 白井 克幸, 斎藤 淳一, 大野 達也, 非小細胞肺癌孤立性リンパ節再発に対する重粒子線治療成績, 第 61 回日本肺癌学会学術集会, Nov. 2020
 22. 武者 篤, 放射線性口腔粘膜炎の発症予測とその応用, 第 65 回日本口腔外科学会総会・学術大会, Nov. 2020
 23. 神戸智幸, 神戸美保子, 武者 篤, 横尾 聡. 一卵性双生児の両児に見られた上顎正中過剰埋伏歯. 第 32 回一般社団法人日本小児口腔外科学会総会・学術大会, Nov. 2020
 24. M Sakai, Position Dependency Analysis of Point Spread Function in Compton Imaging, International Conference on Technology and Social Science 2020, Dec. 2020
 25. 宮坂 勇平, 河村 英将, 久保 亘輝, 佐藤浩央, 松井博, 伊藤一人, 鈴木和浩, 大野達也, 膀胱浸潤前立腺癌に対する重粒子線治療の検討, 第 108 回日本泌尿器化学会総会, Dec. 2020
 26. 吉本 由哉, 村田 和俊, 野田 真永, 安藤 謙, 江原 威, 小此木 範之, 山田 勢至, 伊古田 勇人, 横尾 英明, 大野 達也, 中野 隆史, 子宮頸部腺癌放射線治療患者における免疫関連分子発現の検討, 第 29 回日本癌病態治療研究会, Jan. 2021
 27. Tiara Bunga Mayang Permata, Kakoti Sangeeta, 尾池貴洋, 安原崇哲, 大野達也, 柴田 淳史, 腫瘍細胞における DNA 損傷シグナルを介した PD-L1 発現制御機構の解明, 第 29 回日本癌病態治療研究会, Jan. 2021
 28. 高橋 昭久, 鈴木 健之, 鶴岡 千鶴, 森岡 孝満, 武島 嗣英, 吉田 由香里, 中村 麻子, 秦 恵, 永松 愛子, 大平 充宣, 池田 裕子, 稲富 裕光, 柿沼 志津子, 宇宙放射線と重力環境変化による複合影響研究, 第 35 回宇宙環境利用シンポジウム, Jan. 2021
 29. Yukari Yoshida, David Fernandez-Quezada, Sonia Luquin de Anda, Akihisa Takahashi, Araceli Espinosa-Jeffrey, Combined effects of radiation and simulated microgravity on decreased locomotor activity in the normal mouse brain, 43rd COSPAR, Feb. 2021
 30. Akihisa Takahashi, Dose cancer progress in space?, 43rd COSPAR, Feb. 2021
 31. Megumi Hada, Sakuya Yamanouchi, Jordan Rhone, Jian-Hua Mao, Hiroko Ikeda, Ianik Plante, Keigi Fujiwara, Premkumar Saganti, Akihisa Takahashi, Increased chromosome aberrations in human cells exposed simultaneously to simulated microgravity and radiation, NASA HRP-IWS, Feb. 2021
 32. 武者 篤, 横尾 聡, 久保 亘輝, 岡野 奈緒子, 山口 高広, 鈴木 啓佑, 清水 崇寛, 小川 将, 佐藤 浩央, 神沼 拓也, 河村 英将, 大野 達也, 照射野における抜歯加納線量の探索, 第 39 回日本口腔腫瘍学会総会・学術大会, Feb. 2021

33. 鳴海 克希, 松村 彰彦, 炭素線照射野効果の検出器サイズ依存性, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021
34. 小林 優斗, 川嶋 基敬, 松村 彰彦, 田代 睦, 放射線フィルムを用いた炭素線の線量と線エネルギー付与 (LET) の同時測定, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021
35. 長谷部有希, 櫻井 浩, 田代 睦, 重粒子線治療の照射内変動を考慮した積層原体照射の線量分布評価, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021
36. 宮部 拓, 田代 睦, 河村 英将, 大野 達也, 前立腺癌の重粒子線治療における統一 PTV に向けたマージンの検討, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021
37. 安達 拓也, 吉田 由香里, 八高 知子, 渋谷 圭, 高橋 昭久, X 線照射後の代償性肝肥大, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021
38. 久保 亘輝, 岡野奈緒子, 河村 英将, 大野 達也, 群馬県内の II,III 期非小細胞肺癌に対する放射線治療方針 - Durvalumab 保険収載前後の変化, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021
39. 小此木範之, 安藤 謙, 村田 和俊, 若月 優, 野田 真永, 入江 大介, 辻 比呂志, 生水真紀夫, 大野 達也, 子宮頸部腺癌に対する重粒子線治療の多施設共同遡及的解析, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, Feb. 2021

その他出版物

1. Musha A. A Shape of Spread-Out Bragg Peak. Int J Radiat Oncol Biol Phys. Published online, 2020
2. Furukawa S, Nagamatsu A, Neno M, Fujimori A, Kakinuma S, Katsube T, Wang B, Tsuruoka C, Shirai T, Nakamura AJ, Sakaue-Sawano A, Miyawaki A, Harada H, Kobayashi M, Kobayashi J, Kunieda T, Funayama T, Suzuki M, Miyamoto T, Hidema J, Yoshida Y, Takahashi A. Space radiation biology for "Living in Space". BioMed Res Int 2020;2020:4703286.
3. Akiyama T, Horie K, Hinoi E, Hiraiwa M, Kato A, Maekawa Y, Takahashi A, Furukawa S. How does spaceflight affect acquired immune system? npj Microgravity 2020;6:14.
4. Puspitasari A, Cerri M, Takahashi A, Yoshida Y, Hanamura K, Tinganelli W. Hibernation as a tool for radiation protection in space exploration. Life (Basel) 2021;11:54.

特許

1. 田代 睦, 久保田 佳樹, 仁衡 琢磨, 蓮見 将弘, 患者位置決め支援装置, 特許第 6800462 号, 2020 年 11 月.
2. 中野 隆史, 荒川 和夫, 酒井 真理, 菊地 美貴子, 山口 充孝, 長尾 悠人, 河地 有木, 神谷 富裕, 情報処理装置, イメージング方法、及び、イメージングプログラム, 特許第 6781918 号, 2020 年 10 月.

受賞

3. 尾池 貴洋, ITCCIR2020, 最優秀賞
4. 安達 拓也, 第 58 回群馬放射線腫瘍研究会, 優秀発表賞
5. 吉田 由香里, ITCCIR2020, コースディレクター賞
6. 武者 篤, 第 74 回日本口腔科学会学術集会, Web 学会賞
7. 武者 篤, 北関東医学会奨励賞
8. 武者 篤, 日本放射線腫瘍学会 第 33 回学術大会 講演 高評価ベスト 10
9. 武者 篤, 日本放射線腫瘍学会 第 33 回学術大会 優秀発表 ベスト 50

獲得資金

1. 岡野 奈緒子. 心不全に対する炭素イオン線治療に関する基礎的研究. 科学研究費補助金若手研究代表者 2020 年度～2022 年度.
2. 柴 慎太郎. 骨肉腫に対する重粒子線治療の生物学的効果に基づいた線量分布の作成と最適化. 科学研究費補助金若手研究代表者 2020 年度～2023 年度.
3. 村田 和俊. 放射線治療における免疫応答性に関わる体細胞変異のトランスレーショナルリサーチ. 科学研究費補助金基盤 C 研究代表者 2020 年度～2022 年度.
4. 吉田 由香里. 脳放射線有害事象軽減のためオリゴデンドロサイトを標的としたアプローチ. 科学研究費補助金基盤 C 研究代表者 2020 年度～2022 年度.
5. 福田 光宏, 中尾 政夫, 倉島 俊, 涌井 崇志, 伊藤 正俊, 松田 洋平. エネルギー効率 30% の RI 製造用省エネ高強度小型加速器実現のための要素技術開発. 科学研究費補助金 基盤 B. 研究分担者. 2020 年度～2022 年度.
6. 武者 篤. 粘膜炎発症予測情報共有による新規看護介入方法の開発. 上原記念生命科学財団 2020 年度 研究奨励金(健康科学・医学・薬学). 研究代表者. 2020 年度.
7. 高橋 昭久. 宇宙での微小重力環境におけるガンの進行. JAXA 2018 年度「きぼう」利用フィジビリティスタディ. 研究代表者. 2020 年度.
8. 高橋 昭久. 宇宙放射線と重力環境変化による複合影響研究. 宇宙環境利用専門委員会フロントローディング研究. 研究代表者. 2020 年度.
9. 高橋 昭久. 国際宇宙ステーション「きぼう」利用宇宙実験とその先へ (宇宙放射線と重力変化の複合影響). 群馬大学重点支援研究. 研究代表者. 2020 年度.
10. 武者 篤. 粘膜モデルによる QOL 維持向上を目指した患者参加型頭頸部放射線治療の開発. 学内研究助成 令和 2(2020)年度若手研究助成. 研究代表者. 2020 年度.
11. 武者 篤. 学内研究助成 令和 2(2020)年度論文奨励継続研究費. 研究代表者. 2020 年度.
12. 酒井 真理. 学内研究助成 令和 2(2020)年度論文奨励継続研究費. 研究代表者. 2020 年度.
13. Li Yang. Adaptive carbon ion radiotherapy for pancreatic cancer using daily CT images.

- 群馬大学重粒子線医理工学グローバルリーダー養成プログラム L-PhD 自立研究費. 2020 年度.
14. Zhou Yuan. Position and angle optimization for adaptive carbon ion radiotherapy with passive irradiation in pancreatic cancer. 群馬大学重粒子線医理工学グローバルリーダー養成プログラム L-PhD 自立研究費. 2020 年度.
 15. Chen Jing-Ni. To investigate the feasibility of applying the DVM method to daily dose distribution evaluation on carbon ion radiotherapy by an effective solution without additional CT scans. 群馬大学重粒子線医理工学グローバルリーダー養成プログラム L-PhD 自立研究費. 2020 年度.
 16. 酒井真理. コンプトンカメラによる BNCT 治療効果のリアルタイム測定システムの開発. 科学研究費補助金 若手研究. 研究代表者. 2019 年度～2022 年度.
 17. 山之内 佐久也. 宇宙空間を模擬した無重力と放射線による複合影響の解明. 群馬大学研究活動活性化プログラム. 2020 年度.
 18. 若月優, 加藤真吾, 小此木範之, 大野達也, 大谷侑輝. 子宮頸癌画像誘導腔内照射における線量処方の標準化. 科学研究費補助金 基盤 C. 研究分担者. 2019 年度～2022 年度.
 19. 大野達也, 尾池貴洋, 花岡 宏史. 低酸素イメージング誘導 high-LET 炭素イオン線治療の開発に向けた基礎的検討. 科学研究費補助金 基盤 C. 研究代表者. 2019 年度～2021 年度.
 20. 高橋昭久. 局所炭素イオン線治療における遠隔転移がん制御法の戦略的開発研究. 科学研究費補助金 基盤 B. 研究代表者. 2019 年度～2021 年度.
 21. 佐藤浩央. 放射線照射後の DNA 修復応答による免疫関連リガンド発現機構の解析. 科学研究費補助金 基盤 C. 研究代表者. 2019 年度～2021 年度.
 22. 鹿園直哉, 酒井真理. 細胞集団における放射線誘発突然変異の頻度分布に関する研究. 科学研究費補助金 挑戦的研究(萌芽). 研究分担者. 2019 年度～2021 年度.
 23. 高橋昭久. 宇宙での微小重力環境におけるガンの進行. JAXA2018 年度「きぼう」利用フィジビリティスタディ. 研究代表者. 2019 年度～2020 年度.
 24. 佐藤浩央. 放射線治療と免疫チェックポイント阻害剤併用療法の確立を目指した抗腫瘍免疫活性化機構の解明. 公益財団法人 かなえ医薬進行財団 研究助成金. 研究代表者. 2019 年度～2020 年度.
 25. 横山彰人, 酒井真理. 多面光学測定システムによるがん治療用炭素線の 3 次元プロファイル測定. 科学研究費補助金 基盤 C. 研究分担者. 2019 年度～2020 年度.
 26. 長谷川正俊, 小此木範之, 大野達也, 若月優, 三浦幸子, 森英一朗. 高 LET 放射線と抗 VEGF 抗体の併用によるグリオーマ幹細胞制御機構の解明. 科学研究費補助金 基盤 B. 研究分担者. 2018 年度～2022 年度.
 27. 松村彰彦, がん治療用炭素線の線質測定用半導体検出器の開発, 科学研究費補助金 若

- 手研究. 研究代表者, 2018 年度～2021 年度.
28. 加田渉, 酒井真理. 重荷電粒子がん治療装置での精密線量測定を目的とした薄膜型ダイヤモンド検出器の開発. 科学研究費補助金 基盤 C. 研究分担者. 2018 年度～2021 年度. . 2018 年～2021 年.
 29. Hada M, Wang J, Takahashi A, Fujiwara K, Lu Y, Rhone J, Fujii Y, Ikeda H. Combined effects of simulated microgravity and space radiation on human cells. NASA Space Biology Program (grant no.80NSSC19K0133). 研究分担者. 2018 年度～2020 年度.
 30. 田代睦. 複数体積分割照合法を用いた位置決め患者の治療照射影響評価に関する研究. 科学研究費補助金 基盤 C. 研究代表者. 2018 年度～2020 年度.

2020 年度 群馬大学重粒子線医学研究センター 年報

2020 GHMC Annual Report

2021 年 4 月 30 日 発刊 (Publication on April 30, 2021)

編集 酒井 真理 (Makoto Sakai)

田代 睦 (Mutsumi Tashiro)

発刊 群馬大学重粒子線医学研究センター

Gunma University Heavy Ion Medical Center

住所 〒 371-8511 群馬県前橋市昭和町 3-39-22

© 2021 Gunma University Heavy Ion Medical Center