

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K07743

研究課題名（和文）MRI誘導重粒子線治療における線量分布に与えるMRI磁場影響の解明

研究課題名（英文）A Study on effects of MRI magnetic field on dose distribution during MRI guided Heavy Ion Therapy

研究代表者

岩井 岳夫（Iwai, Takeo）

山形大学・医学部・教授

研究者番号：30272529

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：重粒子線治療をより強力な治療に発展させるべく、MRIガイド下での重粒子線治療実現のための粒子シミュレーション研究を実施した。使用するMRIの磁場レベルとしては、一般的なMRIの磁場である3Tおよび1.5T、開放式の0.3Tに加え、近年開発が進みつつある超低磁場の0.055Tを想定し、それぞれについて主磁場が線量分布に与える影響を明らかにした。二次電子や二次陽子は線量分布にほとんど影響を与えない。ビームは終端で磁場によりシフトするが、側方線量分布の形はほぼ影響を受けない。超低磁場MRI程度の磁場であればシフト量もごく微小であるため、既存施設との両立性の点からも実現可能性は高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重粒子線治療は、本邦で年間5000人程度が受けている最先端治療であるが、画像誘導という点では光子線治療などに後れを取っている現状である。本研究は、MRIの磁場が一次炭素線二次粒子、線量分布に与える影響を初めて明らかにした学術的意義は大きい。

光子線治療では既に臨床投入されているMRI誘導が重粒子線治療にも適用されれば、重粒子線治療の精度と信頼性が著しく向上し、適用部位や照射回数減など、さまざまなメリットがもたらされ、究極のがん治療法として社会に与えるインパクトは計り知れない。

研究成果の概要（英文）：In order to develop carbon ion radiotherapy (CIRT) into a more powerful treatment, we conducted a particle simulation study to realize CIRT under MRI guidance. As for the magnetic field level of the MRI to be used, in addition to the general MRI magnetic field of 3T and 1.5T, the open type 0.3T, and the ultra-low magnetic field of 0.055T, which is being developed in recent years, the main magnetic field for each clarified the effect of the radiation on the dose distribution. Secondary electrons and secondary protons have little effect on the dose distribution. Although the beam is shifted by the magnetic field at the end, the shape of the lateral dose distribution is barely affected. Since the amount of shift is very small if the magnetic field is as low as ultra-low field MRI, the feasibility is high in terms of compatibility with existing facilities.

研究分野：医学物理学

キーワード：重粒子線治療 炭素線治療 核磁気共鳴画像誘導 モンテカルロシミュレーション 二次粒子 線量分布

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

炭素イオンを数 100MeV/u 程度まで加速して身体の外部から腫瘍に狙い撃ちする重粒子線治療は、放射線医学総合研究所の HIMAC で治療効果を実証し、その後国内に 6 基の重粒子線がん治療装置が整備されるなど、国内外で広がりを見せている。代表者が所属する山形大学においても、平成 27 年度より建設にかかる予算が認められ、長きにわたる建設・装置製作・調整作業の末、令和 2 年度にようやく治療が開始された。

重粒子線治療の大きな利点は線量集中性の良さである。鋭いブラッグピークを腫瘍の深さに合わせこむことで、周辺の正常組織への線量を抑えつつ局所的に大線量を与えることができる。また、体内でのビームの広がりについても、同じく線量集中性を利点としている陽子線の 1/3 程度と非常に優れている。しかしながら、このような特徴は腫瘍が正確に位置決めされて初めて生かされるのであり、裏を返せば患者のアライメントミス、照射回ごとの臓器の変動、照射中の臓器の運動などによって生じる位置決めの不確かさの影響を、X 線治療に比べて受けやすいとも言える。

画像誘導放射線治療 (Image-Guided Radiation Therapy: IGRT) は、照射時における腫瘍位置の不正確さを減じることを目的に開発されている。一つの例としてはコーンビーム CT による放射線治療があり、照射回ごとの臓器の変化や、一回の照射の中での臓器の運動をトラッキングすることができるようになってきている。しかしながら、この方法では患者は過剰な X 線に曝されることになり、特に放射線感受性の強い小児への適用には問題がある。超音波による IGRT も研究されてきたが、画像の品質がオペレーターにかなり依存することや、遠隔操作でのイメージングが難しく実現していない。これに対して核磁気共鳴画像法 (MRI) は、軟組織での強いコントラスト、さらには余分な放射線被ばくが無いという利点により、放射線治療におけるリアルタイムイメージングの究極の方法であると言える。こうした観点から光子線治療においては MRI とリニアックを結合させたプロトタイプが製作され、初めての治療が 2018 年にオランダで施行された。また放射線源にコバルト-60 線源を使うタイプの MRI システムは国立がんセンターに国内第一号機が既に設置されて、治療に使用されている。このように MRI で見ながら打つ、という手法がこれからの放射線治療において、スタンダードな手法になる可能性は大きくなりつつある。その後東北大学を含む国内数か所において、MRI 画像誘導放射線治療が臨床導入されている。

優れた線量集中性ゆえ、位置決め精度への依存性の大きい粒子線治療 (陽子線治療および重粒子線治療) では、光子線治療よりも画像誘導の恩恵はむしろ大きいと考えられるが、画像誘導技術はまだあまり進展していない。2 方向からの X 線透視画像によって位置決めが未だ主流であり、コーンビーム CT の導入も進みつつあるが光子線治療に比べて遅れている感は否めない。また、呼吸同期照射における腫瘍位置トラッキングにおいては、埋め込みマーカーや体表面マーキングなどが使用されるが、侵襲性や正確さに問題が残っている。MRI はそういった問題もクリアされるため、粒子線治療との組み合わせにおいて理想的な画像誘導手法と言えよう。これが実現されると、ターゲットのマージンを小さくすることができるためにリスク臓器への線量を減らすことが可能になり、現状では全がんの 6~7% に留まっている重粒子線治療の適用率を飛躍的に向上されることに繋がり、より多くのがん患者が重粒子線治療の恩恵を受けられるようになることが期待される。

このような利点を持つことが期待される MRI 誘導粒子線治療であるが、まだまだ可能性を検証しようとする試みがいくつか始まった程度である [1]。重要な問題のうち一つは、治療システムとイメージングシステムの干渉、つまり MRI の磁場によるビーム軌道および線量分布の歪み、および 2 つのシステムを組み合わせる上での幾何学的な制限である。前者のビーム軌道の歪みについては、陽子線に関してここ数年で国外の研究機関から数件の論文が出版された程度であり [2-4]、まだまだ成立性を検討する基礎研究の段階にあると言える。重粒子線治療については、まだ論文が一つも出版されておらず未開の分野であり、重粒子線治療の分野で世界をリードする我が国の研究者が手掛けるべきところであると考えられる。陽子線と重粒子線の違いを考えると、一次ビームに磁場が与える影響は磁気剛性の大きい重粒子線の方が小さいと予測されるが、二次電子や核破砕片の運動への磁場の影響は未だ検討されていない大きな課題である。これらの影響を明らかにすることによって、治療計画システム上で実用的な線量計算を行う際に必要なペンシルビームによる線量分布モデルを構築する上で、考慮が必要かどうかの判断が可能となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、山形大学の重粒子線治療施設に導入されるスキャニング照射用の炭素線ビームが、MRI 用の磁場でどのような影響を受け、結果的に線量分布にどのような影響を与えるかをモンテカルロシミュレーションによって明らかにし、MRI 誘導重粒子線治療実現に向けての技術的課題を抽出することにある。磁場中の光子線治療のシミュレーションでは、体表面における光子線の入射面と出射面付近において、磁場によって偏向を受けた二次電子により付与線

量が増大する Electron Return Effect (ERE)があることが知られているが、重粒子線治療においてもこの ERE がどの程度影響を及ぼすかはひとつの学術的な課題である。また、重粒子線治療では線量に大きく寄与する核破砕片については陽子線治療ではほとんど問題にならないことから検討例は無く、この核破砕片による線量分布への磁場の影響は未知の課題であり、学術的独自性と創造性に関しては、MRI 誘導陽子線治療に関しては数件の先行検討事例[1-5]がやっと出始めたところであるが、MRI 誘導重粒子線治療に関しては皆無であり、本研究が世界に先駆けたオリジナルな研究となる。

3. 研究の方法

本研究はモンテカルロ法による粒子輸送計算コードによって入射粒子および二次粒子の運動を計算し、MRI 磁場による線量分布への影響を評価する。ビーム条件としては山形大学重粒子線治療施設で想定されるスキャンニング用のペンシルビームを模擬した円柱状線源を用い、円柱水ファントムに入射する(図1)。MRI の静磁場はビーム方入射方向に垂直とし、磁場レベルとしては臨床用に日常使用されている MRI の 3 T および 1.5 T、文献[5]で低磁場開放式 MRI の 0.3 T、近年開発が進んでいる超低磁場 MRI [6]の 0.055 T と設定した。比較のため、入射粒子として陽子線も計算条件に加えた。粒子輸送計算コードには国産のコードである Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) [7]を使用し、一次ビームのみならず 2 次電子や核破砕片の運動への磁場の影響、さらには線量分布における磁場の影響を定量的に評価する。明らかにする項目は以下とする。

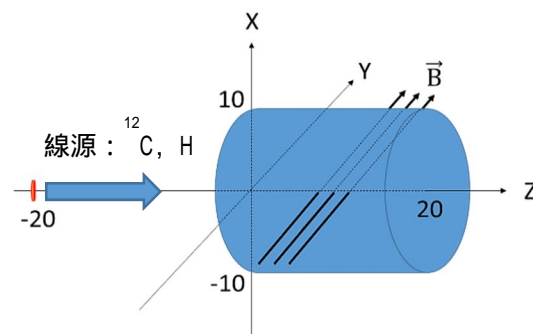


図1 計算体系(単位: cm)

- 1) 炭素ビーム軌道への磁場の影響
- 2) 側方線量分布への磁場の影響
- 3) 二次電子による線量
- (ウ) 二次粒子(陽子、ヘリウムなど)による線量

4. 研究成果

- 1) 炭素線および陽子線の軌道への磁場の影響

図2に 3 T 下での炭素線および陽子線のフラックス分布を示す。図から明らかなように、ビームは X 方向にローレンツ力を受け、軌道が偏向する。この偏向における曲率半径は mv/Bq で表されるが、陽子と炭素では m/q が 2 倍異なるため、陽子の方が低速において曲率半径が小さく、直線からのずれが大きくなることがわかる。また、粒子速度 v が減じるに伴って曲率半径が小さくなることも明らかである。磁場によりブラッグピーク位置がどの程度影響を受けたかを比較すると、炭素では 4 mm、陽子では 20 mm と差はかなり大きかった。

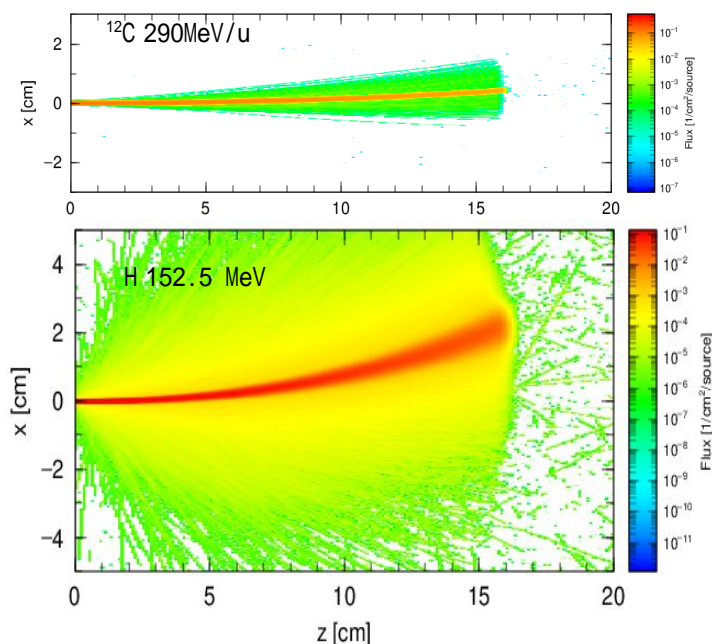


図2 磁場強度 3.0 T の時の炭素線(上)および陽子線(下)の Flux 分布の比較

- 2) 炭素線における側方線量分布への影響

図3には、3 T 下での炭素線飛程終端部における側方線量分布を示す。入射エネルギーによって磁場によるシフト量が異なり、入射エネルギーが高いほどシフト量が大きくなるが、ただし側方線量分布の形はほぼ影響を受けず、位置のみがシフトするということが明らかになった。

- 3) 二次電子による線量分布への影響

図4は、炭素線照射によって生じた二次電子の挙動と線量分布をシミュレートしたものである。図4左に示すように、ファントム表面から飛び出した電子が、磁場によって円弧を描いてファントム表面に再入射することがわかる。これは前述した Electron Return Effect (ERE) であるが、右の図に示すようにビーム入射表面線量の増加はごくわずかであり、ERE の線量への影響は限定的であることが分かった。

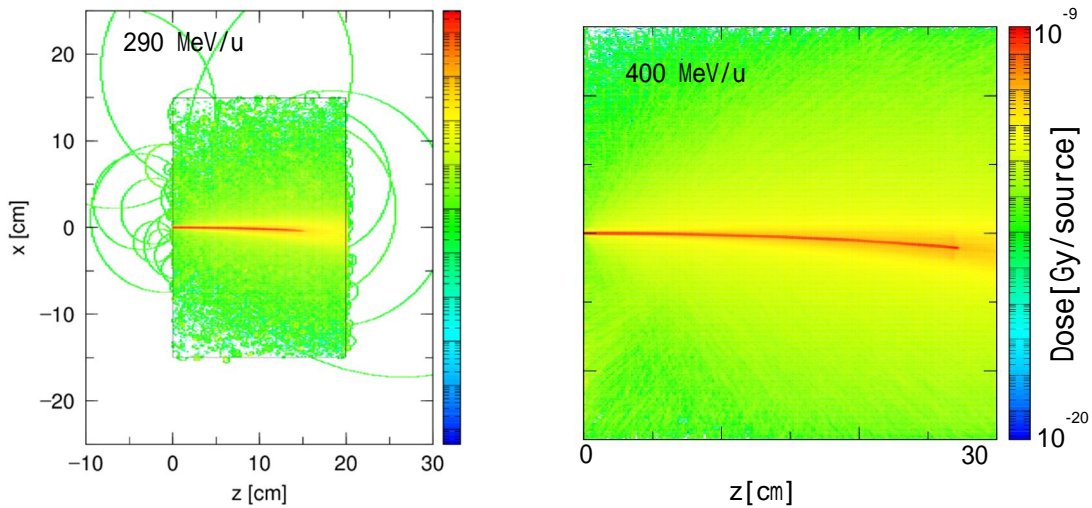


図3 炭素線照射によって生じた二次電子の挙動（左）と線量分布への影響（右）

4) 二次陽子による線量分布への影響

図5に3 T下で炭素線を照射したときの、二次陽子のフラックス分布を示す。左の図では、二次陽子がファントム表面から放出された後、磁場により円弧軌道を描いてファントム表面に再入射する様子がわかる。この現象は今まで確認されたことは無く、Fragment Return Effect (FRE)と呼称することにした。ただしこの円運動の回転半径は3 Tでも数10 cmあり、かなり大きい。現実の体系では主磁場の領域はもっと狭く、かつ低い磁場での使用になるであろうことや、患者患者周辺にオープンなスペースがそれほどないことから、再入射の割合はごくごくわずかだと考えられる。図5右のように、仮想的にファントム周辺に大空間を取って、そこにも3 Tの磁場をかけたとしても、表面線量の上昇分はブラッグピーク線量の0.01%程度と見積もられるため、現実的にFREを考慮する必要はないと言える。

5) 磁場の強さによる一次ビーム軌道への影響

図6に0.055 T、0.3 T、1.5 T、3.0 Tの磁場が400 MeV/uの炭素線一次ビーム軌道にどのように影響を与えるかを示した。1.5 T以上ではシフト量は1 cmを超えるので、線量分布計算に磁場を考慮する必要がある。0.3 Tでも2 mmのシフト量があるので、線量計算に磁場の考慮は必要である。ただし、低エネルギー側では影響は限定的である可能性がある。0.055 Tではシフト量は1 mm以下と、磁場による線量分布への影響は最小限に抑えられることがわかった。この程度であれば、磁場を考慮した線量計算が臨床上必要とならない可能性はある。

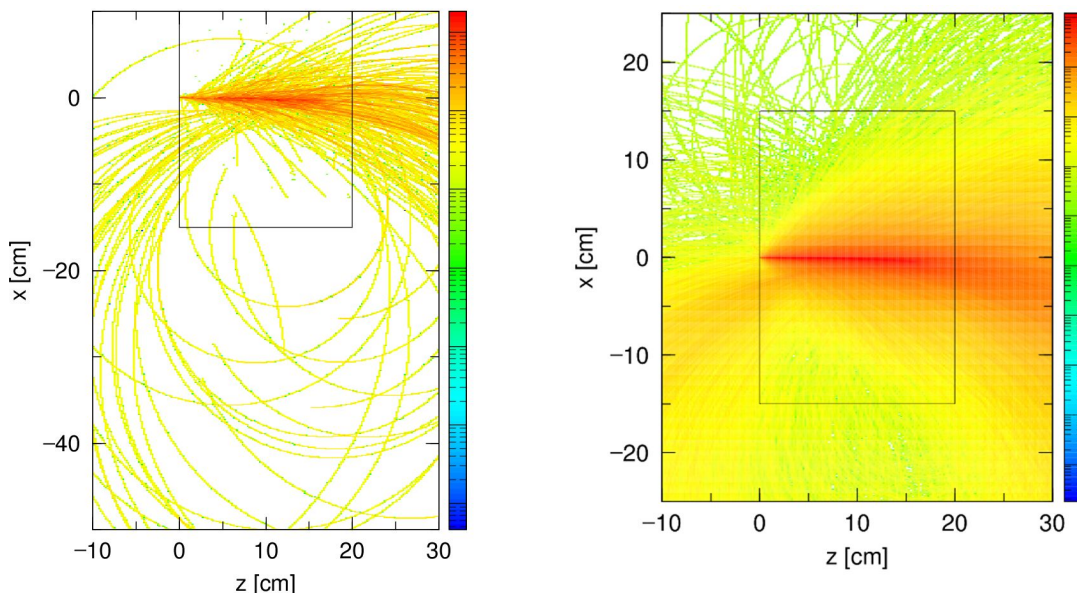


図5 3T下における400 MeV/u炭素線照射による二次陽子の挙動

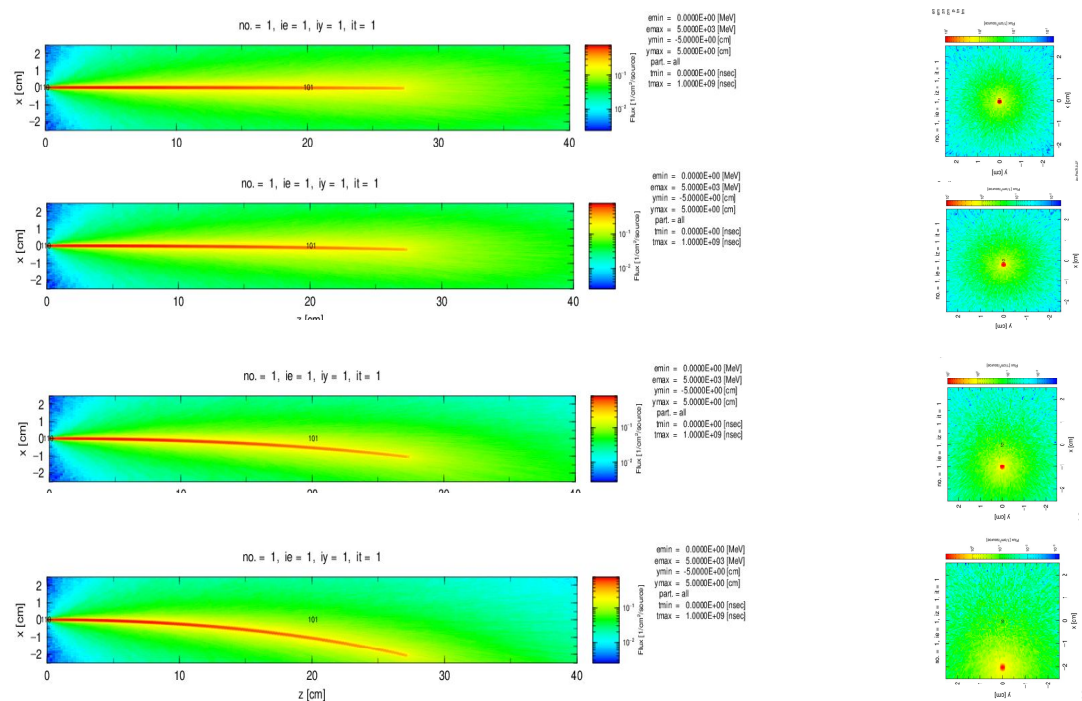


図6 磁場レベルによる一次ビーム軌道への影響の違い。上から 0.055 T、0.3 T、1.5 T、3.0 T。

6) MRI 誘導重粒子線治療の実現性

本研究で明らかになったように、MRI の磁場は線量分布に顕著な影響を与える。静磁場が強い場合は、ビームそのものとの干渉や、照射ノズル内の線量モニタおよび位置モニタとの干渉、カウチとの両立性など、様々な問題が生じ、そもそもガントリータイプの MRI ではビームコースとガントリーの干渉が問題になり、実現性はかなり低いと考えられる。実現可能性としては、陽子線との組合せが実験的に示された開放式低磁場 MRI [5]か、超低磁場 MRI [6,8]に絞られるであろう。超低磁場 MRI については、Hyperfine 社による 0.064 T の Hyperfine Swoop [8]においては認証完了し臨床現場で稼働しており、線量分布への影響や他の機器との干渉を考慮すると、このような超低磁場 MRI との組合せが最も実現性が高いと考えられる。

< 引用文献 >

BW Raaymakers, A J E Raaijmakers and J JW Lagendijk, "Feasibility of MRI guided proton therapy: magnetic field dose effects", *Phys. Med. Biol.* 53 (2008) 5615-5622, doi:10.1088/0031-9155/53/20/003

M. Moteabbed, J. Schuemann, and H. Paganetti, "Dosimetric feasibility of real-time MRI-guided proton therapy", *Medical Physics* 41, 111713 (2014); doi: 10.1118/1.4897570

J Hartman, C Kontaxis, G H Bol, S J Frank, J J W Lagendijk, M van Vulpen and B W Raaymakers, "Dosimetric feasibility of intensity modulated proton therapy in a transverse magnetic field of 1.5 T", *Phys. Med. Biol.* 60 (2015) 5955-5969, doi:10.1088/0031-9155/60/15/5955

B. M. Oborn et al., "Proton beam deflection in MRI fields: Implications for MRI-guided proton therapy", *Medical Physics* 42, 2113 (2015)

S. M. Schellhammer et al., "Integrating a low-field open MR scanner with a static proton research beam line: proof of concept", *Phys. Med. Biol.* 63 (2018) 23LT01 (8pp)

Liu, Y, et al., "A low-cost and shielding-free ultra-low-field brain MRI scanner", *Nat Commun* 12, 7238 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27317-1>

T. Sato et al., "Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52", *J. Nucl. Sci. Technol.* 50:9, 913-923 (2013)

Deoni, S.C.L., Medeiros, P., Deoni, A.T. et al., "Development of a mobile low-field MRI scanner", *Sci Rep* 12, 5690 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09760-2>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 岩井 岳夫, 想田 光, 宮坂 友侑也, Lee SungHyun, 柴 宏博, 佐藤 啓, 根本 建二, 金井 貴幸, 勝間田 匡	4. 巻 114
2. 論文標題 (放射線利用紹介) 山形大学医学部東日本重粒子センター	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 放射線化学	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 岩井岳夫, 想田 光, 金井貴幸, 宮坂友侑也, Lee Sung Hyun, 柴宏博, 勝間田匡, 佐藤啓, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二	4. 巻 -
2. 論文標題 山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状 (4)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本加速器学会第19回年会プロシーディングス	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sato K, Sato R, Goto N, Kawamura T, Kanai T, Miyasaka Y, Lee SH, Souda H, Iwai T	4. 巻 30
2. 論文標題 Development of a quantitative analysis method for assessing patient body surface deformation using an optical surface tracking system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 367-378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12194-022-00676-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lee SH, Kanai T, Souda H, Miyasaka Y, Chai H, Ono T, Yamazawa Y, Suzuki K, Sato A, Katsumata M, Iwai T	4. 巻 -
2. 論文標題 Error on the stopping power ratio of ERKODENT's mouthpiece for head and neck carbon ion radiotherapy treatment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Clinical Medical Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岩井岳夫, 想田光, 金井貴幸, 宮坂友侑也, Lee Sung Hyun, 柴宏博, 勝間田匡, 佐藤 啓, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二	4. 巻 18
2. 論文標題 山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状 (3)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 10-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 想田光, 金井貴幸, イ ソンヒョン, 宮坂友侑也, 岩井岳夫, 盛道太郎, 佐藤亜都紗, 田口貴之, 菅藤洋平, 勝間田匡, 佐藤啓, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二	4. 巻 18
2. 論文標題 重粒子線治療用シンクロトロン多段エネルギースキンの運用実績	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 603-606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 岩井岳夫	4. 巻 42
2. 論文標題 最新重粒子線治療施設の現況	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 エネルギーレビュー	6. 最初と最後の頁 12-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Takayama, T. Yazawa, M. Asano, M. Misawa, Y. Nagamoto, S. Amano, T. Orikasa, Y. Hirata, T. Kanai, H. Souda, T. Iwai	4. 巻 32
2. 論文標題 Rotating Gantry for Heavy-ion Therapy Mounted with Superconducting Bending and Focusing Magnets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2022.3160973.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 想田 光、岩井 岳夫、金井 貴幸、宮坂 友侑也、佐藤 啓、根本 建二、上野 義之、嘉山 孝正	4. 巻 17
2. 論文標題 山形大学医学部東日本重粒子センターの建設	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 加速器	6. 最初と最後の頁 144-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 想田光、金井貴幸、宮坂友侑也、岩井岳夫、根本建二、上野義之、嘉山孝正	4. 巻 17
2. 論文標題 山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状(2)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 235-237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Iwai, K. Morimoto, S. Kurosawa, F. Tokanai, T. Umebayashi, Y. Ohashi, T. Moriya, S. Ishizawa, and M. Murata	4. 巻 24
2. 論文標題 Feasibility Study on an Application of Scintillation Fiber Imager to Realtime Range Monitoring System for Carbon Ion Therapy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011030-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.24.011030. B	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計33件(うち招待講演 4件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 岩井 岳夫、想田 光、Lee Sung Hyun、宮坂 友侑也、柴 宏博、小野 拓也、後藤 辰希
2. 発表標題 MRI 誘導重粒子線治療における線量分布に与えるMRI 磁場影響のモンテカルロシミュレーション
3. 学会等名 日本量子医科学会第2回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩井岳夫、想田 光、金井貴幸、宮坂友侑也、Lee Sung Hyun、柴宏博、勝間田匡、佐藤亜都紗、佐藤 啓、根本建二
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センターにおける回転ガントリーの立ち上げ
3. 学会等名 第18回日本粒子線治療臨床研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 啓、矢野 菜津子、金子 崇、小野 崇、川城 壮平、原田麻由美、赤松 妃呂子、萩原 靖倫、市川 真由美、宮坂 友侑也、岩井 岳夫、根本 建二
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センターにおける前立腺癌重粒子線治療の初期経験
3. 学会等名 第18回日本粒子線治療臨床研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩井岳夫、想田 光、金井貴幸、宮坂友侑也、Lee Sung Hyun、柴宏博、勝間田匡、佐藤啓、佐藤慎哉、上野義之、根本建二
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状 (4)
3. 学会等名 日本加速器学会第19回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神長 摩菜美、高橋 貫太、森本 幸司、岩井 岳夫、黒澤 俊介、門叶 冬樹
2. 発表標題 粒子線がん治療時のシンチレーター型リアルタイム線モニタの開発：飛程検証のためのファイバー検出器の基礎特性と陽子線のトラッキングについて
3. 学会等名 応用物理学会秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神長 摩菜美, 高橋 貫太, 森本 幸司, 岩井 岳夫, 黒澤 俊介, 門叶 冬樹
2. 発表標題 粒子線がん治療時のシンチレータ型リアルタイム線量モニタの開発 : 飛程検証のためのファイバー検出器の基礎特性
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 貫太, 森本 幸司, 岩井 岳夫, 門叶 冬樹, 黒澤 俊介, 神長 摩菜美
2. 発表標題 粒子線がん治療時シンチレータ型リアルタイム線量モニタの開発II: 二次粒子検出のための波形分別
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Iwai T, Souda H, Kanai T, Miyasaka Y, Lee SH, Chai H, Katsumata M, Sato A, Sato H, Nemoto K
2. 発表標題 Clinical commissioning of Carbon Ion Therapy System at East Japan Heavy Ion Center, Faculty of Medicine, Yamagata University
3. 学会等名 The 2nd Annual Conference of the Asia-Oceania Particle Therapy Co-operative Group (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Iwai T
2. 発表標題 Two years' experience with Toshiba carbon ion therapy system
3. 学会等名 The 2nd Annual Conference of the Asia-Oceania Particle Therapy Co-operative Group (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩井岳夫
2. 発表標題 山形大学医学部における重粒子線治療
3. 学会等名 第23回AMSシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 想田光, 金井貴幸, イソンヒョン, 宮坂友侑也, 柴宏博, 岩井岳夫, 勝間田匡, 金子崇, 小野崇, 川城壮平, 赤松妃呂子, 萩原靖倫, 佐藤啓, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二
2. 発表標題 重粒子線治療用回転ガントリー照射装置のコミッションング
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第35回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野拓也、宮坂友侑也、柴宏博、金井貴幸、想田光、李聖賢、赤松妃呂子、佐藤啓、岩井岳夫
2. 発表標題 IMRTによる胸壁照射時の呼吸性移動対策治療計画手法の検討
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第35回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮坂友侑也、柴宏博、金井貴幸、想田光、李聖賢、佐藤啓、岩井岳夫
2. 発表標題 患者横断面線量分布の調整を可能とする新たな小線源治療用アプリケーターの開発
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第35回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 想田光, 金井貴幸, Sun Hyun Lee, 宮坂友侑也, 柴宏博, 岩井岳夫, 菅藤洋平, 盛道太郎, 佐藤亜都紗, 田口貴之, 大内章央, 勝間田匡, 佐藤啓, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二
2. 発表標題 粒子線治療装置運転・維持管理データベース PT-DOM の開発
3. 学会等名 日本加速器学会第19回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sung Hyun Lee, Takayuki Kanai, Hikaru Souda, Yuya Miyasaka, Hongbo Chai, Yoshifumi Yamazawa, Koji Suzuki, Takeo Iwai
2. 発表標題 Calculation of radiation dose from kilovoltage X-ray imaging in carbon ion radiotherapy using ICRP110 phantom and Monte Carlo simulation at East Japan Heavy Ion Center
3. 学会等名 日本医学物理学会 第124回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Souda H, Lee SH, Kanai T, Miyasaka Y, Chai H, Iwai T, Ouchi F, Sei M, Sato A, Taguchi T, Kanto Y, KatsumataM, Sato H, Sato S, Ueno Y, Nemoto K
2. 発表標題 Development of Beam Axis Correction Method with Position Feedback System
3. 学会等名 日本医学物理学会第123回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kanai T, Arai S, Miyasaka Y, Souda H, Lee SH, Chai H, Iwai T, Nemoto K
2. 発表標題 Range Uncertainties for MRI-only Treatment Planning with Convolutional Neural Network in Particle Therapy
3. 学会等名 日本医学物理学会第123回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeo Iwai, Hikaru Souda, Takayuki Kanai, Yuya Miyasaka, Sung Hyun Lee, Masashi Katsumata, Hiraku Sato, Shinya Sato, Yoshiyuki Ueno, Kenji Nemoto
2. 発表標題 Updated Status of East Japan Heavy Ion Center, Faculty of Medicine, Yamagata University
3. 学会等名 59th meeting of Particle Therapy Cooperative Group (PTCOG) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井岳夫, 想田 光, 金井貴幸, 宮坂友侑也, Lee Sung Hyun, 柴 宏博, 鈴木幸司, 山澤喜文, 勝間田匡, 佐藤 啓, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二
2. 発表標題 山形大学医学部 東日本重粒子センターにおけるクリニカルコミッションングと装置の状況
3. 学会等名 第1回日本量子医科学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神長 摩菜美, 高橋 貫太, 森本 幸司, 岩井 岳夫, 黒澤 俊介, 門叶 冬樹
2. 発表標題 粒子線治療における飛程検証のための シンチレーションファイバー検出器の開発
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Iwai, H. Souda, T. Kanai, Y. Miyasaka, S.H. Lee, M. Katsumata, H. Sato, S. Sato, Y. Ueno, T. Kayama and K. Nemoto
2. 発表標題 Preparation of East Japan Heavy Ion Center, Faculty of Medicine, Yamagata University
3. 学会等名 第121回日本医学物理学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井岳夫, 想田 光, 金井貴幸, Lee Sung Hyun, 宮坂友侑也, 鈴木幸司, 山澤喜文, 勝間田匡, 佐藤 啓, 萩原靖倫, 川城壮平, 小野 崇, 金子 崇, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センターにおける重粒子線治療
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第34回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井岳夫, 佐藤 啓, 市川真由美, 萩原靖倫, 赤松妃呂子, 川城壮平, 小野 崇, 山田真義, 金子 崇, 矢野菜津子, 植松 健, 想田 光, 金井貴幸, 宮坂友侑也, Lee Sung Hyun, 柴宏博, 鈴木幸司, 山澤喜文, 佐藤慎哉, 上野義之, 根本建二
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センター開院1年目の現状
3. 学会等名 第17回日本粒子線治療臨床研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Iwai, H. Souda, T. Kanai, Y. Miyasaka, S. Kawashiro, K. Nemoto, H. Yamashita, T. Kayama
2. 発表標題 Current Status of East Japan Heavy Ion Center, Faculty of Medicine, Yamagata University
3. 学会等名 PTCOG ONLINE (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 想田光, 金井貴幸, 宮坂友侑也, 家子義朗, 岩井岳夫, 根本建二, 山下英俊, 嘉山孝正
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状(2)
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Iwai
2. 発表標題 Shielding Calculation and Energy Saving in Yamagata University
3. 学会等名 Yonsei Cancer Center-QST Joint Symposium on Carbon Ion Therapy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Iwai, H. Souda, T. Kanai, Y. Miyasaka, Y. Ieko, M. Harada, K. Nemoto, H. Yamashita and T. Kayama
2. 発表標題 Current Status of East Japan Heavy Ion Center, Faculty of Medicine, Yamagata University
3. 学会等名 The 1st annual conference of the Asia-Oceania Particle Therapy Co-operative Group (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ieko Y, Iwai T, Nemoto K, Suzuki K, Kanai T, Miyasaka Y, Harada M, Yamashita H, Kubota I, Kayama T
2. 発表標題 Current Status and Future Prospects of Carbon-Ion Therapy Facility Project of Yamagata University
3. 学会等名 58th Annual Conference of the Particle Therapy Co-operative Group (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Souda H, Kanai T, Ieko Y, Miyasaka Y, Iwai T, Nemoto K, Yamashita H, Kayama T
2. 発表標題 Construction of Compact Heavy Ion Medical Accelerator with a Superconducting Rotating Gantry
3. 学会等名 Accelerator Reliability Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 想田光、金井貴幸、宮坂友侑也、家子義朗、岩井岳夫、根本建二、山下英俊*、嘉山孝正
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センター建設の現状
3. 学会等名 第16回日本加速器学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金井貴幸、岩井岳夫、根本建二、川城壮平、鈴木幸司、山下英俊、久保田功、嘉山孝正
2. 発表標題 山形大学医学部東日本重粒子センターの現状と展望
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第32回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤辰希、岩井岳夫、佐藤達彦
2. 発表標題 PHITSで評価した炭素線ビームから発生する二次粒子挙動及び線量分布に対するMRI磁場の影響
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井岳夫、角田紫音、後藤辰希、門叶冬樹、佐藤達彦
2. 発表標題 核磁気共鳴画像誘導粒子線治療における線量分布への磁場影響評価
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

令和4年12月につくば国際会議場で開催された第2回日本量子医科学会学術大会において、本研究課題により申請者がポスター発表した「MRI 誘導重粒子線治療における線量分布に与えるMRI 磁場影響のモンテカルロシミュレーション」が、大会で1件にのみ授与される優秀ポスター発表賞（物理・工学部門）を受賞した。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------