

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K07744

研究課題名（和文）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

研究課題名（英文）Study on evaluation of treatment irradiation influences on patients using the divided multiple-volume matching technique

研究代表者

田代 睦（TASHIRO, Mutsumi）

群馬大学・重粒子線医学推進機構・教授

研究者番号：60447274

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：放射線（重粒子線）治療では、治療計画時と比べて治療時に内部の解剖学的構造にずれることがあり、照射の確実性が損なわれる恐れがある。申請者が開発した複数体積分割照合法では、2方向のX線画像と治療計画CTから関心体積の母体積からの3次元的なずれを定量化することができる。その際に得られる疑似3D-CTデータが、治療時の患者状態を表すことから、そのデータに対して線量分布計算を行うことにより、新たなCT撮影なしに照射影響を評価することを目的とした。肝臓がん患者データに対して本手法を適用したところ、解剖学的構造変化に対する重粒子線の標的線量カバレッジの観点で照射影響をおおむね模擬できることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線治療にて照射時に患者内部の構造が大きくずれていた場合には、室内CTを利用したオンライン/オフラインでのアダプティブの対応が浸透しつつあるが、位置修正や再計画などは非常に手間と時間がかかる工程である。開発した複数体積分割照合法は、母体積の位置決めと同時に関心体積のずれを定量化するものである。この手法により得られる疑似3D-CT画像は、治療位置決め時の患者状態を模擬するものであり、線量分布評価が可能なが示された。治療時CT撮影なしで照射の影響が評価できることは、より適切な位置決めに向けた効率性や患者低侵襲性、被曝低減の面で、放射線治療分野において画期的な応用可能性を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：In radiation (heavy ion) therapy, deviations in the internal anatomy may be observed at the time of treatment compared to the time of treatment planning, which may affect the irradiation accuracy. The divided multiple-volume matching technique developed by the applicant can quantify the three-dimensional (3D) deviation of the volume of interest from the base volume from the orthogonal X-ray images and the treatment planning CT. Since the pseudo-3D CT data obtained by this technique represent the patient's anatomical condition at the time of treatment, we aimed to evaluate the irradiation influence without new CT imaging by calculating the dose distribution for the data. The present method was applied to the data of liver cancer patients, and it was shown that the irradiation influence could generally be simulated in terms of target dose coverage of the heavy-ion beam to the anatomical structural changes.

研究分野：粒子線治療物理学

キーワード：放射線治療 重粒子線治療 患者位置決め 動態定量化 複数体積同時照合 模擬CTボリュームデータ
線量分布計算 分割体積照合法

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

放射線がん治療における日々の患者位置決めでは、しばしば治療計画時と比べて内部の解剖学的構造にずれが見られる。特に、粒子線治療では治療ビームの飛程が経路上の密度変化に敏感であるため、当初の計画と比較して著しい線量の変動を引き起こす可能性があり、3次元的に高い位置再現性と慎重さが求められる。しかし、これまでの経験から、照射時の患者状態を完全に再現させることは非常に困難なのが現実である。より慎重に位置決め精度を求めるほど、それににかかる時間は増大する傾向にある。一方で、近年放射線治療全般に精度要求はますます高まっており、治療件数の増大も求められている。この相反する要求に対応するためには、位置決めシステムを高度化し、短い時間で精度の高い結果が得られるシステムの開発が求められる。

コーンビーム(CB)CT、治療期間中の定期的オフライン CT や室内 CT は、現在粒子線治療における治療経過中の日々の線量分布を評価する主要な方法となっている。しかし、CBCT は画質が劣ることや CT 値の不正確さの問題があり、直接的な粒子線線量の再計算に利用することができない。また、多くの粒子線治療施設に CBCT が具備されているわけではない。定期的なオフライン CT では、線量評価に CT シミュレータを利用する。しかし、治療室と異なる患者セットアップでは、日々の治療時の線量分布を完全には再現できない。室内 CT は現状線量分布の計画再現性を確認するのに最適である。しかし、患者への追加被ばくや治療室の占有時間が長くなるなど、治療の効率と柔軟性が低下するのが現状である。

申請者は、放射線治療における患者の位置決めをより正確に行うために、内部構造や骨構造の3次元変位を定量・可視化する2D-3D マッチング技術「分割体積照合(DVM)技術」を開発してきた[1]。本手法は、治療計画用3D-CTを関心体積(VOI)と母体積(BV)の2つの体積に分割し、各体積の3次元の変位と回転を独立して同時に定量化するものである。本手法では、BVおよびVOIを変位させた疑似3D-CTデータからデジタル再構成X線画像(DRR)を逐次生成し、治療位置決め時に撮影される直交X線画像(DR)とマッチングを行う。最終的に得られたDRRとその元となる3D-CTデータは、位置決め時の患者の解剖学的構造を最も反映していると考えられる。治療位置決め時にCT撮影を行うことなく、その時の患者状態を表す3D-CTデータを得ることができるならば、これを用いて線量分布計算を行うことで、内部構造のずれによる治療照射への影響を知ることが可能でとなることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、DVM法を用いて、治療計画用3D-CT画像および治療時の位置決めX線画像から、治療時の内部構造に変位を伴う患者状態である3D-CTポリウムデータを模擬すること、さらに、この3D-CTポリウムデータを用いて治療ビームを模擬した線量分布計算を行い、得られた線量分布による照射影響評価が可能であることを示すことである。

3. 研究の方法

(1)ファントム試験

開発したDVMソフトウェアやDVM法による動態定量化や線量分布・標的線量カバレッジ評価のワークフローを確認するために、ファントムによる試験を行った。胸部ファントム(N-1;京都科学)内に、臨床的標的体積(CTV)を模擬したプラスチック製の直方体を挿入したものと、円筒形の4DCT Imaging Insert (QUASAR; Modus Medical Devices Inc.)の比較的高密度領域をCTVとしたものの2種類を使用した。各ファントムでCT撮影を2回実施し、1回目を計画CTとし、2回目では計画時からのずれを想定した治療時CTとして挿入物を上方向に約20mm手動でシフトした。直方体や円筒形の挿入部をVOIとして輪郭を設定し、残りのCTポリウムをBVとした。

骨照合と腫瘍照合は、治療照射時の機器中心(照射部位中心;アイソセンタ)を決定するために実臨床で用いられている一般的な患者位置決め方法である。本学重粒子線治療計画装置(XiO-N; Elekta, 三菱電機)から作成されたオリジナルの治療計画の線量分布を、骨照合または腫瘍照合に基づいてアイソセンタを変えた治療時CTで再計算し、比較のための線量分布を得た。さらに、DVM法により得られた3D-CTデータ(DVM CT)に対してVOIシフトとBVシフトにより算出したアイソセンタで線量分布を再計算した。治療時CTとDVM CTでの線量分布やCTV線量カバレッジを比較した。

(2)患者データによる検証

過去に本学にて重粒子線治療を受けた肝臓がん患者10名の治療計画および治療時確認CTデータ等を用いてDVM法の検証を行った。肝臓がんでは、腫瘍周辺に埋め込まれた金属マーカーや造影剤のリピオドール、横隔膜によりX線画像にて臓器の移動が比較的定量化しやすいこと、臓器の大きな変形が少ないため、DVMの適用可能性が期待されることから選択した。患者データ利用については群馬大学医学部附属病院倫理審査委員会の承認を得た。

計画CTや治療中確認用の室内CTは呼吸同期にて最呼気相で取得されたものを使用した。こ

ここでは、**DVM** 法による **DVM CT** と室内 **CT** との比較検証が主目的であるため、室内 **CT** 撮影時と治療 **X** 線位置決め画像との間の患者体内構造変化による誤差をなくすために、室内 **CT** の **DRR** を位置決め **X** 線画像として、計画 **CT** との間で **DVM** 法を適用した。位置決め用 **X** 線画像と計画 **CT** による **DVM** 法の精度は、通常の **2D-3D** マッチングと同等であることは、本適用前に検証を行った[1]。肝臓または肝臓とその周辺組織を **VOI** として描出した。室内 **CT** については、骨構造による骨照合、金蔵マーカーリピオドールによる腫瘍照合を行い、アイソセンタ位置を決定した。**DVM CT** に対しては、**DVM** 法適用後に得られる **BV** および **BOI** のシフト量から、それぞれ骨照合および腫瘍照合に対するアイソセンタ位置を求めた。線量分布計算はすべて実臨床で用いられている治療計画システム **XiO-N** にて行った。

標的の線量カバレッジとして、**CTV** に対するカバレッジ(**V95%**)では、元々の治療計画が **CTV** の呼吸性移動に対するロバスト性を考慮して作成されており[2]、総じて高い値を示し有意な差が出なかったため、計画標的体積(**PTV**)の **V95%**にて比較評価を行った。また、**DVM CT** と室内 **CT** との線量分布自体の比較のためにガンマ解析(**3mm/3%**)を行った。

日々のより大きなずれに対する **DVM** 法の検証を行うため、肝臓がん患者の **4D-CT** 画像を用いた検証も行った。**4D-CT** の最呼気相と最吸気相との間で比較的大きな肝臓の変位(**6.8~23.5 mm**)が見られた 5 名の症例を選択した。各 **4D-CT** の最呼気画像を計画 **CT** とし、同じ **4D-CT** の最吸気相画像を治療時の室内 **CT** とみなした。**DVM** 法の検証は、上記計画 **CT** と室内 **CT** との比較と同様に行った。

4. 研究成果

本研究では、ファントム試験と患者データにより、**DVM CT** を用いた日々の線量分布評価の実現可能性を検証したものである。室内 **CT** と **DVM CT** との比較により、**CTV** または **PTV** 標的線量カバレッジの差はファントム試験で **2%**未満、臨床データで **10** 例中 **9** 例の患者において **3%**未満であった[3]。**DVM CT** での標的線量カバレッジは、骨照合や腫瘍照合によるアイソセンタ位置の違いにより室内 **CT** の線量カバレッジと同様に变化した。このことから、**DVM CT** と室内 **CT** の日々の線量分布は高い類似性を示し、**DVM CT** は室内 **CT** をおおよそ代替できるものであることが示された。

患者の位置決めのために多くの粒子線施設で使用されている従来の **2D-3D** マッチング技術とは異なり、マッチングの関心領域の中で骨構造や金属マーカーに合わせることができ、その選択によって異なる治療用アイソセンタを設定でき、したがって異なる線量分布を得ることにつながる。すなわち、提案する **DVM** 法は、異なるアイソセンタ(セットアップ)を選択することができることになる。**DVM** 法は、内部構造(**VOI**)と骨構造(**BV**)を同時に考慮し、それらに対応するアイソセンタを提供するので、患者のポジショニングに最適なアイソセンタを効率的に決定することができる。ある症例では、室内 **CT** の腫瘍照合での標的線量カバレッジが **DVM CT** のそれより悪かったが、このときのアイソセンタのシフト量が両者で異なっていた。これは、腫瘍照合でのアイソセンタのシフト量が、**DVM** 法における **VOI** を照合させた場合のアイソセンタのシフト量が異なることに起因していた。すなわち、金属マーカーによる腫瘍照合が実際の腫瘍の動きとずれており、**VOI** を照合した方がより現実の腫瘍の位置ずれを反映していたことを意味する。シフト量をそれぞれの方法に合わせ直した場合には、両者の標的カバレッジが一致した。このことから、**DVM** 法は、治療前に骨照合 / 腫瘍照合に基づいて計算された線量分布と比較することで、従来の腫瘍照合法よりも治療に最適なアイソセンタを決定できる可能性があり、さらに骨照合 / 腫瘍照合に限らずより線量分布の良いアイソセンタすなわち位置決め方針を新たに提供できることが示唆された。

また、患者の **1** 例では **VOI** である肝臓以外の消化管の移動変形がビーム経路に影響を与えたため、室内 **CT** と **DVM CT** での標的線量カバレッジに差が見られた。このことから、**DVM CT** は室内 **CT** の代替可能性は完全なものではなく、予測不可能な事態を避けるために、定期的な **CT** 撮影と組み合わせる方が臨床的に安全であることが示唆された。

一般的に肝臓の症例で **DVM** を行う場合、肝臓の若干の変形により横隔膜と肝臓下部の間に矛盾が存在することがある。しかし、再計算された線量分布に影響を与えるのはビーム経路上の組織のみであるため、**DVM CT** と室内 **CT** 全体を完全に一致させる必要はない。加えて、肝臓症例における入射ビーム角度は、粒子線治療では消化管を避けることが一般的である。したがって、ビーム経路の外側やターゲットの後方に解剖学的変化(胃や腸の充填など)がある肝臓症例は、提案手法が適用可能である。**DVM CT**(変形計画 **CT**)と室内 **CT** の **CT** 値そのものは各ボクセルで完全に一致しないが、線量分布比較結果からこの差は無視できる程度であることが示された。

DVM 法は現在のところ扱える変形の種類に制限があるが、この技術の応用可能性を広げるための今後の開発には、**2** つの方向性が考えられる：

1 つめは、**DVM** 最適化のためのポリウム数を増やすことである。**DVM** 技術では現在 **2** つのポリウム (**VOI** と **BV**) しか最適化できないため、提案手法の適用範囲は **1** つの臓器に含まれる腫瘍症例に限定される。肝臓の症例では、正常肝が **VOI** に含まれるため、周囲の **OAR** として評価することができた。**DVM CT** と室内 **CT** では同等の結果が得られたが、複数の **VOI** を **OAR** として含む症例に **DVM** 法を適用するためには、今後のさらなる技術開発が必要である。

2 つめとして、深層学習など組み合わせて **DVM CT** を作成する方法が挙げられる。現在の **DVM** 技術では、**X** 線画像で描画されない構造を照合することは困難である。しかし、最近、金属マーカを用いない **X** 線透視検査において、深層学習を用いて視認性の低い腫瘍の動きを追跡することが報告されている。このような技術を融合することで、**DVM** の最適化の能力を向上させ、処理時間を短縮し、この技術を他の腫瘍部位に拡張できる可能性がある。本研究では標的線量カバレッジに焦点を当てたものであり、周辺 **OAR** の評価はほとんど対象外であった。しかしながら、上記のように適切な変形画像レジストレーション(**DIR**)に類似するような変形画像生成技術の開発改善により、日々の確認 **CT** 撮影を追加することなく、腫瘍だけでなく周辺 **OAR** の評価が可能になることが期待される。

まとめとして、本研究は、日々の確認 **CT** 撮影を追加することなく、治療時の線量分布を評価する画期的な方法を提供した。**DVM CT** は計画 **CT** と直交 **2D** 位置決め **X** 線画像から生成される。この技術は臨床において粒子線の飛程と標的範囲の変化を効率的に見つけるのに有用である。提案手法は、**CBCT** のような **CT** 値不正確の問題によらず、治療室の使用効率を向上させ、ワークフローを円滑にし、日々の **CT** 撮像による患者線量を増加させることなく、適切なタイミングでアダプティブな再計画手順を可能とするものである。本研究の成果から、患者の位置決めと日々の線量分布評価からオンライン適応放射線治療に向けた将来の発展につながる可能性が示された。

<引用文献>

[1] Tashiro M, Kubota Y, Torikoshi M, et al. Divided-volume matching technique for volume displacement estimation of patient positioning in radiation therapy. *Phys Med.* 2019, 62:1-12.

[2] Tashiro M, Ishii T, Koya J, et al. Technical approach to individualized respiratory-gated carbon-ion therapy for mobile organs. *Radiol Phys Technol.* 2013, 6:356-66.

[3] Chen JN, Ohno T, Tashiro M. Dose distribution estimation toward CT-less adaptive carbon ion radiotherapy for liver tumors using the divided-volume matching technique. *Phys. Med. Biol.* 2023, 68 205018

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1. 著者名 Chen Jing-Ni, Ohno Tatsuya, Tashiro Mutsumi | 4. 巻 68 |
| 2. 論文標題 Dose distribution estimation toward CT-less adaptive carbon ion radiotherapy for liver tumors using the divided-volume matching technique | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physics in Medicine & Biology | 6. 最初と最後の頁 205018 ~ 205018 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6560/acfc93 | 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 Tashiro Mutsumi, Kawashima Motohiro | 4. 巻 23 |
| 2. 論文標題 Linear energy transfer-independent calibration of radiochromic film for carbon-ion beams | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physics and Imaging in Radiation Oncology | 6. 最初と最後の頁 140 ~ 143 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.phro.2022.08.001 | 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 TASHIRO MUTSUMI, YOSHIDA YUKARI, OIKE TAKAHIRO, NAKAO MASAO, YUSA KEN, HIROTA YUKA, OHNO TATSUYA | 4. 巻 42 |
| 2. 論文標題 First Human Cell Experiments With FLASH Carbon Ions | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Anticancer Research | 6. 最初と最後の頁 2469 ~ 2477 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21873/anticancer.15725 | 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 Kawashima Motohiro, Tashiro Mutsumi, Varnava Maria, Shiba Shintaro, Matsui Toshiaki, Okazaki Shohei, Li Yang, Komatsu Shuichiro, Kawamura Hidemasa, Okamoto Masahiko, Ohno Tatsuya | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 An adaptive planning strategy in carbon ion therapy of pancreatic cancer involving beam angle selection | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physics and Imaging in Radiation Oncology | 6. 最初と最後の頁 35 ~ 41 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.phro.2022.01.005 | 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 Fukata Kyohei, Kawamura Hidemasa, Kubo Nobuteru, Kanai Tatsuki, Torikoshi Masami, Nakano Takashi, Tashiro Mutsumi, Ohno Tatsuya | 4. 巻 90 |
| 2. 論文標題 Retrospective comparison of rectal toxicity between carbon-ion radiotherapy and intensity-modulated radiation therapy based on treatment plan, normal tissue complication probability model, and clinical outcomes in prostate cancer | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physica Medica | 6. 最初と最後の頁 6~12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejmp.2021.08.013 | 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 Li Yang, Kubota Yoshiki, Okamoto Masahiko, Shiba Shintaro, Okazaki Shohei, Matsui Toshiaki, Tashiro Mutsumi, Nakano Takashi, Ohno Tatsuya | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Adaptive planning based on single beam optimization in passive scattering carbon ion radiotherapy for patients with pancreatic cancer | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Oncology | 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) 10.1186/s13014-021-01841-2 | 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 Tashiro Mutsumi, Souda Hikaru, Yoshida Takuya, Sakurai Hiroshi | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Reconstruction of dose distributions for fine carbon-ion beams using iterative approximation toward carbon-knife | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physics in Medicine & Biology | 6. 最初と最後の頁 225023 ~ 225023 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6560/abc131 | 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 Kawashima Motohiro, Matsumura Akihiko, Souda Hikaru, Tashiro Mutsumi | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Simultaneous determination of the dose and linear energy transfer (LET) of carbon-ion beams using radiochromic films | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physics in Medicine & Biology | 6. 最初と最後の頁 125002 ~ 125002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6560/ab8bf3 | 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 Tashiro Mutsumi, Kubota Yoshiki, Torikoshi Masami, Ohno Tatsuya, Nakano Takashi | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 Divided-volume matching technique for volume displacement estimation of patient positioning in radiation therapy | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Physica Medica | 6. 最初と最後の頁 1~12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejmp.2019.04.028 | 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 KUBOTA YOSHIKI, OHNO TATSUYA, KAWASHIMA MOTOHIRO, MURATA KAZUTOSHI, OKONOGI NORIYUKI, NODA SHIN-EI, TSUDA KAZUHISA, SAKAI MAKOTO, TASHIRO MUTSUMI, NAKANO TAKASHI | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 Development of a Vaginal Immobilization Device: A Treatment-planning Study of Carbon-ion Radiotherapy and Intensity-modulated Radiation Therapy for Uterine Cervical Cancer | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Anticancer Research | 6. 最初と最後の頁 1915~1921 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21873/anticancerres.13300 | 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 Kubota Yoshiki, Sakai Makoto, Tashiro Mutsumi, Saitoh Jun ichi, Abe Takanori, Ohno Tatsuya, Nakano Takashi | 4. 巻 45 |
| 2. 論文標題 Predicting dose distribution with replacing stopping power ratio for inter fractional motion and intra fractional motion during carbon ion radiotherapy with passive irradiation method for stage I lung cancer | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Medical Physics | 6. 最初と最後の頁 3435~3441 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.12966 | 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 - |

〔学会発表〕 計12件(うち招待講演 2件/うち国際学会 7件)

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Jing-Ni Chen, Mutsumi Tashiro, and Tatsuya Ohno |
| 2. 発表標題 Dose distribution evaluation without additional CT scans toward adaptive carbon ion radiotherapy for liver tumors using the divided-volume matching technique |
| 3. 学会等名 The 3rd Annual Conference of the Asia-Oceania Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG-AO 2023) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Mutsumi Tashiro, Masao Nakao, Yukari Yoshida, Ken Yusa, Tatsuya Ohno |
| 2. 発表標題 Dosimetry of experimental carbon-ion mini-beams toward 'Carbon-Knife' and 'Carbon-Flash' |
| 3. 学会等名 Flash Radiotherapy & Particle Therapy (FRPT) 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Mutsumi Tashiro, Hikaru Souda, Hiroshi Sakurai |
| 2. 発表標題 Reconstruction of lateral dose distributions with optimized filtering process for fine carbon-ion beams toward 'carbon-knife' |
| 3. 学会等名 59th Annual Conference of the Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG 59) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 田代 睦 |
| 2. 発表標題 群馬大学重粒子線がん治療における医工連携 |
| 3. 学会等名 第33回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD33) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------------|
| 1. 発表者名 長谷部有希, 櫻井 浩, 田代 睦 |
| 2. 発表標題 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 |
| 3. 学会等名 第58回群馬放射線腫瘍研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Tashiro M, Souda H, Yoshida T, Sakurai H. |
| 2. 発表標題 Iterative reconstruction of lateral dose distributions for fine carbon-ion beams toward 'Carbon-Knife' |
| 3. 学会等名 The 10th International Society of Radiation Neurobiology Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Tashiro M, Souda H, Yoshida T, Sakurai H |
| 2. 発表標題 Reconstruction of dose distributions for fine carbon-ion beams toward "Carbon Knife" |
| 3. 学会等名 International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 田代睦, 久保田佳樹, 大野達也 |
| 2. 発表標題 Divided-volume matching technique for volume displacement estimation at patient positioning |
| 3. 学会等名 第118回日本医学物理学会学術大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 田代睦, 想田光, 吉田拓矢, 櫻井浩 |
| 2. 発表標題 Filtering process examination for dose distribution reconstruction of fine carbon-ion beams using iterative approximation |
| 3. 学会等名 第118回日本医学物理学会学術大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 M. Tashiro, H. Souda, M. Torikoshi, T. Ohno, T. Nakano |
| 2. 発表標題 Dose distribution reconstruction of fine carbon-ion beams for carbon-knife |
| 3. 学会等名 57th Annual Conference of the Particle Therapy Co-operative Group (PTCOG57) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------------------|
| 1. 発表者名 田代 睦, 横山耕平, 取越正己 |
| 2. 発表標題 球標的数值ファントムに対する呼吸性移動積層原体照射の線量 分布評価 |
| 3. 学会等名 第116回日本医学物理学学会学術大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名 田代 睦, 想田 光, 取越正己 |
| 2. 発表標題 逐次近似法を用いた微小炭素イオンビームの線量分布再構成 |
| 3. 学会等名 第116回日本医学物理学学会学術大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 |
|-------|------------------------------------|--------------------------------------------|----|
| 研究協力者 | Chen Jing-Ni (Chen Jing-Ni) | 群馬大学・大学院医学系研究科・大学院生 (12301) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|