

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20H03612
研究課題名（和文）超高線量率の動体追跡照射に対応するマーカーレスボリュームイメージング技術の開発

研究課題名（英文）Marker-less volume imaging technique for real-time tumor tracking radiation therapy

研究代表者
宮本 直樹（Miyamoto, Naoki）
北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：00552879
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,600,000円

研究成果の概要（和文）：体内で呼吸により動くがんに対する放射線治療での応用を目的として、体内にマーカーなどのランドマークを留置することなく、リアルタイムで2次元X線透視画像からボリュームイメージ（3次元CT画像に相当する）を合成する手法を開発した。患者データを用いた評価により、体内のがんの位置を2 mm程度の精度で評価できること、また、治療放射線による体内での線量分布をシミュレーション計算するために必要な画像合成精度が得られることを確認した。ボリュームイメージングを利用した新しい放射線照射制御技術を提案し、シミュレーション計算により、腫瘍制御率の向上が認められ、提案手法の有効性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来は難しかったリアルタイムでの3次元画像合成技術を開発し、特に放射線治療における応用可能性を示した。これにより、体内で動くがんに対しても高精度な放射線の照射が可能になると期待でき、例えば、十二指腸や胃が近接するような難治性の膵臓がんに対しても、安全に従来より多くの放射線を投与することが可能となり、治療成績の向上を期待できる。今後到来する超少子高齢化社会において、生活の質の向上に寄与できるものと考えられ、研究開発の社会的意義は大きいと考えられる。また、体内の動きに関する新しい知見が得られる可能性もあり、放射線治療時の各臓器の動態解析など新たな学術的展開も期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, a method to synthesize volumetric images that are equivalent to 3D CT images from 2D X-ray fluoroscopic images in real-time without any landmarks such as fiducial gold markers inside the body has been developed for application in radiotherapy for cancer that moves inside the body due to respiration. In the evaluation using patient data, it was confirmed that the proposed method can evaluate the location of tumor with an accuracy of about 2 mm, and that the image synthesis accuracy required for dosimetric simulation in the body due to therapeutic radiation can be obtained. A new beam irradiation control technique using volumetric imaging was proposed, and dosimetric simulation showed an improvement in the tumor control probability (TCP), demonstrating the effectiveness of the proposed method.

研究分野：放射線治療

キーワード：ディープラーニング ボリュームイメージング マーカーレス リアルタイム 呼吸性移動対策 医学物理

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

近年、がんの放射線治療において、高い線量率(単位時間あたりに照射する放射線量)でごく短時間のうちに放射線を照射する治療方法¹の研究が進んでおり、さらに症例によっては1~4回(通常1日あたり1回照射)などの少ない分割照射の回数で治療を完了させるスキームが検討されている。少ない照射回数で、さらに瞬時に照射が終わるということは、極めて高い精度の患者位置決めと照射技術が不可欠となる。このような超高線量率、超寡分割照射の実施は、動かないがんに対しては、現在の6軸自由度を有する画像誘導技術等による患者位置決めで十分対応可能と考えられる。しかし、肺がんや肝がんなど、呼吸で動き変形する部位においては、現在よりも次元の高い呼吸性移動対策が不可欠となる。現時点で最高精度の対策方法の1つは、体内マーカーを利用する動体追跡放射線治療である。同治療では、がんの近傍に直径1.5mm程度の純金のマーカーを留置し、治療中にマーカーの位置を2方向からのX線透視によりリアルタイムでモニタする。リアルタイムで評価した体内マーカーの3次元位置に応じて、治療放射線のON/OFFを制御することにより、がんが計画位置にある場合のみ、放射線を照射することが可能となる。一方で、生体内の臓器の大部分は、骨などを除いて非剛体であることから、呼吸などともない周辺臓器も変形していると考えるのが自然である。体内マーカーの位置が計画位置と合っていたとしても、治療ビームが通過する領域の体内構造に変化が生じた場合、例えば粒子線治療では体内で粒子線が止まる位置が計画とは異なり、大きな線量誤差が生じる可能性がある。また、必ずしも体内マーカーを全ての患者に留置できないという課題もある。したがって、体内マーカーを使用することなく、リアルタイムで体内構造を確認したうえで、治療用の放射線ビームを制御する方法が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、従来の体内マーカーを利用する動体追跡治療システムの装置構成(放射線治療装置と2方向からのX線透視装置を組み合わせたシステム)をそのまま利用し、体内マーカーを使用することなく、治療中に得られる2方向からのX線透視画像から抽出した特徴量を利用することで、3次元体内構造をリアルタイムで推定する技術(マーカーレスボリュームイメージング)を開発することを目的とする。提案研究の推進により、体内にマーカーを留置するという侵襲性のあるプロセスを無くすことができ、加えて、ボリュームイメージを得ることによる高精度な呼吸性移動対策をFLASHなどの超高線量率照射を含むあらゆる照射において実施可能となる。今後間違いなく到来する超少子高齢化社会において、QOL(Quality Of Life)の向上に寄与できるものと思われるため、研究開発の意義は大きいと考えられる。また、体内の動きに関する新しい知見が得られる可能性もあり、放射線治療時の各臓器の動態解析など新たな学術的展開も期待される。

3. 研究の方法

本研究は3年の研究計画で実施した。基本アルゴリズム開発から開始し、最終的に、実際の患者データを利用した性能検証を実施した。開発したマーカーレスボリュームイメージングの概要、およびその性能検証方法の概要を以下に示す。

(1) 開発したアルゴリズムの概要

開発したマーカーレスボリュームイメージング技術の概要と放射線治療時の応用例を図1に示す。放射線治療計画用に、4-dimensional computed tomography (4DCT) 画像を取得していることを前提とする。4DCTは呼吸1周期程度の時間変化を含む体内構造を再構成したCTデータセットであり、一般的に10セット程度のCTデータセットからなる。提案手法によるボリュームイメージ合成プロセスを以下に示す。

1. 変形レジストレーションを利用し、4DCTデータの呼気相のCT画像(CT_{ref})を基準として各呼吸位相間の変形ベクトルを評価する
2. 主成分分析を利用し、1.で評価した変形ベクトルデータセット(D)の主成分変形ベクトル(u_i)を評価する
3. 主成分変形ベクトルに様々な係数(w)を与えた変形($D(\bar{D}, w)$)により多様なCT画像を合成し、合成したCT画像から作成したX線投影画像を作成する

4. 上記で作成した X 線投影画像および主成分係数を学習データとして、それぞれを入力、出力とする畳み込みニューラルネットワーク (CNN: convolutional neural network) を学習させる。
5. 治療中に得られる X 線透視画像を CNN へ入力し、得られた主成分係数をもとに体内変形を評価し、基準 CT 画像を変形させることでポリリュームイメージ (CT_{CNN}) を合成する

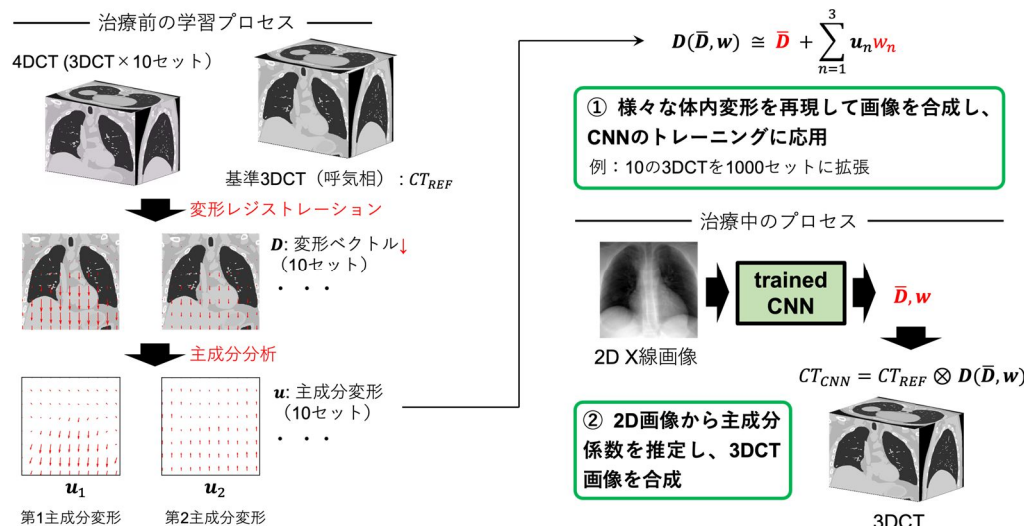


図 1 開発した技術を放射線治療に応用する場合のトレーニングプロセスと治療時のデータフロー。

合成したポリリュームイメージは 3 次元的な体内構造を再現しているため、放射線治療中のがんの位置の評価だけでなく、放射線が体内に入射してからがんの位置に到達するまでの体厚の評価できるため、特に粒子線治療における治療ビームの高精度な制御に応用できると期待される。

(2) 精度検証

本研究では、9 名の患者データを使用し、マーカレスポリリュームイメージング法の画像合成精度を評価した。評価に利用したデータは、The Cancer Imaging Archive (TCIA)² で一般に公開されているデータであり、それぞれの患者データには異なる日に撮影された複数の 4 DCT データセットが含まれている。モデリングおよび性能検証においては、最も日付の若い 4DCT を CNN トレーニング用、その他の 4DCT から作成した X 線投影画像を検証に利用した。これにより、日ごとに体内構造が変化する実際の治療のシチュエーションを想定してポリリュームイメージングの実行可能性を検証した。なお、横隔膜付近の CT 画像アーチファクト (ノイズのようなもの) が大きいもの、呼吸性移動が 3 mm 以下の CT データセットは除外した。

主成分分析を利用した体内変形のモデリングにおいては、利用する主成分の数が少ない場合は体内変形の表現力が不足し、逆に必要以上の主成分数を利用すると、画像のアーチファクトノイズに起因するような変形まで含めて再現するような状況になる。そのため、始めに、利用する主成分の最適な数を決めた。これは、累積寄与率 (利用する主成分変形により、どの程度の変形を説明できるかというパラメータに相当) に基づいて決定した。

使用する主成分数の最適化をした後、提案手法により合成した 3 次元 CT 画像と、正解となる 3 次元 CT 画像のボクセル値を比較し、平均絶対誤差 (MAE: mean absolute error) により画像の合成精度を評価した。

4. 研究成果

各患者における主成分の数と累積寄与率の評価結果を表 1 に示す。概ね、主成分の数が 3 以上で累積寄与率が 90% 以上であることが分かる。以上の結果から、今回対象とした評価データにおいては、ポリリュームイメージングの計算時間も考慮して、利用する主成分数を 3 つとした。以降に示すのは主成分数 3 の評価結果である。

合成画像の例を図 2 に示す。CNN 合成画像および正解画像との差分から、提案手法により合成したポリリュームイメージでは、がんの位置・形状や横隔膜位置がよく再現されていることがわ

かる。呼吸位相 (Phase=0~90) 毎に、全患者データ評価した MAE の平均と標準偏差を図 3 に示す。提案手法(CNN)により評価した MAE は、PCALimit に近い値となっており、かつ(P50-P**) よりも MAE が小さくなっている。この結果は、学習した CNN により、理想的な主成分係数に近い値が得られていることを示しており、画像の合成精度としては、体厚の評価などに応用可能な精度が得られた。これらの精度評価をまとめて、論文として報告している³。

以上の結果から、提案するマーカーレスボリュームイメージングの定量的な精度評価をもとに、提案手法によるがんの位置の評価、体厚評価への応用が期待される。

表 1: 各患者での主成分の数と累積寄与率

Pat. #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
107	75.29	82.24	86.44	89.42	91.98	94.41	96.41	98.36	100.0	100.0
109	89.23	96.03	97.46	98.27	98.83	99.26	99.62	99.86	100.0	100.0
111	92.32	95.43	97.80	98.65	99.13	99.46	99.67	99.85	100.0	100.0
112	89.75	95.26	97.12	98.01	98.57	99.04	99.40	99.72	100.0	100.0
113	81.05	86.64	90.04	92.55	94.58	96.23	97.65	98.84	100.0	100.0
114	87.89	91.16	94.06	95.69	96.89	97.85	98.66	99.37	100.0	100.0
116	93.97	96.69	98.32	98.86	99.31	99.53	99.72	99.90	100.0	100.0
117	78.53	84.90	89.95	93.09	94.84	96.36	97.66	98.92	100.0	100.0
118	87.73	92.76	94.27	95.61	96.73	97.61	98.46	99.26	100.0	100.0
Mean±	86.20	91.23	93.94	95.57	96.76	97.75	98.58	99.34	100.0	100.0
SD	±	±	±	±	±	±	±	±	±0	±0
	6.415	5.374	4.244	3.291	2.525	1.784	1.156	0.5457		

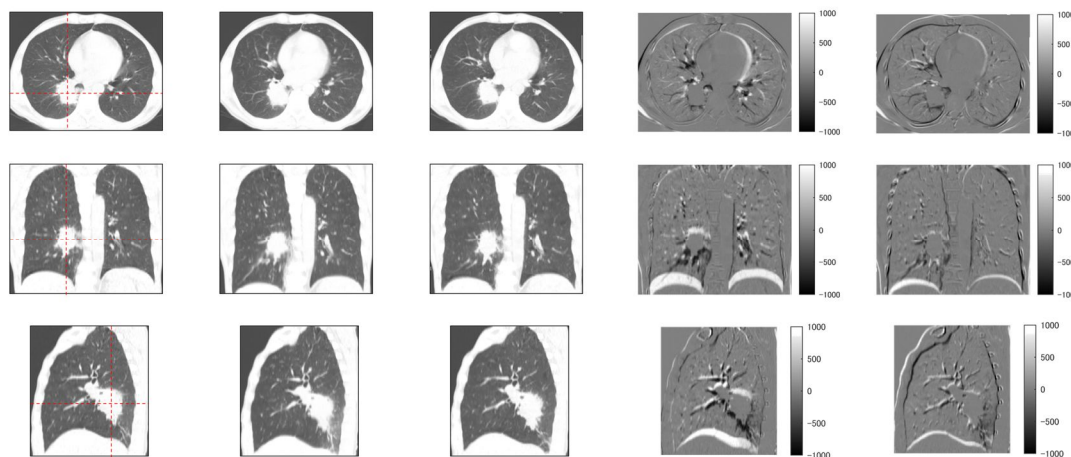


図 2 左列から、基準画像、正解画像、CNN 合成画像、基準画像と正解画像の差分、CNN 合成画像と正解画像の差分。

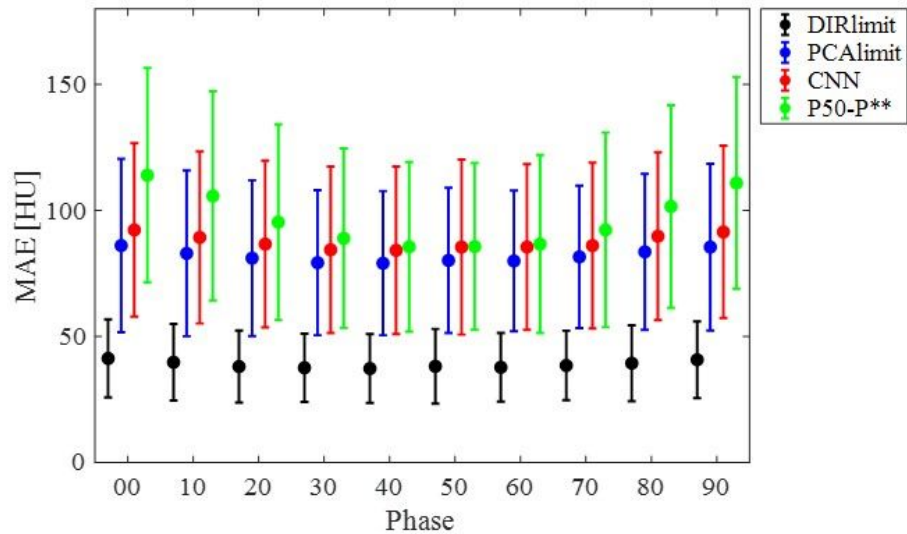


図3 各呼吸位相 (Phase=0~90) における全患者データで評価した MAE の平均と標準偏差。CNN は提案手法により合成した 3 次元 CT と正解 CT 画像との MAE を表す。DIRlimit は変形レジストレーションの誤差を表す。(P50-P**) は基準画像と正解画像との MAE を表しており、ターゲットとする正解画像がどの程度基準から変形しているかを示す目安となる。PCAlimit は最も MAE が小さくなる主成分係数が得られた場合の結果である。

< 引用文献 >

Jean Bourhis, et. al., Treatment of a first patient with FLASH-radiotherapy, Radiotherapy Oncology, 139, 2019, 18-22

TCIA (2023年5月18日時点) <https://www.cancerimagingarchive.net>

Suzuka Asano, et. al., Technical note: Performance evaluation of volumetric imaging based on motion modeling by principal component analysis, Medical Physics, 50(2), 2023, 993-999

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ikeda Kai, Liu Haoran, Miyamoto Naoki, Nguyen Mai Thanh, Shirato Hiroki, Yonezawa Tetsu	4. 巻 5
2. 論文標題 Preparation of Biopex-Supported Gold Nanoparticles as Potential Fiducial Markers for Image-Guided Radiation Therapy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Bio Materials	6. 最初と最後の頁 1259 ~ 1266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsabm.1c01271	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 Kasamatsu Koki, Tanaka Sodai, Miyazaki Koichi, Takao Seishin, Miyamoto Naoki, Hirayama Shusuke, Nishioka Kentaro, Hashimoto Takayuki, Aoyama Hidefumi, Umegaki Kikuo, Matsuura Taeko	4. 巻 49
2. 論文標題 Impact of a spatially dependent dose delivery time structure on the biological effectiveness of scanning proton therapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 702 ~ 713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.15367	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 Ukon Kanako, Arai Yohei, Takao Seishin, Matsuura Taeko, Ishikawa Masayori, Shirato Hiroki, Shimizu Shinichi, Umegaki Kikuo, Miyamoto Naoki	4. 巻 62
2. 論文標題 Prediction of target position from multiple fiducial markers by partial least squares regression in real-time tumor-tracking radiation therapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 926 ~ 933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrab054	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 Sodai Tanaka, Naoki Miyamoto, Yuto Matsuo, Takaaki Yoshimura, Seishin Takao, Taeko Matsuura	4. 巻 66
2. 論文標題 First experimental results of gated proton imaging using x-ray fluoroscopy to detect a fiducial marker	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics in medicine and biology	6. 最初と最後の頁 1
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 Hayashi Risa, Miyazaki Koichi, Takao Seishin, Yokokawa Kohei, Tanaka Sodai, Matsuura Taeko, Taguchi Hiroshi, Katoh Norio, Shimizu Shinichi, Umegaki Kikuo, Miyamoto Naoki	4. 巻 48
2. 論文標題 Real time CT image generation based on voxel by voxel modeling of internal deformation by utilizing the displacement of fiducial markers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 5311 ~ 5326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.15095	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 Kimura Suguru, Miyamoto Naoki, Sutherland Kenneth L., Suzuki Ryusuke, Shirato Hiroki, Ishikawa Masayori	4. 巻 22
2. 論文標題 Fundamental study on quality assurance (QA) procedures for a real time tumor tracking radiotherapy (TRRT) system from the viewpoint of imaging devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Clinical Medical Physics	6. 最初と最後の頁 165 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.13307	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 Koki Kasamatsu, Taeko Matsuura, Sodai Tanaka, Seishin Takao, Naoki Miyamoto, Jin-Min Nam, Hiroki Shirato, Shinichi Shimizu, Kikuo Umegaki	4. 巻 47(9)
2. 論文標題 The impact of dose delivery time on biological effectiveness in proton irradiation with various biological parameters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 4644-4655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.14381	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 Katarzyna Czerska, Frank Emert, Renata Kopec, Katja Langen, Jamie R McClelland, Arturs Meijers, Naoki Miyamoto, Marco Riboldi, Shinichi Shimizu, Toshiyuki Terunuma, Wei Zou, Antje Knopf, Antoni Rucinski	4. 巻 82
2. 論文標題 Clinical practice vs. state-of-the-art research and future visions: Report on the 4D treatment planning workshop for particle therapy - Edition 2018 and 2019	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Medical	6. 最初と最後の頁 54-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejmp.2020.12.013	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 該当する

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Suzuka Asano, Koichi Miyazaki, Risa Hayashi, Kouhei Yokokawa, Seishin Takao, Sodai Tanaka, Taeko Matsuura, Kikuo Umegaki, Naoki Miyamoto
2. 発表標題 Development of markerless volumetric imaging technique using dual X-ray fluoroscopy
3. 学会等名 第121回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kouhei Yokokawa, Keiji Kobashi, Naoki Miyamoto, Kikuo Umegaki
2. 発表標題 A method for evaluating the achievement probabilities of prescribed dose criteria under arbitrary respiratory motion in particle therapy
3. 学会等名 第121回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suzuka Asano, Seishin Takao, Koichi Miyazaki, Kohei Yokokawa, Taeko Matsuura, Hiroshi Taguchi, Norio Katoh, Hidefumi Aoyama, Kikuo Umegaki, Naoki Miyamoto
2. 発表標題 Data augmentation of 4DCT dataset based on principal component analysis of deformation vector field
3. 学会等名 第122回日本医学物理学学会学術大会、第9回韓日医学物理学学会学術合同大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Aoyama, Seishin Takao, Koichi Miyazaki, Kohei Yokokawa, Taeko Matsuura, Hiroshi Taguchi, Norio Katoh, Hidefumi Aoyama, Kikuo Umegaki, Naoki Miyamoto
2. 発表標題 Prediction of internal markers' position with deep learning in real-time tumor-tracking radiotherapy
3. 学会等名 第122回日本医学物理学学会学術大会、第9回韓日医学物理学学会学術合同大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Changmin Park, Seishin Takao, Koichi Miyazaki, Kohei Yokokawa, Taeko Matsuura, Hiroshi Taguchi, Norio Katoh, Hidefumi Aoyama, Kikuo Umegaki, Naoki Miyamoto
2. 発表標題 Analysis of variations in respiratory tumor motion during lung SBRT by continuous wavelet transform
3. 学会等名 第122回日本医学物理学学会学術大会、第9回韓日医学物理学学会学術合同大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuhei Kikkawa, Hideaki Ueda, Koichi Miyazaki, Taeko Matsuura, Kikuo Umegaki, Naoki Miyamoto, Seishin Takao
2. 発表標題 Range adapted patient alignment based on the water equivalent thickness in spot-scanning proton therapy
3. 学会等名 第122回日本医学物理学学会学術大会、第9回韓日医学物理学学会学術合同大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Nihonyanagi, Hideaki Ueda, Koichi Miyazaki, Taeko Matsuura, Kikuo Umegaki, Naoki Miyamoto, Seishin Takao
2. 発表標題 Estimation method for changes in dose distribution from changes in water-equivalent thickness in proton therapy
3. 学会等名 第122回日本医学物理学学会学術大会、第9回韓日医学物理学学会学術合同大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Miyamoto, Suzuka Asano, Seishin Takao, Koichi Miyazaki, Kohei Yokokawa, Taeko Matsuura, Hiroshi Taguchi, Norio Katoh, Hidefumi Aoyama, Kikuo Umegaki
2. 発表標題 Real-time volumetric imaging for in-vivo range verification in particle therapy
3. 学会等名 The 8th GCB Biomedical Science and Engineering Symposium（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Fujii , Seishin Takao , Taeko Matsuura , Shusuke Hirayama , Naoki Miyamoto , Kikuo Umegaki , Shinichi Shimizu , Hiroki Shirato
2. 発表標題 Histogram Analysis Method of Water Equivalent Path Length to Evaluate Dose Variation Due to Anatomical Change in Spot-Scanning Proton Beam Therapy
3. 学会等名 AAPM 63rd Annual Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Risa Hayashi , Naoki Miyamoto , Kouhei Yokokawa , Seishin Takao , Koichi Miyazaki , Kikuo Umegaki
2. 発表標題 Real-time volumetric image generation based on CT image deformation driven by displacement of internal fiducial markers
3. 学会等名 第119回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuhei Kikkawa , Hideaki Ueda , Kikuo Umegaki , Naoki Miyamoto , Seishin Takao
2. 発表標題 Image registration with spatially weighted mutual information for patient setup in proton therapy
3. 学会等名 第119回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部和貴、宮崎康一、横川航平、高尾聖心、平田雄一、梅垣菊男、宮本直樹
2. 発表標題 動体追跡放射線治療におけるDeep Learningを用いたX線透視画像上の非球形マーカ位置の認識
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会退会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wan Jeff, Yusuke Nomura, Naoki Miyamoto, Lei Xing, Hiroki Shirato
2. 発表標題 Neural reconstruction of volumetric computed tomography from a body surface depth motion surrogate
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横川航平, 宮本直樹, 高尾聖心, 松浦妙子, 田中創大, 清水伸一, 白土博樹, 梅垣菊男
2. 発表標題 スポットスキャンニング陽子線治療における可変ゲーティング法を用いた線量誤差の低減
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 出倉康裕, 安田耕一, 湊川英樹, 大塚愛美, 鈴木隆介, 宮本直樹, 鈴木崇祥, 対馬那由多, 加納里志, 本間明宏, 清水伸一, 青山英史
2. 発表標題 simulative IMRTを用いた早期声門部癌に対する放射線治療における甲状腺線量の検討
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuto Matsuo, Naoki Miyamoto, Taeko Matsuura, Masaya Tamura, Norio Kato, Daisuke Abo, Shinichi Shimizu, Hidefumi Aoyama, Hiroki Shirato, Seishin Takao
2. 発表標題 The changes of expiration position in Real-time image-Guided Proton Therapy for liver cancer
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井田頼子, 小橋啓司, 宮本直樹, 宮崎康一, 西岡健太郎, 安田耕一, 加藤徳雄, 松浦妙子, 高尾聖心, 青山英史, 橋本孝之, 清水伸一
2. 発表標題 陽子線治療の適応的治療を支援する実績線量分布評価システムの開発
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Uchinami, Norio Kato, Ryusuke Suzuki, Hiroshi Taguchi, Koichi Yasuda, Seishin Takao, Naoki Miyamoto, Taeko Matsuura, Shinichi Shimizu, Hidefumi Aoyama
2. 発表標題 Dosimetric comparison of proton beam therapy and photon VMAT in patients with multiple small sized liver tumors: A preliminary study
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Miyamoto
2. 発表標題 Real-time adaptive radiotherapy with internal fiducial markers and real-time-imaging technique
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Miyazaki, Takaaki Fujii, Toru Umekawa, Naoki Miyamoto, Kikuo Umegaki
2. 発表標題 Synthetic fluoroscopic image generation for tracking accuracy validation of marker-less tumor tracking in radiotherapy
3. 学会等名 2020 AAPM Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sodai Tanaka, Naoki Miyamoto, Yojiro Shimada, Teiji Nishio, Takaaki Yoshimura, Seishin Takao, Yuto Matsuo, Shinichi Shimizu, Taeko Matsuura
2. 発表標題 Gated Proton Imaging using Fiducial Marker and X-ray Fluoroscopy
3. 学会等名 2020 AAPM Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020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
研究分担者	田中 創大 (Tanaka Sodai) (00826092)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子医科学研究所 物理工学部・研究員 (82502)	
研究分担者	高尾 聖心 (Takao Seishin) (10614216)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	富岡 智 (Tomioka Satoshi) (40237110)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	松浦 妙子 (Matsuura Taeko) (90590266)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	清水 伸一 (Shimizu Shinichi) (50463724)	北海道大学・医学研究院・教授 (10101)	

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
---------	---------