

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05236

研究課題名（和文）BNCT照射中の患者の動きに追従してリアルタイム線量評価を行うシステムの開発

研究課題名（英文）Real-time dose estimation system for BNCT by combination with the tracking technology for patient movement

研究代表者

熊田 博明（Kumada, Hiroaki）

筑波大学・医学医療系・准教授

研究者番号：30354913

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、モーションキャプチャー技術を応用した患者位置合わせと治療計画システムとを連動させ、BNCTの照射精度を向上させる技術の研究開発である。患者位置合わせ技術では、複数のカメラを用いて照射室内の患者の位置をリアルタイムで検出する手法の基盤技術を開発した。この技術を治療計画システムと連動させ、動作検証を実施し、BNCTに求められる精度で患者を位置合わせできることを確認した。関連する特許を国内に2件、国外（PCT出願）を1件実施した。また、研究内容を国内外の関連学会で発表するとともに、査読付き論文を1件投稿した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代のがん放射線治療として期待されているBNCTは、2020年3月に先行する装置と薬剤が薬事承認され、年内にも保険医療として治療が開始される。しかし周辺装置は開発途上である。本研究は、BNCTの患者位置精度、線量評価を向上させることが可能であり、BNCTの必須技術として展開することが見込まれる。これにより、当該治療法の治療効果、成績の向上にも寄与する技術である。将来的にはBNCTの確立、普及に寄与するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research is to develop techniques and methodologies that improve the irradiation accuracy of boron neutron capture therapy (BNCT) by linking a treatment planning system for BNCT and a patient positioning device with a motion capture technology. Regarding the patient positioning technology, we have developed a positioning device that can detect various positions of a patient in the irradiation room in real-time using multiple cameras. Verification results demonstrated the system enables to guide a patient to irradiation position within positioning accuracy required from BNCT. Based on the research results, two domestic patents and one international patent (PCT) related to the methodologies have been applied. In addition, we have presented the research results at academic congresses in Japan as well as overseas and submitted one peer-reviewed paper.

研究分野：放射線治療の医学物理分野

キーワード：BNCT 患者位置合わせ モーションキャプチャー 治療計画システム モンテカルロ計算 リアルタイムモニタリング 線量評価

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

近年、難治性癌、再発癌に対する治療法としてホウ素中性子捕捉療法（BNCT）が注目されている。近年の加速器技術の進展により、病院に併設でき、かつ、薬事承認可能な加速器ベース BNCT 治療装置の開発が行われており、数年後には装置が薬事承認され、BNCT の“先進医療”化と病院内での治療実施が実現する見込みである。しかし BNCT を“医療”として確立するためには、治療計画技術、患者位置制御技術等を高度化し、先行する X 線治療、粒子線治療と同レベルまで高精度化する必要がある。

現状の BNCT は、「腫瘍細胞内のホウ素 10 と中性子が反応すれば殺細胞効果が得られる＝照射野内に病巣領域を入れておけば治療できる」という原理から、病巣領域よりも少し広めに照射範囲を設定して中性子照射を行っている。この“ラフな照射ができる”ことが BNCT のメリットとして掲げられている。しかし実際には、生体内の中性子分布は均一ではなくビーム中心軸上が最も高く、辺縁ほど低いため、病巣がビーム中心から外れると治療線量は下がり、正常組織線量は上がってしまう。現状の 1 時間程度の治療では、照射中に患者は動いてしまい、特に座位照射では首を中心に頭部がよく動くという問題がある。しかし実際の照射では、治療計画で決定された位置に患者はセットされ終始動かないものと仮定して付与線量を評価し、照射制御を行っている。従って実際には照射中の患者の動きによって計画線量よりも正常部位への線量が増加したり、腫瘍への治療線量が計画通りに付与されていないという事象が起きている。

## 2. 研究の目的

前述の研究背景を踏まえて本研究目的は、BNCT 分野の患者位置合わせ精度、照射精度を高度化、高精度化することを目指し、以下の開発研究を実施して、当該課題を解決することを目指す。  
①照射中の患者の動きをモーションキャプチャー技術を使って定量的に逐次計測し、②この位置変動に応じてリアルタイム線量評価を行うシステムを構築する。また、位置変化に応じてその場でモンテカルロ線量計算を実行することは不可能であるため、③治療計画時に照射中に患者の移動範囲を人間工学的に予測し、その移動先の線量評価も事前に実施する治療計画システムを合わせて開発する。

## 3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、以下の項目の開発研究を実施する。

### 課題 1： BNCT 照射時の体位変動を逐次計測する基盤技術の開発：

複数のカメラで照射中の患者を撮影し、モーションキャプチャー技術を応用して照射中の患者の 3 次元的な位置変化を定量的、かつ、リアルタイムに計測する技術を構築し、患者位置合わせシステムのプロトタイプを筑波大学の BNCT 施設に設置する。同プロトタイプについて、計測精度、実用性等の検証を実施する。

### 課題 2： BNCT の個々の患者の固定兼遮蔽具の製作に関する研究：

照射毎に異なる患者に対して、照射位置に患者を正確に固定し、かつ、照射野外に中性子ビームが照射されることを可能な限り抑制できる患者固定具、兼、中性子遮蔽具を、3D プリンティング技術を用いて製作できる技術、手順の開発を行う。

### 課題 3： 患者位置制御連動型治療計画システムの基盤技術開発：

課題 1 で開発する患者位置合わせシステム・プロトタイプと連動し、患者の位置合わせと線量評価を実行する治療計画システムの基盤技術を開発研究する。本研究で用いる治療計画システムのベースには、筑波大学で開発しているモンテカルロベース治療計画システム（以下、ツクバプラン）を用いる。まず、患者位置合わせシステムで位置合わせを行うためには、患者の各部位の座標を出力する機能が必要であるため、ツクバプランにこの機能を組み込む。また、患者位置合わせシステムからの患者位置情報を基に、治療計画システム上の患者位置を再現し、その条件下での線量評価を即座に実行するアルゴリズムを開発してツクバプランに実装する。以上の基盤研究を実施し、開発した患者位置合わせシステムのプロトタイプを実際の BNCT の臨床研究に適用し、その実用性等の評価を行う。

## 4. 研究成果

モーションキャプチャー技術を応用した BNCT 用の患者位置合わせシステムの開発では、まず、10 台以上のデジタルカメラをモックアップ施設内に設置し、模擬照射位置に人を配置し、人の動きをリアルタイムで観測し、人体上の各部位やマーカーの位置座標をリアルタイムで計測する技術を構築した。図 1 は、患者位置合わせシステム（試作機）の表示画面例を示しており、人に設置した複数のマーカー（直径：10 mm）の位置座標を計測し（左図（a））、この計測結果を基に人の位置変化をリアルタイムで表示した様子（右図（b））を示している。

モックアップによる試験を踏まえ、患者位置合わせシステムの試作機を筑波大学の BNCT 施設：iBNCT（茨城県東海村内）の照射室内に設置した。当該システムは、合計で 19 台のカメラで構成され、ビーム軸の水平軸高さ位置に 10 台、天井のビーム軸の垂直軸状に 8 台、そして、ビーム軸上の正面に 1 台設置した。また、患者の位置合わせを支援するため、ビームの垂直軸線上に垂直レーザー光を発するレーザー装置を 1 台、ビームの水平軸線上に左右から水平レーザーを発するレーザー装置をそれぞれ 1 台ずつ設置した。図 2 は iBNCT 施設・照射室内に設置したシステム（水平カメラ等）の写真を示す。

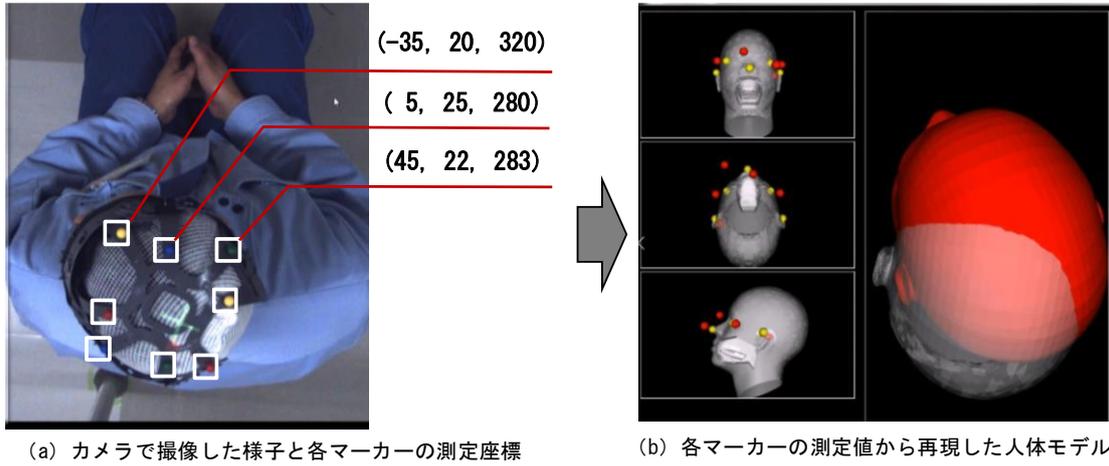


図1 患者位置合わせシステムの人に対する計測試験の様子

患者位置合わせシステムによる各点の測定精度を検証するため、直方体型の水ファントムを照射位置に設置し、ファントム上の各点の座標を測定する実験を実施した。この結果から、同装置による各座標検出精度は、±5 mm以内であることを確認し、本装置開発で設定した目標精度：±5mm 以内、満たすことを確認し、本装置を BNCT に適用できる可能性のあることを確認した。図3に計測に用いた水ファントムを照射したに設置した様子を示す。また、各点の基準となる定規による測定値（上段）、及び、本システムによる計測値（下段）をそれぞれ示している。

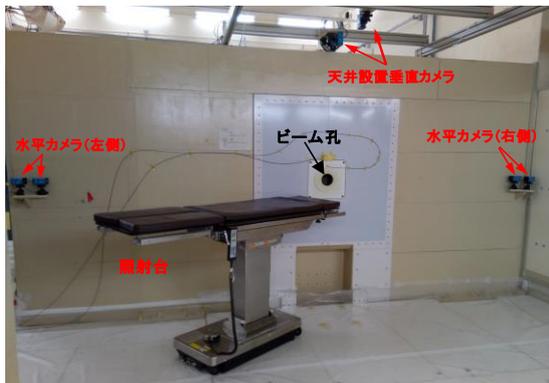


図2 筑波大学のBNCT施設の照射室内に設置した患者位置合わせシステム概略

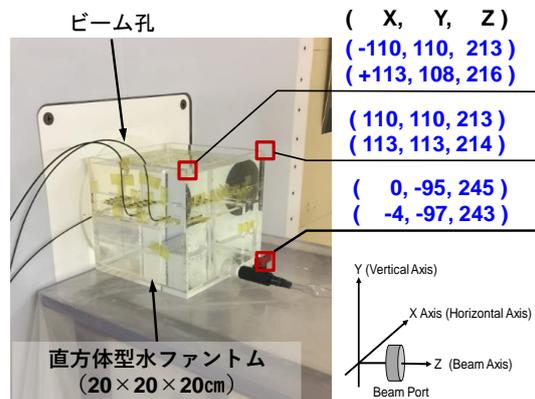


図3 水ファントムを用いた測定精度計測実験

BNCT の個々の患者の固定兼遮蔽具の製作手法については、患者の医療画像データをツクバプランに取り込み、ツクバプラン上で固定治具の輪郭を形成し、その情報を3Dプリンティング装置に出力して治具製作できる手法を確立した。さらに、この固定具を実際の中性子遮蔽に用いている部材：フッ化リチウム+ポリエチレン材で製作できる手法を構築した。図4は、頭部ファントムに対して当該手法を用いて固定具兼中性子遮蔽具を製作した写真を示している。

患者位置合わせ装置と組み合わせる治療計画システム（ツクバプラン）に関する研究では、ツクバプラン上に患者の任意の部位（眼、鼻根部、鼻尖、及びマーカー位置）の座標を出力し、位置関係を実際の治療現場の条件に再現する機能を開発して実装した。平成 31 年度には、2つのシステムをツクバプランから出力した各患者部位の位置座標にカメラの照準を合わせ、ファントムに対する位置合わせのデモンストレーションを実施した。

当初掲げた3つの開発項目：患者位置合わせシステムの開発、患者固定具兼中性子遮蔽具の製作手法の開発、及び、患者位置合わせに対応した治療計画システムに関してはそれぞれ試作機等の開発を実施できた。ただし、患者位置合わせシステム等を実際のBNCTの治験に適用しての実証試験は、筑波大学のBNCT装置による治験開始が当初予定より遅延して未だ開始されていないため、実施できなかった。今後、当該施設での治験が開始された際に試験を実施する計画である。

各研究成果は、国内外の学会で発表するとともに、査読付き英語論文誌に1件投稿中である。また、また、3件の特許出願（1件はPCT出願）を行い、1件は既に国内で特許化された。



図4 患者固定具兼遮蔽具

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kumada H, Tanaka S, Naito F, Kurihara T, Sugimura T, Sakurai H, Matsumura A, Sakae T	4. 巻 231(01003)
2. 論文標題 Neutron beam performance of iBNCT as linac-based neutron source for boron neutron capture therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conference	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） 10.1051/epjconf/202023101003	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 Sato T, Masunaga S. I, Kumada H, Hamada N.	4. 巻 183(1-2)
2. 論文標題 DEPTH DISTRIBUTIONS OF RBE-WEIGHTED DOSE and PHOTON-ISOEFFECTIVE DOSE FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiat Prot Dosimetry.	6. 最初と最後の頁 247-250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/rpd/ncy235	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 Koketsu J, Kumada H, Takada k, Takei H, Mori Y, Kamizawa S, Hu Yuchao, Sakurai H, Sakae T.	4. 巻 20(9)
2. 論文標題 3D-printable lung phantom for distal falloff verification of proton Bragg peak	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Appl Clin Med Phys.	6. 最初と最後の頁 86-94
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/acm2.12706	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 Kumada H, Takada K, Naito F, Kurihara T, Sugimura T, Matsumoto Y, Sakurai H, Matsumura A, Sakae T	4. 巻 2160(050013)
2. 論文標題 Beam performance of the iBNCT as a compact linac-based BNCT neutron source developed by University of tsukuba	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	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） 10.1063/1.5127705	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 H. Kumada and K. Takada	4. 巻 1
2. 論文標題 DEPTH DISTRIBUTIONS OF RBE-WEIGHTED DOSE and PHOTON-ISOEFFECTIVE DOSE FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Therapeutic Radiology and Oncology	6. 最初と最後の頁 1-11
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 Onishi T., Kumada H., Takada K., Naito F., Kurihara T., Sakae T.	4. 巻 140
2. 論文標題 Investigation of the neutron spectrum measurement method for dose evaluation in boron neutron capture therapy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 5-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2018.06.004	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 Sato Tatsuhiko, Masunaga Shin-ichiro, Kumada Hiroaki, Hamada Nobuyuki	4. 巻 180
2. 論文標題 DEPTH DISTRIBUTIONS OF RBE-WEIGHTED DOSE and PHOTON-ISOEFFECTIVE DOSE FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	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) 10.1093/rpd/ncy235	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 熊田博明	4. 巻 757
2. 論文標題 医療用加速器中性子源の開発と産業・工業分野への応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Isotope News	6. 最初と最後の頁 22-25
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 H. Kumada, K. Takaka, Y. Sakurai, M Suzuki, T. Takata, H. Sakurai, A. Matsumura, T. Sakae	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a multimodal Monte Carlo based treatment planning system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/rpd/ncx218	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 H. Kumada F. Naito, K. Hasegawa, H. Kobayashi, T. Kurihara, K. Takada, T. Onishi, H. Sakurai, A. Matsumura, T. Sakae	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of LINAC-Base Neutron Source for Boron Neutron Capture Therapy in University of Tsukuba	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1-6
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 T. Sato, S. Masunaga, H. Kumada, N. Hamada	4. 巻 8(988)
2. 論文標題 Microdosimetric Modeling of Biological Effectiveness for Boron Neutron Capture Therapy Considering Intra- and Intercellular Heterogeneity in 10B Distribution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-18871-0	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 K. Takada, T. Sato, H. Kumada, J. Koketsu, H. Takei, H. Sakurai, T. Sakae	4. 巻 -
2. 論文標題 Validation of the physical and RBE-weighted dose estimator based on PHITS coupled with a microdosimetry kinetic model for proton therapy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrx057	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 A. Masuda, T. Matsumoto, K. Takada, T. Onishi, K. Kotaki, H. Sugimoto, H. Kumada, H. Harano, T. Sakae	4. 巻 127
2. 論文標題 Neutron spectral fluence measurements using a Bonner sphere spectrometer in the development of the iBNCT accelerator-based neutron source	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes,	6. 最初と最後の頁 47-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2017.05.010	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 熊田博明	4. 巻 142
2. 論文標題 ホウ素中性子捕捉療法：BNCTの確立に向けた研究開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 放射線と産業	6. 最初と最後の頁 17-21
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 熊田博明, 榮武二, 高田健太, 櫻井英幸, 松村明,	4. 巻 13 (4)
2. 論文標題 中性子源の利用 - 医学利用 (ホウ素中性子捕捉療法) -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 加速器	6. 最初と最後の頁 253-258
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 T. Nakamura, K. Sakasai, H. Nakashima, K. Takamiya, H. Kumada	4. 巻 41 (2)
2. 論文標題 Characteristics of Radiation-Resistant Real-Time Neutron Monitor for Accelerator-Based BNCT	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Protection and Research	6. 最初と最後の頁 105-109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.14407/jrpr.2016.41.2.105	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 K. Takada, H. Kumada, P.H. Liem, H. Sakurai, T. Sakae	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Monte Carlo based real-time treatment planning system with fast calculation algorithm for boron neutron capture therapy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 1846-1851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1016/j.ejmp.2016.11.007	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 M. Ishikawa, T. Yamamoto, A. Matsumura, J. Hiratsuka, S. Miyatake, I. Kato, Y. Sakurai, H. Kumada, S.J.Shrestha, K.Ono	4. 巻 11 (105)
2. 論文標題 Early clinical experience utilizing scintillator with optical fiber (SOF) detector in clinical boron neutron capture therapy: its issues and solutions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Radiation Oncology	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI 10.1186/s13014-016-0680-0	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 T. Aihara, J. Hiratsuka, N. Fukumitsu, H. Ishikawa, N. Morita, H. Kumada, N. Kamitani, K. Ohnishi, M. Suzuki, H. Sakurai, T. Harada	4. 巻 6 (6)
2. 論文標題 Evaluation of fluoride-18-labeled boronophenylalanine-positron emission tomography imaging for the assessment of boron neutron capture therapy in patients with recurrent head and neck squamous cell carcinoma	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Otolaryngology	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.4172/2161-119X.1000277	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29件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Kumada H.
2. 発表標題 MULTIMODAL MONTE CARLO TREATMENT SYSTEM CAPABLE OF MICRODOSIMETRY WITH PHITS
3. 学会等名 Mini-Micro-Nano Dosimetry (MMND) 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kumada H.
2 . 発表標題 Treatment planning and dose estimation for BNCT, Novosibirsk State University, 1st Ru BNCT conference
3 . 学会等名 1st Ru BNCT conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Koketsu J, Kumada H, Takai H, Mori Y, Yoshimura Y, Kamizawa S, Hu Y, Sakae T.
2 . 発表標題 3-D-printable lung phantom for verification of proton Bragg peak deterioration
3 . 学会等名 EPSM&AOCMP2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kumada H., Takada K., Sato T.
2 . 発表標題 Development of a core technologies for multi-modal treatment planning system with the high-speed and high-precision Monte Carlo dose calculation engine
3 . 学会等名 11th CCS International Symposium 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kumada H., Takada K., Tanaka S., Matsumura A., Sakurai H., Sakae T.
2 . 発表標題 Verification of performance for dose estimation for BNCT by the Monte Carlo based multi-modal treatment planning system
3 . 学会等名 PTCOG58 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 Development of the Monte Carlo based treatment planning system by combination with the tetrahedral based human modeling method
3. 学会等名 第117回日本医学物理学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 BNCT用治療計画プログラムの現状と今後の課題
3. 学会等名 日本中性子捕捉療法学会第15回学術大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Kumada
2. 発表標題 Japanese activity and status for pharmaceutical approval for BNCT treatment device
3. 学会等名 International BNCT development Forum 2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kumada, K. Takada, T. Aihara, T. Ohnishi, A. Matsumura, H. Sakurai and T. Sakae
2. 発表標題 Verification for dose estimation performance of a Monte-Carlo based treatment planning system in University of Tsukuba
3. 学会等名 18th International Congress on Neutron Capture Therapy (ICNCT-18)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Kumada, K. Takada, T. Terunuma, T. Aihara, T. Oodake, M. Maida, Y. Hirata, A. Matsumura, H. Sakurai and T. Sakae
2 . 発表標題 Development of a novel patient setting & real-time monitoring system using motion capture technology for boron neutron capture therapy
3 . 学会等名 18th International Congress on Neutron Capture Therapy (ICNCT-18)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Kumada, F. Naito, H. Kobayashi, T. Kurihara, T. Obina, Y. Honda, T. Miyajima, T. Nakamura, T. Sakae, K. Takada, H. Sakurai, A. Matsumura
2 . 発表標題 Development of the linac-based neutron source for boron neutron capture therapy in University of Tsukuba
3 . 学会等名 CLES/LANSA ' 17 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Kumada, K. Takada, H. Sakurai, A. Matsumura, T. Sakae
2 . 発表標題 Development of a multi-modal Monte-Carlo based treatment planning system
3 . 学会等名 NEUDOS 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Kumada
2 . 発表標題 Development for accelerator-based BNCT devices in University of Tsukuba
3 . 学会等名 International Workshop for neutron capture therapy (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Kumada
2 . 発表標題 The development and use of treatment planning software for clinical BNCT
3 . 学会等名 Symposium: Current Clinical Status of Boron Neutron Capture Therapy and Paths to the Future (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Kumada, K. Takada, T. Aihara, A. Matsumura, H. Sakurai, T. Sakae
2 . 発表標題 Verification of dose estimation for Monte-Carlo based treatment planning system for boron neutron capture therapy
3 . 学会等名 MCMA2017 (International Conference on Monte Carlo for Medical Application) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Kumada, K. Takada, T. Aihara, A. Matsumura, H. Sakurai, T. Sakae
2 . 発表標題 Application expansion of the Monte-Carlo based treatment planning system for BNCT to particle radiotherapy and X-ray therapy
3 . 学会等名 MCMA2017 (International Conference on Monte Carlo for Medical Application) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Kumada, K. Takada, T. Ohnishi, F. Naito, S. Tanaka, A. Matsumura, H. Sakurai, T. Aihara, Y. Matsumoto, T. Sakae
2 . 発表標題 Characteristic measurement of neutron beam for the linac-based neutron source for BNCT in University of Tsukuba
3 . 学会等名 9th Young Researchers ' BNCT Meeting (YBNCT9) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Takada, H. Kumada, J. Kouketsu, S. Tobita, T. Terunuma, H. Sakurai, T. Sakae
2. 発表標題 Fundamental Study for Practical Application of Radiotherapy Treatment Planning System Capable of Evaluating Neutron Dose Generated by Various Radiotherapy
3. 学会等名 MCMA2017 (International Conference on Monte Carlo for Medical Application (国際学会))
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 つくば産学官連携による次世代がん治療：BNCTの確立に向けた研究開発
3. 学会等名 第60回放射線化学検討会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊田博明、高田健太、大西貴博、増田明彦、榮武二、松村明、櫻井英幸
2. 発表標題 筑波大学のリニアックベースBNCT治療装置のビーム特性測定
3. 学会等名 第14回日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊田博明、高田健太、大西貴博、榮武二、櫻井英幸、松村明、内藤富士雄、小林仁、栗原俊一、長谷川和男、原野英樹、松本哲郎、増田明彦
2. 発表標題 リニアック型BNCT治療装置の実用化に向けた開発
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 筑波大学の加速器ベースBNCT用 治療装置の開発状況
3. 学会等名 東京RBC講演会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 熊田博明、櫻井良憲、田中浩基
2. 発表標題 BNCTにおける治療計画・線量評価・QA/QCの標準化について
3. 学会等名 日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Kumada, Y. Mizuno, F. Kurihara, T. Hayashida, K. Nakamura, K. Takada, T. Aihara, H. Sakurai, A. Matsumura, T. Sakae
2. 発表標題 A new production method for patient fixing implement by combination with a three-dimensional printing technique and treatment planning system
3. 学会等名 17th International Congress on Neutron Capture Therapy (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 ホウ素中性子捕捉療法：BNCTの確立に向けた研究開発
3. 学会等名 第16回放射線プロセスシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Kumada
2. 発表標題 Development status of the linac-based BNCT treatment facility in University of Tsukuba
3. 学会等名 2nd Academic Conference for Taiwan Society of Neutron Capture Therapy (TSNCT) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 筑波大学のBNCT用加速器ベース小型中性子源の開発状況
3. 学会等名 第10回Quantum Medicine 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 小型加速器中性子源の医学応用
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenta Takada, Hiroaki Kumada, Yoshinori Sakurai, Takushi Takata, Minoru Suzuki, Hideyuki Sakurai, Akira Matsumura, Takeji Sakae
2. 発表標題 Computational dosimetry by Monte Carlo calculation for several BNCT facilities with new treatment planning system "Tsukuba-Plan"
3. 学会等名 17th International Congress on Neutron Capture Therapy (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 熊田博明	4. 発行年 2018年
2. 出版社 大阪公立大学共同出版社	5. 総ページ数 167
3. 書名 BNCT基礎から臨床応用まで	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 線量評価システム、線量評価手法、放射線照射方法、放射線治療方法、椅子タイプ患者保持装置及び放射線照射装置	発明者 熊田博明	権利者 筑波大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-220561	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 粒子線遮蔽治具及びその製造方法	発明者 林田大造、中村和洋、水野喜久、熊田博明	権利者 JSR株式会社、筑波大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2015-159164	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 線量評価システム、線量評価手法、放射線照射方法、放射線治療方法、椅子タイプ患者保持装置及び放射線照射装置	発明者 熊田博明	権利者 筑波大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/046256	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔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	高田 健太 (Takada Kenta) (10640782)	群馬県立県民健康科学大学・診療放射線学部・准教授  (22304)	
研究分担者	粟飯原 輝人 (Aihara Teruhito) (30268619)	大阪医科大学・医学部・特別職務担当教員(専門教授)  (34401)	

