

令和 6 年 9 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04546

研究課題名（和文）BNCTの患者位置変動に追従する高精度照射システムの開発

研究課題名（英文）High accuracy irradiation system with the patient tracking method for BNCT

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） 10,100,000円

研究成果の概要（和文）：ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）は、照射中に照射条件が変動して治療精度に影響が出てしまう可能性がある。これらの課題に対して本事業では、延長型コリメータ製作し、このコリメータを組み合わせたビーム照射口から発生する中性子ビームを水ファントムに対する照射実験で確認して、実際のBNCTに適用できることを確認した。また、複数のレーザー光による位置合わせ装置を開発し、その位置精度の検証を実施した。線量の逐次計測技術については、シリコン半導体ベースの中性子モニターの特性測定を実施した。開発したコリメータ、患者位置合わせ装置、治療計画システムを筑波大学で開始したBNCTの治験に適用し、実用化を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

BNCTは、難治がん、再発がんに対する治療法として期待されている治療法である。BNCTはがん細胞に選択的に集積する薬剤との組み合わせによって治療効果を得る治療法であるため、これまではこの治療原理を利用することで、ある意味“ルーズな照射”が許容されていた。しかし、今後BNCTが、がん放射線治療として確立、普及するためには、一般の放射線外照射治療と同等の照射精度、治療精度が要求される。本研究は、BNCTの照射精度を向上に寄与する開発であり、開発した機器の精度検証でも、従来の手法、技術よりも高度化できることを確認した。さらに、開発した機器を実際の治験にも適用し、実用性の確認も実施している。

研究成果の概要（英文）：In boron neutron capture therapy (BNCT), the irradiation conditions can change during irradiation, which can affect the accuracy of treatment. In response to these issues, this research activity produced an extendable collimator, and confirmed the characteristics of neutron beam generated from the beam irradiation port combined with the extended collimators in an irradiation experiment on a water phantom. We confirmed that it can be applied to actual BNCT. In addition, a positioning device for BNCT using multiple laser beams was developed and its positioning accuracy was verified. For real-time dose measurement technology, characteristics of a silicon semiconductor-based neutron monitor were measured. The developed collimator, patient positioning device, neutron beam monitor and treatment planning system were applied to clinical trials of BNCT started at University of Tsukuba, aiming for practical application.

研究分野：医学物理学

キーワード：BNCT 患者位置合わせ 治療計画システム 延長型ビームコリメータ 加速器中性子源 リアルタイム測定

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。

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) は、悪性脳腫瘍などの難治性がん、各再発がんなど、未だ治療法が確立できていないがんに対する治療法として期待されている。BNCT は治療に中性子を用いることから放射線治療に分類されている。従来の X 線治療や粒子線治療などの放射線外照射治療では、治療計画に対して高精度に照射を実現することが求められる。一方 BNCT は、がん細胞に選択的に集積するホウ素薬剤と中性子との反応で生じる 2 次粒子線によってがん細胞を選択的に破壊する治療法であることから、この原理を用いることで、ある意味“ルーズな照射”が可能であり、それが BNCT の利点でもあった。しかし今後 BNCT が、一般の放射線がん治療法として確立、普及するためには、従来の放射線外照射と同等の照射精度が求められる。BNCT は、原則 1 回の照射で治療が完了することが利点でもあるが、1 回の照射が 30 分から 1 時間程度と長く、これによって患者が照射中に動いてしまう恐れがある、という潜在的な課題がある。よって、BNCT の照射精度、治療精度の向上には、患者への中性子ビームの照射手法、技術の高度化、及び、照射中の患者の位置合わせ技術の高度化が必要である。

2. 研究の目的

BNCT の課題を踏まえ本研究の目的は、①種々のがんの患者への照射に対応し、がん病巣に適切に中性子ビームを照射できるビーム口の開発、及び、②治療計画で設定された照射位置に正確に患者を位置合わせできる位置合わせ装置の開発、である。

開発した機器は、可能であれば実際の BNCT の治験 (臨床研究) に適用し、その実用性と治療への適用性を検証する。

3. 研究の方法

課題 1：延長型コリメータの開発、特性測定 BNCT で症例の多い頭頸部がんに対して従来のビーム照射口を用いて照射する場合、患者の肩などが干渉して的確な照射を行うことができなかった。患者に無理な姿勢での照射を求めることとなり、照射中の位置変動も誘発し、これにより照射中の位置変動も生じる原因となっていた。これを解決するためビーム照射口を壁面から 100mm 突出した「延長型コリメータ」を製作した。本研究では、病巣の大きさに合わせてビーム照射口を変更できるように、3 種類の延長型ビーム照射口 ($\phi 100\text{mm}$ 、 120mm 、 150mm) を製作した。それぞれの延長型ビーム照射口に対して、人体頭部を模擬した水ファントムへの照射実験を実施し、ファントム内で発生する熱中性子束分布、及び、 γ 線量率分布を計測した。

課題 2：レーザー光使用患者位置合わせ装置の開発、特性測定 治療計画に対する患者の位置合わせに関しては、複数の水平、垂直レーザー光を用いて患者を照射位置に導く加速器 BNCT 専用の位置合わせ装置を開発し、筑波大学が所有する BNCT 用治療装置“iBNCT001”の照射室内に設置した。

開発整備したレーザー光装置の位置合わせ精度を確認するため、レーザー光が指し示す位置を継続的に計測し、指し示す位置が変動しないことを確認した。また、人体頭部を模擬した頭部ファントムと全身ファントムを組み合わせた位置合わせ精度の検証試験も実施した。

4. 研究成果

(1) 延長型コリメータの開発、特性測定

本活動で製作した延長型コリメータ ($\phi 100\text{mm}$ 、 120mm 、 150mm) を iBNCT001 のビーム照射口位置に設置し、中性子ビームを発生させて、水ファントムに対する照射を行った。図 1 は $\phi 120\text{mm}$ ビーム口の延長型コリメータを設置し、水ファントムに照射している様子を示している。図 2 と図 3 は、水ファントム内のビーム中心軸上の熱中性子束分布の測定結果と、通常型の延長していないビーム照射口 ($\phi 120\text{mm}$) を使って水ファントムに照射したときの熱中性子束分布との比較結果を示している。図 2-(a) は、陽子の平均電流 2mA で中性子を発生させた場合の水ファントム内ビーム中心軸上の熱中性子束 (絶対値) の分布を示している。

また、図 2-(b) は、深さ 20mm 位置のラテラル方向の平均電流 2mA 時の熱中性子束分布を示している。延長型コリメータを使うことで熱中性子束の絶対値は、約 60% に減少するが、深部方向の分布は変化しないことを確認した。ラテラル方向の分布では、延長型コリメータを使用の方が、ビーム照射口から放出される中性子ビームの直進性が若干高くなると考えられ、延長型コリメータの熱中性子総分布の方が、辺縁側の熱中性子を低減できることを確認した。これらの結果から、延長型コリメータを使用する際には、照射時間は長くなってしまふものの、通常型のビー

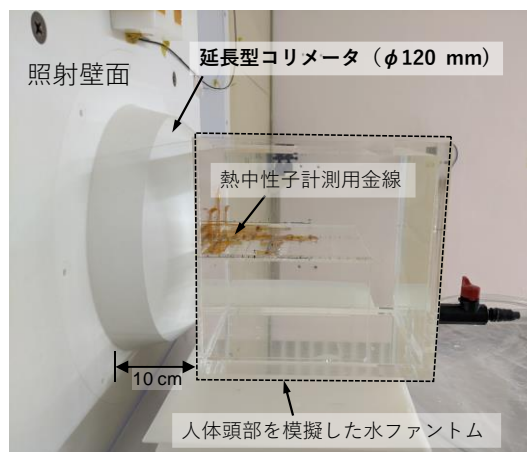


図1 延長型コリメータ ($\phi 120\text{mm}$) を設置し、頭部ファントムを照射している様子

ム照射口と同等の線量分布を発生することができ、深部方向の治療適用範囲もほぼ変わらないことを確認した。また周辺方向については、延長型コリメータを使った方が周囲の正常組織への線量を低減できる可能性がある。照射時間については、原子炉時代の頭頸部がんに対する照射プロトコルを適用して評価した結果、延長型コリメータを使った場合でも 1 時間以内に照射を完了できる強度の中性子を発生できており、実際の治療にも適用可能であることを確認した。

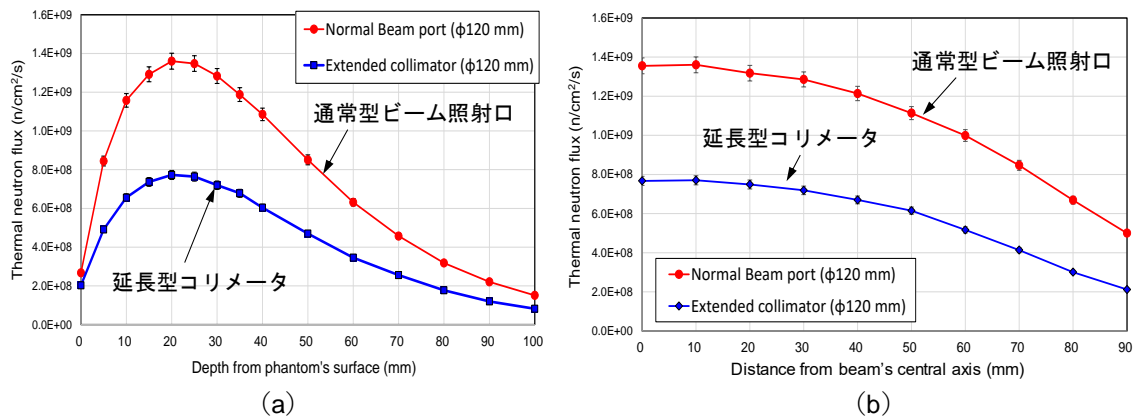


図 2 通常型ビーム照射口と延長型コリメータの水ファントム内の熱中性子束分布測定結果
(a) 水ファントム内ビーム中心軸上分布、(b) 深さ 20mm 位置のラテラル方向分布

(2) 複数のレーザー光を用いた患者位置合わせ装置の開発整備

iBNCT001 の照射室内の天井、及び、左右の壁面に患者の位置合わせ用の複数のレーザー光発生装置を設置した様子を図 3 に示す。この位置合わせ装置は、ビーム照射口から約 1.5m 下流位置にダミー・ビーム照射口を設置し、このダミー・ビーム照射口に対して患者に対する位置合わせを行う。各レーザー光は、患者の外眼角、鼻尖、鼻根部、外耳孔、及び、マーカーの座標を指し示すことができ、実際の位置合わせでは、患者の各部位とレーザー光とを一致させることで、計画通りの照射位置に患者を位置合わせする。

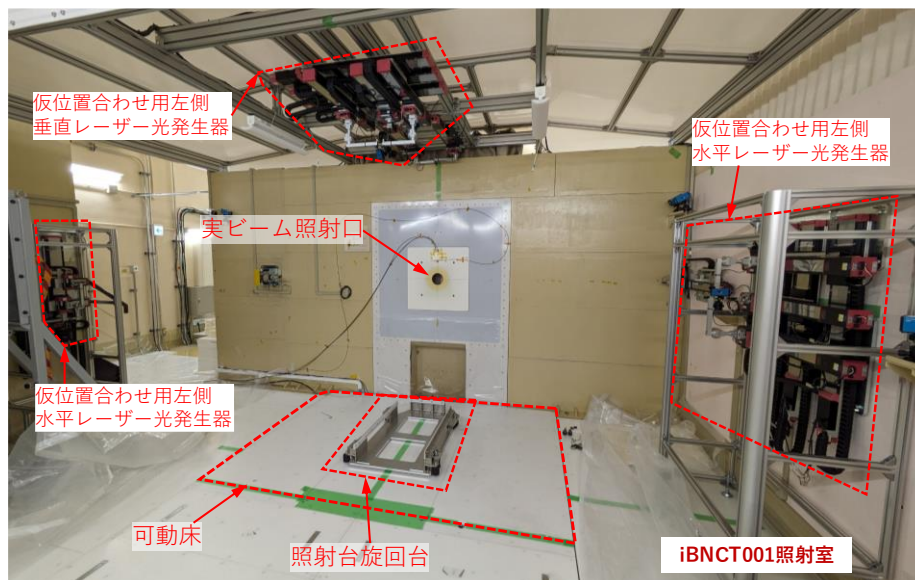


図 3 iBNCT001 の照射室に設置した複数レーザー光による患者位置合わせ装置

図 4 は、頭部ファントムと全身ファントムを用いて、この患者位置合わせ装置の位置合わせ精度を検証している様子である。検証結果から、この装置を用いることで、患者の各部位を± 1 mm 以内の精度で位置合わせすることができることを確認した。各検証結果を整理し、PMDA との対面助言に提示して実際の治療に適用することへの説明を行った。これらを踏まえて、2023 年度から筑波大学で始まった iBNCT001 を使った BNCT の第 I 相治療にこの位置合わせ装置を適用し、実際の BNCT への適用性、実用性を確認した。

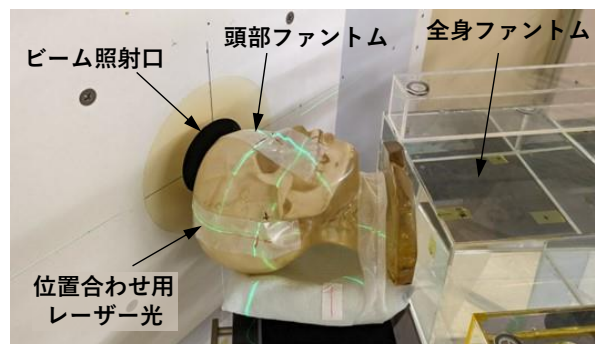


図 4 頭部ファントムと全身ファントムを用いた位置合わせ精度の検証の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kumada Hiroaki, Sakae Takeji, Sakurai Hideyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Current development status of accelerator-based neutron source for boron neutron capture therapy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Techniques and Instrumentation	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1140/epjti/s40485-023-00105-5	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 Hiroaki Kumada	4. 巻 1
2. 論文標題 CURRENT DEVELOPMENT STATUS OF THE LINAC-BASED BNCT DEVICE OF THE IBNCT TSUKUBA PROJECT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Conference Report for International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development	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 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 Green Stuart, Koivunoro Hanna, Kumada Hiroaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Considerations for a dosimetry code of practice for BNCT	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Health and Technology	6. 最初と最後の頁 1017 ~ 1021
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12553-024-00852-9	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 該当する

1. 著者名 熊田博明	4. 巻 51
2. 論文標題 BNCTの最近の動向	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 四季（中性子産業利用推進協議会季報）	6. 最初と最後の頁 2-8
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 増田 明彦、松本 哲郎、原野 英樹	4. 巻 46(2)
2. 論文標題 BNCTに関する中性子計測標準の取り組み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用物理学会学術講演会講演予稿集	6. 最初と最後の頁 14-18
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 A. Masuda, T. Matsumoto, H. Tanaka, D. Ito, H. Harano, Y. Sakurai, T. Takata	4. 巻 1
2. 論文標題 Response characteristic measurements of lithium-glass scintillators used in the BSS for the intense neutron beams	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 KURNS Progress Report 2020	6. 最初と最後の頁 68
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 Kumada Hiroaki, Takada Kenta, Terunuma Toshiyuki, Aihara Teruhito, Matsumura Akira, Sakurai Hideyuki, Sakae Takeji	4. 巻 163
2. 論文標題 Monitoring patient movement with boron neutron capture therapy and motion capture technology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109208 ~ 109208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2020.109208	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 Hiroaki, Takada Kenta, Tanaka Susumu, Matsumoto Yoshitaka, Naito Fujio, Kurihara Toshikazu, Sugimura Takashi, Sato Masaharu, Matsumura Akira, Sakurai Hideyuki, Sakae Takeji	4. 巻 165
2. 論文標題 Evaluation of the characteristics of the neutron beam of a linac-based neutron source for boron neutron capture therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109246 ~ 109246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2020.109246	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 Hiroaki, Takada Kenta, Aihara Teruhito, Matsumura Akira, Sakurai Hideyuki, Sakae Takeji	4. 巻 166
2. 論文標題 Verification for dose estimation performance of a Monte-Carlo based treatment planning system in University of Tsukuba	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109222 ~ 109222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2020.109222	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 Dziura Dominik, Tabbassum Sana, MacNeil Amanda, Maharaj Dalini D., Laxdal Robert, Kester Oliver, Pan Ming, Kumada Hiroaki, Marquardt Drew	4. 巻 101
2. 論文標題 Boron neutron capture therapy in the new age of accelerator-based neutron production and preliminary progress in Canada	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 363 ~ 372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1139/cjp-2022-0266	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 該当する

1. 著者名 熊田博明	4. 巻 38
2. 論文標題 BNCT品質管理の現状と標準化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 インナービジョン	6. 最初と最後の頁 10-13
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 Kumada Hiroaki, Li Yinuo, Yasuoka Kiyoshi, Naito Fujio, Kurihara Toshikazu, Sugimura Takashi, Sato Masaharu, Matsumoto Yoshitaka, Matsumura Akira, Sakurai Hideki, Sakae Takeji	4. 巻 24
2. 論文標題 Current development status of iBNCT001, demonstrator of a LINAC-based neutron source for BNCT	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Neutron Research	6. 最初と最後の頁 347 ~ 358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/JNR-220029	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 68
2. 論文標題 粒子線治療装置と技術開発の現状：ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 臨床放射線	6. 最初と最後の頁 161-171
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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Hiroaki Kumada
2. 発表標題 Current development status of the linac-based BNCT device of the iBNCT Tsukuba Project
3. 学会等名 International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Kumada
2. 発表標題 Current status of the development of accelerator-based neutron source devices for boron neutron capture therapy
3. 学会等名 International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yinuo Li, Hiroaki Kumada, Susumu Tanaka, Takeji Sakae, Hideyuki Sakurai
2. 発表標題 Development of the extended collimator in BNCT for Head and Neck cancer
3. 学会等名 YBNCT2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Kumada, Y. Li, K. Takada, S. Tanaka, Y. Matsumoto, F. Naito, T. Kurihara, T. Sugimura, M. Sato, K. Nakai, A. Matsumura, H. Sakurai, T. Sakae
2. 発表標題 Current development status of iBNCT device, the demonstrator of a linac-based neutron source for BNCT
3. 学会等名 PT-COG59 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊田博明、李宜諾、高田健太、田中進、松本孔貴、内藤富士雄、栗原俊一、杉村高志、佐藤正春、中井啓、松村明、櫻井英幸、榮武二
2. 発表標題 つくばグループの直線型加速器ベースBNCT照射装置・実証機“iBNCT001”のビーム特性測定
3. 学会等名 第17回日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 国内外のBNCT用加速器型中性子照射装置の開発状況と各装置の比較
3. 学会等名 第17回日本中性子捕捉療法学会学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Kumada, Y. Li, K. Takada, S. Tanaka, Y. Matsumoto, F. Naito, T. Kurihara, T. Sugimura, M. Sato, K. Nakai, A. Matsumura, H. Sakurai, T. Sakae
2. 発表標題 Current Beam Performance of iBNCT001, the demonstrator of a linac-based BNCT device in University of Tsukuba
3. 学会等名 19th Internatitlal Congress of Neutron Capture Therapy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Li, H. Kumada, S. Tanaka, H. Sakurai
2. 発表標題 Investigation for thickness and material of bolus applicable to boron neutron capture therapy for superficial tumor
3. 学会等名 19th Internatitilal Congress of Neutron Capture Therapy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Kumada, Y. Li, K. Yasuoka, F. Naito, T. Kurihara, T. Sugimura, M. Sato, Y. Matsumoto, H. Sakurai, T. Sakae
2. 発表標題 Current development status of iBNCT001, the demonstration device of a linac-based neutron source for BNCT
3. 学会等名 UCANS9 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田明彦、松本哲郎、真鍋征也、原野英樹
2. 発表標題 ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の大強度中性子に対応する中性子スペクトロメーターの開発
3. 学会等名 2021年度計量標準総合センター成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田明彦、松本哲郎、原野英樹、真鍋征也、熊田博明、高田健太、田中進、榮武二、田中浩基、櫻井良憲
2. 発表標題 医療用加速器中性子源のエネルギー分布測定技術の開発と校正技術の検討
3. 学会等名 生体量子捕獲反応研究会2021Early-Summer Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakai K, Aihara T, Yamamoto T, Kumada H, Matsumoto Y, Sakurai H, Matsumura A.
2. 発表標題 Acute skin reaction of BNCT
3. 学会等名 PT-COG59 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Kumada, Y. Sakurai, H. Tanaka, Y. Kiyonagi
2. 発表標題 Beam Design Considerations for BNCT device
3. 学会等名 IAEA Technical Meeting on Advances in Boron Neutron Capture Therapy (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Kumada, Y. Li, S. Tanaka, F. Naito, T. Kurihara, T. Sugimura, M. Sato, H. Sakurai, T. Sakae
2. 発表標題 Beam performance of the linac-based neutron source for BNCT in University of Tsukuba
3. 学会等名 UCANS_Web-2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 BNCT治療装置の国際標準化について
3. 学会等名 令和2年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊田博明
2. 発表標題 次世代がん放射線治療：BNCTの研究開発最前線 - 世界をリードする医療用加速器中性子源技術
3. 学会等名 中部原子力懇談会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroaki Kumada, Yinuo Li, Kenta Takada, Kei Nakai, Susumu Tanaka, Takashi Sugimura, Masaru Sato, Akira Matsumura, Takeji Sakae, Hideyuki Sakurai
2. 発表標題 Development of the extended collimator for accelerator-based boron neutron capture therapy
3. 学会等名 PT-COG61（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroaki Kumada
2. 発表標題 Current status of the accelerator-based boron neutron capture therapy in the world
3. 学会等名 Tsukuba Conference 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroaki Kumada, Yinuo Li, Kiyoshi Yasuoka, Susumu Tanaka, Kei Nakai, Takashi Sugimura, Masaharu Sato, Toshikazu Kurihara, Hideyuki Sakurai, Takeji Sakae
2. 発表標題 Neutron beam performance of iBNCT001, a linac-based neutron source for neutron capture therapy in Tsukuba project
3. 学会等名 UCANS-10（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroaki Kumada
2. 発表標題 Current development status of accelerator-based neutron source device for BNCT
3. 学会等名 PT-COG-AO & ISTPT 2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 佐々木 智成、藤淵 俊王、渥美 和重、熊田博明、他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 南山堂	5. 総ページ数 432
3. 書名 放射線治療技術学	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 放射線遮蔽材用焼結材、放射線遮蔽材及びその製造方法	発明者 熊田博明、北村直之、中村哲之、高橋徹、池田毅	権利者 筑波大学、大興製作所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-070029	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 放射線遮蔽材用焼結材、放射線遮蔽材及びその製造方法	発明者 熊田博明、北村直之、中村哲之、高橋徹、池田毅	権利者 筑波大学、大興製作所
産業財産権の種類、番号 特許、欧州出願番号：21193017.7	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 放射線遮蔽材用焼結材、放射線遮蔽材及びその製造方法	発明者 熊田博明、北村直之、中村哲之、高橋徹、池田毅	権利者 筑波大学、大興製作所
産業財産権の種類、番号 特許、出願番号：10-2021-0109330	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 放射線遮蔽材用焼結材、放射線遮蔽材及びその製造方法	発明者 熊田博明、北村直之、中村哲之、高橋徹、池田毅	権利者 筑波大学、大興製作所
産業財産権の種類、番号 特許、出願番号：17/407,853	出願年 2021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	中井 啓 (Nakai Kei) (50436284)	筑波大学・医学医療系・准教授 (12102)	
研究分担者	増田 明彦 (Masuda Akihiko) (70549899)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員 (82626)	

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			
オーストラリア	ウーロンゴン大学			
カナダ	ウィンザー大学			