

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03611

研究課題名(和文) 病院設置型中性子ホウ素捕捉療法用リアルタイム中性子ビームモニターの研究開発

研究課題名(英文) Development of Real-Time Neutron Monitor to Measure Neutron Beam at Accelerator-Based Boron Neutron Capture Therapy System in Hospitals

研究代表者

高田 真志 (Takada, Masashi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・応用科学群・教授

研究者番号：50291109

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：病院設置型ホウ素中性子捕捉療法は加速器中性子源を用いた放射線がん治療である。本研究で、患者に照射される大強度中性子ビームの変動をリアルタイムに計測できる中性子検出器を開発した。この検出器は薄型シリコンダイオードと極薄フッ化リチウム薄膜を組合せたものである。中性子検出器の熱中性子に対する応答特性を実測とシミュレーションにより精度良く評価できた。照射中性子ビームを長期間モニタリングした結果から、実用上十分な期間にわたり中性子ビーム強度を精度5%でモニタリングできることが分かった。この手法を用いることで、がん治療照射中の中性子ビーム強度をリアルタイムかつ直接的に高精度にモニタリングできるようになる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ホウ素中性子捕捉療法を実施している放射線治療施設は照射中の中性子ビーム強度をリアルタイムに計測できることを望んでいるが、測定の困難さから実現できていない。現在、加速粒子線ビームの電流計測による間接的なモニタリングや金放射化法を用いたオフライン手法により照射中性子量を推定している。本研究で開発した中性子モニタリング手法は、直接的かつリアルタイムに中性子ビーム強度変動の計測を高精度に実現できる。本手法を病院設置型ホウ素中性子捕捉療法の治療施設に導入することで、患者への照射中性子ビーム強度をモニタリングしながらホウ素中性子捕捉療法を実施できるようになり、放射線がん治療の信頼性向上に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Boron neutron capture therapy is performed by injecting boron agents in a patient and irradiating them with a high-fluence-rate neutron beam produced by the charged particle accelerator. Although the neutron beam is monitored with the proton beam current into the neutron target, the neutron beam should be monitored directly and in a real time. We developed the novel neutron monitoring technique using the neutron detector, which consists of the thin Si pin diode and the ultra thin LiF neutron converter. The response functions for a thermal neutron were evaluated based on the experiments and Monte Carlo simulation with a high accuracy. The simulation reproduced within 3% the experimental results. The neutron beam monitor were operated for a long time and provided the neutron intensity within 5% uncertainties. The BNCT would be performed monitoring the neutron beam intensities in a real time with the neutron monitoring technique.

研究分野：放射線計測

キーワード：中性子 シリコンダイオード リアルタイム ガンマ線 がん治療 ビームモニタリング ホウ素中性子捕捉療法

1. 研究開始当初の背景

放射線がん治療法の一つであるホウ素中性子捕捉療法(BNCT)は、事前に患者に投与されたホウ素が大強度中性子ビームにより原子核反応を起こし、生成されたアルファ線が悪性腫瘍のみを死滅する局所性が高い治療法である。これまで原子炉を用いて大強度中性子ビームを生成していたが、病院への設置を目指し粒子線加速器を用いた中性子源が開発されている。この大強度中性子ビームは、金線の中性子放射化分析法を用いてオフラインで計測評価されている。しかし発生中性子量は粒子線加速器ビームの強度変動や中性子発生ターゲットの状況により変動するおそれがある。現在、中性子発生ターゲットに照射されるビーム電流値を計測することで間接的に照射中性子量をモニタリングしている。このため、この中性子発生量の変動を直接かつリアルタイムに計測している訳でない。BNCT 治療施設から中性子ビームをリアルタイムにモニタリングすることが要望されている。現在、世界中のどの施設でも実現できておらず、対電離箱式検出器、核分裂計数管、組織等価型ガス比例計数管、シンチレーション検出器の利用が試みられてきたが実現に至っていない。

2. 研究の目的

現在、ホウ素中性子捕捉療法を実施している治療施設では患者に照射される中性子量を金放射化法を用いて計測評価している。この計測手法は、金線を中性子ビームで照射し、その後、金線に生成された放射能をオフラインで高純度ゲルマニウム検出器を用いて計測評価するものである。現在普及が進んでいる病院設置型がん治療装置は粒子線加速器を用いているため、照射粒子ビーム強度の変動や中性子発生ターゲットの損耗により変動する可能性が常にある。この計測手法は、中性子発生量をリアルタイムに計測できておらず、煩雑な作業も現場の負担となっている。現在、中性子発生ターゲットの損耗が小さいと陽子ビームを計測することで間接的に照射中性子量をモニタリングしている。中性子発生量の変動をリアルタイムにモニタリングできず、患者へ照射している中性量の変動をモニタリングできていない。

このような現状を克服するため、患者に照射されている中性子ビームをリアルタイムに計測できる中性子検出器を開発し、その応答特性を実験とシミュレーションを用いて評価する。この中性子検出器は、がん治療用中性子ビームに混在する大線量率のガンマ線と大強度中性子線を確実に識別して計測しなければならない。がん治療施設でリアルタイムに中性子ビームの変動をモニタリングできる装置を完成させる。これらの評価を用いて陽子ビームの強度変動や中性子発生ターゲット損耗により変化する中性子発生量を追跡して計測できるようにする。

3. 研究の方法

本研究で開発した中性子検出器で利用されている薄型シリコンダイオードのアルファ線に対する応答特性として、付与エネルギー依存性やバイアス依存性などを実測した。大強度中性子に対する応答特性や中性子とガンマ線識別性能を、近畿大学原子力研究所の教育用原子炉や京都大学複合科学研究所の原子炉ベース中性子源を用いた BNCT 治療施設、国立がん研究センターの加速器ベース中性子源を用いた BNCT 治療施設で実測した。中性子強度は $10^7 \sim 10^9$ (n/cm²/s) に及ぶ。熱中性子に対する応答特性を産業技術総合研究所の黒鉛パイル熱中性子場内部にセンサーを挿入して実測した。京都大学原子炉ベース中性子源を用いて熱中性子フルエンス率依存性を、国立がん研究センター加速器ベース中性子源を用いて BNCT 中性子ビームの深度分布を計測した。中性子コンバーターの厚みを変化させた幅広い検出効率を有する特性を近畿大学原子炉で実測した。本中性子検出器の応答特性をモンテカルロ法を用いたシミュレーションでも評価した。ビームモニターの設置位置で想定される数 10 Gy/h の大強度ガンマ線に対する応答特性を広島大学のコバルト 60 ガンマ線源で実測した。このように特性評価された中性子検出器を用いて、中性子発生リチウムターゲットを用いた加速器ベース BNCT 中性子源でリアルタイムモニタリングの可能性を実験で評価した。

4. 研究成果

本研究で開発したリアルタイム中性子検出器の写真を図 1 (引用文献 1) に示す。本検出器は薄型シリコン pin ダイオード(引用文献 2)と極薄天然フッ化リチウム(LiF)を組合わせた構造である。シリコンセンサーの厚みを 40 μm まで薄くしガンマ線に対する感度を低くすることで大線量率ガンマ線を計測できるようにした。中性子コンバーターは天然フッ化リチウムをテフロン板に厚み 0.05~0.5 μm で薄膜蒸着したものである。熱中性子は ⁶Li(n,t)⁴He 反応により生成された 3 重陽子とアルファ線を検出することで間接

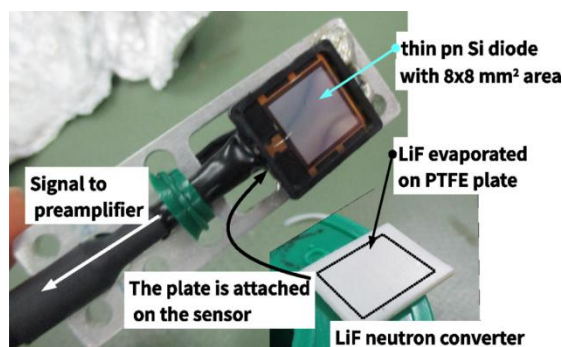


図 1. 薄型シリコンダイオードと極薄天然フッ化リチウム中性子コンバーターを組合わせた中性子検出器の写真(引用文献1)

的に計測される。生成された両荷電粒子がシリコンセンサー内部の空乏層に付与した電荷量は、同軸ケーブルを通して市販のプリアンプで電荷収集されたのち、デジタル波形処理装置で高速に信号処理される。

本中性子検出器の熱中性子に対する応答特性を産業技術総合研究所に整備された黒鉛パイル場を利用した熱中性子標準場で、中性子センサーを黒鉛パイル場内部に挿入し実測した。さらに PHITS3 コードを用いたモンテカルロシミュレーションでも評価した。両手法で評価した応答特性を図 2 (引用文献 3) に示すグラフの横軸は生成荷電粒子のエネルギー付与量を、縦軸は熱中性子フルエンスで規格化した計数を示す。エネルギー 2.5 MeV と 1.5 MeV に中性子により生成された 3 重陽子とアルファ線によるピークを確認できる。エネルギー 0.3 MeV 以下はガンマ線を検出した事象である。シミュレーション結果は熱中性子により生成された 3 重陽子、アルファ線を精度良く再現できており、両手法を用いた検出効率評価の相違は 3% であった。

本中性子検出器は、中性子コンバータであるフッ化リチウムの厚みを変えることで低いガンマ線感度を維持したまま、中性子検出効率を最適化できる。中性子検出効率のフッ化リチウム厚み依存性を近畿大学原子炉内部に中性子検出器を挿入して計測した。フッ化リチウムの厚みを 0.01~10 μm の範囲で変化させた。さらにモンテカルロシミュレーション法を用いて検出効率を評価した。その結果、両者は良い一致を示しており、フッ化リチウムの厚みを制御することで熱中性子に対する検出効率を 3 桁変化させられることが分かった。これにより、様々な BNCT 治療施設や中性子モニター設置場所に対応した最適な検出効率を有する中性子検出器を提供できるようになった。

大線量率ガンマ線に対する応答特性を広島大学所有のコバルト 60 ガンマ線源などで実測した。引用文献 4 の結果も参照した。ガンマ線量率 250 mGy/h までパイルアップ無しでガンマ線を計測できているが、数 Gy/h を超えるとパイルアップ事象が確認された。本測定システムを用いることで最大 110 Gy/h のガンマ線量率も計測でき、BNCT モニター設置場所で想定されているガンマ線量率 30 Gy/h の環境下でも中性子事象を識別して計測できることが分かった。

BNCT 中性子ビームは熱中性子成分以外にも熱外中性子成分が混在している。熱外中性子の成分を計測するために炭化ホウ素で遮へいしたしきい値型中性子検出器を考案した。この手法を用いることでターゲットで発生したり周囲構造物で散乱した熱中性子を計測するだけでなく、ターゲットで発生した熱外中性子成分のみを別途計測できるようになった。

本中性子検出器の熱中性子フルエンス率に対する応答直線性を京都大学複合科学研究所の原子炉ベース BNCT 中性子場で実測した。熱中性子フルエンス率はカドミウム遮へい率を変化させて減少させた。その結果を図 3 (引用文献 5) に示す。横軸が熱中性子フルエンス率を、縦軸が中性子計数率を示す。中性子フルエンス率に対し計数率は 10^9 n/cm²/s まで良い直線相関を示しており、BNCT の大強度中性子ビームにも対応できていることが分かった。

BNCT 中性子ビームは、中性子ターゲットで発生した時には数 100 keV のエネルギーを有しているが、中性子減速材を透過後、数 10 keV までエネルギーが減速する。この中性子が患者に照射され、体内で熱化される。この中性子挙動は、アクリルファントム内部の熱中性子分布を計測することで評価されている。その測定結果を図 4 (引用文献 5) に示す。グラフの横軸はアクリル表面からの深さを、縦軸は中性子計数率を示す。金放射法で評価された熱中性子フルエンス率は深さ 20 mm で検

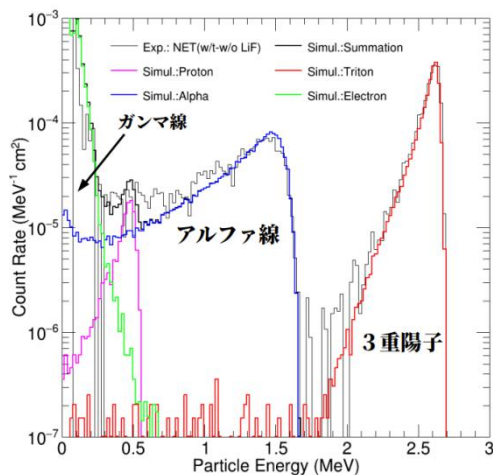


図 2. 実験とシミュレーションで評価した熱中性子に対する中性子検出器の応答関数 (引用文献 3)

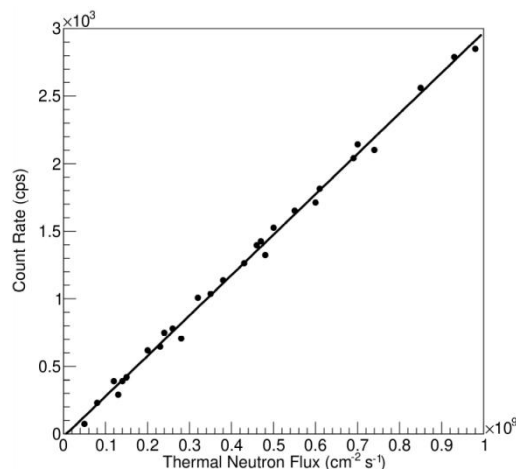


図 3. 熱中性子フルエンス率に対する中性子検出器の応答特性 (引用文献 5)

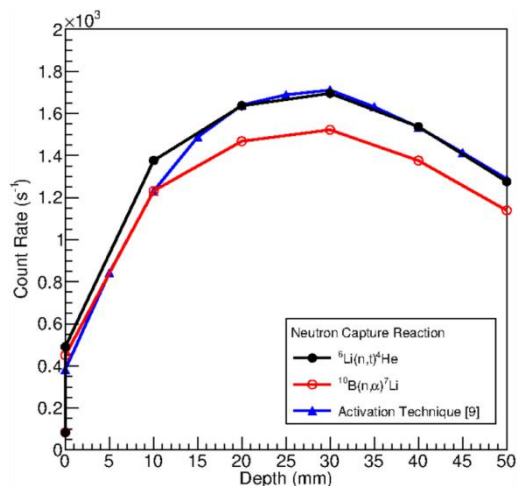


図 4. アクリルファントム内部で計測した BNCT 中性子ビーム (黒線) の深度分布。金放射法 (青線) と比較 (引用文献 5)

出された中性子計数率に規格化されている。本中性子検出器で計測された深度分布は深さ 20 mm より深い位置で金放射化法で評価された熱中性子分布と良い一致を示した。しかし、深さ 20 mm よりも浅い部分で過大評価した。これはアクリルファントム表面付近は熱外中性子の割合が多く、この熱外中性子を中性子検出器が検出したためである。この熱外中性子成分の寄与を識別することで両者は一致すると考えられる。

中性子ビームモニタリングの可能性を調べるために、国立がん研究センター BNCT 装置内部の中性子発生ターゲット近傍に上記のリアルタイム中性子モニターを設置した。中性子検出器を設置したことにより中性子場を乱したり、がん治療の妨げにはならない。このため中性子発生源よりも上流側で患者から目視できないターゲットフォルダー上部が中性子モニター設置場所として選定された。この場所はガンマ線が数 10 Gy/h 混在するが、このガンマ線検出事象と中性子検出事象をリアルタイムに識別しなければならない。この場所に設置した中性子検出器で得られた波高分布図を図 5 (引用文献 6) に示す。横軸は MCA のチャンネル番号を、縦軸は計数率を示す。波高 1400ch 付近より高いチャンネルに中性子事象を、低いチャンネルにガンマ線事象を識別して計測できている。この中性子ピークは計測を続けても移動しないことが分かり、中性子損傷の影響が無視できることが分かった。両放射線の検出計数率はガンマ線と中性子線に対しそれぞれ 30k と 8k count/s であり、かなりの高計数率であった。

得られた中性子検出計数率の時間変化を黒線で、ガンマ線検出計数率を赤線で図 7 (引用文献 6) にプロットした。横軸は経過時間を、縦軸の左側は計数率を示す。比較のためにビーム電流値の時間変化も青線でプロットした。陽子ビーム照射開始と同時に、中性子とガンマ線計数率は急上昇している。その後、20 秒ほど掛けて陽子ビーム電流が増加し、約 10mA の電流で最大値に達している。これと同期して中性子計数率も増加し、最大値に達しており、それに対してガンマ線計数率は徐々に増加し 120 秒ぐらい経過した後最大値に達している。中性子検出器は中性子とガンマ線フラックスの増加を的確に捉えていることが分かる。陽子ビームが一定強度を保っている 300 秒の間でも、時々陽子ビーム強度が減少している。この減少に合わせた中性子とガンマ線強度の減少も検出できている。時間 300 秒後にターゲットへの陽子ビーム照射を停止すると、瞬時に中性子計数率がゼロに下がり、ターゲットからの中性子発生は終了したことが分かる。しかし、ガンマ線は計数率が 100 分の 1 程度に減少したが、ビーム停止後も計数率は緩やかに減少している。これは中性子や陽子ビームにより中性子発生ターゲットや周囲の構造物が放射化し、その放射性物質から発生したガンマ線を検出したためである。このように中性子ターゲットから発生した中性子ビームをリアルタイムに計測できていることが分かった。この結果から、本シリコンダイオードをベースとした中性子検出器を用いれば、ターゲット損耗による発生中性子フルエンス率の減少をリアルタイムに直接、モニタリングできることが分かった。

このリアルタイム中性子ビームモニターの特長評価として、患者位置に設置したシリコンベース中性子検出器の計数率との相関を取得した。この結果、中性子ビームモニターの中性子検出計数率から患者位置の中性子照射量を精度数%で計測できることが分かった。リチウムターゲット交換までの長期間計測した結果、中性子検出器に大きな損傷が見られず中性子を長期間モニタリングできることも実証できた。

これらの結果から、本中性子モニターを利用することでリアルタイムに中性子ビームを直接モニタリングできることが分かった。本モニタリング手法を用いることで、患者に照射する中性子ビーム量をモニタリングしながらがん治療を実施できるようになり、がん治療の信頼性が向上すると考えられる。今後、本中性子モニターが実用されていくことが期待される。

<引用文献>

- [1] M. Takada, et al., “Development of a Real-Time Neutron Beam Detector for Boron Neutron Capture Therapy Using a Thin Silicon Sensor”, Appl. Rad. Isotop. 176, 109856 (2021).

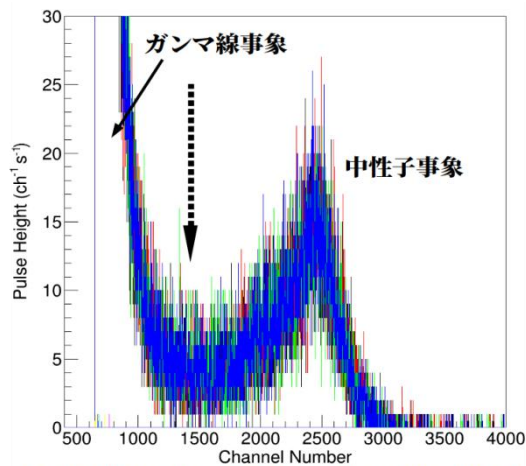


図 5. BNCT中性子ビームモニターの波高分布図 (引用文献6)

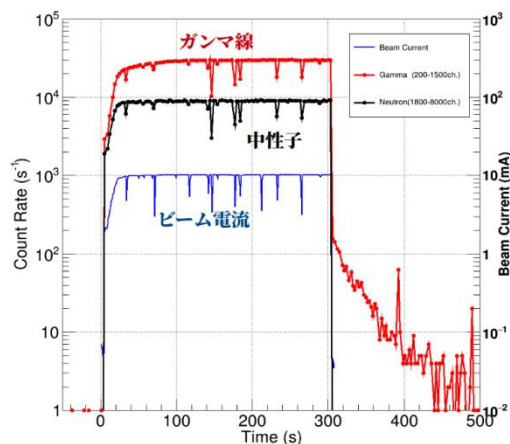


図 6. BNCT中性子ビームモニターの中性子とガンマ線計数率と、ビーム電流値の時間変化 (引用文献6)

- [2] Y. Abe, M. Takada, et al., "Development of back-illuminated thin silicon diode applied to fast neutron sensor in active personal dosimeter", Nucl. Instr. Meth., A1034, 166838 (2022).
- [3] M. Takada, et al., "Response Function of Active Thermal Neutron Detector For Boron Neutron Capture Therapy Using Back-Illuminated Thin Si PIN Diode", IEEE Trans. Nucl. Sci., 70, 737-745 (2023).
- [4] M. Takada, et al., "Characterization of a thin silicon sensor for active neutron personal dosimeters", Rad. Prot. Dosim., 170(1/4), 213-217 (2016).
- [5] M. Takada, et al., "Characterization of a real-time neutron detector for boron neutron capture therapy using a thin silicon diode", Rad. Meas. 137, 106381 (2020).
- [6] 高田 真志, "BNCT 用中性子計測への取り組み - 国立がん研究センターでの取り組み - ", 放射線, 46(2), 67-71 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 0件）

1. 著者名 Takada Masashi, Abe Yohei, Nakamura Satoshi, Masuda Akihiko, Kajimoto Tsuyoshi, Endo Satoru	4. 巻 1020
2. 論文標題 Spectrometer design of low energy neutrons for boron neutron capture therapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 165848-165848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2021.165848	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 Masashi Takada, Tomoya Nunomiya Akihiko Masuda, Tetsuro Matsumoto, Hiroki Tanaka, Satoshi Nakamura, Satoru Endo, Masaru Nakamura, Kei Aoyama, Osamu Ueda, Masataka Narita, Takashi Nakamura	4. 巻 137
2. 論文標題 Characterization of a real-time neutron detector for boron neutron capture therapy using a thin silicon diode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 106381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radmeas.2020.106381	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 Masashi Takada, Tomoya Nunomiya, Akihiko Masuda, Tetsuro Matsumoto, Hiroki Tanaka, Satoshi Nakamura, Satoru Endo, Masaru Nakamura, Kei Aoyama, Osamu Ueda, Masataka Narita, Takashi Nakamura	4. 巻 176
2. 論文標題 Development of a Real-Time Neutron Beam Detector for Boron Neutron Capture Therapy Using a Thin Silicon Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2021.109856	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 Takada Masashi, Masuda Akihiko, Narita Masataka, Matsumoto Tetsuro, Nunomiya Tomoya, Aoyama Kei, Abe Yohei, Nakamura Takashi	4. 巻 70
2. 論文標題 Response Function of Active Thermal Neutron Detector For Boron Neutron Capture Therapy Using Back-Illuminated Thin Si PIN Diode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 737-745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2023.3249823	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 高田 真志	4. 巻 46(2)
2. 論文標題 BNCT 用中性子計測への取り組み - 国立がん研究センターでの取り組み -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 放射線	6. 最初と最後の頁 67-71
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 上村晃生, 東平 遼, 高田 真志	4. 巻 2020-4
2. 論文標題 自然放射性物質を用いた放射線計測器動作確認用のアルファ線源	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 KEK Proceedings	6. 最初と最後の頁 170-175
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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 高田真志
2. 発表標題 病院設置型 BNCT 用 リアルタイム中性子ビームモニターの開発
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 八木 茄津未、高田 真志、藤井 亮、中村 勝、島田 健司
2. 発表標題 ホウ素捕捉療法用リアルタイム中性子ビームモニターの長期運用評価に関する研究
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 Masashi Takada
2. 発表標題 Development of Real-Time Neutron Detector for Direct Neutron Measurements at Accelerator Based Boron Neutron Capture Therapy in Hospitals
3. 学会等名 2019 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masashi Takada
2. 発表標題 Real-time and Direct Measurements of BNCT Neutron Beam at KURRI and NCC Facilities Using DAD-BNCT
3. 学会等名 19th International Conference on Solid State Dosimetry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田真志
2. 発表標題 BNCT 用リアルタイム中性子計測への取組
3. 学会等名 第 81 回応用物理学会秋季講演会 分科会企画シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高田真志
2. 発表標題 リアルタイムBNCT中性子ビームセンサーの開発
3. 学会等名 第16回日本中性子捕捉療法学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田 真志、八木 茄津未、中村 哲志、島田 健司、中 村 勝、藤井 亮、伊丹 純、井垣 浩、青山 敬、布宮 智也
2. 発表標題 ホウ素中性子捕捉療法用リアルタイム中性子ビームモニターの開発 (1)ビームモニターの特性評価
3. 学会等名 日本原子力学会 2022 年 秋の大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木 茄津未、高田 真志、藤井 亮、中村 勝、島田 健司
2. 発表標題 ホウ素中性子捕捉療法用リアルタイム中性子ビームモニターの開発 (2)中性子ビームモニター運用に向けた試験
3. 学会等名 日本原子力学会 2022 年 秋の大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田真志
2. 発表標題 BNCT中性子照射ビームのリアルタイムモニタリング実現に向けて
3. 学会等名 第18回日本中性子捕捉療法学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大谷内 将至、高田 真志、八木 茄津未、熊田 博明、田中 進、増田 明彦、真鍋 征也
2. 発表標題 筑波大学BNCT加速器中性子源のリアルタイムビームモニタリング実現に向けた試み
3. 学会等名 第18回日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木 茄津末、高田 真志、藤井 亮、中村 勝、島田 健司
2. 発表標題 中性子ホウ素捕捉療法時に発生中性子リアルタイムモニター可能な検出器の特性評価
3. 学会等名 第18回日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masashi Takada
2. 発表標題 Real time neutron beam monitoring for p-Li BNCT target
3. 学会等名 国際原子力機関(IAEA)WORK SHOP, Academic information exchange for BNCT physics
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木茄津末、高田 真志、藤井 亮、中村 勝、島田 健司、中村哲志
2. 発表標題 ホウ素中性子捕捉療法用リアルタイム中性子ビームモニターの実用化に向けた特性評価に関する研究
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第37回)
4. 発表年 2022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	遠藤 暁 (Satoru Endo) (90243609)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	梶本 剛 (Tsuyoshi Kajimoto) (70633759)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	
研究分担者	田中 浩基 (Hiroki Tanaka) (70391274)	京都大学・複合原子力科学研究所・准教授 (14301)	
研究分担者	中村 哲志 (Satoshi Nakamura) (20638374)	国立研究開発法人国立がん研究センター・中央病院・医学物理士 (82606)	
研究分担者	松本 哲郎 (Tetsuro Matsumoto) (70415793)	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)	
研究分担者	増田 明彦 (Akihiko Masuda) (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