

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02648

研究課題名（和文）BNCTのための中性子・線混在場における線量計測法の開発

研究課題名（英文）Development of gamma-ray dose measurement method in a neutron/gamma-ray mixed field for BNCT

研究代表者

村田 勲 (Murata, Isao)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30273600

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）のためのガンマ線線量計測法の開発を行った。BNCTでは、中性子と線の混在場となるため、線量を別々に同時に計測する必要がある。本研究では、 $(n, \gamma)$ 反応により発生する高エネルギー線までを精度良く計測できるガラス線量計用のフィルターの開発を行った。その結果、ガンマ線場における、黒鉛、ニッケル、タンゲステンを用いたフィルターの開発に成功した。また、混在場の解を理論的に求め、その解の一つ（リチウム）を求めることにも成功した。さらに、混在場を再現する場についても設計を終えることができ、現在、その製作を進めているところである。今後、実証実験を行い実用に向けた検証を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

BNCTで重要なことは、正常細胞線量を抑えることである。BNCTは中性子場に人体を設置することになり、この場合、入射する中性子だけではなく、二次的に発生するガンマ線による照射を受ける。つまり、照射中に中性子と線の線量を別々にその場計測する必要がある。我々は、ガラス線量計にフィルターを取り付け、2種類の線量計の差を取ることでそれぞれの線量を計測する手法を提案した。そして、10MeVまでのガンマ線を正確に計測することに成功した。BNCTの治療をすることは重要であるが、それより重要なことは、患者の被ばく量を正確に知ることである。本手法により、線については精度良く計測することができるようになった。

研究成果の概要（英文）：We developed a gamma-ray dosimeter for boron neutron capture therapy (BNCT). In BNCT, neutrons and gamma rays are existing together in the field, so both doses must be measured separately and simultaneously. In this study, we developed a material filter for a glass dosimeter that can accurately measure high-energy gamma-rays generated by  $(n, \gamma)$  reactions. As a result, we succeeded in developing a filter using carbon, nickel and tungsten in a gamma-ray field. We also theoretically sought a solution to measure gamma-ray dose for the mixed field, and succeeded in finding one of the solutions using lithium. Furthermore, we have completed the design of a radiation field that reproduces the mixed field, and are currently working on producing the field. In the future, we will conduct a demonstration experiment to verify it for practical use.

研究分野：中性子工学

キーワード：BNCT 中性子・ガンマ線混在場 ガラス線量計 フィルター 線量

1. 研究開始当初の背景

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の実現と普及のために解決すべき問題として、工学の観点からは、(a)加速器中性子源の開発、(b)中性子源の実験的特性評価、(c)治療効果の計測、がある。装置の実現には主として上記の 3 つで良いが、普及を目指すためには、装置ではなく患者の線量評価が実は最も重要になる。今回はその評価手法開発に取り組む。しかしながら、それは難しい。理由は以下の通りである。

①BNCT は強力な高エネルギー中性子源(場合によっては、10MeV を超える)を使用するため、患者は、中性子と中性子により二次的に発生するγ線の混在場に曝される。②BNCT で治療に使用する中性子は、減速後の熱外中性子であり、患者の位置では、熱～熱外～高速中性子の混在場になる。特に熱外中性子の線量測定は簡単ではない。③そのような場でγ線を計測する場合、ほとんどのγ線計測装置は、中性子にも感度を有するため、正確なγ線のみ線量を知ることが困難である。④更にγ線は残留放射線場(<3MeV)ではなく、中性子が存在している混在場であるため、(n, γ)反応によるγ線が存在している。このγ線エネルギーは最大で10MeVにもなる。

BNCT は、通常の放射線治療と全く異なる環境を有している。この BNCT を一般に普及させるためには、常に患者ファーストであるべきであり、患者の正確な中性子とγ線の線量(患者全身線量)を計測により知ることができる必要がある。この技術(個人線量計開発)の実現が、BNCT の普及には必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、中性子とγ線の混在場で、各々の線量を分離して計測する技術(個人線量計)の開発である。しかしそれは上記の問題があり難しい。これまでは、TLD やガラス線量計等が個人線量計として用いられてきたが、それらは、エネルギー依存性が少ない場(熱中性子場及び放射化物からのγ線場)を想定したものだ。しかし BNCT の場合それでは不十分である。中性子とγ線のエネルギー依存性を考慮する必要がある。

本申請では、混在場におけるγ線の線量測定を目指す。その後、中性子の線量計測を目指す。基本素子としてはガラス線量計を用いる。これは、現在の個人線量計に用いられているものである。本研究では、複数のフィルターを組み合わせることで(つまり材質を変えたり厚さに分布を持たせることで)、γ線エネルギー依存性を考慮し、そして2個の線量計を用いることで中性子の効果を除去する計測技術の構築を目指す。このような方法は、これまで例がないし必要もなかった。原子炉の中性子は、人が出入りする場所では熱領域に近く、γ線は放射化物の場合、エネルギーは3MeV以下だからである。本研究では最終的に、より一般的な放射線場(中性子のエネルギー範囲が広く(熱、熱外～10MeV)、γ線のエネルギーの上限も高い(~10MeV))における正確な積算線量計測(個人線量計)を提案するものである。

右の表は研究組織と研究の中身及びタイムラインを示す。年度毎のテーマと概要、そして担当者の役割とその分担をまとめている。以下にそれぞれの計画を詳述する。

| 年度  | H31      | H32                   | H33   | H34   |                                 |                           |  |
|---|----------|-----------------------|---|---|---------------------------------|---------------------------|--|
| 研究内容  | 1種類の理論検討 | 1種類の実験的検証(γ線場)        | 2種類の理論検討(n寄与除去)                             | 2種類の理論検討(γ線場)   | 混在場の構築 2種類の実験的検証(混在場)           |                           |  |
| テーマNo.  | ①        | ②                     | ③   | ④   | ⑤                               | ⑥                         | ⑦                                      |
| 担当者(*:放射線取扱主任者)   |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| 村田 勲*   | ○        | ○                     | ○   | ○   | ○                               | ○                         | ○                                      |
| (研究代表者、全体の総括) 長年BNCT研究に従事。中性子工学の専門家。  |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| 佐藤文信*   |          | ○                     |   |   |                                 |                           |  |
| 宮丸広幸*   |          |                       |   |   | ○                               |                           | ○                                      |
| 吉田茂生*   |          |                       |   |   |                                 | ○                         |  |
| (検出器、実験担当) 佐藤はガラス線量計担当。宮丸は放射線実験担当。吉田は線量理論評価担当。                              |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| 加藤逸郎  | ○        |                       |   |   |                                 |                           |  |
| (BNCTが臨床医としての助言) BNCTを用いた頸頸部がん臨床医   |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| 日下祐江*   |          |                       |   |   |                                 | ○                         | ○                                      |
| (医と工の仲介役) 放射線が分かる獣医師。医と工をつなぐ専門家。  |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| 玉置真悟  |          |                       |   |   | ○                               | ○                         | ○                                      |
| (放射線計測の専門家) 宮丸広幸とともに放射線実験の実働担当。   |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| 伊達淳*  |          |                       |   |   |                                 | ○                         |  |
| 杉本久司  |          |                       |   |   |                                 |                           | ○                                      |
| (加速器、中性子源専門家) DT核融合中性子源の専門家。H34の混在場実験担当。                                    |          |                       |   |   |                                 |                           |  |
| ①理論研究により、鉛フィルター厚さ分布を持たせることでγ線の線量に対するエネルギー依存性が考慮できるか調べる。鉛フィルターの厚さ分布を決定し製作する。 |          | ②実験による確認。γ線場で1種類の線量計。 | ③理論研究により、2種類の線量計を用いることで中性子の線量寄与を排除できるか検討する。 | ④理論研究により、2種類の線量計に鉛フィルター厚さ分布を持たせることで、両者の引き算により線量を決定できるか調べる。その厚さ分布を決定し製作する。 | ⑤実験による確認。γ線場で2種類の線量計の差し引きで線量評価。 | ⑥熱外中性子と高エネルギーγ線の混在場を構築する。 | ⑦実験による確認。中性子とγ線の混在場で2種類の線量計の差し引きで線量評価。 |

3. 研究の方法

(1)1種類の理論

我々は、ガンマ線エネルギーに対するRPLGD応答をフィルターで操作することにより、ガンマ線量を直接かつ正確に測定する方法を提案する。方法は、RPLGD の外側を適切な厚さの遮蔽材(フィルター)で覆うことによりガラスのガンマ線に対する応答を操作する。ここで、 $\phi_{\gamma}$  [cm<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup>] はフィルターへの入射ガンマ線束、 $\phi_{\gamma_A}$  [cm<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup>] はフィルターを透過した後のガンマ線束である。真のガンマ線空間線量率  $D_{\gamma}$  [μGy/h]及びガンマ線量の実験値  $D_{\gamma_A}$  [μGy/h]は、次式の通り空気カーマ変換係数  $\alpha$  [μGy/h/(cm<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup>)]及びフィルターの存在を考慮したRPLGDの応答関数  $f_A$  [μGy/h/(cm<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup>)]を用いてそれぞれ次のように表される。

$$D_{\gamma} = \int \Phi_{\gamma} \alpha dE, \quad D_{\gamma A} = \int \Phi_{\gamma} f_A dE$$

ここで、応答  $f_A$  を操作することによって  $D_{\gamma A}$  から  $D_{\gamma}$  を求める。言い換えれば、 $\alpha$  と  $f_A$  の関係を見つけることを目指す。この目的のために、フィルターに厚さ分布を与える。フィルターの厚さに対する線量計の応答関数行列  $R$  を定義する。行列  $R_{ij}$  の成分は、 $i$  番目 ( $i=1 \sim m$ ) のエネルギーと  $j$  番目 ( $j=1 \sim n$ ) のフィルター材料の厚さにおけるフラックスあたりの吸収線量率を表す。その結果、関数  $f_A$  はフィルターの厚さの高さの比  $t$  と応答関数行列  $R$  の内積として、 $f_A = R \cdot t$  とあらわすことができる。ここで  $t$  は  $\sum t = 1$  をみたす。これは、さまざまな厚さのフィルターで覆われた RPLGD の測定線量が、フィルターを通した RPLGD の線量にフィルターの厚さと RPLGD の全長の高さの比を乗じて合計することで得られることを示している。本研究では、応答  $f_A$  は空気カーマ変換係数  $\alpha$  と等しくなるように設定されている。結局、次の行列方程式、 $\alpha = \eta f_A$  を解く必要がある。ここで  $\eta$  は、 $\sum t = 1$  をみたすために必要な定数である。この方程式を  $\sum t = 1$  の条件で解き、 $\eta$  を決定すれば、任意のガンマ線場で真のガンマ線空間線量を推定することができる。この研究では、ベイズ推定法を用いて、この式を  $t$  について解いた。最終的に次式が導出される。

$$D_{\gamma} = \frac{\int \Phi_{\gamma} \alpha dE}{\int \Phi_{\gamma} f_A dE} D_{\gamma A} = \eta D_{\gamma A}$$

## (2) 2 種類の理論

中性子とガンマ線の混合場において、中性子線量とガンマ線量を別々にかつ同時に測定するための遮蔽フィルターを設計する方法を説明する。ガンマ線量  $D_{\gamma}$  および中性子線量  $D_n$  並びにフィルターを付けて測定されたガンマ線吸収線量を  $D_{\gamma A}$ 、中性子吸収線量を  $D_{nB}$  はそれぞれ、空気カーマ係数  $\alpha$  および中性子の線量への変換係数  $\beta$ 、並びに、ガンマ線応答  $\alpha'$  と中性子応答  $\beta'$  を用いてそれぞれ次のように表される。

$$\begin{cases} D_{\gamma} = \int \phi_{\gamma} \alpha dE \\ D_n = \int \phi_n \beta dE \end{cases}, \quad \begin{cases} D_{\gamma A} = \int \phi_{\gamma} \alpha' dE \\ D_{nB} = \int \phi_n \beta' dE \end{cases}$$

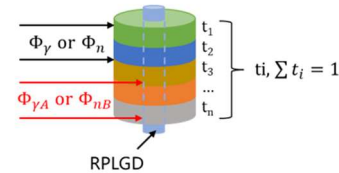


図 1 遮へいフィルター法の模式図

ここで、 $\phi_{\gamma}$  は入射ガンマ線フラックス、 $\phi_n$  は入射中性子束である。図 1 はフィルターの模式図である。図に示されているとおり、フィルターは複数の材料で構成されている。この時、ガンマ線応答  $\alpha'$  及び中性子応答  $\beta'$  は次のように表現される。

$$\begin{cases} \alpha' = R_{\gamma} \cdot t \\ \beta' = R_n \cdot t \end{cases}$$

ここで、 $R_{\gamma}$  はガンマ線応答行列であり、 $R_n$  は中性子応答行列である。 $t$  は 1 に正規化されたフィルター厚さ比である。 $t$  が求められると、ガンマ線応答  $\alpha'$  は、空気カーマ係数  $\alpha$  に比例し、中性子応答  $\beta'$  は中性子変換係数  $\beta$  に比例することとなる。しかし、上の 2 つの式を同時に解くことは容易ではないため、本研究では、両方の方程式を次の行列方程式のように変形して取り扱う。

$$\begin{pmatrix} \alpha' \\ \beta' \end{pmatrix} = \eta \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{\gamma} \\ R_n \end{pmatrix} \cdot t = R \cdot t$$

ここで、 $\eta$  は  $t$  の積分が 1 になるための補正係数であり、 $R$  は統合応答行列である。 $R_{\gamma}$  と  $R_n$  式から  $t$  と  $\eta$  を求めることにより、 $D_{\gamma A}$  及び  $D_{nB}$  から  $D_{\gamma}$  と  $D_n$  を決定することができる。

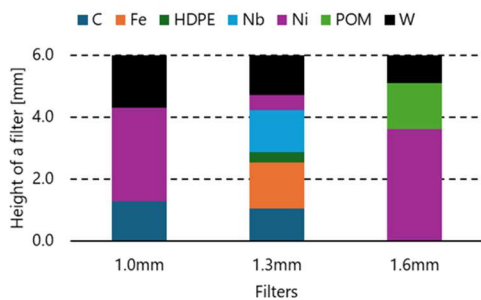


図 2 フィルター厚さ 1.0, 1.3, 1.6mm それぞれのフィルター材料高さ比率  $t$

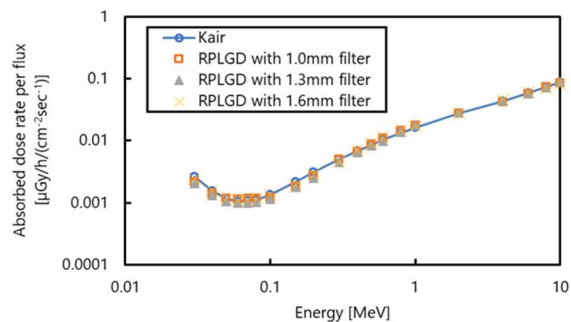


図 3 フィルター厚さ 1.0, 1.3, 1.6mm それぞれの換算済みフィルター応答と空気カーマ係数の比較結果

#### 4. 研究成果

##### (1) 1種類のガラスのフィルター

###### ① 設計結果

本研究では、単一のガラス線量計を遮蔽材フィルターで覆い、線量計の応答を正確に制御する。フィルターを設計するには  $t$  を推定する必要がある。まずは、ベイズ推定で用いる応答関数行列  $R$  をフィルターの厚さ 1.0mm, 1.3mm, 1.6mm の3つを仮定し、PHITS で計算した。次に、ベイズ推定法で  $t$  を推定した。3つのフィルター厚さに対する推定結果を図2に示す。推定した材料高さ比率  $t$  のフィルターの数値検証するため、PHITS 上で、フィルターで覆われたガラス線量計に対して、ガンマ線の照射シミュレーションを行った。図3に3つのフィルター厚さ応答 (PHITS 計算値) と空気カーマ係数の比較結果を示す。この結果から構成材料が C, Ni, W の3つと少なく、最も薄い 1.0mm はフィルターを用いることとした。

###### ② 実験的検討

実験的検討は、標準ガンマ線源を用いた実験、及び核燃料庫内での計測、について実施した。ここでは、標準ガンマ線源を用いた実験のみ述べる。図4に標準線源  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  の照射実験値、PHITS による解析値、空気カーマ率定数からの理論計算した値の比較結果を示す。実験値と解析値は3つの線源すべてで2%以内の誤差範囲内で一致した。つまり、PHITS による設計の妥当性を検証することができた。実験値と理論計算値では、 $^{137}\text{Cs}$  および  $^{60}\text{Co}$  が5%前後の誤差が生じ、 $^{133}\text{Ba}$  では15%の過小評価となることが分かった。

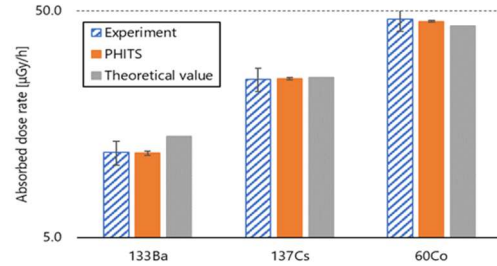


図4 標準線源による照射実験値、PHITS での解析値、空気カーマ率定数からの理論計算値の比較結果

##### (2) 混在場のフィルター

図5に各材料で覆われたガラス線量計の応答と実効線量変換係数の比較を示す。実効線量変換係数は各材料で覆われたガラス線量計の吸収線量率を大きく上回る。そのため、実効線量変換係数に0.003及び0.006を乗じたものを載せている。また、高エネルギー側のガラス線量計の応答が材料によらないことが分かる。しかし、一方で、ガラス線量計の吸収線量率は2MeVあたりまで実効線量変換係数の応答形状を再現できることが分かる。本研究では、p-Li線源を想定し、1MeV程度までの実効線量変換係数の再現を目標にフィルター設計を行った。エネルギー範囲は  $1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-2} \text{MeV}$  とした(これ以上は一定のため)。目標係数は、図5に示すように最も応答差を取れる0.003, 0.006とし、フィルター材料には20種類の材料を用いた。図6に材料高さ比率  $t$  を6mm換算し、実際の設計での材料高さとした結果を示す。図7及び8にそれぞれ、ガンマ線および中性子に対するフィルターで覆われたガラス線量計の応答を示す。中性子の方の再現があまりよくないが、中性子とガンマ線の両方がある程度再現する解を得ることができた。中性子の方の不一致の原因については、図5からわかるように、特に低エネルギー領域で、実効線量変換係数と同様の吸収線量率の傾向を示す材料がないことが影響していると推測している。

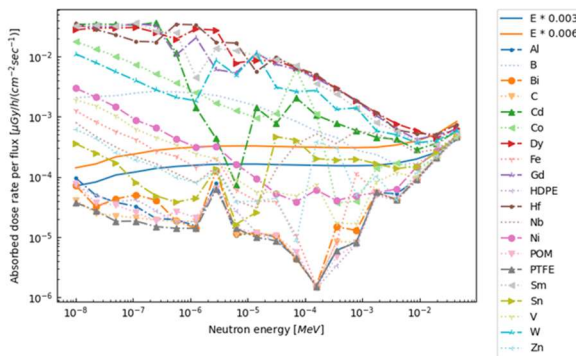


図5 エネルギーごとの中性子に対する各材料(厚さ1mm)で覆われたガラス線量計のフラックス当たりの吸収線量率と実効線量変換係数との比較

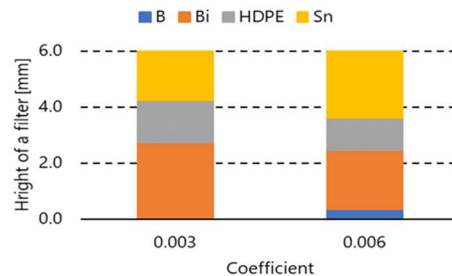


図6 中性子の目標値が実効線量変換係数のときのフィルターの材料構成



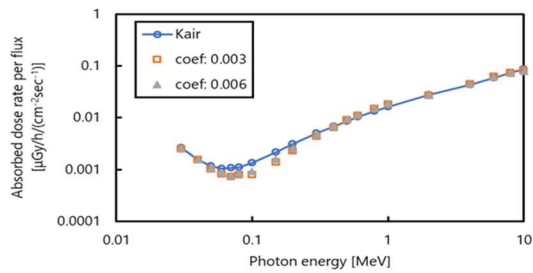


図7 ガンマ線に対する換算済みフィルター応答と  
空気カーマ係数の比較結果

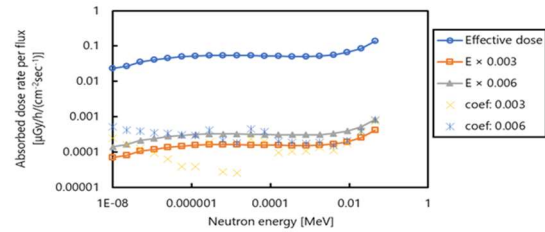


図8 中性子に対する換算済みフィルター応答と  
実効線量変換係数の比較結果

### (3) まとめ

ガラス線量計を用いた、BNCT での混在場線量計測法の検討を行った。特にガンマ線に着目し、10MeV までのガンマ線の計測と、ガンマ線が中性子と混在する場におけるガンマ線量の計測のためのガラス線量計に取り付けるフィルターの開発を行った。

ガンマ線場におけるフィルターについては、理論的な検討を終え、フィルターを設計し、製作することができた。検証実験を終えているが、現在論文化しているところである。また、混在場については、理論検討に時間を要したが、理論的に設計手法を整備することができた。これにより、設計作業を行っているところである。また、混在場の製作についてはスペースの関係でここには載せていないが、設計を終え現在混在場を製作中である。今後、混在場のフィルターを設計・製作後混在場での計測を行っていく。

今回のプロジェクトでは、混在場のガンマ線線量を計測するためのフィルターの完成までは届かなかったが、理論的な検討を終えており、混在場を製作後、速やかに検証実験を実施する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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<br>F. Kamisaki, T. Inoue, K. Tomiyoshi, M. Matsuki, K. Aoki, S. Kusaka, S. Tamaki, F. Sato, I. Murata              | 4. 巻<br>209          |
| 2. 論文標題<br>Accurate gamma-ray dose measurement up to 10 MeV by glass dosimeter with a sensitivity control filter for BNCT | 5. 発行年<br>2024年      |
| 3. 雑誌名<br>Applied Radiation and Isotopes  | 6. 最初と最後の頁<br>111299 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.apradiso.2024.111299   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>K. Tochitani, K. Tomiyoshi, T. Inoue, F. Kamisaki, M. Matsuki, K. Hiramatsu, K. Aoki, S. Kusaka, S. Tamaki, F. Sato, I. Murata | 4. 巻<br>199          |
| 2. 論文標題<br>Response control of RPLGD for gamma-ray dose measurement using lead filters for BNCT  | 5. 発行年<br>2023年      |
| 3. 雑誌名<br>Applied Radiation and Isotopes   | 6. 最初と最後の頁<br>110897 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.apradiso.2023.110897  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masaya Matsuki, Fumiaki Kamisaki, Zixu Xu, Shingo Tamaki, Sachie Kusaka, Fuminobu Sato, Isao Murata  |
| 2. 発表標題<br>Gamma-Ray Dosimeter Development Using Radio-Photoluminescence Glass Dosimeter (RPLGD) in Neutron/Gamma-Ray Mixed Field for BNCT -Control of the response of RPLGD with a shielding filter- |
| 3. 学会等名<br>Young Researchers' BNCT Meeting 2022（国際学会）   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Zixu Xu, Masaya Matsuki, Kazuma Aoki, Shingo Tamaki, Sachie Kusaka, and Isao Murata |
| 2. 発表標題<br>Characterization of various types of n- mixed fields based on a D-D neutron source  |
| 3. 学会等名<br>2022 Symposium on Nucl. Data（国際学会）  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Zixu Xua, Masaya Matsukia, Kazuma Aokib, Shingo Tamakia, Sachie Kusakaa, Isao Murata                            |
| 2. 発表標題<br>Development of n- mixed fields based on a D-D neutron source for validation of material-filtered RPLGD for BNCT |
| 3. 学会等名<br>37th Radiation Detector and Its Use (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>富吉 晃太郎   |
| 2. 発表標題<br>-Ray Dose Measurement Using Radio-Photoluminescence Glass Dosimeter (RPLGD) in Neutron/ -Ray Mixed Field for BNCT<br>-Examination of the response of RPLGD in low-energy region- |
| 3. 学会等名<br>19th Int. Cong. Neutron Capture Therapy (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>神先 史晃  |
| 2. 発表標題<br>複数材料フィルターで覆ったガラス線量計を用いた中性子・ガンマ線混在場における ガンマ線量測定法の開発 |
| 3. 学会等名<br>第17回日本中性子捕捉療法学会学術大会                                |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>富吉 晃太郎   |
| 2. 発表標題<br>BNCTのための蛍光ガラス線量計を用いた中性子/ 線混在場における 線の測定 ~低エネルギー 線源を用いた検証実験~ |
| 3. 学会等名<br>第17回日本中性子捕捉療法学会学術大会  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tokiya Inoue, Koki Tochitani, Shingo Tamaki, Sachie Kusaka, Fuminobu Sato, Isao Murata  |
| 2. 発表標題<br>Development of Gamma-ray Dosimeter Using Radio-Photoluminescence Glass Dosimeter and Gamma-ray Filter in A Neutron/Gamma-ray Mixed Field for BNCT |
| 3. 学会等名<br>10th Young Researchers BNCT Meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

|                                 |                    |               |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>放射線の線量計測方法および線量計測装置 | 発明者<br>Isao Murata | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、特願2019-174457 | 出願年<br>2019年       | 国内・外国の別<br>国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                  | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 玉置 真悟<br><br>(Tamaki Shingo)<br><br>(10823396) | 大阪大学・工学研究科・助教<br><br><br><br>(14401)   |    |
| 研究分担者 | 日下 祐江<br><br>(Kusaka Sachie)<br><br>(30781314) | 大阪大学・工学研究科・技術職員<br><br><br><br>(14401) |    |
| 研究分担者 | 佐藤 文信<br><br>(Sato Fuminobu)<br><br>(40332746) | 大阪大学・工学研究科・教授<br><br><br><br>(14401)   |    |
| 研究分担者 | 加藤 逸郎<br><br>(Kato Itsuro)<br><br>(60314390)   | 大阪大学・歯学部附属病院・講師<br><br><br><br>(14401) |    |



6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                          | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                      | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 吉田 茂生<br><br>(Yoshida Shigeo)<br><br>(70174927)    | 東海大学・工学部・教授<br><br><br><br>(32644)         |    |
| 研究分担者 | 宮丸 広幸<br><br>(Miyamaru Hiroyuki)<br><br>(80243187) | 大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授<br><br><br><br>(24405) |    |
| 研究分担者 | 伊達道 淳<br><br>(Datemichi Jun)<br><br>(50379145)     | 大阪大学・工学研究科・技術専門員<br><br><br><br>(14401)    |    |
| 研究分担者 | 杉本 久司<br><br>(Sugimoto Hisashi)<br><br>(40379144)  | 大阪大学・工学研究科・技術専門職員<br><br><br><br>(14401)   |    |

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