

令和 2 年 4 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19088

研究課題名（和文）熱外領域中性子スペクトル測定用マイクロボナー球検出器の開発

研究課題名（英文）Development of micro Bonner Ball Detectors for measurement of neutron energy spectrum in epi-thermal region

研究代表者

瓜谷 章 (Uritani, Akira)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：10213521

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000 円

研究成果の概要（和文）：プロトタイプ検出器の応答関数を計算により評価した後、製作、特性評価を行い、当該検出器により、熱外中性子スペクトルの推定が可能であるとの知見を得た。それと同時に、有限個数のボナーボールを用いたスペクトル測定では得られるスペクトルの精度に限界があるとの知見を得た。こゝで、水などの液体減速材中で減速された熱中性子分布を、高空間分解能を有する中性子検出器で測定し、その分布形状からエネルギースペクトルを得る手法についても検討した。実際にBNCTの熱外中性子場において測定を行ったところ、モンテカルロ計算で得られた中性子スペクトルにほぼ一致する推定スペクトルを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

がんの放射線治療の一つにホウ素中性子捕捉療法（以下BNCT）がある。BNCTで照射する中性子は数 eV～数十 keV のエネルギーの熱外中性子である。患者への不要な被曝の低減や治療効果を担保するために熱外中性子のスペクトルの測定が必要である。現状行われている金属箔の放射化による方法では中性子をリアルタイムで測定する事ができず、ボナー球スペクトロメータでは熱外領域のスペクトルを測定する事が困難である。そのため、リアルタイムでの測定が可能であり熱外領域の中性子スペクトルを測定できる検出器の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：After evaluating the response function of the prototype detector by calculation, fabrication and characterization were performed. It was found that the detector can estimate the epithermal neutron spectrum. At the same time, it was found that there is a limit to the accuracy of the spectrum obtained by spectrum measurement using a finite number of Bonner balls. Therefore, we also examined a method of measuring the thermal neutron distribution moderated in a liquid moderator such as water with a neutron detector having high spatial resolution and obtaining an energy spectrum from the distribution shape. When we actually measured the BNCT epithermal neutron field, we could obtain an estimated spectrum that almost matches the neutron spectrum obtained by Monte Carlo calculation.

研究分野：放射線計測学

キーワード：中性子 熱外中性子 エネルギースペクトル 共鳴 ボナー球 液体減速材 BNCT

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

がんの放射線治療の一つにホウ素中性子捕捉療法 (以下 BNCT) がある。この治療における中性子源として、名古屋大学ではダイナミトロン陽子線加速器と Li ターゲットによる ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応を利用した中性子源の開発が進められている。BNCT で照射する中性子は数 eV~数十 keV のエネルギーの熱外中性子である。患者への不要な被曝の低減や治療効果を担保するために熱外中性子のスペクトルの測定が必要である。現状行われている金属箔の放射化による方法では中性子をリアルタイムで測定する事ができず、ボナー球スペクトロメータでは熱外領域のスペクトルを測定する事が困難である。そのため、リアルタイムでの測定が可能であり熱外領域の中性子スペクトルを測定できる検出器が望まれている。

2. 研究の目的

以上のような背景のもと、迅速な測定が可能であり、かつ熱外領域の中性子スペクトルを一度の測定で、治療中の中性子場に擾乱を与えることなく測定できる検出器が必要とされている。本研究では熱外領域用の中性子スペクトロメータの作製と性能の評価を行い、実際の BNCT の治療場で利用でき測定方法を開発することを目的としている。

研究の開始時点では、リアルタイム測定を可能にするために中性子検出媒体として $\text{Eu}\cdot\text{LiCaAlF}_6$ シンチレータを用いた小型のボナー球を複数個同時に用いることとした。検出器の熱外中性子に対する応答に急激な変化を付けるために熱外領域に吸収ピークを持つ金属材料を用いた小型のボナー球を検討している。この小型ボナー球の応答関数の評価を行い、中性子スペクトルの推定を行うことを目的とした。さらに、研究の進展に伴い、他の推定法の検討を行うことも目的とした。

3. 研究の方法

本研究で検討しているボナー球の構造を図 1 に示す。熱外領域に吸収ピークを持つ金属材料として金、インジウム、マンガン、タングステン、ニッケルを選定した。金属材料の選定は BNCT 中性子場で重要となる数 eV~数十 keV の中性子に対して吸収ピークを持つ金属であることと吸収断面積が大きいことを基準に行った。また、熱中性子に対する応答を低くするために熱中性子吸収材としてカドミウムを用いた。

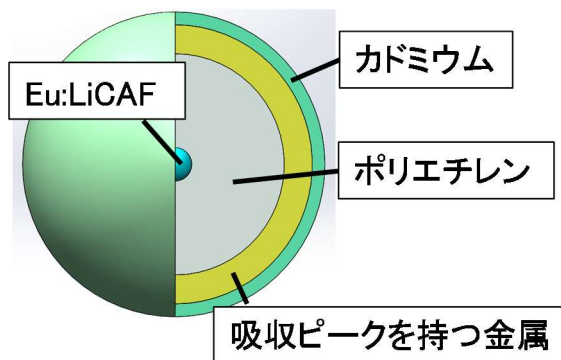


図 1 本研究で検討中のボナー球

4. 研究成果

図 1 に示した検出器の応答関数をモンテカルロ計算コード PHITS を用いて計算した。計算は図 1 に示す検出器に単色の中性子を照射して ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ 反応の回数を見積もった。得られた応答関数を図 2 に示す。結果から検出器の数 eV~数十 keV の中性子に対する応答に急激な変化を

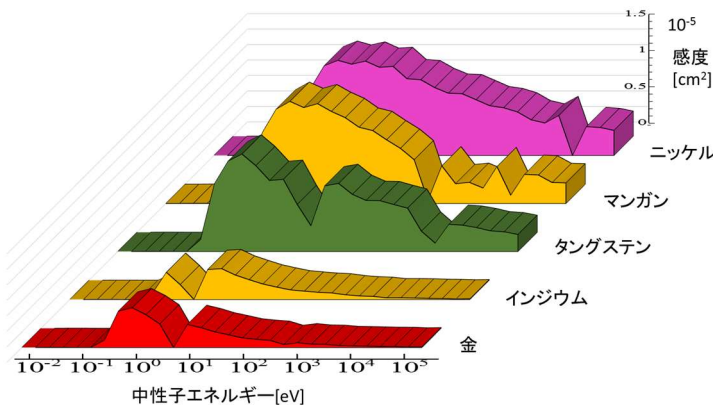


図 2 検出器の応答関数

持つ応答関数が得られた。得られた応答関数をもとに、BNCT の中性子場の中性子スペクトルの推定を行った。結果を図 3 に示す。モンテカルロ計算で求めたスペクトルを、SAND-II アンフォールディング計算コードの初期推定スペクトルとして用いた。その結果、初期推定スペクトルと、本手法で求めたスペクトルがおおむね一致することが示された。

研究を進める過程で、高々有限個のボナー球を用いるよりも、水などの減速材中の熱中性子分布形状から入射中性子のエネルギースペクトルを評価する方が、より真に近いスペクトルが得られるとの考察を行い、その手法の検証を行った。図 4 に、作製した液体減速材型中性子スペクトロメータを、BNCT 中性子出射好位置に設置した写真を示す。液体減速材中の熱中性子は、光ファイバー検出器により、高い空間分解能で測定される。図 5 に実際の BNCT 熱外中性子場において実測した熱中性子スペクトルを示す。モンテカルロ計算で求めた初期推定スペクトルと、極めて良い一致を示すことが示された。

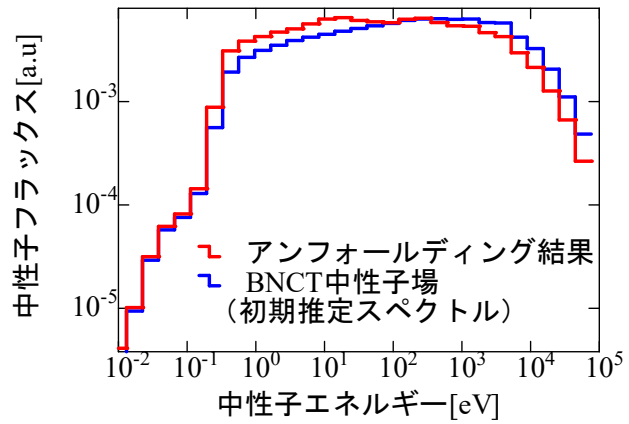


図 3 SAND-II により得られた中性子スペクトル



図 4 構築したの液体減速材型中性子スペクトロメータ外観写真

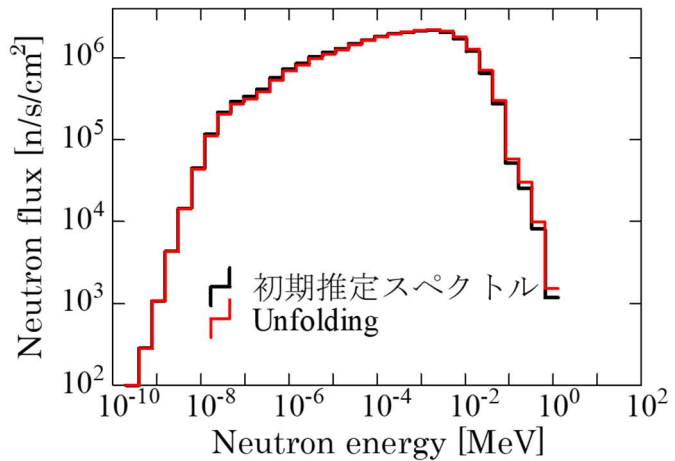


図 5 実験結果からアンフォールディングコード SAND-II を用いて得られた中性子スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 須田 直樹、瓜谷 章、渡辺 賢一、吉橋 幸子、山崎 淳
2. 発表標題 加速器BNCT用熱外中性子スペクトロメータの応答関数に関する検討
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須田 直樹、瓜谷 章、渡辺 賢一、吉橋 幸子、山崎 淳
2. 発表標題 BNCT用中性子スペクトロメータ
3. 学会等名 日本原子力学会「2017年秋の大会」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺 賢一（研究協力者）
2. 発表標題 シンチレータを用いた光ファイバ型熱中性子検出器
3. 学会等名 平成29年度放射線治療と放射線防護のための放射線計測に関する研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺賢一、石川諒尚、平田悠歩、中村悟、本田祥梧、吉橋幸子、瓜谷章、土田一輝、釣田幸雄、鬼柳善明
2. 発表標題 名古屋大学における加速器BNCT用システム開発（2）物理的特性評価
3. 学会等名 第16回日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 中性子検出器及び中性子測定装置	発明者 土田一輝，渡辺賢一，瓜谷章，須田直樹，佐藤和也，山崎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-105099	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔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
研究協力者	渡辺 賢一 (Watanabe Kenichi) (30324461)	名古屋大学・大学院工学研究科・准教授 (13901)	