

(3) 板状 BeO を利用した中性子線・ γ 線混在場での γ 線測定に関する研究

東京都立大学大学院・ 人間健康科学研究科 放射線医学総合研究所・ 放射線防護情報統合センター	眞正 浄光、張 維珊、王 良賢、田中 誠也、 菅原 理 古場 裕介
京都大学・ 複合原子力科学研究所	田中 浩基
九州大学大学院・医学研究院	納富 昭弘
近畿大学・原子力研究所	若林 源一郎

〔はじめに〕

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT:boron neutron capture therapy)は、腫瘍内部に取り込まれたホウ素と中性子線の(n, α)反応を利用した放射線治療法である。中性子線と γ 線では生物学的効果比が異なるため、投与線量の決定や治療装置の品質保証(QA)、治療効果の判定に中性子線と γ 線を弁別して測定する必要がある。現在、BNCT 照射場での γ 線量の測定には、石英ガラス管に封入された BeO:Na 熱蛍光線量計(UD-170LS、松下電器)が唯一の方法として使用されている。BeO は中性子捕獲断面積が小さいため、中性子線・ γ 線混在場でも簡便に γ 線量のみを測定できるが、毒性が高く現在は販売されていない。そのため代替品の開発が喫緊の課題となっている。

申請者らは、これまでに粉体の BeO-TLD 代替技術として、飛散しない板状の BeO セラミックス(マテリオン社製の Thermalox995)の X 線に対する熱蛍光特性と輝尽蛍光特性について調査し線量応答性やフェーディング特性、再現性に優れていることを明らかにしている。今回は、中性子線・ γ 線混在場で板状 BeO の熱蛍光特性を利用したポイント線量および γ 線量分布測定を行い、中性子場での γ 線量測定手法としての有用性を調査した。

〔使用機器〕

- Pu-Be中性子源及び保管用減速容器
- BeOセラミックス板(Thermalox995)
- 石英ガラス管封入BeO:Na TLD(UD-170LS、松下電器)
- グロー曲線測定装置
- 金箔及びカドミウム板
- 端窓型GM計数管(NDE11001、富士電機)
- 高純度Ge半導体検出器

〔実験方法〕

•照射体系

図1に示した1 cm角のBeOセラミックス板(Thermalox995)と、石英ガラス管封入BeO:Na TLD(UD-170LS、松下電器)をU8容器に貼り付け、原子炉中心から0 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cmの高さにそれぞれ設置し、2時間照射した。また、それぞれの高さで金の放射化法によって熱中性子束も測定した。その照射体系を図2に示す。

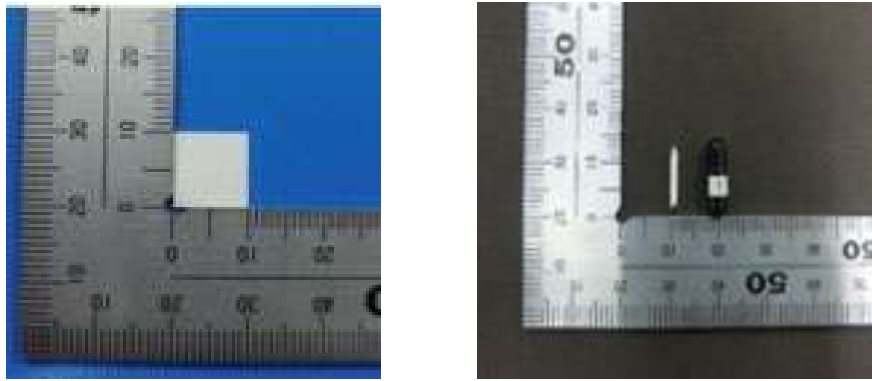


図1 BeOセラミックス板 (Thermalox995:右)と石英ガラス管封入BeO:Na TLD (UD-170LS、松下電器:左)

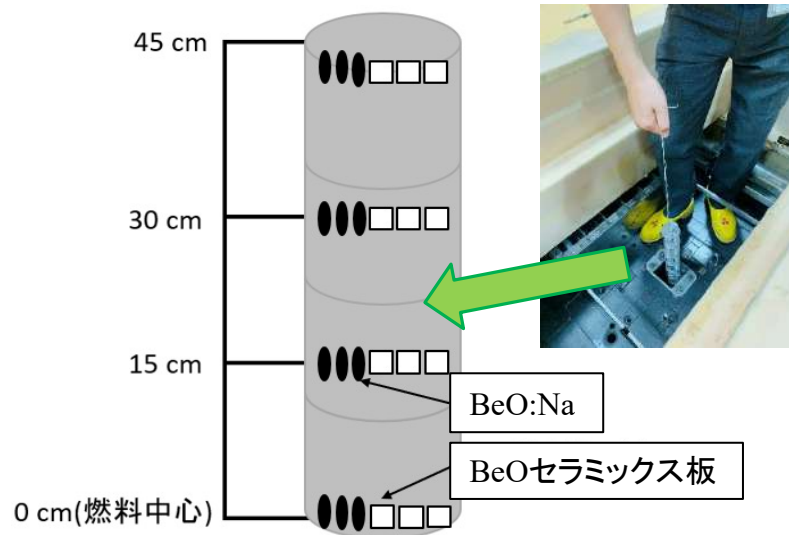


図2 照射体系

・熱中性子束の測定

サンプル位置における熱中性子束は金の放射化法にて求めた。TLD照射と同様の体系で、裸及びカドミウムフィルタで被覆した金箔を使用した。十分に放射化させた後、放出された β 線をGM計数管により測定し金箔の飽和放射能を算出した。裸の金箔とカドミウムフィルタで被覆した金箔の飽和放射能の差から、熱中性子束を求めた。

・グロー曲線の測定

BeOセラミックス板のグロー曲線の測定で使用した精密グロー曲線の測定システムを図3に示す。測定システムは、45 mm×45 mm角の特注ヒーターとフォトシカウンティングユニット (Hamamatsu Photonics Photosensor module H10722-110)、集光レンズ、赤外線カットフィルタ、温度コントローラー (SHIMADEN FP21 programmer)、暗箱、ノートPCから構成される。昇温速度は、市販されているTLリーダーよりも3桁ほど遅くすることが可能であり、精密なTLグロー曲線解析が可能である。今回は、

昇温速度を $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ とし、測定波長は、300 nm から700 nmとした。グロー曲線の $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ までの熱蛍光量の積算値を線量に変換して γ 線量を求めた。石英ガラス管封入BeO:Na TLDは、松下電器のTLリーダーを使用して γ 線量を求めた。

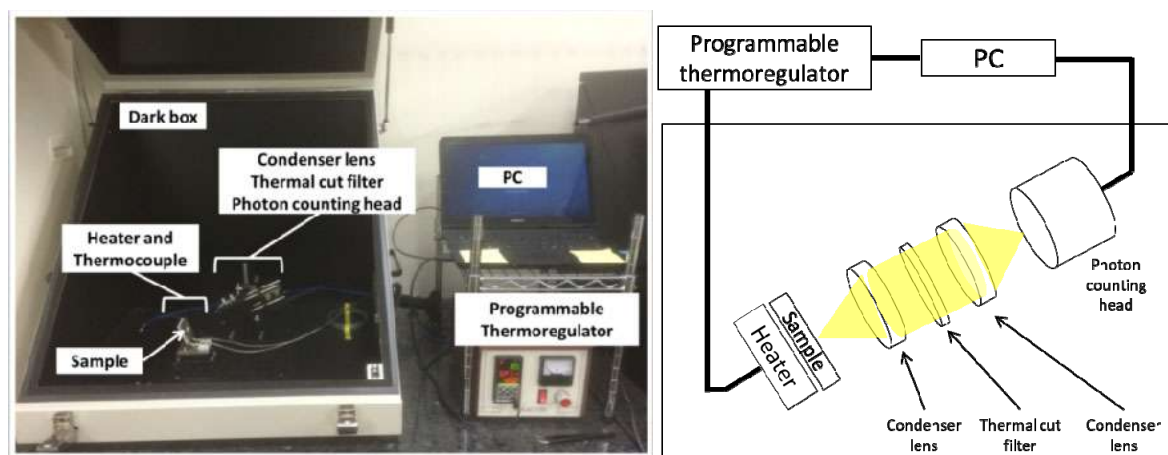


図3 精密グロー曲線測定システム

〔実験結果〕

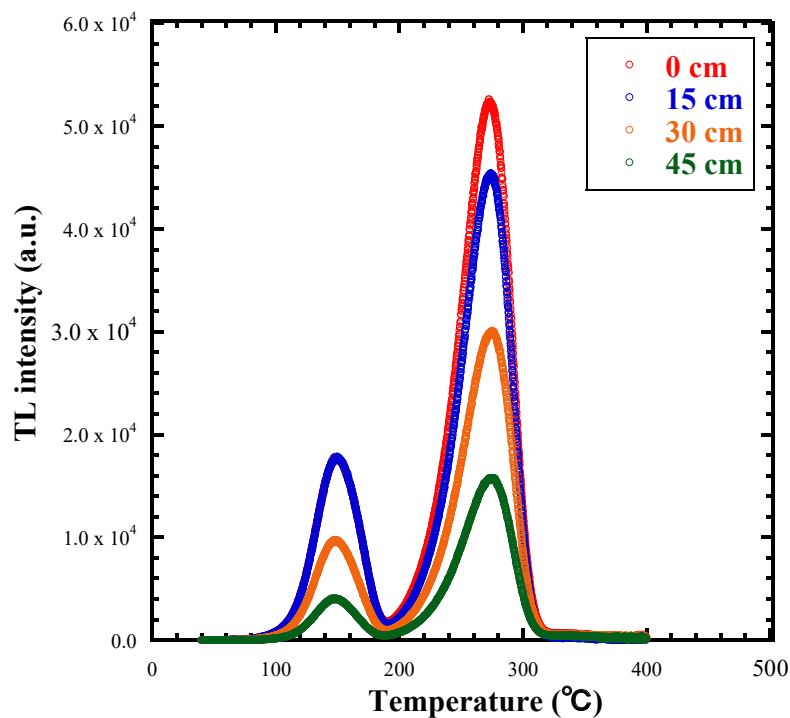


図4 BeOセラミックス板のグロー曲線

図4に原子炉中心からの距離が0 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cmの時のBeOセラミックス板のグロー曲線を示す。グロー曲線のピーク温度は、いずれも約 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ と $285\text{ }^{\circ}\text{C}$ に観測された。原子炉中心から離れるにつれ熱蛍光量は低下し、炉心から45cm離れたところでは、炉心中心と比較して3分の1程度であった。熱中性子束は、原子炉中心で $8.27\times 10^6\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、原子炉中心からの距離が15 cmのとき $7.36\times 10^6\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、30 cmのとき $5.51\times 10^6\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、45 cmのとき $3.02\times 10^6\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。

図 5 に BeO セラミックス板との石英ガラス管封入 BeO:Na TLD の原子炉中心からの距離に対する γ 線量の関係を示す。どちらの熱蛍光線量計もほぼ同じ値を示した。 γ 線量は、原子炉中心で約 18 cGyh^{-1} 、原子炉からの距離が 15 cm のときで約 16 cGyh^{-1} 、 30 cm のときで約 11 cGyh^{-1} 、 45 cm のときで約 6 cGyh^{-1} であった。図 6 の BeO:Na に対する BeO セラミックス板の応答比の関係からも BeO セラミックス板の中性子場での γ 線量測定の実用性が確認できた。

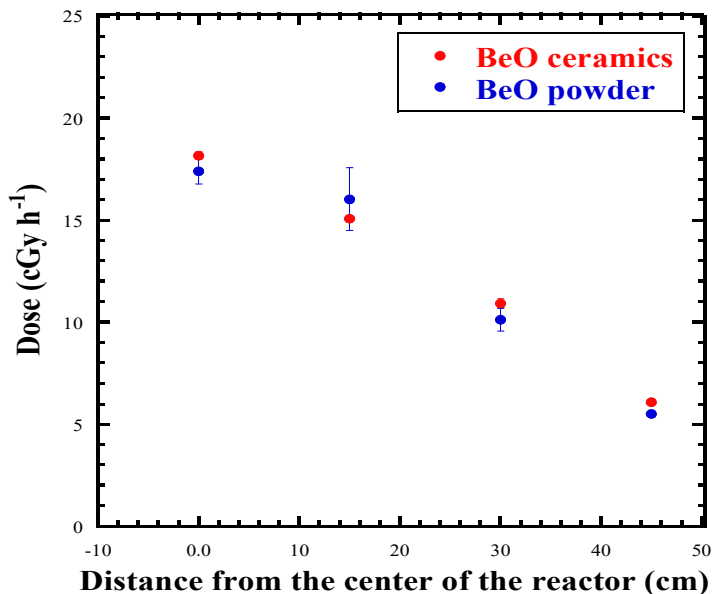


図 5 BeO セラミックス板との石英ガラス管封入 BeO:Na TLD の原子炉中心からの距離に対する γ 線量

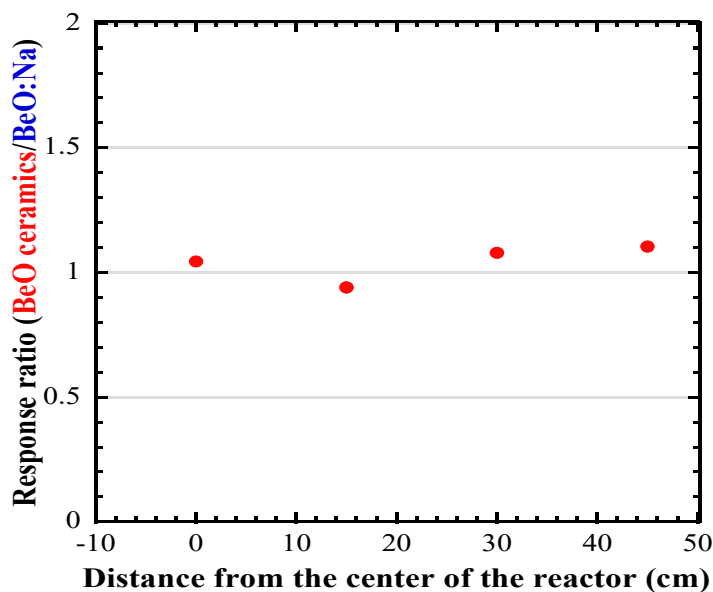


図 6 BeO:Na に対する BeO セラミックス板の応答比

[まとめ]

中性子線・ γ 線混在場での γ 線測定に板状 BeO の熱蛍光特性を利用したポイント線量および γ 線量分布測定を行い、有用性を調査した。その結果、板状 BeO の熱蛍光特性を用いると、近大炉の中性子・ γ 線混在場(熱中性子束: $3.02 \times 10^6 - 8.27 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)において、中性子の影響を受けることなく、 γ 線のみを線量を選択的に測定できることが明らかになった。

業績一覧

- Ryoken Oh, Shin Yanagisawa, Hiroki Tanaka, Takushi Takata, Genichiro Wakabayashi, Masaya Tanaka, Natsumi Sugioka, Yusuke Koba, and Kiyomitsu Shinsho, “ Thermal Neutron Measurements Using Thermoluminescence Phosphor Cr-doped Al₂O₃ and Cd Neutron Converter”, Sensors and Materials, Vol. 33, No. 6 (2021) 2129-2135
- 王良健, 田中誠也, 杉岡菜津美, 菅原理, 若林 源一郎, 田中 浩基, 高田 卓志, 眞正浄光,” Cd コンバータを設置したクロム添加アルミナ熱蛍光線量計の中性子に対する線量応答性” 次世代放射線シンポジウム 2020 (Web 開催) 2020 年 8 月 20(木)– 21 日(金)
- 田中誠也, 王良健, 杉岡菜津美, 菅原理, 若林 源一郎, 田中 浩基, 高田 卓志, 眞正浄光,” BeO セラミックス板を用いた中性子線・ γ 線混在場での γ 線量測定 of 検討” 第 68 回応用物理学会春季学術講演会 2021 年 3 月 16(火)– 19 日(金)

実験・測定補助者

中村 柚月 杉岡奈津美 吉田 実加 佐々木瑛麻 近江 和希 藤井 陸
(計 6 名)