

(8) UTR-KINKI炉内 γ 線の線質の評価 -CLYCシンチレータを用いたUTR-KINKIのガンマ線計測-

海上・港湾・航空技術研究所	鎌田 創
防衛大学校	高田真志
広島大学大学院工学研究科	遠藤 暁、梶本 剛、田中憲一
近畿大学原子力研究所	堀口哲男

緒言

本研究では、 ^3He 比例計数管の代替品として開発された $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6\text{:Ce}$ (CLYC)シンチレータを用いて近畿大学原子炉 UTR-KINKI にて中性子・ガンマ線弁別測定への有効性を示すことを目的とする。CLYC シンチレータは、熱中性子を全エネルギーピークとして検出できる、 ^{137}Cs から発生するガンマ線を半値幅 4%程度のエネルギー分解能で測定できる[1]、シンチレータの出力波形の減衰時間の違いを利用して、中性子・ガンマ線弁別測定ができることが特長である。近畿大学原子炉 UTR-KINKI から発生する中性子と同時に発生するガンマ線を測り、PSD スペクトルから中性子、ガンマ線の分布を得る。

実験方法

本研究で用いた CLYC シンチレータは、2.5 cm 直径 x 2.5 cm 長さの円筒形の結晶であり、強い潮解性を持っているため、アルミニウム缶に封入し、光の取り出し面にガラスで蓋をした。また、本研究で用いた CLYC シンチレータにはリチウムが含まれるが、リチウムを 99.5%の ^6Li に同位体濃縮してある。信号の取り出しのために光電子増倍管 R6231(浜松ホトニクス社)を結合し、ベース回路、高圧電源ならびにデジタイザを内蔵させた装置 usbBase (Bridgeport Instruments, TX USA)を光電子増倍管のピンに挿して信号処理回路システムとして使用した。また、信号処理回路システムから PC へは USB ケーブルでデータ通信させた。高圧電源から光電子増倍管へ印加した電圧は、-1000 V とした。検出器は、炉の中心に挿入した場合、パルスパイルアップによるデッドタイムの割合が非常に高くなるため、図1に示すように、照射口入り口から 10 cm 離れた位置に CLYC シンチレータを置いた状態で測定した。光電子増倍管からの信号パルスは、減衰時間がおおよそ 16 μ 秒と無機シンチレータ発光波形の中では比較的遅い。また、積分範囲を全体と速い時間成分のそれぞれを定義し、全体の電荷と減衰成分部分の電荷量を得た。減衰成分は全体の積分量から速い時間成分の積分量を引くことで算出した。積分時間の選定では、以前 ^6Li を本研究同様に同位体濃縮した CLYC の特性評価をした Stonehill[1]と同様の 120 ナノ秒を採用した。

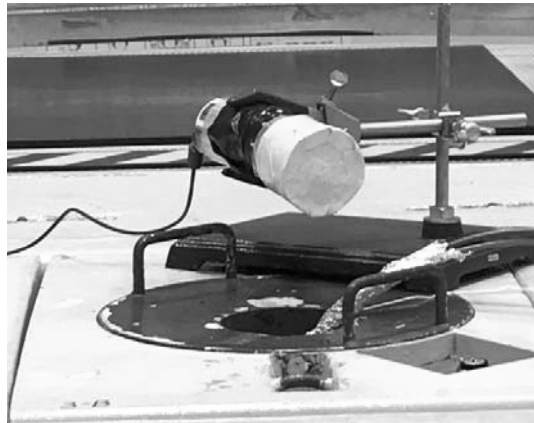


図1 照射時の様子

結果及び考察

得られた電荷のデータを二次元プロットしたものの図に示す。横軸は全体の積分値 Total、縦軸は減衰成分の積分値を全体の積分値で割ったもの(以下 PSD := Tail / Total)で示してある。Olympia によると熱中性子、ガンマ線それぞれによるシンチレーションパルスの減衰時間は、それぞれ 6.30μ 秒、 5.24μ 秒であり[1]、縦軸の減衰成分と全体の積分値の比 PSD は中性子が大きく、ガンマ線が小さいことになる。また、PSD がおよそ 0.97 ch.から 0.99 ch.の間、全体の積分値 Total がおよそ 1100 ch から 1300 ch.までの間にある集団は、熱中性子と検出器の ${}^6\text{Li}$ との核反応 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)$ に起因している。これらは、以前の Olympia らの結果[1]と一致する。

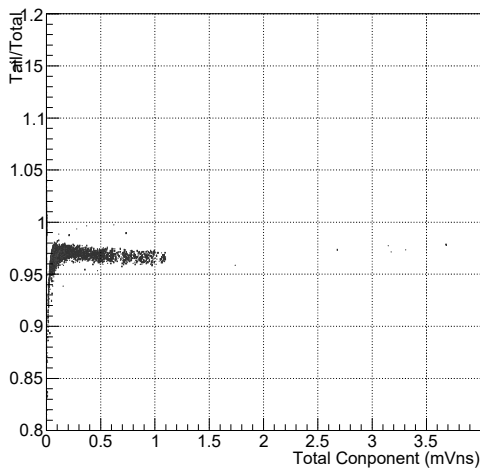


図2 ${}^{24}\text{Na}$ を置いた際の二次元プロット

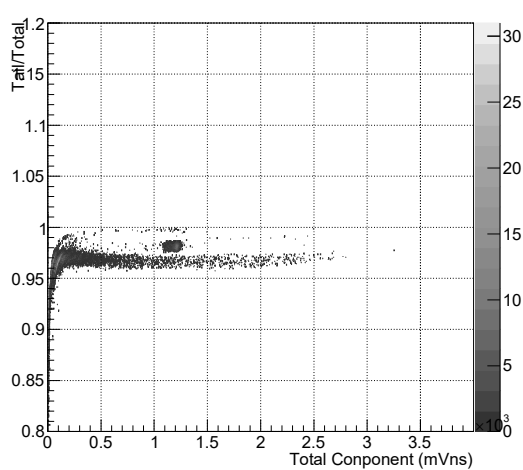


図3 Am-Be 中性子源を置いた際の
二次元プロット

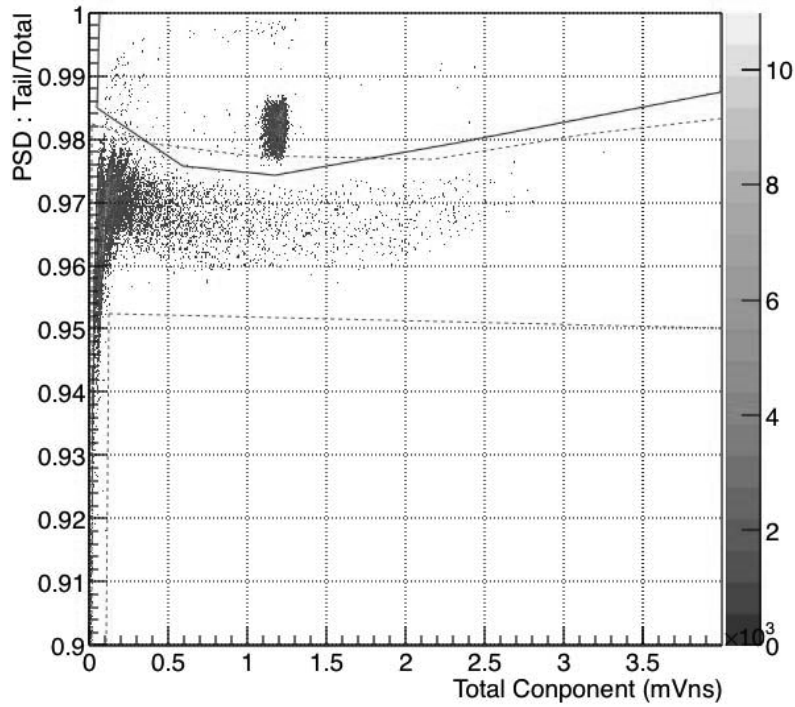


図 4 設定したゲート。実線が中性子イベントのゲート、
破線がガンマ線イベントのゲート
また、設定したゲートから切り出したものを示す。

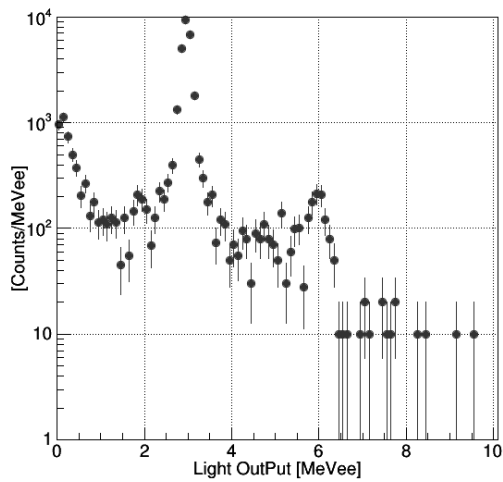


図 5 中性子のイベントを選別したもの

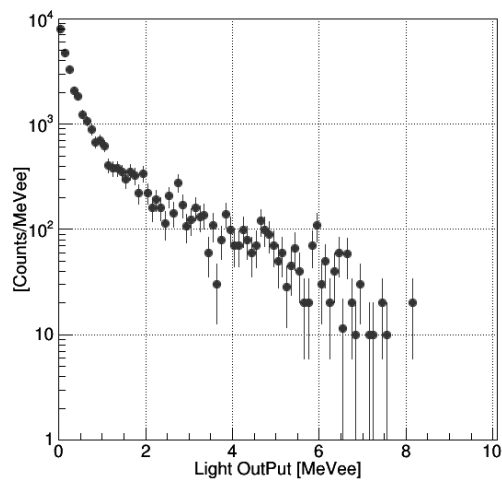


図 6 ガンマ線のイベントを選別したもの

これらの図は、横軸にシンチレータの発光量(MeVee)と縦軸発光量あたりのカウント数で示してある。図 5 の中性子のイベントを選別したものは、3.2 MeV 付近にピークがあり、これは ${}^6\text{Li}(n, \alpha)$ 反応起因のものである。図 6 のガンマ線は、8 MeV 程度まで測定できている。幾つかピークが確認でき ${}^{12}\text{C}$ (4.9 MeV) や ${}^{56}\text{Fe}$ (7.8 MeV) の熱中性子捕獲ガンマ線起因と推察できるものが確認できた。これは、遠藤らが Ge 検出器を用いて UTR-KINKI の核分裂ガンマ線を測定した結果及び彼らの MCNP による核分

裂ガンマ線シミュレーションの結果と矛盾しない。

まとめ

CLYC シンチレータを用いて、UTR-KINKI から発生する中性子とガンマ線の弁別測定を実施し、中性子ならびにガンマ線の分布をそれぞれ導出した。得られた結果は過去の研究結果と矛盾しないことが確認できた。本研究では、 ${}^6\text{Li}$ を同位体濃縮したものを使用した。ガンマ線測定に重点を置くには、 Li を同位体濃縮していない CLYC シンチレータを用いることも有用であると考えられる。

参考文献

1. N. D. Olympia et al., “Pulse Shape Analysis of CYLC for thermal neutrons, fast neutrons, and gamma-rays,” Nucl. Instrum. Methods A714 (2013) pp. 121-127.
2. Laura C. Stonehill, “A New Scintillator for Neutron and Gamma Detection: $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6:\text{Ce}^{3+}$ (CLYC) Overview and Selected Applications,” LA-UR-12-26515, (2012)/
3. Satoru Endo et al., “Measurement of the gamma-ray energy spectrum of the educational Kinki University Reactor (UTR-KINKI),” Appl. Rad. Iso. 124 (2017) pp. 90-92.

業績一覧

S. Endo, T. Taniguchi, T. Kajimoto, K. Tanaka, M. Takada, S. Kamada, T. Horiguchi, K. Fujikawa, Measurement of the gamma-ray energy spectrum of the educational Kinki University Reactor (UTR-KINKI), Appl Radiat Isot, 124, 90-92, 2017.

(論文要旨)

近畿大学原子力研究所原子炉 (UTR-KINKI) の生物照射ポート内の γ 線スペクトルの推定を行った。得られた γ 線スペクトルを用いて γ 線線量率を計算したところ、これまで実施した電離箱測定や組織等価ガス比例計数管 (TEPC) の測定と矛盾のない値が得られた。