

## (8) UTR-KINKI 炉内 $\gamma$ 線の線質の評価

広島大学大学院工学研究院  
海上・港湾・航空技術研究所  
防衛大学校  
近畿大学原子力研究所

遠藤 暁、梶本 剛、田中 憲一  
鎌田 創  
高田 真志  
堀口 哲男

### 緒言

本研究では、 $^3\text{He}$  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、中性子をピークとして検出できることが特長である[1]。さらに、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可能である。本研究では、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定し線量評価につなげることを目的とし、PSD スペクトルから中性子、ガンマ線を粒子弁別し、ガンマ線測定への妥当性を評価した。

### 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る。このシンチレータ結晶は強い潮解性を持っているため、アルミニウム缶に封入され、光の取り出し面をガラスで蓋してある。また、本報告で用いた CLYC シンチレータにはリチウムが含まれるが、同位体比 99%以上の  $^7\text{Li}$  に同位体濃縮したものである。Giazらによると  $^6\text{Li}$  を 95%同位体濃縮したシンチレータと比較し熱中性子に対する検出効率が 0.3%程度まで減少することが報告されている。今回は、シンチレータに光電子増倍管 R6231(浜松ホトニクス社)を結合したアッセンブリを使用した。光電子増倍管のアノード電極より信号を取り出し CAMAC 規格の電子回路を用いてデータ収集した。高圧電源から光電子増倍管へ印加した電圧は、-1200 V とした。検出器は、炉の中心から 145 cm 離れた箇所に設置して測定した。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  $\mu$  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、積分範囲を全体と立ち上がり時間成分のそれぞれを定義し、各成分の電荷量を得た。積分時間の選定では、以前  $^6\text{Li}$  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]と同様に立ち上がり成分に対して、120 ナノ秒、全体成分に対して、1.5 マイクロ秒を採用した。

## 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を図 1 に示す。横軸は全体の積分値 Total、縦軸は立ち上がり成分の積分値で示してある。Olympia らによると熱中性子、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 47 ナノ秒、16 ナノ秒[1]であり、同じ積分時間である場合ガンマ線が大きいことになる。また、全体の電荷積分成分 Total がおよそ 350 ch から 400 ch.までの間にある集団は、熱中性子と検出器にわずかに含まれる ${}^6\text{Li}$ 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。

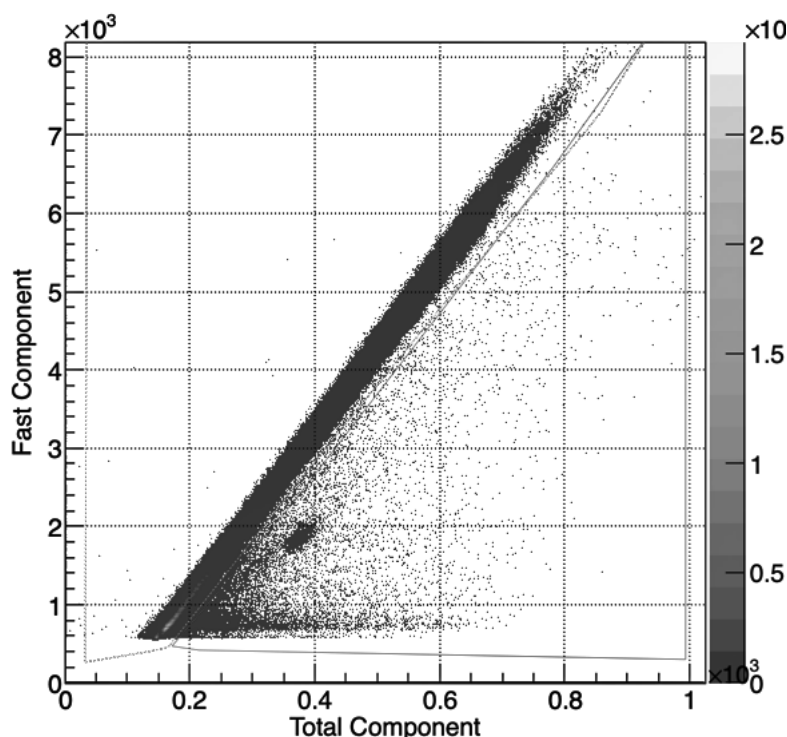


図 1 設定したゲート。横軸を全体の積分電荷量、縦軸に立ち上がり成分として速い積分電荷量で示す。赤実線:中性子イベントのゲート、緑破線:ガンマ線イベントのゲート

設定したゲートから中性子とガンマ線のイベントを切り出したものを図にそれぞれ示す。白抜きのプロットは照射直後のバックグラウンド測定による分布である。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 2 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 3 のガンマ線は、10 MeV 程度まで測定できている。幾つかピークが確認でき、比較的高エネルギー領域の ${}^{56}\text{Fe}$ (7.6 MeV)、 ${}^{24}\text{Al}$ (7.7 MeV)、 ${}^{54}\text{Fe}$ (8.8 MeV, 9.3 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。また、照射直後においては、 ${}^{24}\text{Na}$ (1.3 MeV, 2.7 MeV)、 ${}^{28}\text{Al}$ (1.8 MeV)、 ${}^{56}\text{Mn}$ (2.3 MeV)の放射化物からのガンマ線を観測できた。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[3]を支持するものであり、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ことを示唆する。

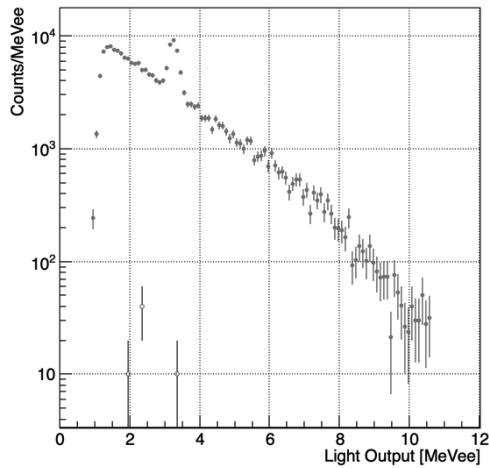


図 2 中性子波高分布

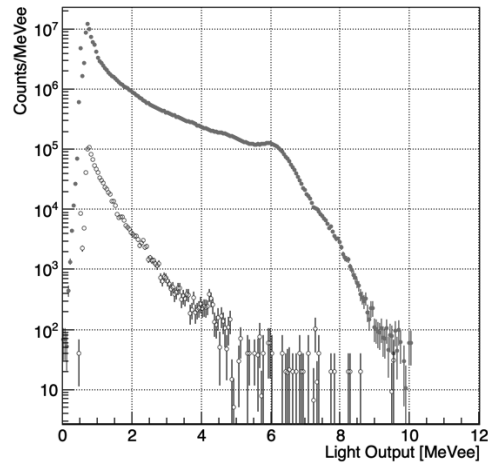


図 3 ガンマ線波高分布

#### まとめ

今回は、 ${}^7\text{Li}$ 濃縮 CLYC シンチレータを用いて、UTR-KINKI の原子炉から発生する中性子とガンマ線の弁別測定を実施した。波形弁別測定を適用することによって、中性子ならびにガンマ線の分布をそれぞれ導出できた。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。

#### 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.