

# 中性子飛行時間法を用いた CLYC シンチレータの中性子に対する応答関数とシンチレータ光出力の整備

Measurements of the response functions of the CLYC scintillator to neutrons and the scintillator light output using the neutron time-of-flight method

鎌田 創<sup>1)</sup>

大山 隆弘<sup>2)</sup>

So KAMADA

Takahiro OYAMA

<sup>1)</sup>海上・港湾・航空技術研究所

<sup>2)</sup>高エネルギー加速器研究機構

放射線標準施設加速器中性子照射施設において、144 keV, 565 keV, 5.0 MeV の 3 エネルギー点で CYRIC シンチレータの単色中性子に対する応答関数を測定した。併せて加速器のパルス運転モードで飛行時間測定を試みたが、ビームライン末端のビームピックオフリングの出力パルスが小さかったため遂行できなかったが、課題を抽出し、次回のマシントイムでの解決策並びに見通しがたった。

**キーワード**：単色中性子、CLYC シンチレータ

## 1. 目的

本研究では、近年  $^3\text{He}$  ガス検出器の代替として開発された CLYC シンチレータの中性子に対する応答関数を整備し、一台で中性子とガンマ線を弁別しながらエネルギースペクトル測定が可能で、軽量で携帯性にたけた中性子検出器を開発することを目的とする。

## 2. 方法

本研究に使用した検出器システムは、CLYC シンチレータ(直径 2.54 cm、長さ 2.54 cm の無機結晶)を、シンチレーション光を電気信号として取り出すために、直径 2.54 cm の光電子増倍管に結合させ、アノード電極から出力を取り出す形式である。中性子エネルギー144 keV, 565 keV, 5.0 MeV の単色中性子に対して CLYC シンチレータの応答関数を測定した。検出器位置での中性子束は、ターゲット周辺に設置したロングカウンターの計数から放射線標準施設が提供する換算係数を利用して導出した。CLYC シンチレータは 2 種類用意し、1 つは CLYC 中の  $^6\text{Li}$  を 95%濃縮したもの(以後 CLYC6)、もう一つは CLYC 中の  $^7\text{Li}$  を 99%に濃縮したもの(以後、CLYC7)である。

検出器からの信号は、ケーブルを介して照射室外に配備した NIM と CAMAC 規格からなる信号処理回路に接続し、PC にデータを取り込んだ。検出器はターゲットから 1.0 m の距離でビーム軸上に設置した。中性子とガンマ線を弁別するため、検出器の入射粒子に対する信号波形の立ち上がり成分の違いを利用して、イベント毎に粒子弁別測定を行なった。今回は、ゲート幅を 120 ns として立ち上がり成分を積分した電荷量と、ゲート幅を 1.5  $\mu$ 秒として波形全体を積分した電荷量を同時に取り込んだ。また、飛行時間を測定するために、時間デジタイザ(TDC: Time to digital converter)に検出器信号をスタート入力、ビームピックオフ電流信号を論理信号に変換し、のストップ入力として TDC を動作させた。

## 3. 結果及び考察

粒子弁別測定で得られた波形弁別 2 次元プロットを、565 keV 中性子実験の場合の測定を例として図に示す。図の縦軸は検出器出力波形を立ち上がりから 120 ns 間積分した成分(Fast Component)、横軸は立ち上がりから 1.5  $\mu$ s 間積分した成分(Total Component)を示す。CLYC シンチレータに中性子が入射する場合、熱中性子は主に CLYC の構成元素である  $^6\text{Li}$  原子核と  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$  反応を起こして三重水素や  $\alpha$  粒子のエネルギー付与を介して検出される。一方、高速中性子は主に  $^{35}\text{Cl}(n, p)$  反応を起こして陽子のエネルギー付与を介して検出される。これらのイベントは、図 1 の赤点線で囲った領域である。また、ガンマ線はシンチレータに入射して光電効果等による 2 次電子のエネルギー付与を介して検出される。対応するイベントは図 1 の緑で囲った領域である。この 2 次元プロットから中性子によるイベント、ガンマ線によるイベントをそれぞれ

れ切り出したものが、図2の波高分布である。横軸をTotal Component、縦軸をチャンネルあたりのカウント数で示してある。CLYC 内で起きた全事象を青い実線、中性子による事象を赤い実線、ガンマ線による事象を緑の実線で示してある。また中性子による事象についてエネルギースペクトルを図3(CLYC6)、図4(CLYC7)に示す。横軸はシンチレータの発光量に換算しており、MeV electron equivalent 単位で示してある。縦軸は、検出器のカウント数である。図3のスペクトルの特徴として、熱中性子と ${}^6\text{Li}$ 原子核との核反応 ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 反応起因の $\alpha$ 粒子のエネルギー付与によるピークが3.3 MeVeeに存在する [1]。また、高速中性子と ${}^{35}\text{Cl}$ 原子核との核反応 ${}^{35}\text{Cl}(n, p)$ に起因の陽子のエネルギー付与によるピークが両者に0.93 MeVee(図3, 4)で観測できている。また、高速中性子と ${}^6\text{Li}$ 原子核との核反応 ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 反応起因の三重陽子 $\alpha$ 粒子のエネルギー付与である分布が3.5 MeVeeから4.3 MeVeeに分布(図3, 4)している可能性を示唆している。高速中性子による分布は、照射時間の制限により計数が十分でないため、次回の課題にて、長時間測定を実施しさらに確認を進める予定である。このCLYCシンチレータはこのエネルギー領域において中性子事象をピークで観測できるため、今後の中性子サーベイに広く活用できる可能性を見出した。今後さらに、エネルギー点を変えてデータを取得し、CLYCシンチレータ内の中性子の挙動に系統的なパラメータ取得を行っていく。

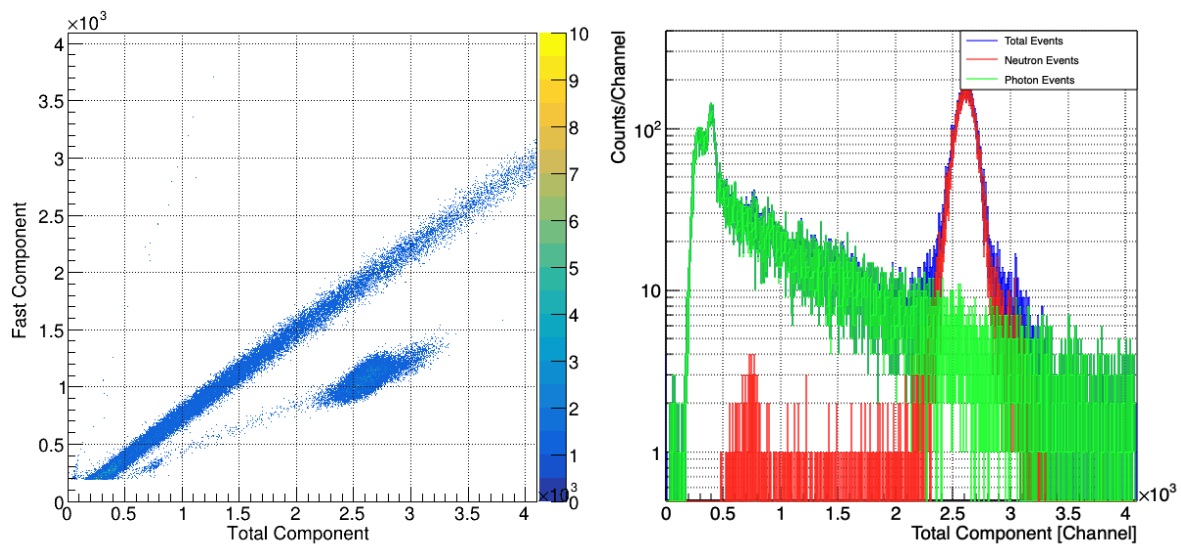


図1 565 keV 中性子照射時の CLYC の粒子弁別プロット 図2 565 keV 中性子照射時の CLYC 波高分布

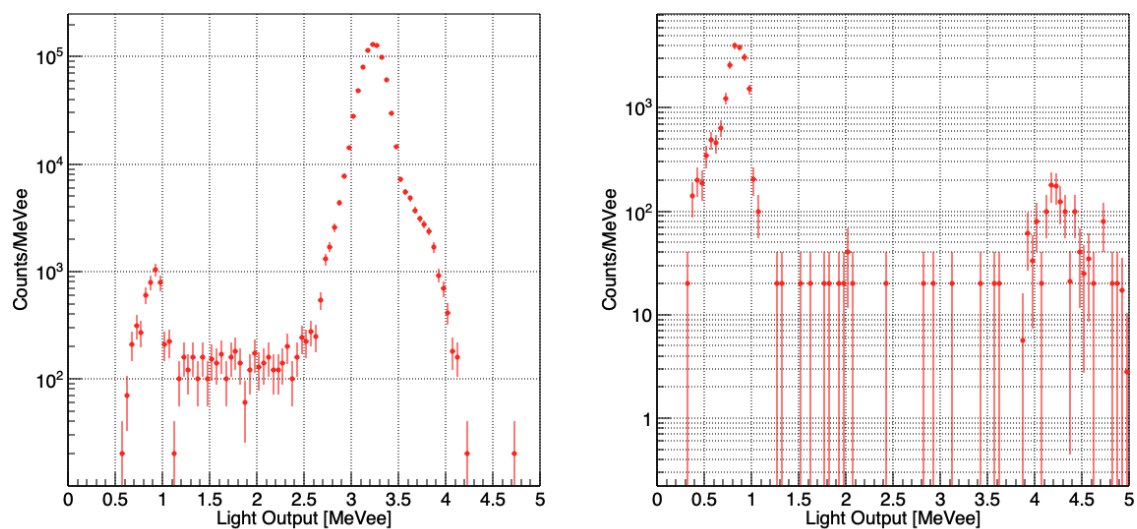


図3 565 keV 中性子入射時の CLYC6 スペクトル 図4 565 keV 中性子入射時の CLYC7 スペクトル

#### 4. 引用(参照)文献等

[1] N.D. Olympia et al., Nucl. Instrum. Method A714 (2013) 121.