

リチウム含有シンチレータと高感度半導体光検出器 MPPC を用いた中性子線の測定

防衛大学校 本科 60 期 応用物理学科 岡本 直也

1. 研究目的

59 期川合学生の研究では、減速材と 18 個のリチウム含有シンチレータを組み合わせることにより、核物質探索用中性子カメラが実現可能であることがシミュレーションによって示された[1]。本研究では、リチウム含有シンチレータとして LiCAF ラバーシートを、シンチレーション光を読み出す光検出器として高感度半導体光検出器 MPPC を用い、中性子線に対する応答を評価した。

2. 実験のセットアップ

実験は図 1 のようなセットアップで行った。LiCAF ラバーシートは、Eu 添加 LiCaAlF₆ 微粒子 (以下 LiCAF) が透明樹脂内に分散されたシートである。⁶Li が 95% に同位体濃縮されているため、熱中性子がシートに入ると ⁶Li(n,α)³H 反応によって荷電粒子が生成され、一定強度のシンチレーション光 (波長 370 nm) を発する。中性子線源 (²⁵²Cf, 1.18 kBq) からは自発核分裂により毎秒 135 個の即発中性子 (平均エネルギー 2 MeV) が放出される。この中性子を効率よく熱化させるための減速材として、厚さ 5 cm のポリエチレンブロックを用いた。

LiCAF ラバーシートから発せられたシンチレーション光を面積比で 11% の MPPC 受光面へ集光させるため、アクリル製のライトガイドを使用した。このアクリルの波長 370 nm に対する全光線透過率の実測値は 80% (3 cm 厚のブロック) である。MPPC と LiCAF ラバーシートは光学グリス使用し、ライトガイドに接合させた。シンチレーション光の集光率を上げるために、LiCAF ラバーシートとライトガイド側面に乱反射材としてテフロンテープを巻いた。また、最適なライトガイド長を評価するため、長さの異なる 5 個の四角錐台状のライトガイド (5 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mm) を作成した。

3. 中性子線の測定

長さ 25 mm のライトガイドを使って、MPPC からのパルス信号を 19.3 時間測定した。その時のパルス信号の電荷量分布 (シンチレーション光の強度分布に相当) を図 2 に示す。図には環境放射線の寄与を示すため、線源なしで測定した分布も重ねてある。LiCAF ラバーシート中で ⁶Li(n,α)³H 反応が起こると一定強度のシンチレーション光を発するため、信号電荷量分布にピークが観測される。信号電荷量 20000 付近のピークが、中性子による ⁶Li(n,α)³H 反応由来のピークであると考えられる。また、生成した α 粒子や ³H がエネルギーを失う前に LiCAF 微粒子から抜け出したものと思われる低信号電荷量側のテールも確認できる[2]。

図 2 において、信号電荷量 5500~26000 の範囲で両分布の計数値の差を取ると 12840±280 カウントになった。

モンテカルロシミュレーションから予想される同計測時間での中性子の計数は 9730±670 である。よって、信号電荷量 20000 付近のピークが中性子由来のピークと考えるのが妥当である。一方で、低信号電荷量側のテール部分には線源由来のガンマ線 (²⁵²Cf の核分裂に伴う即発ガンマ線) が寄与している可能性が考えられる。

長さの異なるライトガイドを用いて、⁶Li(n,α)³H 反応のピーク位置を比較したところ、25 mm のライトガイドで最も集光率が高くなることが分かった。ライトガイドの長さが短すぎると、側面で全反射を起こしにくくなることによる反射材面での吸収、反射回数が増えることによるアクリル中で吸収などにより集光率が下がると考えられる。また、長すぎる場合は、ライトガイドの中での光の経路が長くなるのでアクリル中での吸収による損失が大きくなる。この二点の要因のバランスが最適に保たれる長さが 25 mm であったと考えられる。

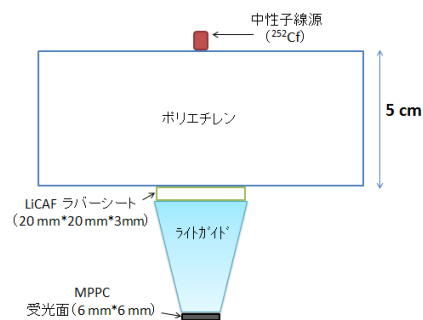


図 1 実験のセットアップ

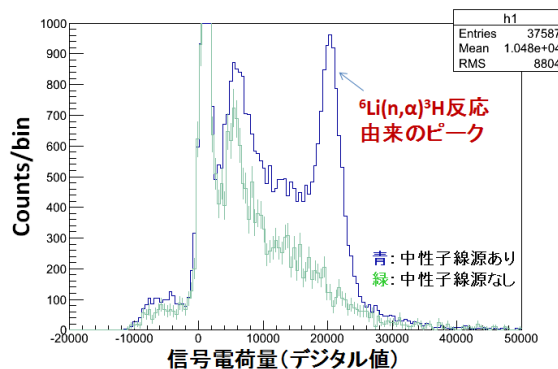


図 2 ²⁵²Cf 線源測定時の信号電荷量分布 (青:線源あり 緑:線源なし)

参考文献

- [1]川合正記「減速材とリチウム含有シンチレータを用いた中性子カメラの実現可能性」防衛大学校 卒業論文 (2015)
- [2]杉本ら「小片 LiCaLaIF₆ シンチレータ分散樹脂型中性子検出器の研究」放射線 Vol40 No1 (2014)

指導教官 講師 松村 徹、教授 新川 孝男