

## MPPC(50) + WLSF による位置分解能測定 LED によるタイミング調整および MPPC しきい値設定

### 概要

波長変換ファイバー(WLSF)を 50 本並べ幅 10 mm のライトガイドを作成した。この末端 1 本ごとに MPPC 接続部がある。GAGG 結晶平面の一方を光電子増倍管、他方をファイバー・ライトガイドを貼りつけた。 $^{22}\text{Na}$  密封線源による測定をする前に、LED によって PMT と MPPC のタイミングを調節する。また、ファイバーに接続された MPPC が正常に LED からの光を読み出しているのかを確認する。MPPC は PMT と比較して熱雑音が多く、それぞれのチャンネルごとにしきい値を調節し良好な S/N が得られるようにする必要がある。

### 1. セットアップ

図1に本測定のセットアップを示す。LED 光源は GAGG 結晶との間に幅 0.5 mm のスリッドを持つコリメータで光子を絞られ、幅 0.5 mm の平行照射を行う。ファイバーを通過し、GAGG 結晶を透過した光が PMT に入射した時刻とファイバーで吸収された光が MPPC に届いた時刻を一致させる。

LED 光源は波長 572 nm で、1 kHz で発光した。光源の明るさ(光子数)は Function Generator のパルス電圧と幅に増加傾向で、PMT2 において ADC 値が GAGG 結晶の 511 keV 光電吸収ピークに対応するように設定されている。

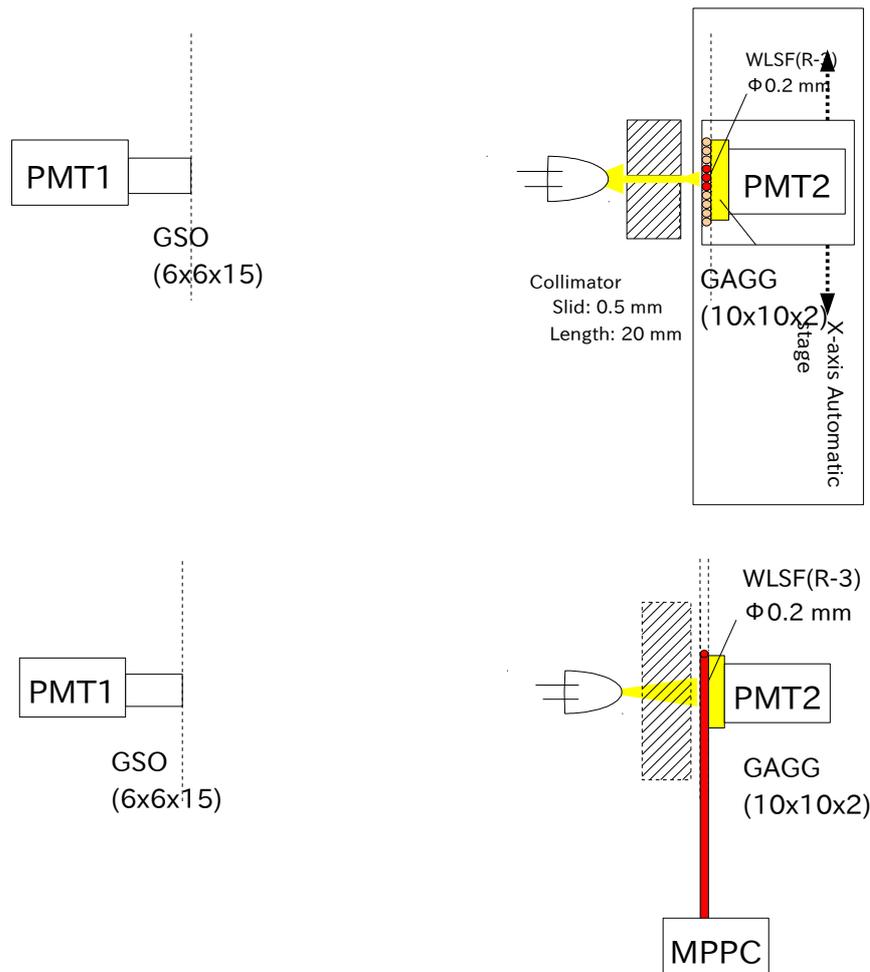


図1. LED テストのためのセットアップ。50 本の WLSF の片側末端には各々 MPPC が接続されている。 $^{22}\text{Na}$  線源によるセットアップを壊さないように配慮して LED テストを実行する。

読み出し回路はMPPC 読み出し用の EASIROC module を導入し(図2)、同時計測による Coincidence からの信号をこのモジュールの Trigger として入力して事象を同期する。<sup>22</sup>Na 線源の測定における回路の一部を変更し(図2赤 Coincidence)、PMT2 が反応した事象をトリガーにしている。事象同期のためのタイミングはこの Coincidence からの論理信号を遅延処理する。具体的には EASIROC module の Trigger Input に入力し、Analog Output からのアナログ信号をオシロスコープで確認してピークホールドのタイミングが一致するような遅延時間の微調整をするのだ。

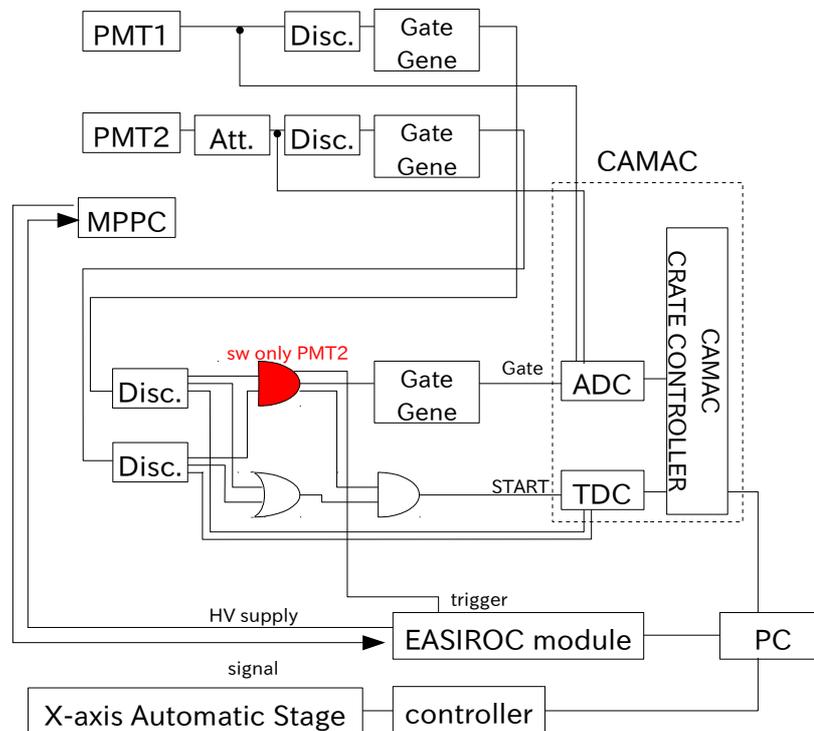


図2. LED 測定のための読み出し回路。PMT は CAMAC により ADC と TDC を、MPPC は EASIROC モジュールにより、そして x 軸自動ステージを PC で同時に制御している。

## 2. 解析結果

PMT 2 が光を検出した時をトリガーにし、X 軸自動ステージを 1 mm ステップ動かして入射位置を変えながらデータを取得した。入射位置+1 mm のときの全 50 ch の ADC vs. チャンネル番号の2次元分布を 図3 に示す。32, 33 ch の平均 ADC 値が高く、他にも 40~50 ch の ADC もざわついている。これは MPPC 個々の雑音頻度が異なるため、しきい値を個別に設定する必要がある。

それぞれのノイズ比が 1% 以下になるしきい値をチャンネル毎に 0.5, 1.5, 2.5, ... と設定した。一律しきい値を 1.5 にした場合のチャンネルごとの検出イベント数分布を 図 4(a) に示し、個別にしきい値を設定した場合を 図 4(b) に示す。比較すると、40~50 ch のノイズが消え、32~34 のピークが明らかにされた。

受光した位置の再構成は以下の式で与えられる:

$$X = \frac{1}{Q} \sum_i x_i N_i, Q = \sum_i N_i$$

ここで、 $x_i$  は  $i$  番目の MPPC が接続されているファイバーの  $x$  座標、 $N_i$  は  $i$  番目の MPPC の読みだした光電子数を表す。再構成位置の分布を 図 5 に示す。

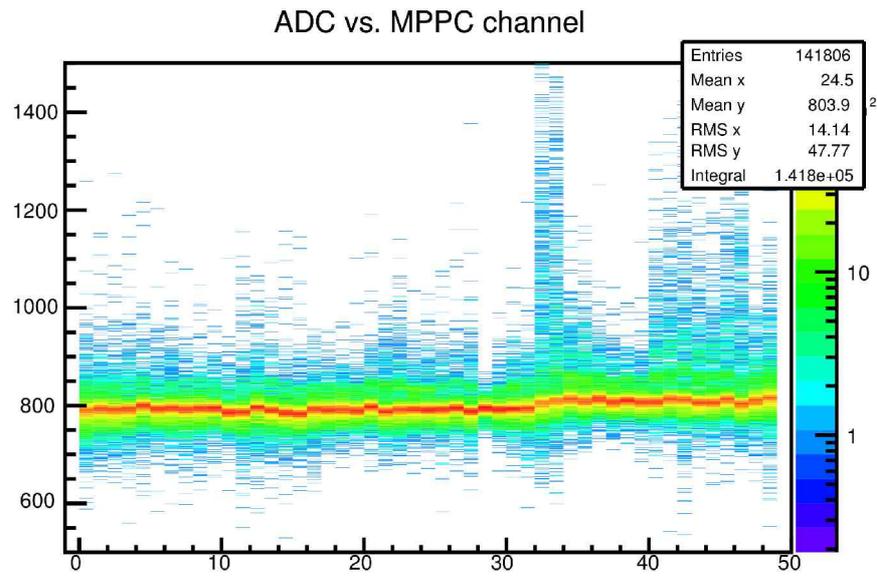


図3. MPPC チャンネル番号と ADC の2次元分布:LED 光源から入射位置は+ 1.0 mm である。

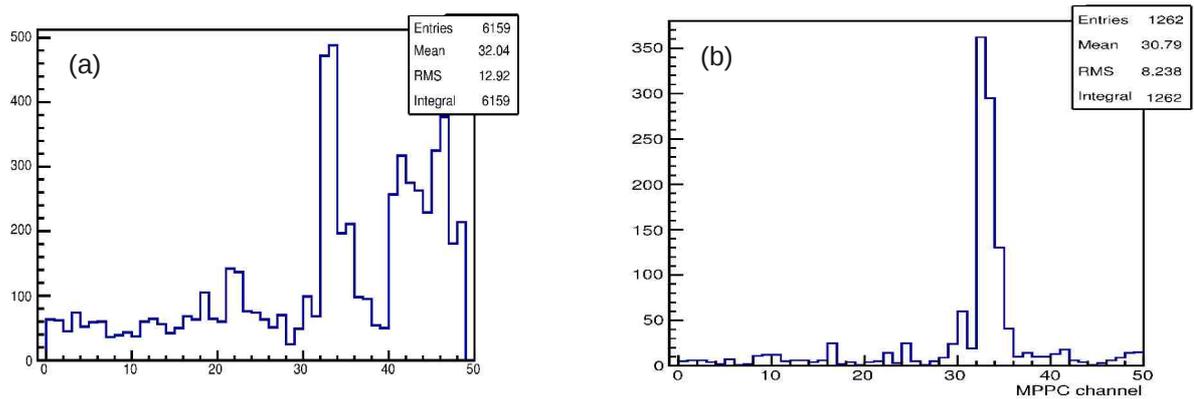


図 4. MPPC チャンネルにおける検出数分布:(a)一律しきい値 1.5 に設定、(b)個別にしきい値設定

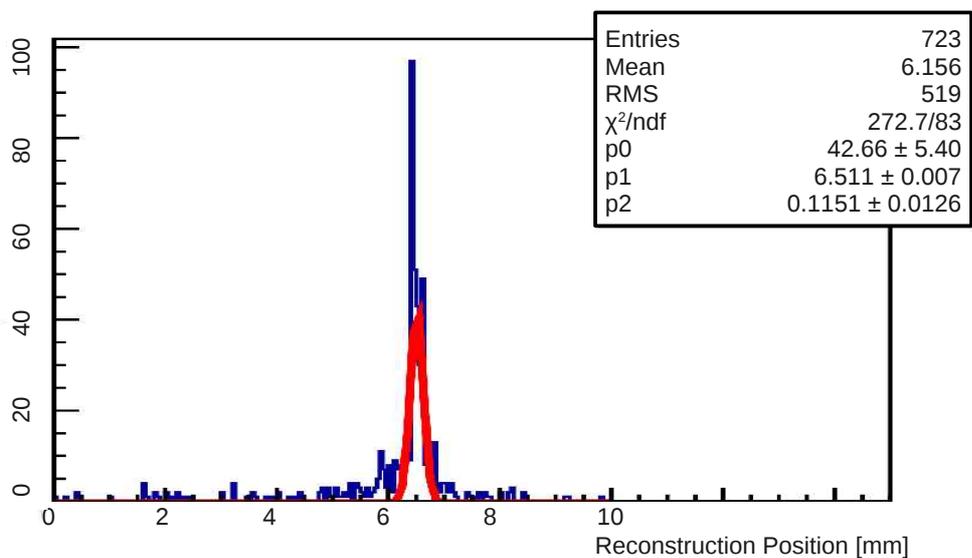


図 5. LED 光源位置の再構成分布

入射位置と再構成位置の関係を図6(a)に示す。これは入射位置ごとの測定イベント数が異なるためピークの高さが入射位置に依存しないように、規格化している。具体的には、縦一列のイベント数を積分すると1になるようにしている。図6(a)の関係では入射位置と再構成位置に比例関係が確認できる。入射位置と再構成位置の差(比例している直線に沿って射影するのと同義)をとった分布を図6(b)に示す。多重ガウス分布でフィットして細いピークから分解能はFWHM 0.8 mm が得られた。

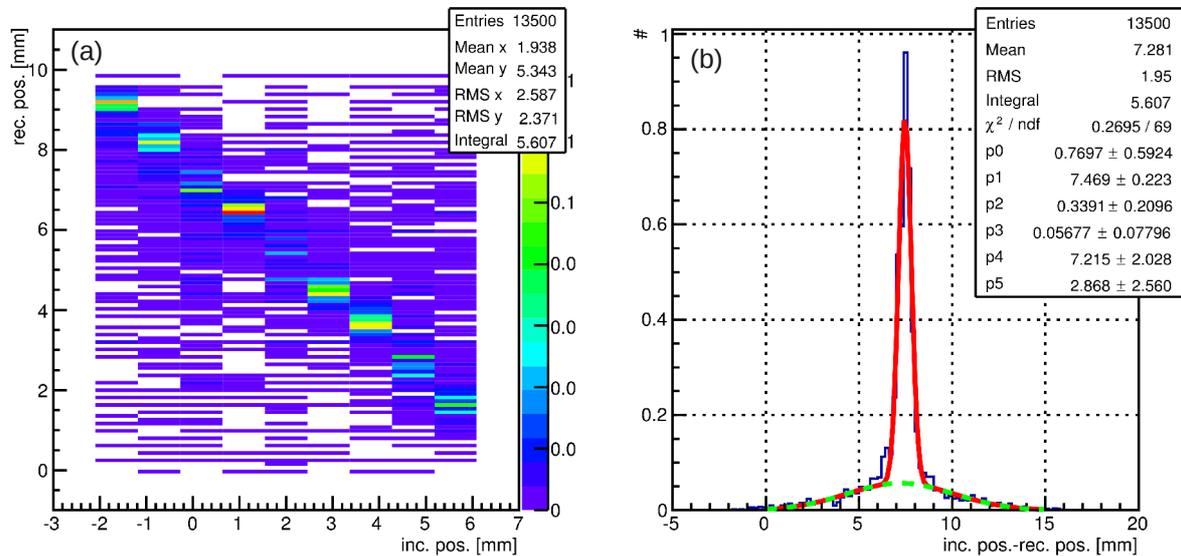


図6. 入射位置と再構成位置の関係(a)、入射位置と再構成位置の差の分布: 赤実線は多重ガウス分布のフィッティング、緑破線はノイズに当たる太いガウス分布(b)。

### 3. 結論

LED 光源による PMT と MPPC のタイミング調整を行った。個々の MPPC のしきい値を設定することで LED 光源の入射位置において十分な応答が得られた。0.5 mm のコリメータで絞られた光源を 1 mm ステップで移動させたとき FWHM 0.8 mm の分解能が得られた。波長変換ファイバーには正常に MPPC が接続され、読出しが機能していることが確認できた。

### 4. 考察

LED で 0.5 mm に絞っているが他のチャンネルも反応しているのは、MPPC のノイズだけで説明はできない。LED からの光がスリッドを通過しファイバーを透過し結晶で反射して再吸収された場合、結晶の厚さに依存して数 mm 程度は広がるはずである。もっと言えば、鉛の壁によって反射していけば、その広がりは一層大きくなる。

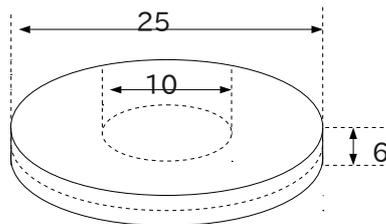
懸念されることは、GAGG 結晶からの光を再現したわけではないことで、実際の光量分布での応答は本当に十分なのだろうか。LED の発光パルスが GAGG に再現していないというのは、本来は PMT は GAGG から直接読み出され、WLSF もそうだ。しかし、今回は PMT は WLSF と GAGG を透過した光で、MPPC は WLSF に直接当たっている。この状況に置いて ADC 分布が一致する光量にすると、WLSF に入射する光量を少なく見積もってしまう。つまり大量の光を当てていることを意味する。

## 5. 付録

使用した結晶

	size [mm]	polish
GAGG	10x10x2	機械研磨(2面)
	10x10x1	機械研磨(2面)
	10x10x5	機械研磨(2面)
GSO	6x6x15	機械研磨(1面)

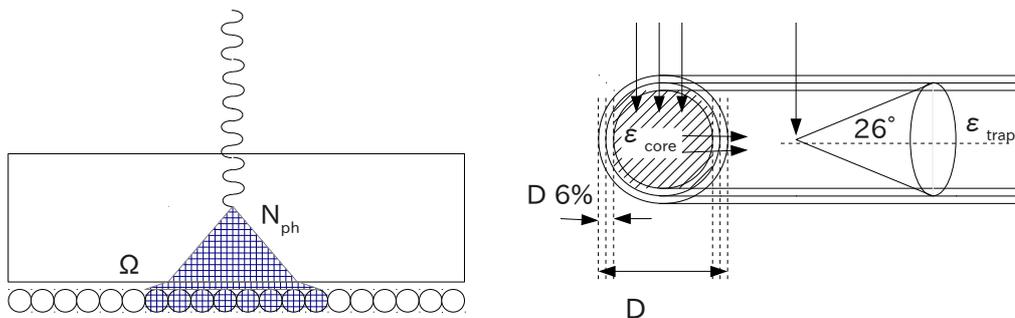
<sup>22</sup>Na 線源



光電子増倍管

	型番	増幅率@1200V	感度波長[nm]	最大量子効率
PMT1	R9880U-210: BAC7472	$(1.93 \pm 0.02) \times 10^7$	350 - 550	40%(370 nm)
PMT2	R9880U-20: BCA9345	$(3.41 \pm 0.04) \times 10^7$	400 - 700	20%(500 nm)
PMT3	R9880U-20: BCA6347	$(3.55 \pm 0.01) \times 10^7$	400 - 700	20%(500 nm)

波長変換ファイバー(R-3)の収集模型



$$N_{p.e.} = \int \frac{N_{ph}(\lambda)}{MeV} \Omega(\lambda) \epsilon_{core}(\lambda) \epsilon_{trap}(\lambda) \epsilon_{PMT}(\lambda) d\lambda$$

$\epsilon_{trap} = 0.054$   
 $\epsilon_{core} = 0.63 \pm 0.04$

GAGG 結晶の厚さと結晶からファイバーに入射する光の広がり(直径 2R)

Unit [mm]

$d_{GAGG}$	$2R_{max}$	$2R_{mean}$
2.0	2.48	1.24
1.0	1.24	0.62
0.5	0.62	0.31
0.2	0.25	0.12
0.1	0.12	0.06

Refractive index  
 GAGG  $n \sim 1.9$   
 Air  $n \sim 1.0003$