

# PIKACHU実験へのMPPC導入 ～光読み出し回路の作製・評価～

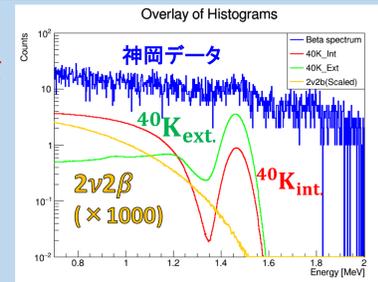
筑波大学 石上元直 飯田崇史 石舘正太郎 大森匠 for PIKACHU collaboration



## I. PIKACHU実験について

- ・ $^{160}\text{Gd}$ を用いた2重 $\beta$ 崩壊探索実験
- ・現在ウクライナでの先行研究[1]が世界最高感度
- U/Th系列の $\alpha$ 線バックグラウンド(BG)による感度悪化
- ・感度の1桁改善によって $2\nu 2\beta$ 発見, 半減期の理論検証を目指している

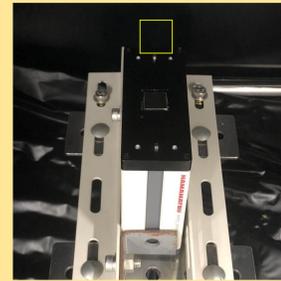
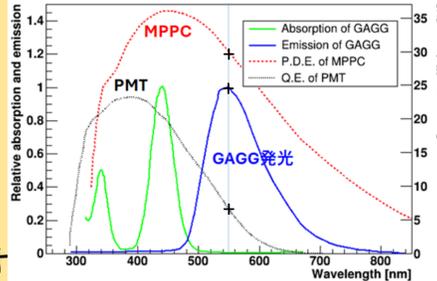
- ・PIKACHU実験では結晶内部 $^{40}\text{K}$ 事象が
- $2\nu 2\beta$ 探索の主要バックグラウンド[2]
- ・MPPC導入でPMT起源の $^{40}\text{K}_{\text{ext.}}$ の低減を狙う



## II. Multi-Pixel Photon Counter(MPPC)

- ・現在使用している光検出器は光電子増倍管(PMT)
- ・MPPCはPMTと比較してGAGG( $\text{Ce: Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$ )発光波長での量子効率に優れる

波形弁別(PSD)性能, エネルギー分解能, 閾値をMPPCと低放射能PMTと比較, PIKACHU実験への拡張を目指す



使用したMPPCモジュール (C13369-3050EA-04)

黄枠が受光面  
受光面積12mm × 12mm  
(1ch-3mm × 3mm 計16ch)  
ピクセルピッチ50  $\mu\text{m}$

## III. 性能比較

### エネルギー分解能

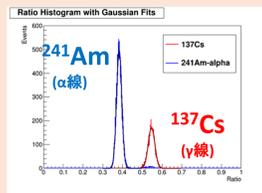
検出器	エネルギー分解能			
	60 keV	356 keV	511 keV	662 keV
MPPC	13.3%	4.3%	3.7%	3.1%
低放射能PMT	10.8%	3.8%	3.6%	3.2%

※エネルギー分解能は $\frac{\sigma}{\mu}$ で計算

- ・高エネルギー側では同程度
- ・低エネルギー側では悪化
- ダークカウントの可能性

### 波形弁別能(PSD)

- ・ $\alpha/\gamma$ 波形識別能力を調査
- ・波形情報からどれだけ $\alpha/\gamma$ を分離できるかFoM※を評価



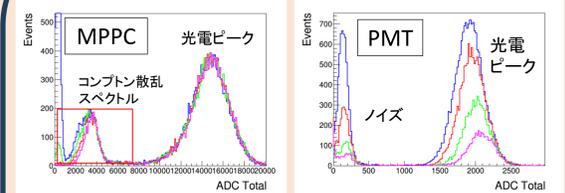
※FoMは2つのガウス関数がどれだけ離れているかの尺度

$$\text{FoM} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

検出器	FoM
MPPC	5.50
低放射能PMT	4.38

PSD性能向上!

### 閾値の評価



MPPC: コンプトン散乱確認  
→閾値 約10 keV

PMT: コンプトン散乱確認できず  
 $\gamma$ 線ピークがカット  
→閾値 約60 keV

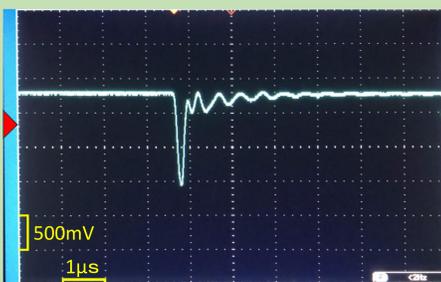
より低いエネルギー測定可能

## IV. 大型結晶読み出し回路の作製について

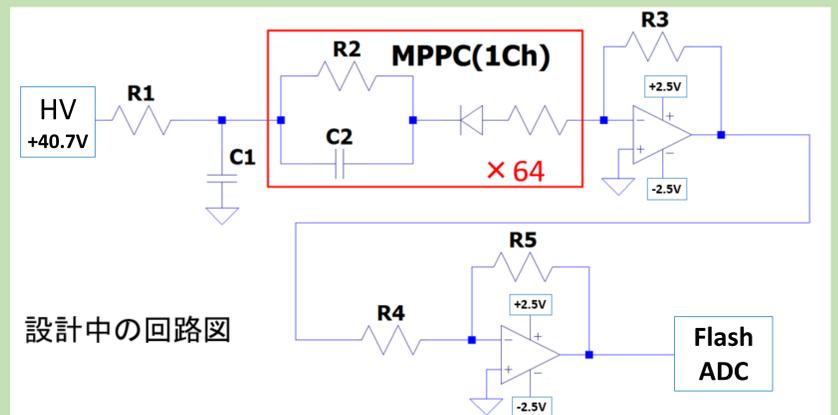
- ・比較に使用したMPPCでは約900 keVでサチュレーションが発生
- ・現在測定で使用している結晶は大型, 大光量
- PIKACHU実験で注目したい数MeV領域を観測するため, 受光面積を増強した読み出し回路を設計中

- ・小規模, 簡易回路構成でのテスト運用では
  - ・ベースライン不安定
  - ・シグナルの発振
 を確認

- ・波形情報取得, 解析のためにノイズ除去, 信号安定化が求められる



テスト運用時の信号の様子



設計中の回路図



使用予定のMPPC (S14161-6050HS-04)  
受光面積24mm × 24mm, 50  $\mu\text{m}$ ピッチ, 16ch  
4枚使用して総受光面積48 × 48mm, 64chで運用予定

## VI. まとめ・今後の展望

- ・PIKACHU実験の重要なバックグラウンドである $^{40}\text{K}$ 低減, 信号量向上の試みとして, MPPC導入を試みる
- ・MPPCについて, エネルギー分解能, PSD性能, 閾値の観点で性能を評価し, 現在使用している低放射能PMTと比較

- ・PSD性能はMPPCが優れる
- ・エネルギー分解能は低エネルギー側で悪化した但那れ以降は同程度
- ・PMTで測定できない約10 keVの信号を測定可能

- ・PIKACHU実験のエネルギー領域への導入のため, 受光面積を大きく増やした光読み出し回路を設計中
- ・小規模(面積4倍)の回路を作成しテスト運用を行った結果, ベースライン不安定, シグナル発振が確認されたため, 安定化を進める

## 主要参考文献

- [1] F.A.Danevich et al. Nucl. Phys. A, Vol. 694, 2001
- [2] T. Omori et al., Prog. Theor. Exp. Phys., Vol. 2024, Iss. 3, (2024) 033D01