

# WIMP探索のためのTSV-MPPC 大光量液体アルゴン検出器の構築

---

新学術領域「地下宇宙」合同研究会

早稲田大学 寄田研究室

青山 一天

## □ WIMP直接探索実験

- Sig : WIMP-核子弾性散乱
- BG : ER event, 中性子, ...etc

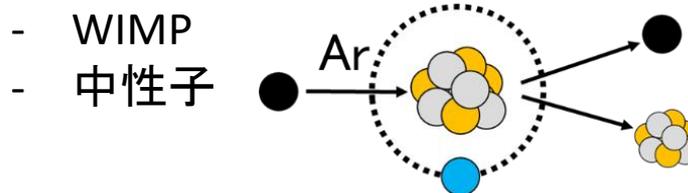
➡ NR/ERの分離がWIMP探索のカギ

## □ 液体Ar光検出器

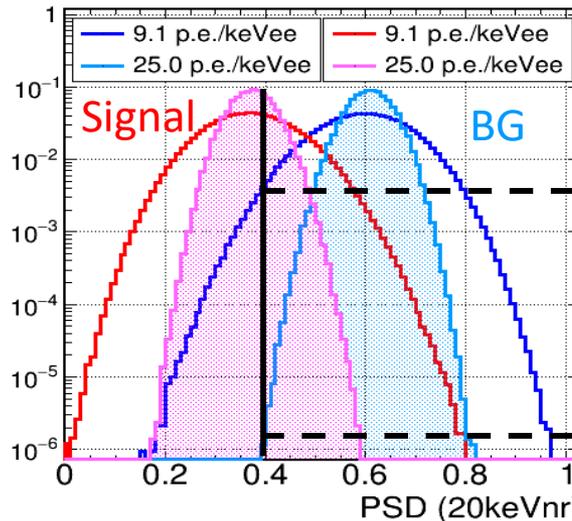
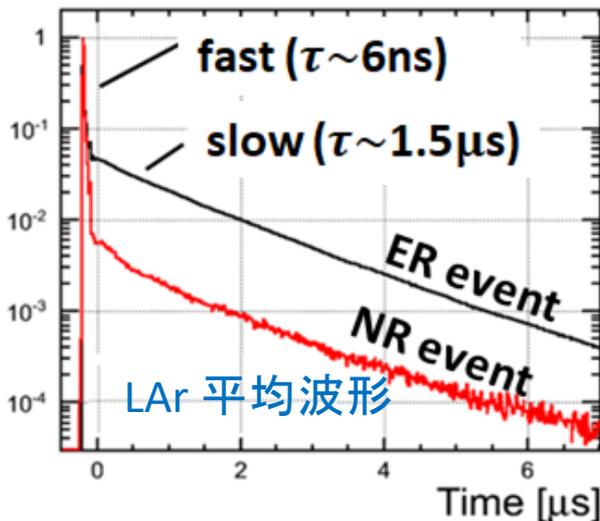
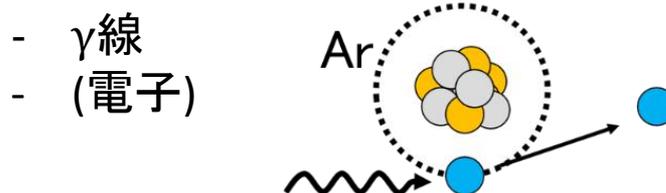
- 標的物質 : 液体Ar (LAr, 87K)
- 波形弁別(PSD)によるER/NR分離
  - 検出光量向上により分離能力向上

世界最大光量 = 9.1 p.e./keVee (DarkSide-10, 2012年)

- Nuclear Recoil (NR)



- Electron Recoil (ER)



PSD ER eventの染み出し  
光量比較(toyMC)

9.1 p.e./keVee :  $O(10^{-3})$

25 p.e./keVee :  $O(< 10^{-6})$

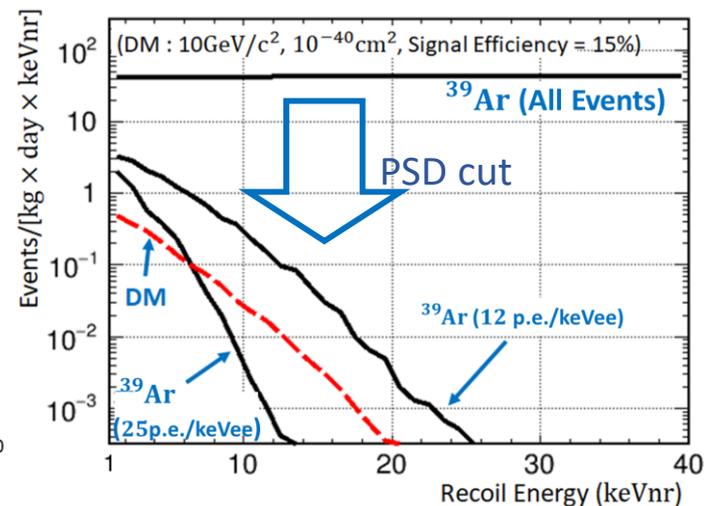
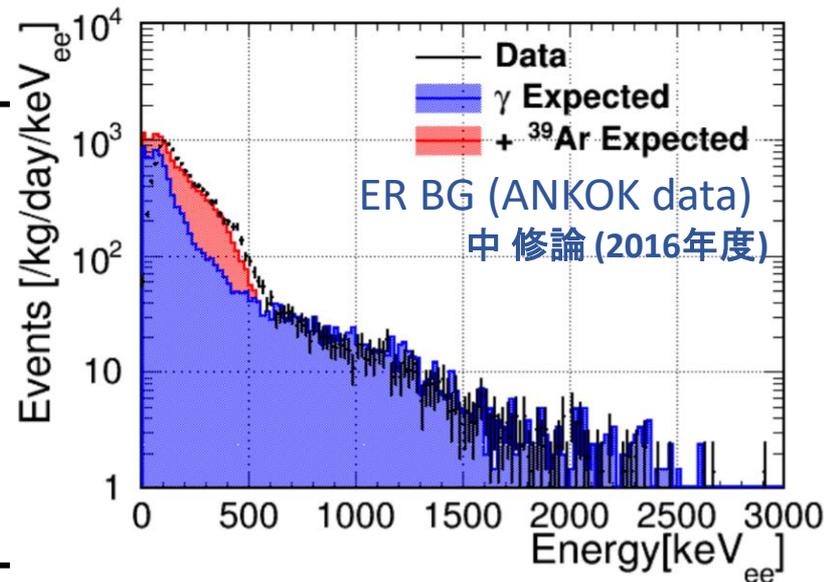
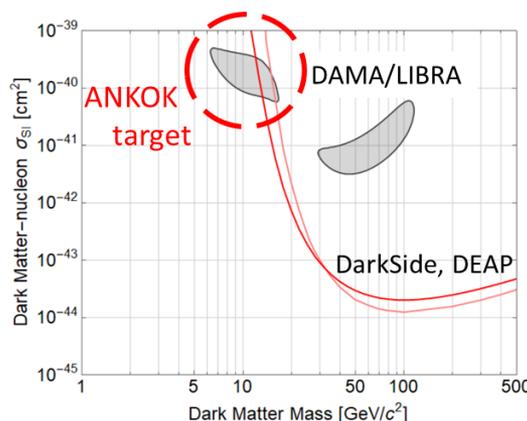
## □ 主な背景事象

- $^{39}\text{Ar}$  ( $\beta$ 線源, 1Bq/kg)
  - LAr中に含まれる、内部ERバックグラウンド

➡ PSDにより解析的に分離、除去

## □ 必要な分離能力

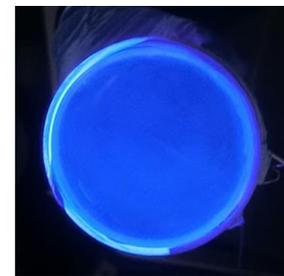
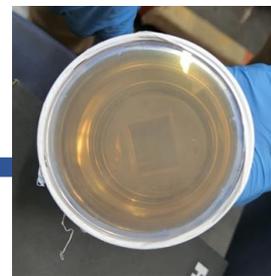
- $M_{\text{WIMP}} \sim 10 \text{ GeV}/c^2$ ,  $\sigma_{\text{WIMP}} \sim 10^{-40} \text{ cm}^2$ 
  - 必要なPSD分離能力
    - $> 1 \times 10^3$  @10keVnr
    - $> 1 \times 10^5$  @20keVnr
- 検出光量とPSD能力
  - 25 p.e./keVee で WIMP event以下に



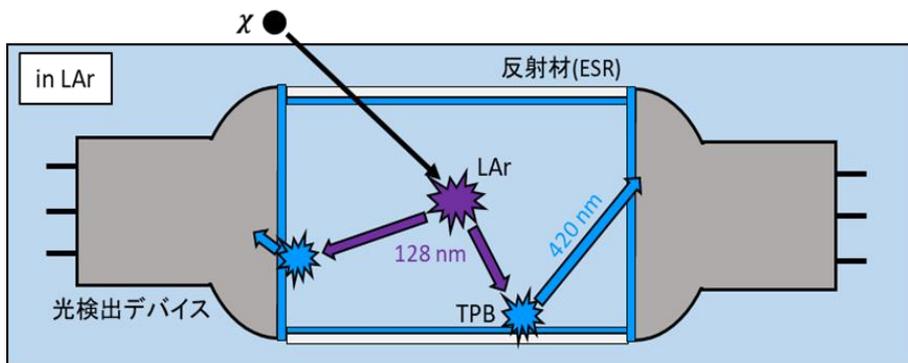
➡ 光量増加により0 ER BGを実現可能

$^{39}\text{Ar}$  event数 (toyMC)

# LAr検出器の光収集効率



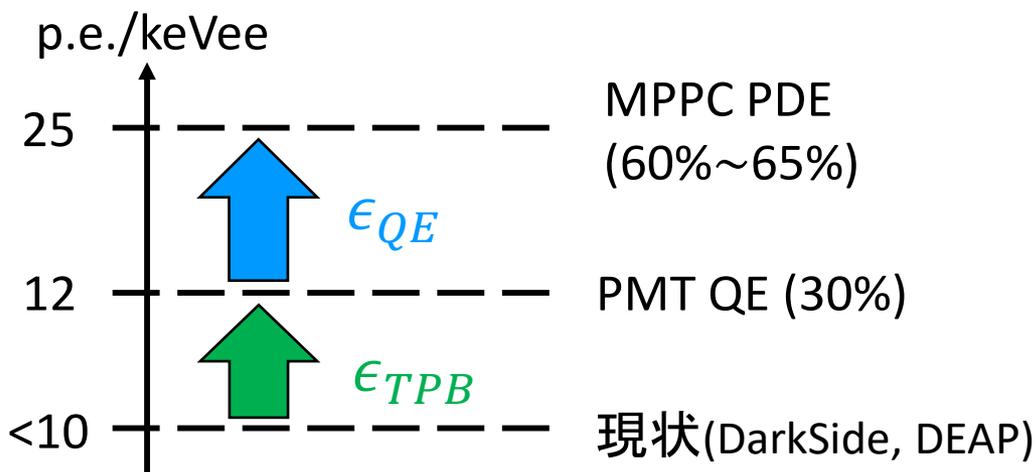
## □ LAr光収集効率



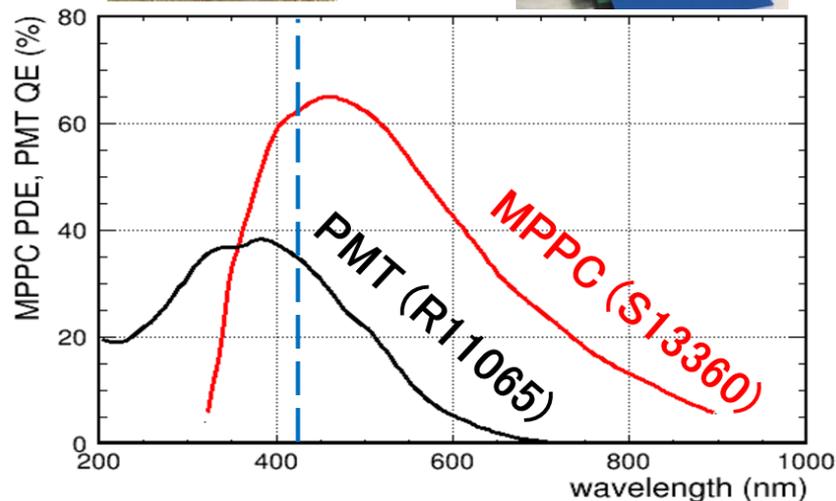
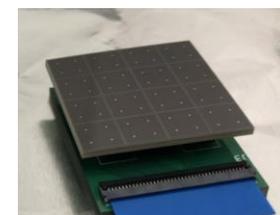
$$LY = N_{LAr} \times A_{VUV} \epsilon_{TPB} \times A_{VL} \epsilon_{QE}$$

- $N_{LAr}$  : LAr発光量 = 40 photon/keVee
- $A_{**}$  : アクセプタンス (~100%)
- $\epsilon_{TPB}$  : TPBの波長変換効率
- $\epsilon_{QE}$  : 光検出デバイス感度

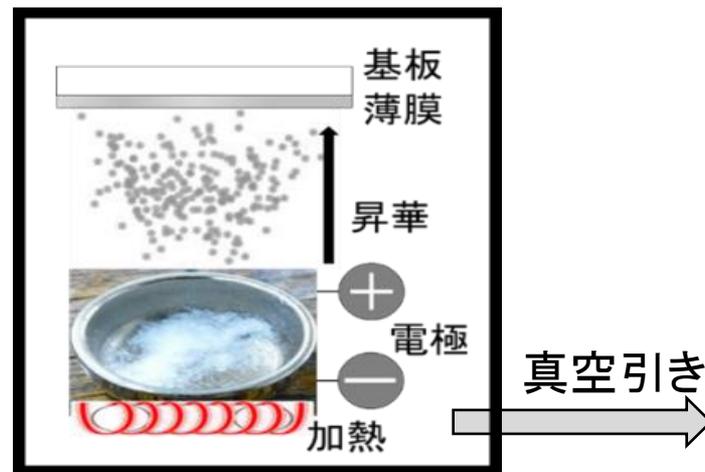
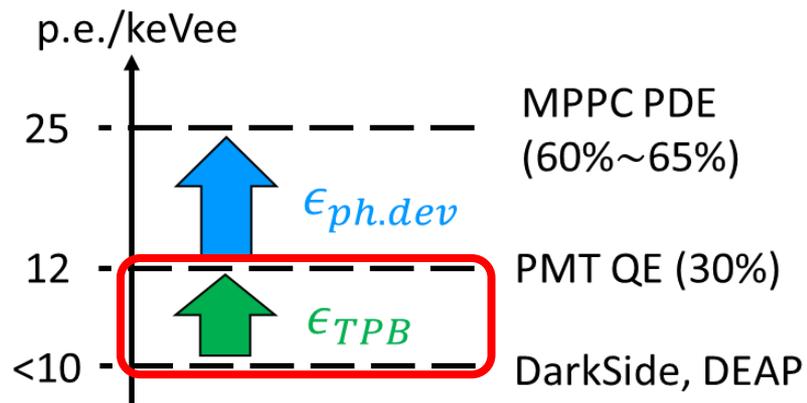
## □ LAr検出器の光量限界



25 p.e./keVeeでER BG free  
MPPC PDE限界の到達で25 p.e./keVee



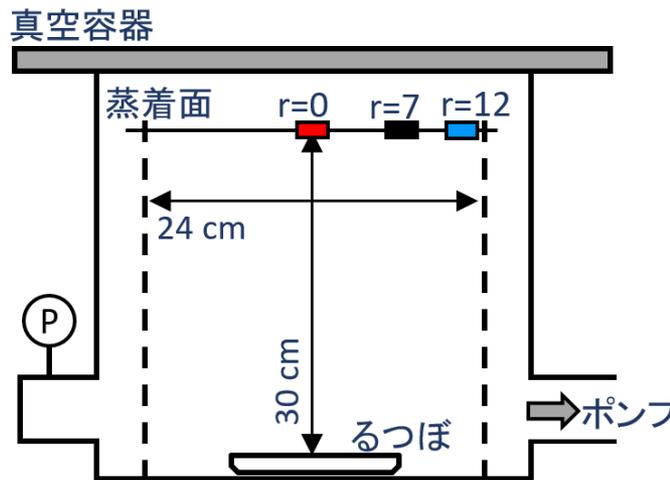
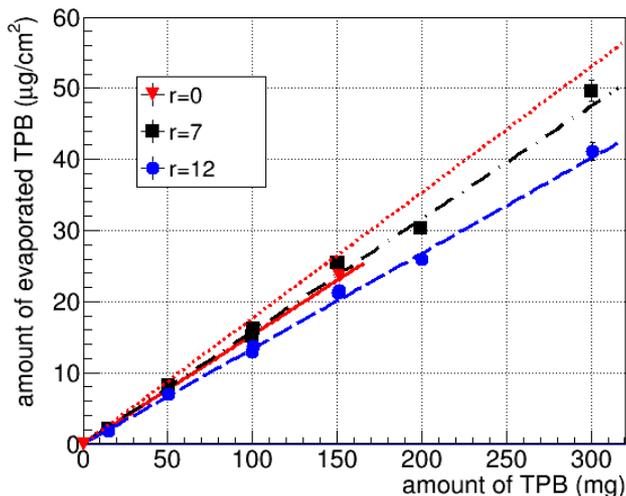
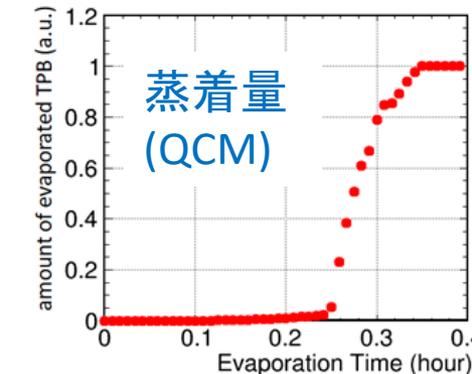
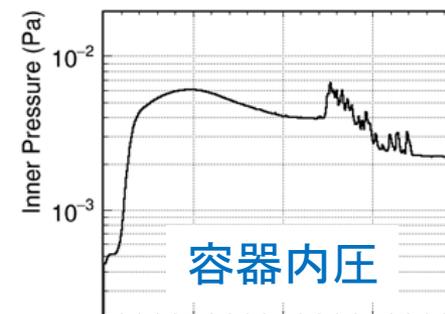
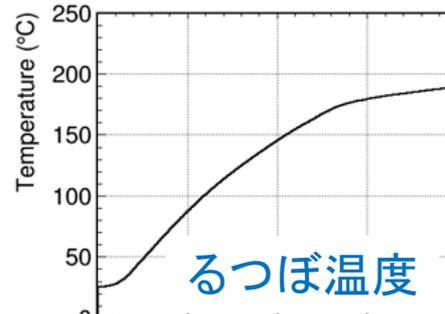
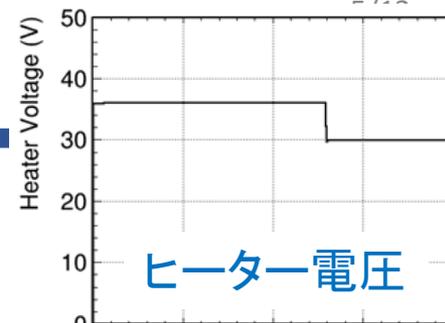
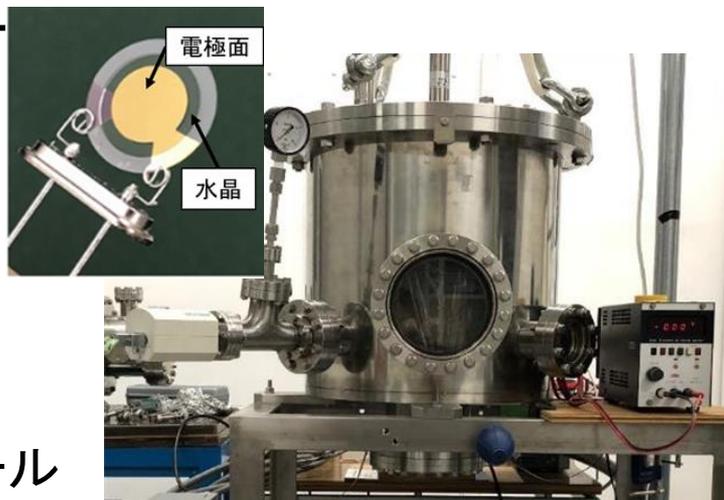
# Topic1. TPB蒸着技術の最適化



# TPB蒸着システム

## 真空蒸着装置

- $\phi 420$  mm,  $h 400$  mm
- 蒸着面の高さ  $\sim 30$  cm
- QCMによる蒸着量測定
- 真空度:  $\sim 5 \times 10^{-3}$  Pa  
→ 平均自由行程  $\sim 1$  m
- ヒーター電圧のみによる蒸着プロセスのコントロール



➡ TPB蒸着量の定量化と、再現性の保証

# TPB薄膜の光学特性評価

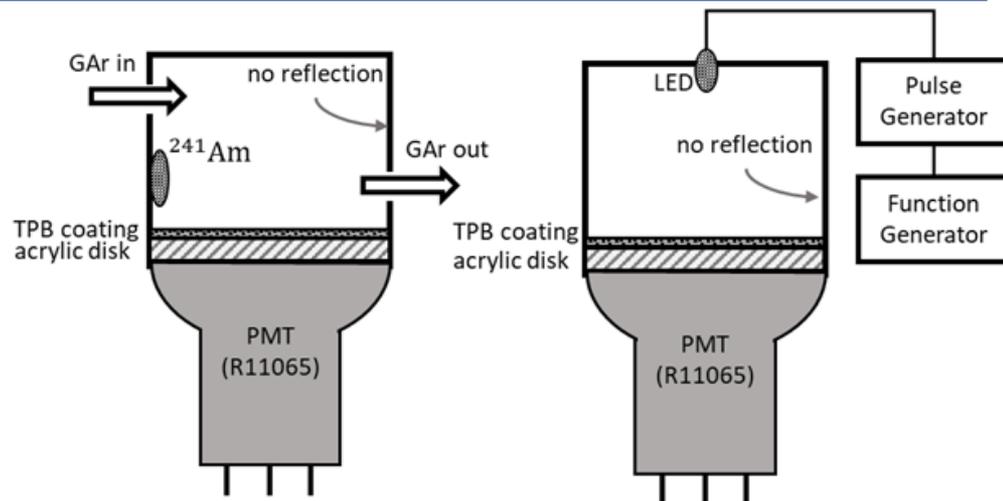
波長変換効率  
可視光透過率

6/12

新学術合同研究会

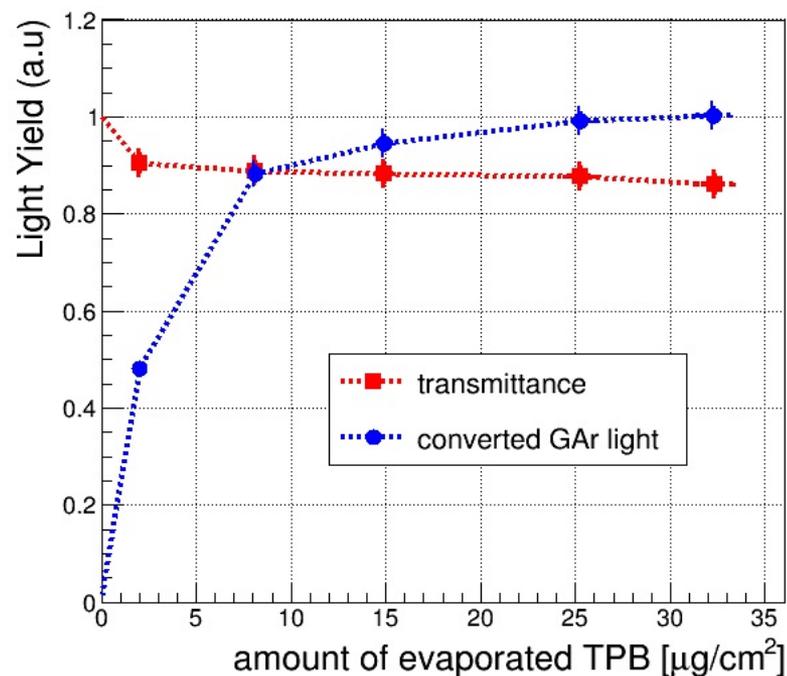
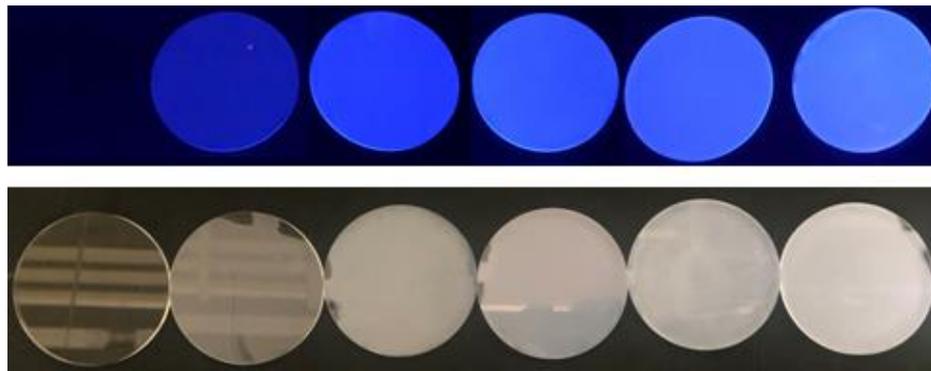
## 測定セットアップ

- 光源
  - 波長変換効率 : GAr +  $^{241}\text{Am}$
  - 可視光透過率 : blue LED
- 光検出 : PMT



## 測定結果

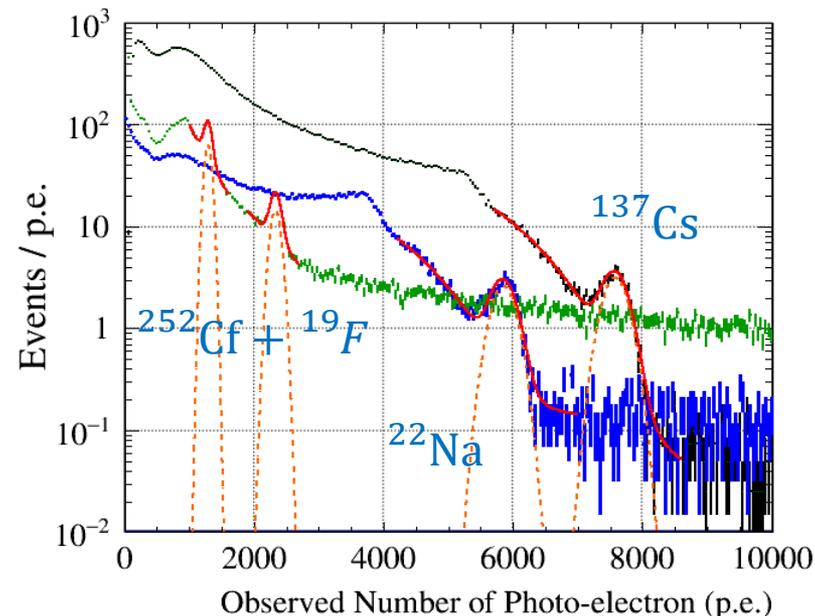
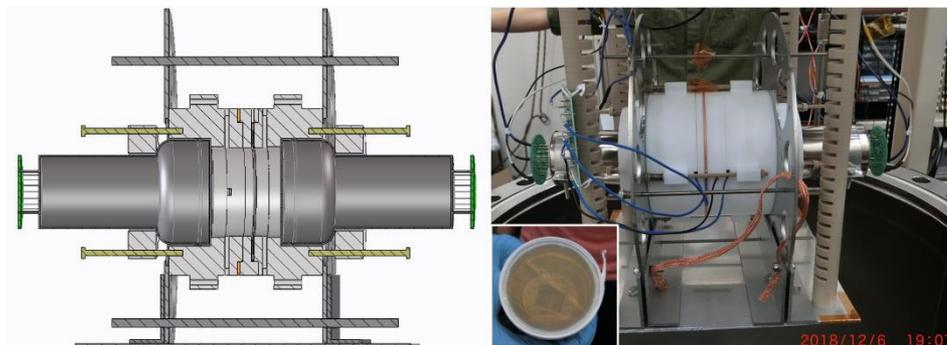
- 波長変換効率 :  $25 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  以上で飽和
- 可視光透過率 : TPB増加  $\rightarrow$  低下



$\rightarrow$   $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  付近で蒸着することを決定

## □ LAr検出器

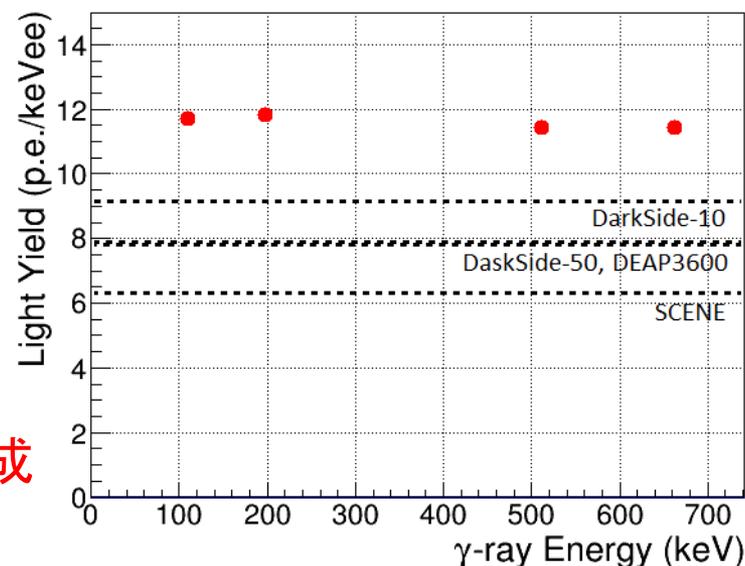
- 有感領域 :  $\phi 6.4$  cm ,  $h 5$  cm
- 光検出デバイス : PMT  $\rightarrow$  QE $\sim 30\%$   
(HAMAMATSU, R11065)
- TPB薄膜 : PMT $\sim 30$   $\mu\text{g}/\text{cm}^2$   
ESR  $\sim 40$   $\mu\text{g}/\text{cm}^2$



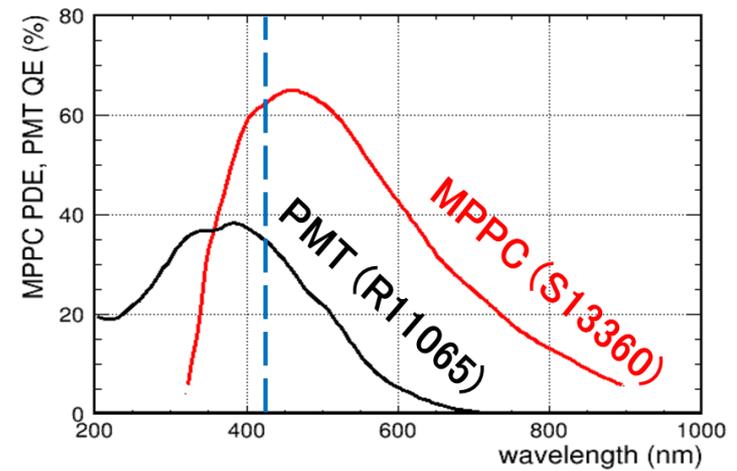
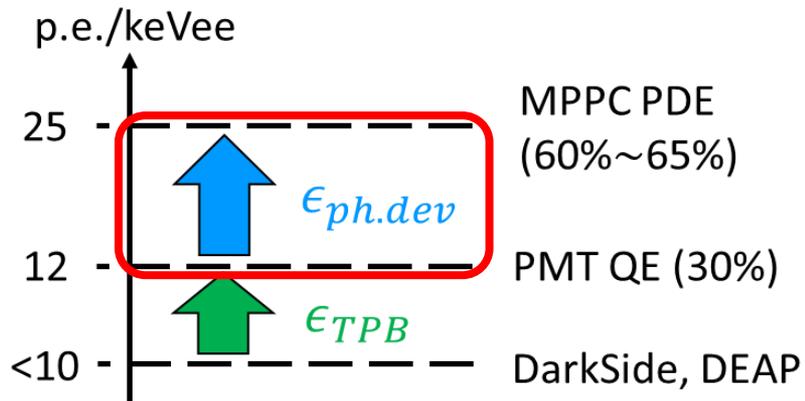
## □ $\gamma$ 線源による光量測定

- $\gamma$ 線源 :  $^{137}\text{Cs}$  (662keV),  $^{22}\text{Na}$  (511keV)  
 $^{252}\text{Cf} + ^{19}\text{F}$  ( $n, n' \gamma$ ) (110, 197 keV)

**約11.5 p.e./keVeeの世界最大光量を達成**  
PMT QEによる収集光量限界

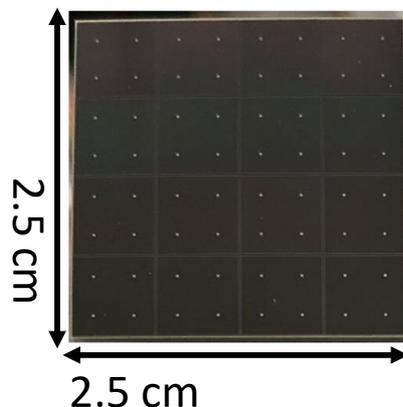


# Topic2. TSV-MPPC Arrayの導入



## □ TSV-MPPC Array (S13361-60\*\*AE-4) ※ \*\*にはピクセルサイズ(50Uと75U)

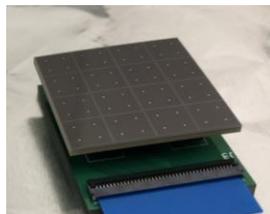
- Si 貫通電極  
→ 小デットスペース  
@筐体部分
- 4 × 4chのArrayタイプ



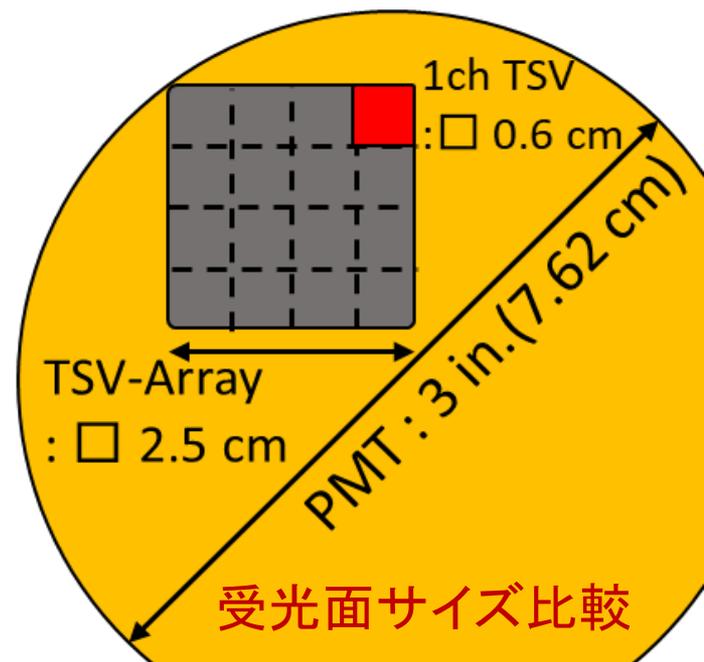
	PMT	TSV MPPC	
		50U	75U
$V_{bias}$	>1000 V	~50 V	~50 V
物質質量	大	小	小
時定数	数ns	~50 ns	~100 ns
検出効率	~30%	~55%	~65%

## □ MPPC導入への課題

- MPPC接続による信号まとめ読み出し手法の決定
- PSDのための波形情報取得
- 低温耐性 (浜ホト未保証)



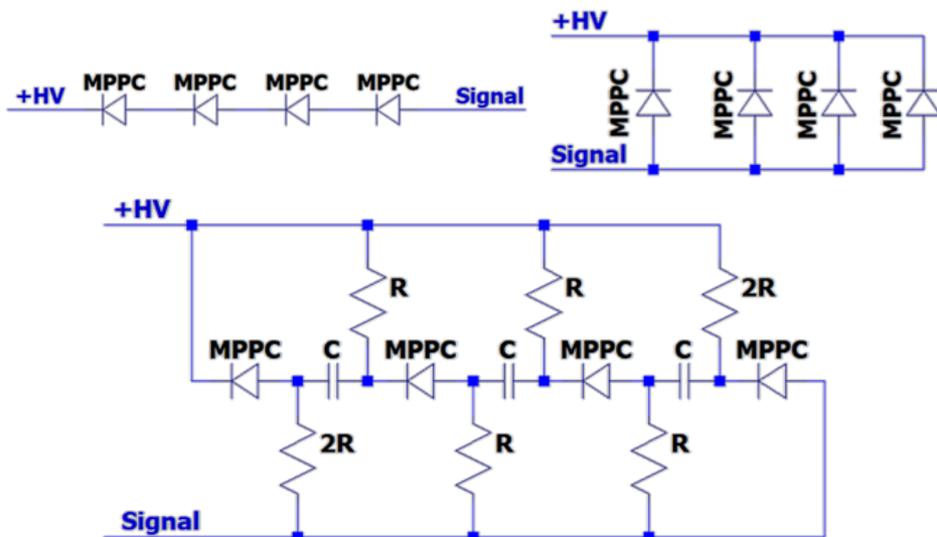
➡ 接続回路を実装した読み出し基板を製作



## □ MPPC接続回路

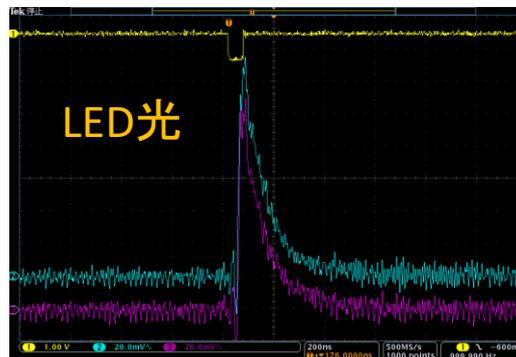
	$V_{OP}$	時定数	Gain
直列	×	○	×
並列	○	×	○
ハイブリット	○	○	×

➡ LAr光のPSDを悪化させないように、ハイブリット接続を採用

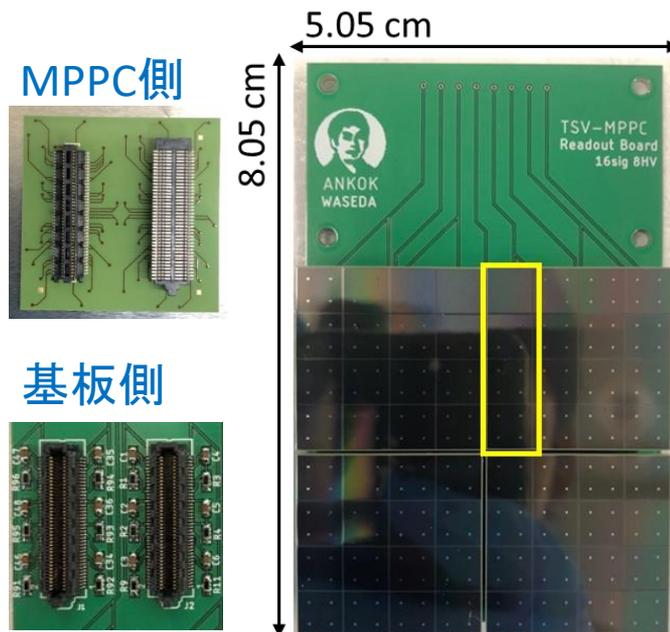


## □ TSV-MPPC Array 読出し基板

- 4 Array / 1 board
  - 4MPPC / 1signal線
  - 8MPPC / 1HV線
- 64ch MPPC
  - ➔ 16signal , 8HV



➡ ハイブリット接続回路の駆動を確認

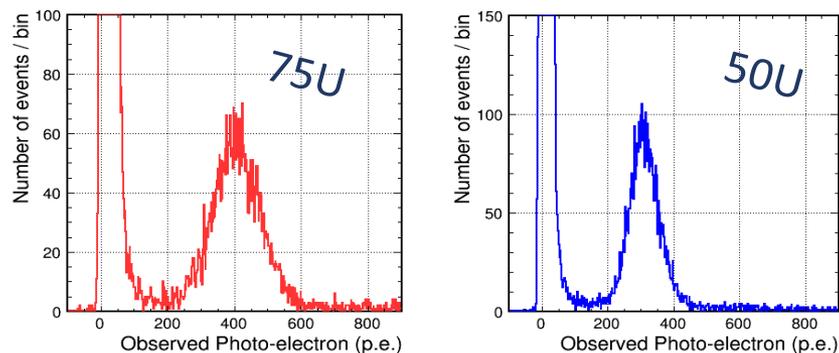


## □ MPPC LAr検出器

- 有感領域 :  $\square 5.05 \text{ cm}$  ,  $h 5.4 \text{ cm}$
- 光検出デバイス : TSV-MPPC Array  
( 75U and 50U )
- TPB薄膜 : MPPC  $\sim 30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$   
ESR  $\sim 40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
- $^{241}\text{Am}$ を設置 (59.5 keV  $\gamma$ 線)

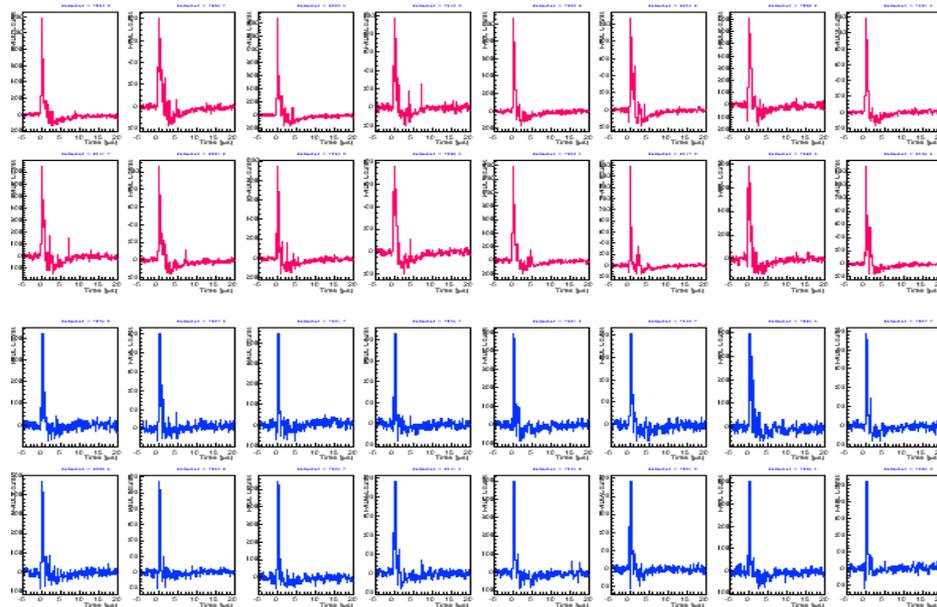
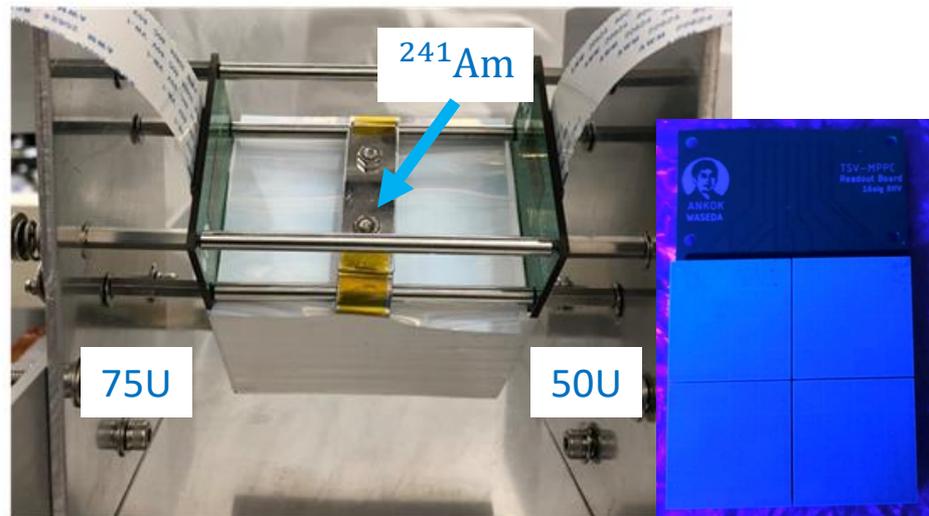
## □ $^{241}\text{Am}$ イベント (1月 Run)

- 全32チャンネルでLAr光を検出
- $^{241}\text{Am}$  59.5 keV  $\gamma$ 線ピークを確認



➡  $26.1 \pm 5.2 \text{ p.e./keVee}$   
(期待値 :  $23 \text{ p.e./keVee}$ )

## MPPC LAr検出器



## □ まとめ

- ANKOK実験はLArを用いたWIMP直接探索実験
- 検出光量向上による高感度化に主眼を置き、以下を行った
  - TPB蒸着技術の最適化
  - TSV-MPPC Arrayの導入
- TPB蒸着の最適化により $11.6 \pm 0.4$  p.e./keVeeの世界最大光量を達成
- TSV-MPPC ArrayのLAr環境下での駆動を確認  
→  $26.1 \pm 5.2$  p.e./keVee

## □ 今後の展望

- TSV-MPPC Arrayを用いたWIMP探索用の検出器を構築し、 $1 \text{ kg} \cdot 50 \text{ days}$ 以上の実験を行う。

