

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

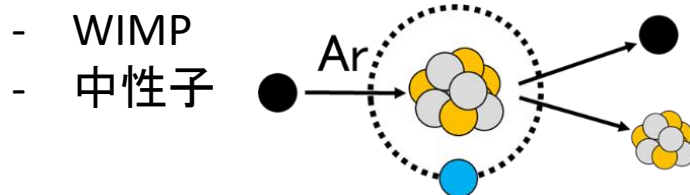
➡ NR/ERの分離がWIMP探索のカギ

□ 液体Ar光検出器

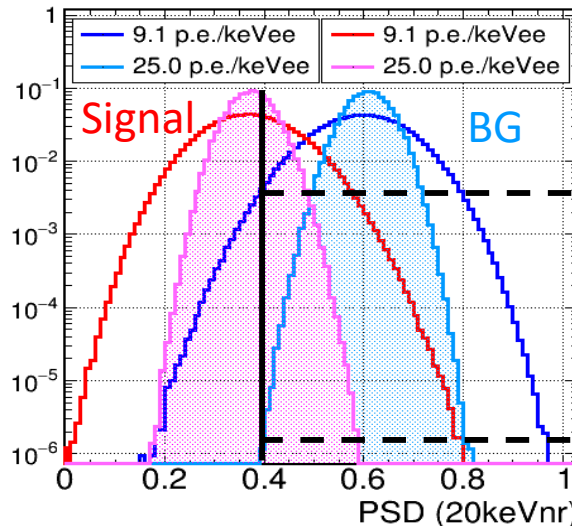
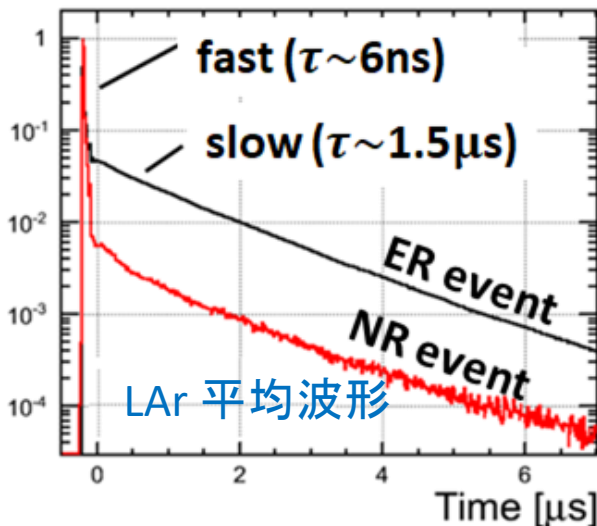
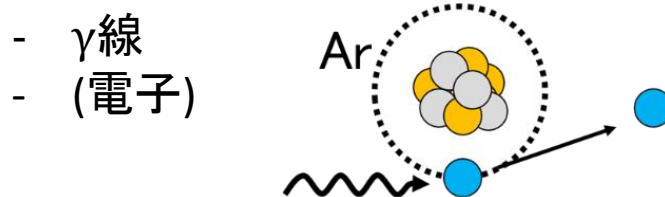
- 標的物質 : 液体Ar (LAr, 87K)
- 波形弁別(PSD)によるER/NR分離
 - 検出光量向上により分離能力向上

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 : $O(< 10^{-6})$

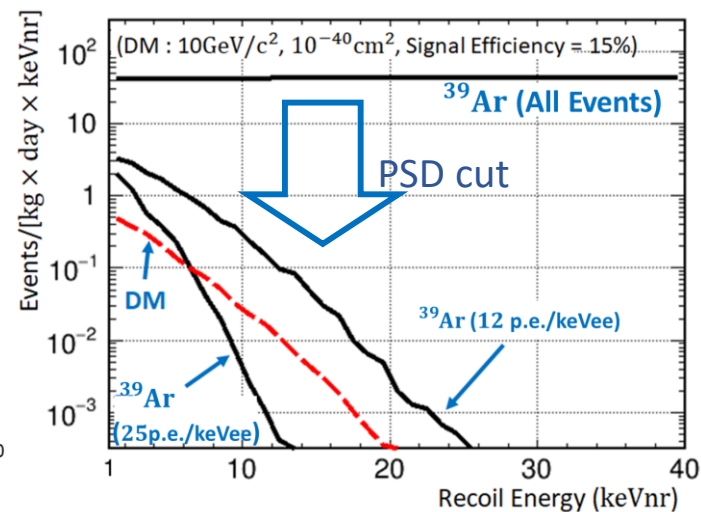
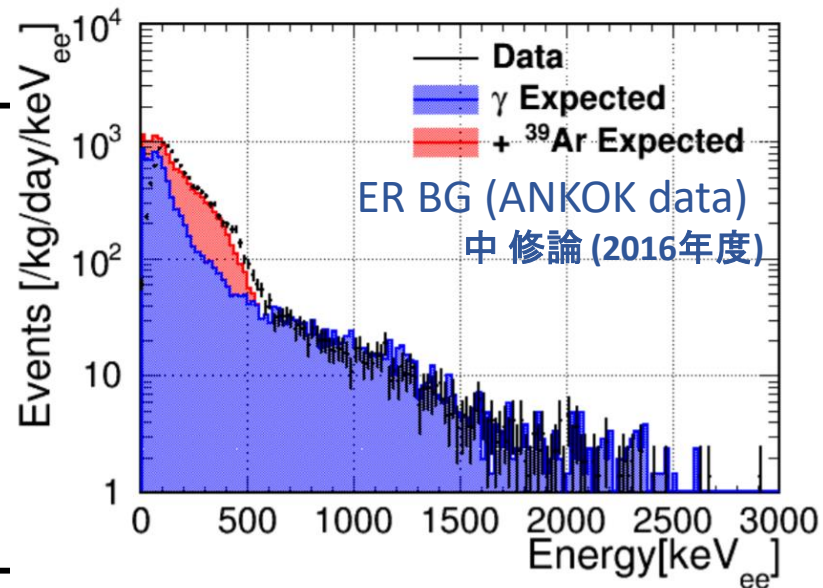
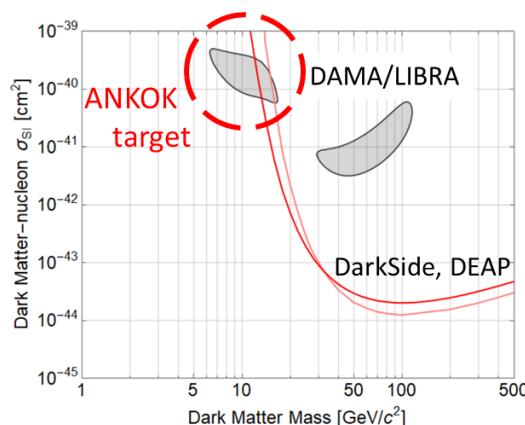
□ 主な背景事象

- ^{39}Ar (β 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

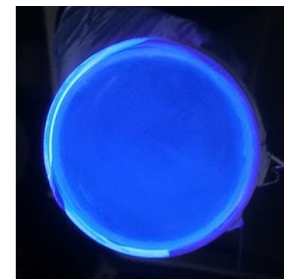
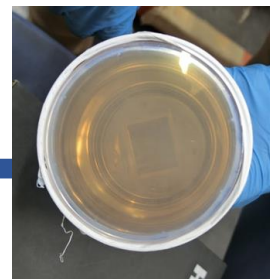
- $M_{\text{WIMP}} \sim 10 \text{ GeV}/c^2$, $\sigma_{\text{WIMP}} \sim 10^{-40} \text{ cm}^2$
 - 必要なPSD分離能力
 - $> 1 \times 10^3$ @10keVnr
 - $> 1 \times 10^5$ @20keVnr
- 検出光量とPSD能力
 - 25 p.e./keVee で WIMP event以下に



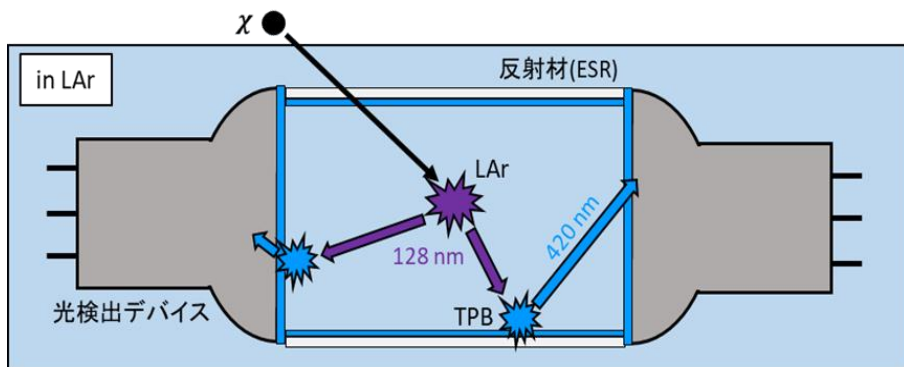
➡ 光量増加により0 ER BGを実現可能

^{39}Ar event数 (toyMC)

LAr検出器の光収集効率



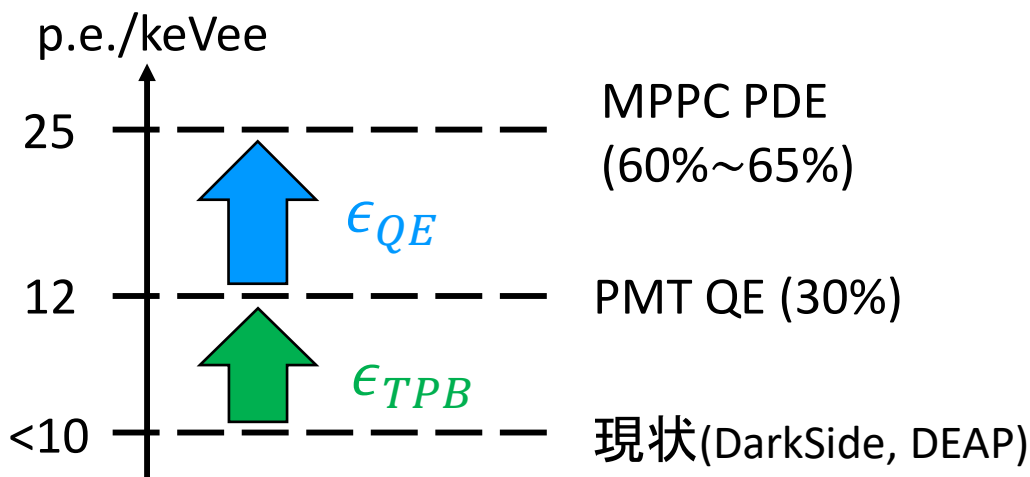
□ LAr光収集効率



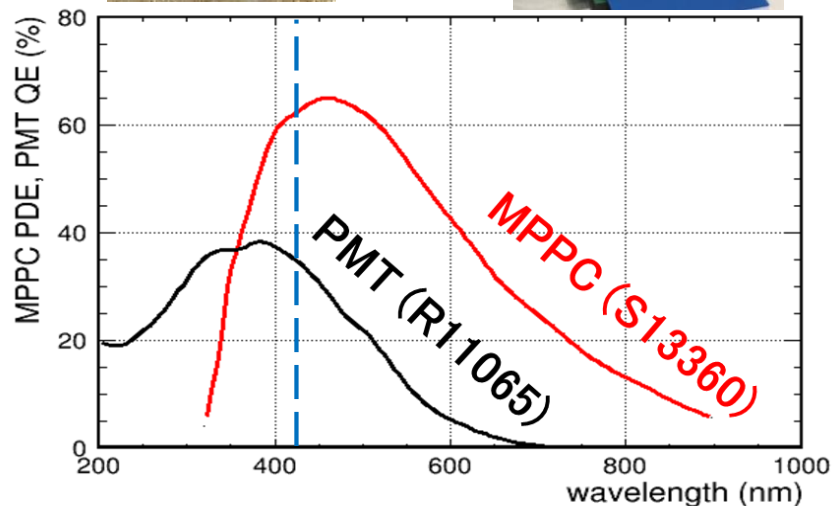
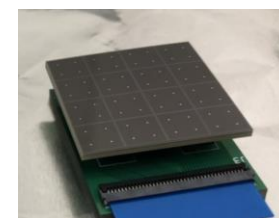
$$LY = N_{LAr} \times A_{VUV} \epsilon_{TPB} \times A_{VL} \epsilon_{QE}$$

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

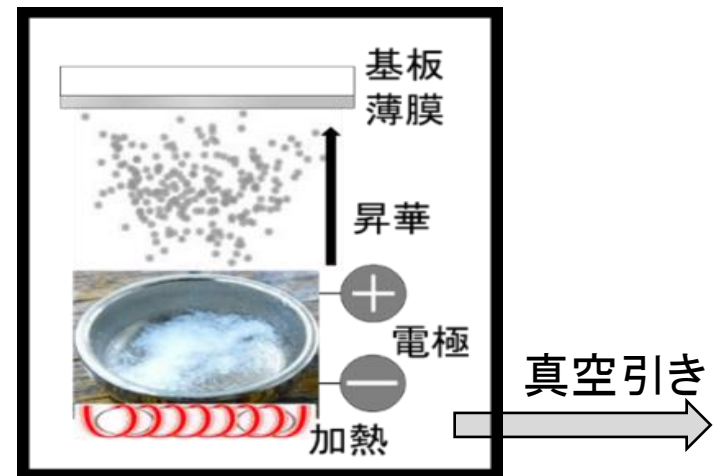
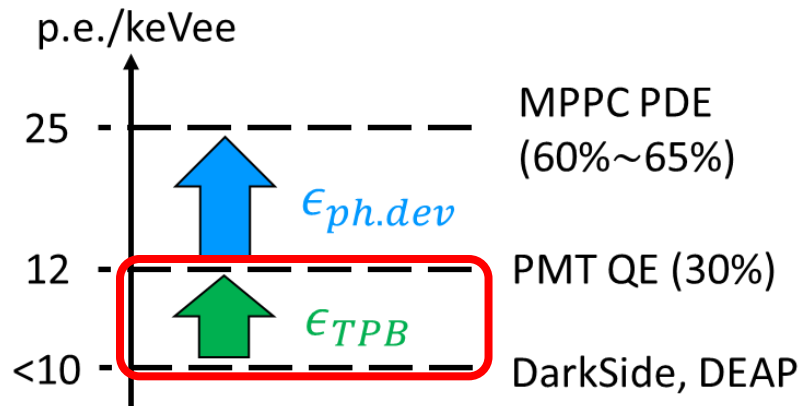
□ LAr検出器の光量限界



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



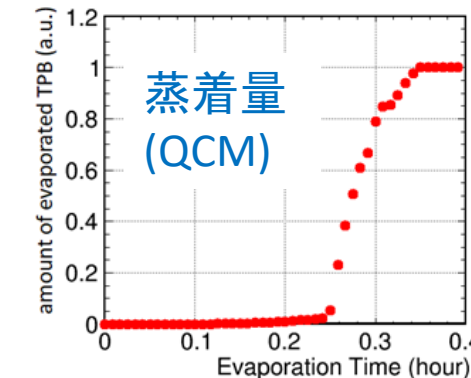
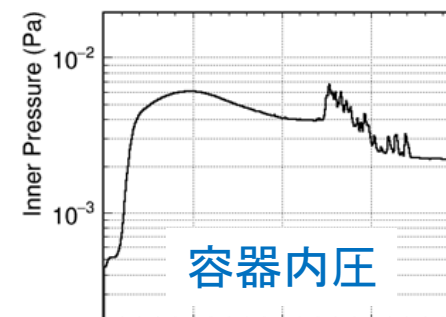
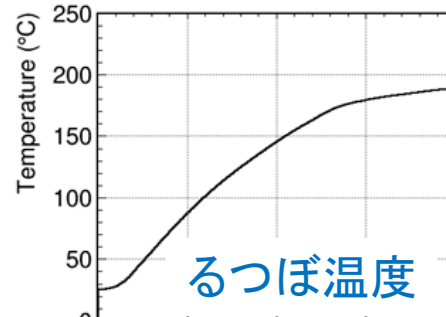
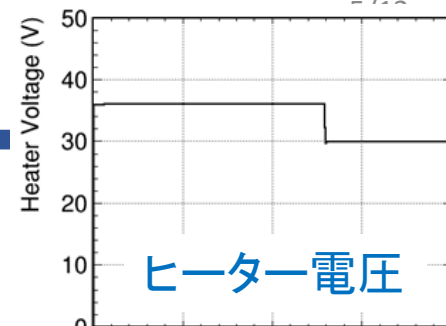
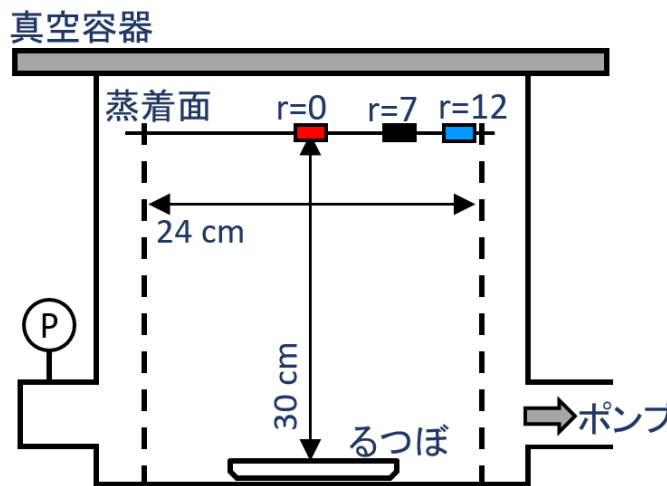
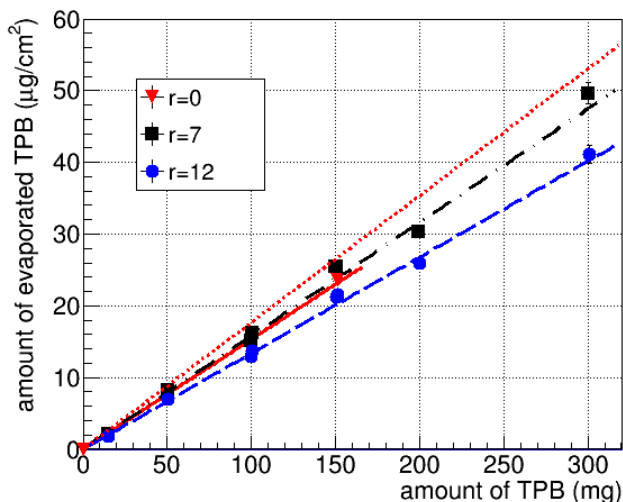
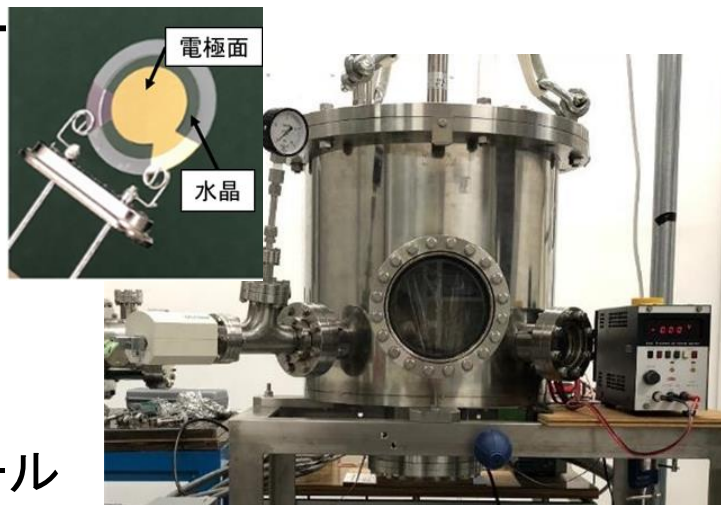
Topic1. TPB蒸着技術の最適化



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 ~ 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 ~ 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

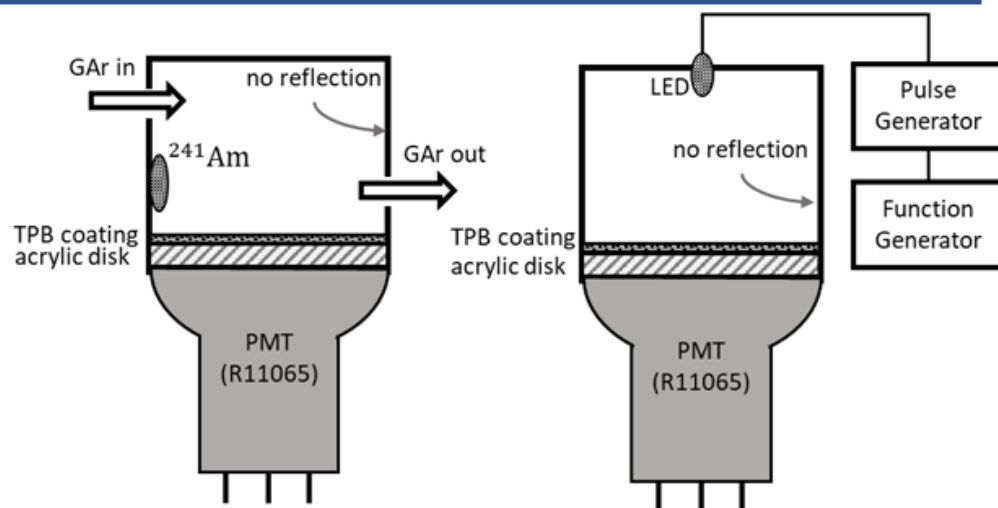
波長変換効率
可視光透過率

6/12

新学術合同研究会

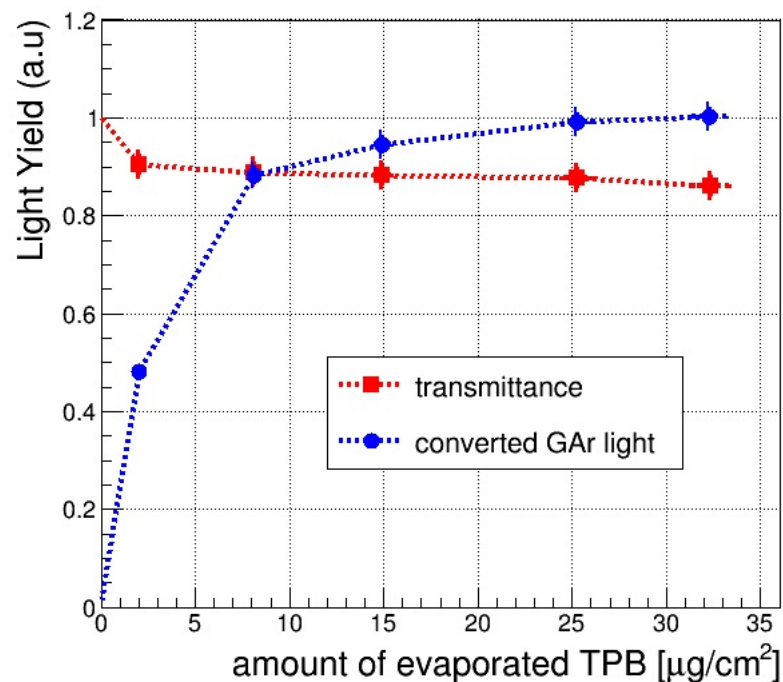
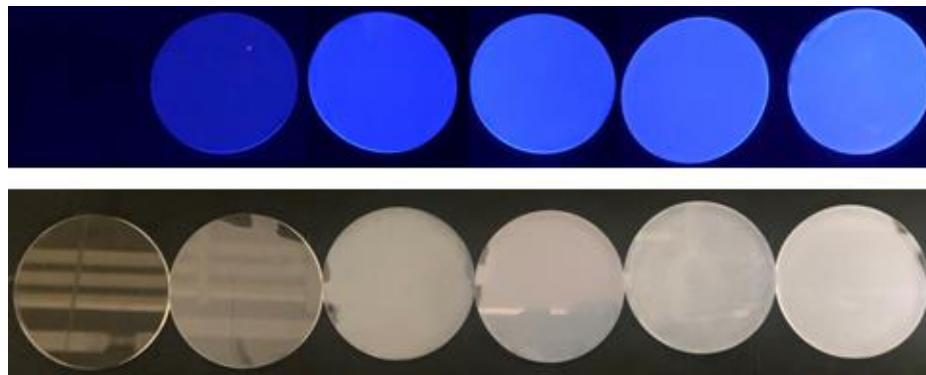
測定セットアップ

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



測定結果

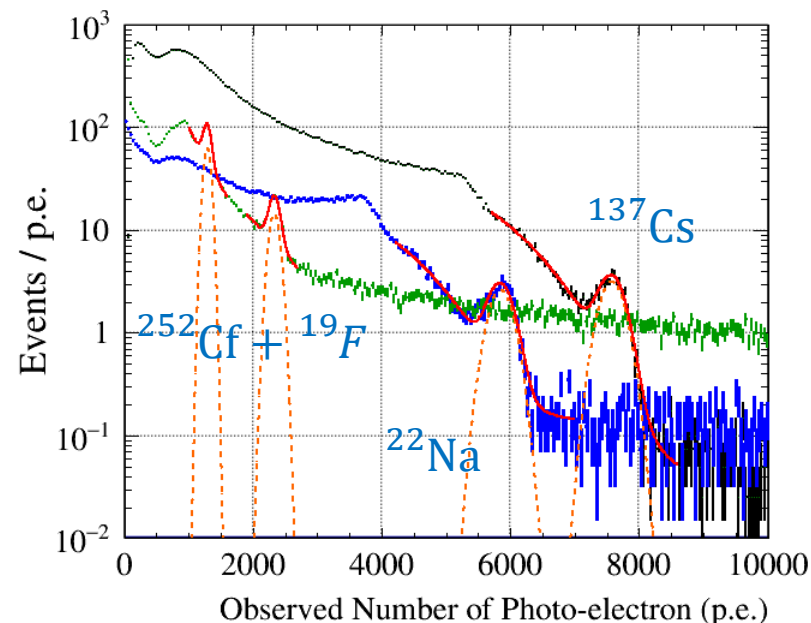
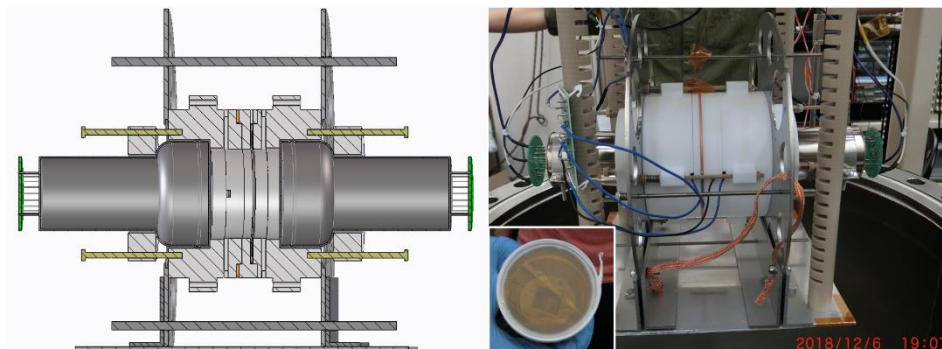
- 波長変換効率 : $25 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上で飽和
- 可視光透過率 : TPB増加 \rightarrow 低下



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

□ LAr検出器

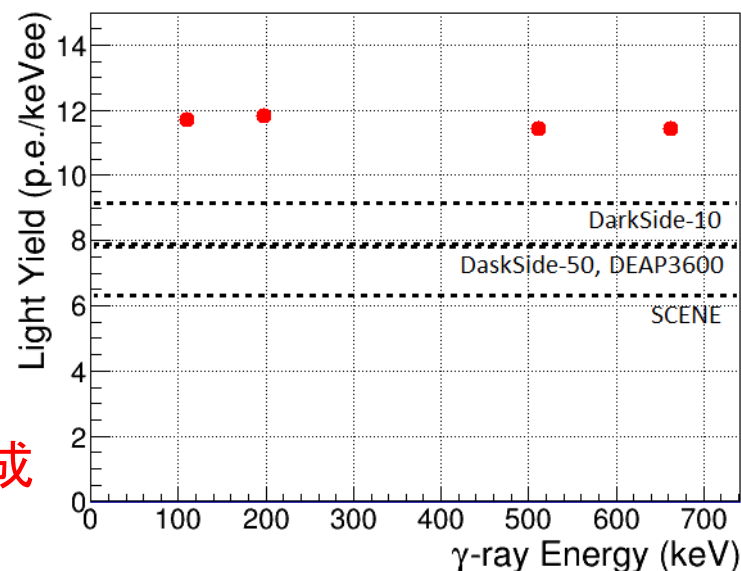
- 有感領域 : $\phi 6.4$ cm , $h 5$ cm
- 光検出デバイス : PMT \rightarrow QE $\sim 30\%$
(HAMAMATSU, R11065)
- TPB薄膜 : PMT ~ 30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$
ESR ~ 40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$



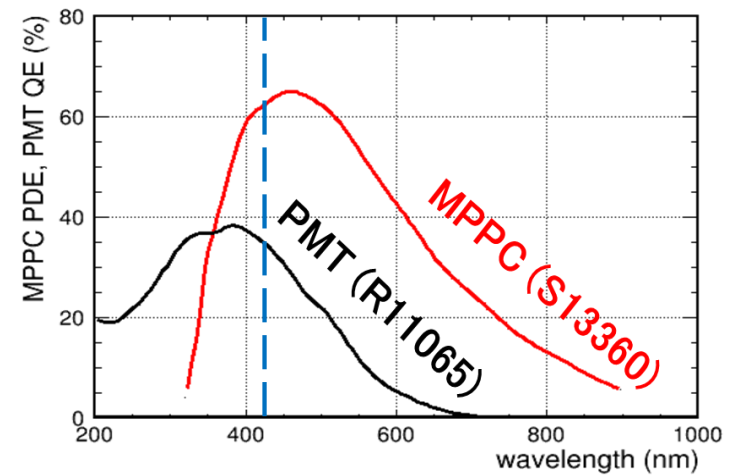
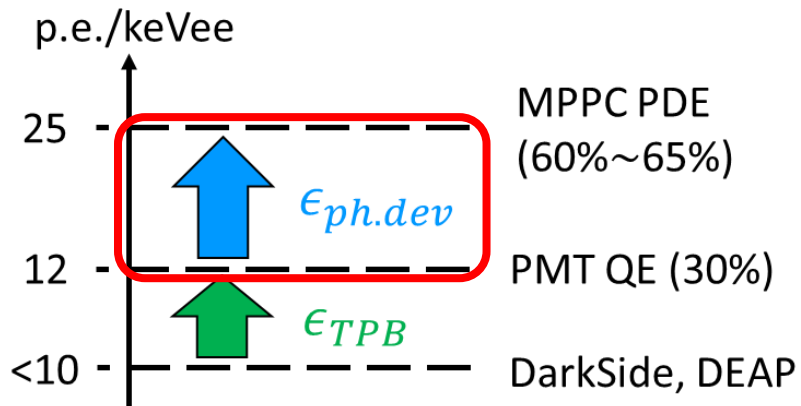
□ γ 線源による光量測定

- γ 線源 : ^{137}Cs (662keV), ^{22}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

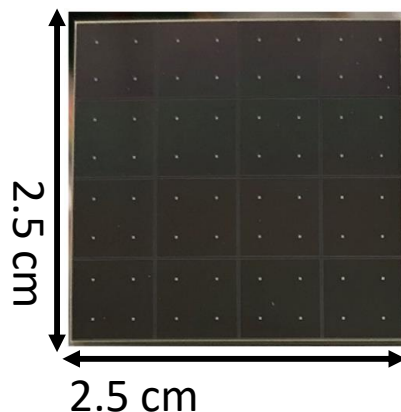


Topic2. TSV-MPPC Arrayの導入



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

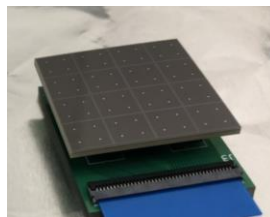
- Si 貫通電極
→ 小デットスペース
@筐体部分
- 4 × 4chのArrayタイプ



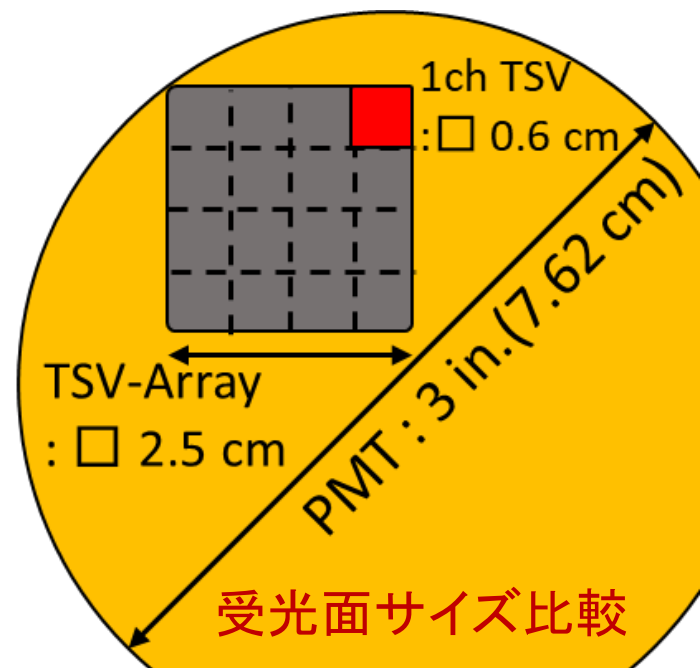
	PMT	TSV MPPC	
		50U	75U
V_{bias}	>1000 V	~50 V	~50 V
物質質量	大	小	小
時定数	数ns	~50 ns	~100 ns
検出効率	~30%	~55%	~65%

□ 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)



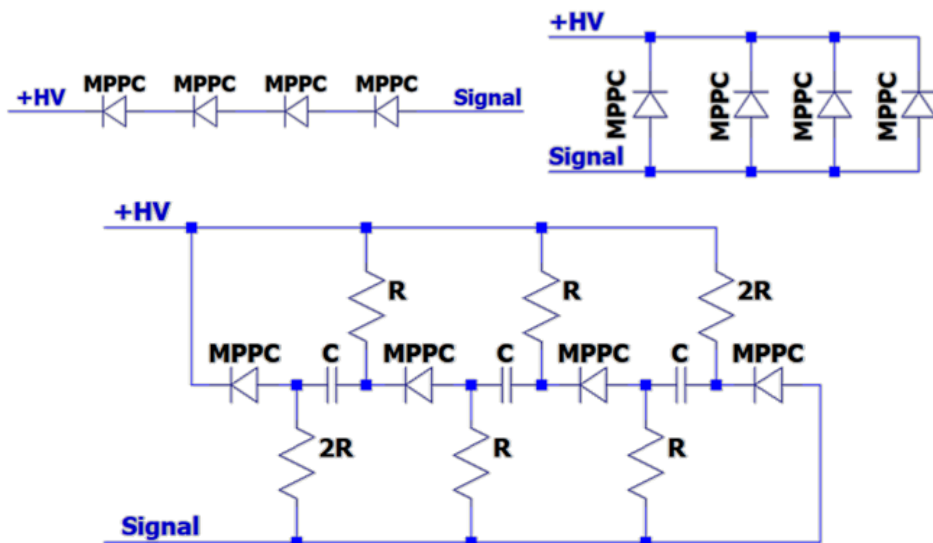
➡ 接続回路を実装した読み出し基板を製作



□ MPPC接続回路

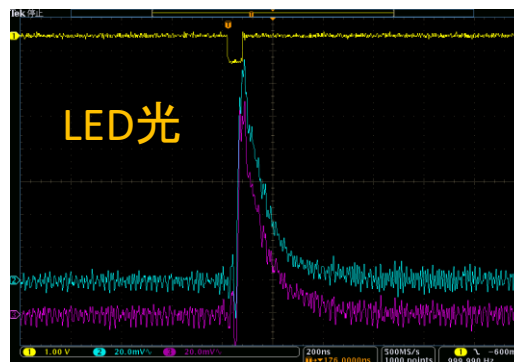
	V_{OP}	時定数	Gain
直列	×	○	×
並列	○	×	○
ハイブリット	○	○	×

➡ 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

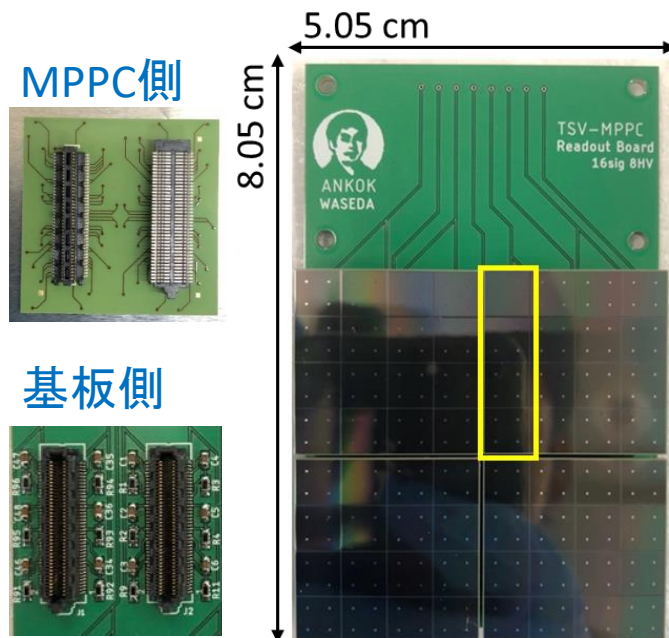


□ TSV-MPPC Array 読出し基板

- 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

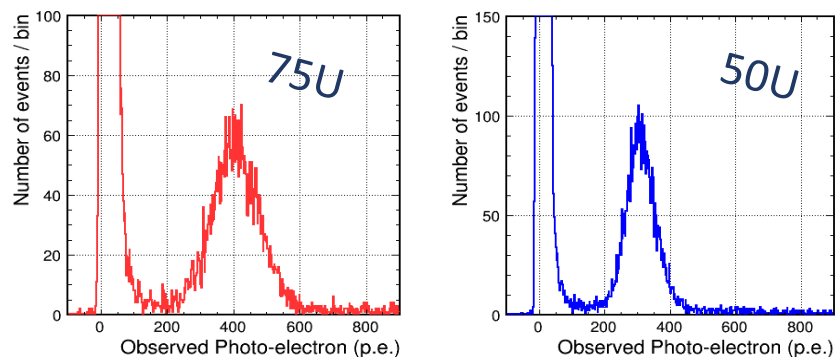


□ MPPC LAr検出器

- 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}Am を設置 (59.5 keV γ 線)

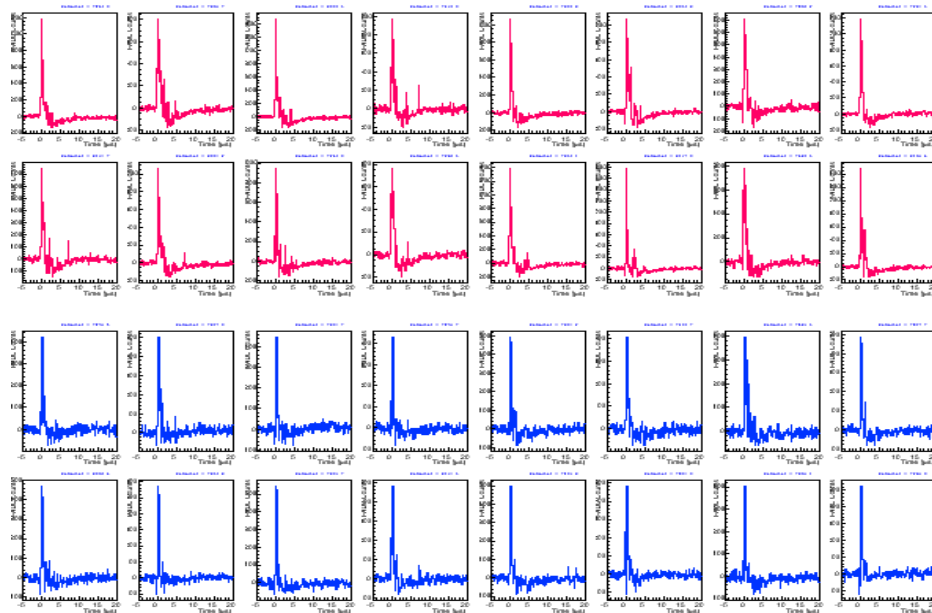
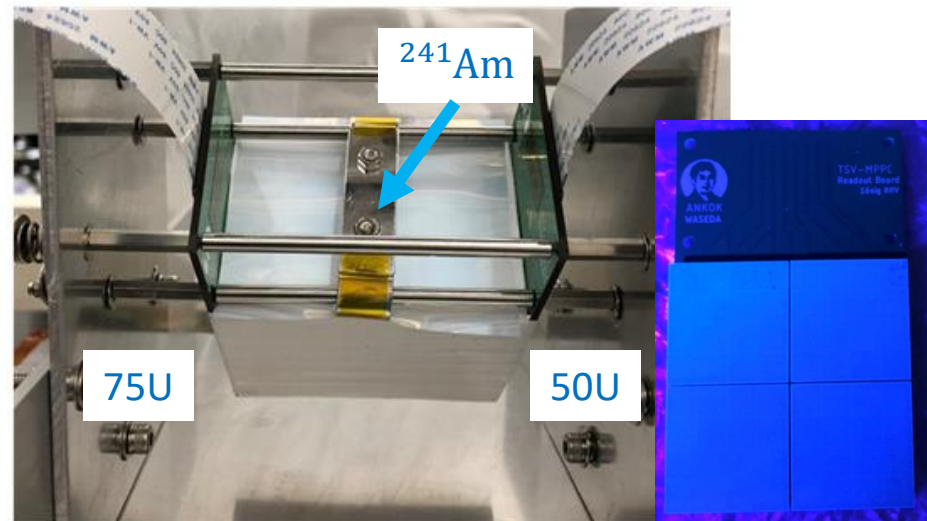
□ ^{241}Am イベント (1月 Run)

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



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

