

# 気液2相型Ar光検出器の 開発と高感度化

**(ANKOK実験)**

**B01班公募研究**

**寄田浩平**

田中雅士, 藤崎薫, 鷺見貴生, 五十嵐貴弘,  
木村真人, 鈴木優人, 中新平, 横山寛至 (+B4生3名)

早稲田大学 理工学術院

16.May.2015@神戸大学

新学術領域「地下素核研究」研究会



# ANKOK実験

## ◆ 早大グループが推進中の 暗黒物質探索実験

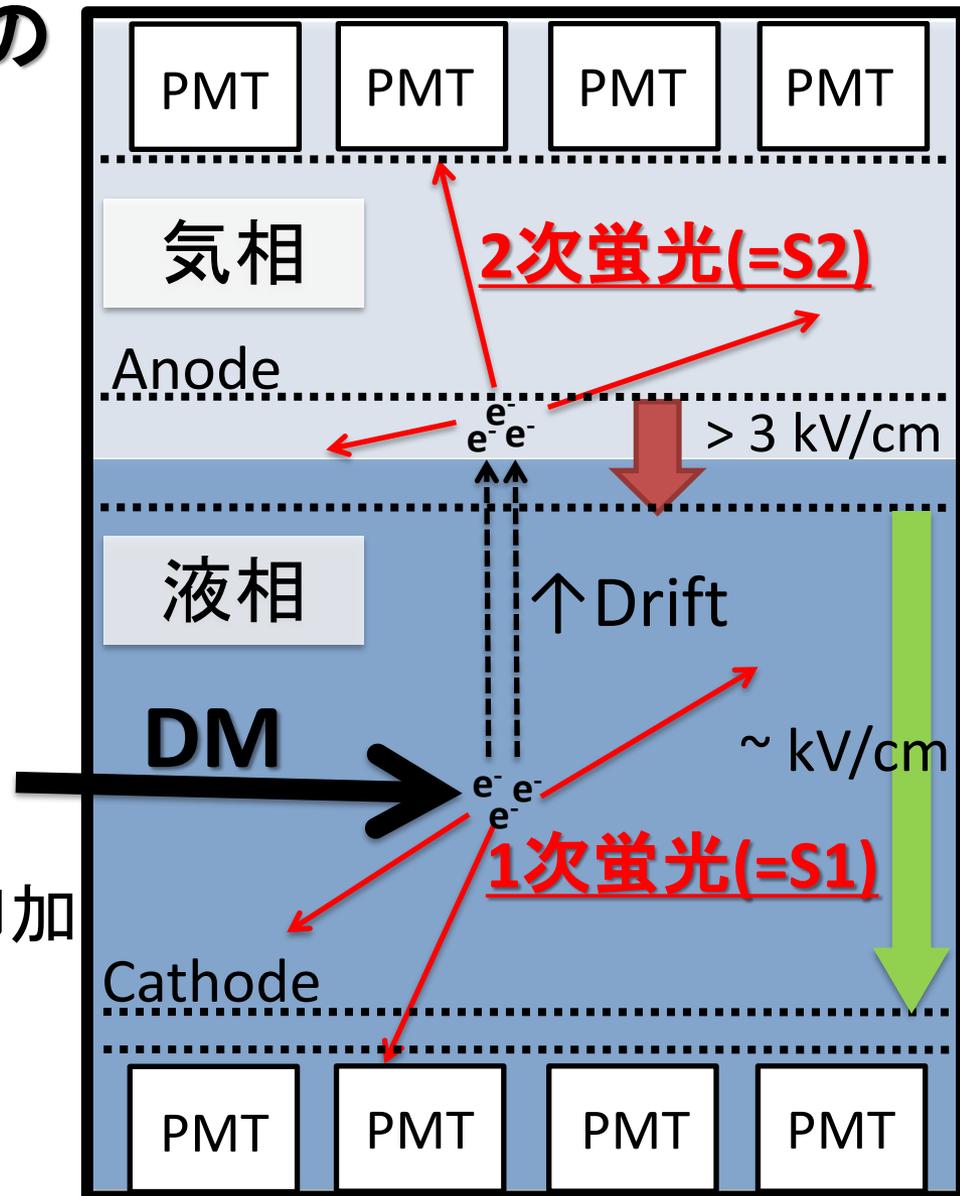
★ 2012年より開発本格化

## ◆ Ar2相式の利点:

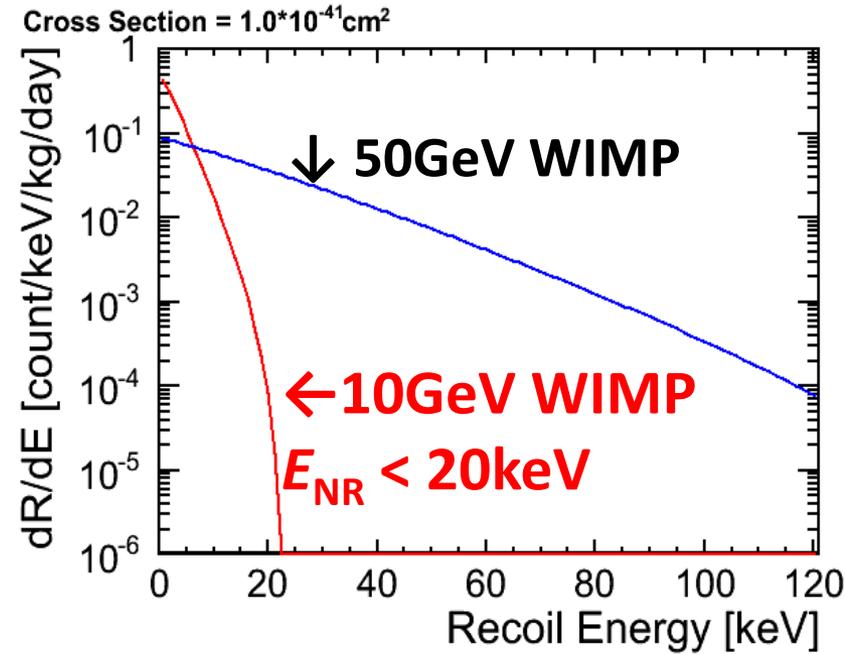
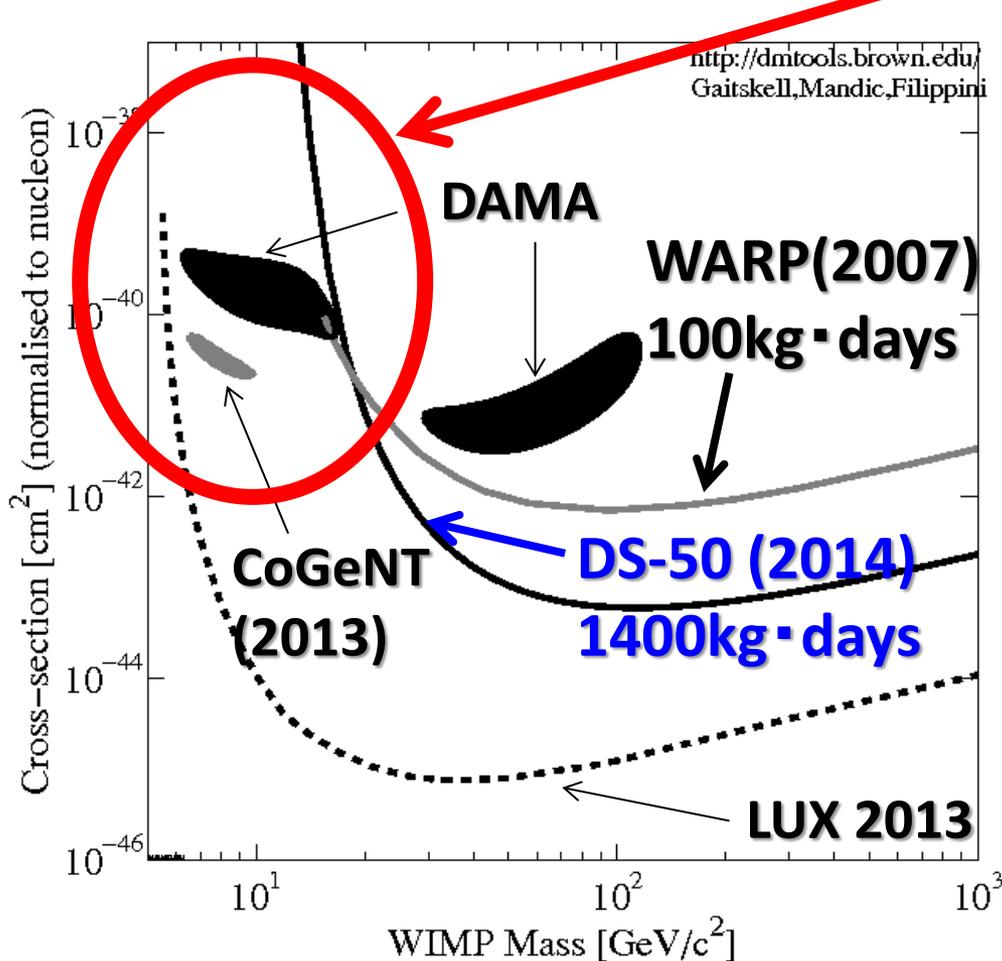
- ①  $\sim 40\text{pes/KeVee}$
- ② 高い $\gamma$ 除去: PSD + S2/S1
- ③ TPC: 光 + 電離(z-fiducial)
- ④ 安価 $\rightarrow$ ○大型化・迅速性

## ◆ 特有の課題:

- ① 極低温、高純度、高電圧印加
- ② 128nm VUV蛍光の検出  
 $\rightarrow$  PMT+WLS (TPB)
- ③  $^{39}\text{Ar}$ 同位体: AAr 1Bq/kg



# ANKOK実験のターゲットと課題



- **~10GeV WIMP探索**  
 → 原子核反跳 < 20 keVnr  
 の信号検出が必要条件

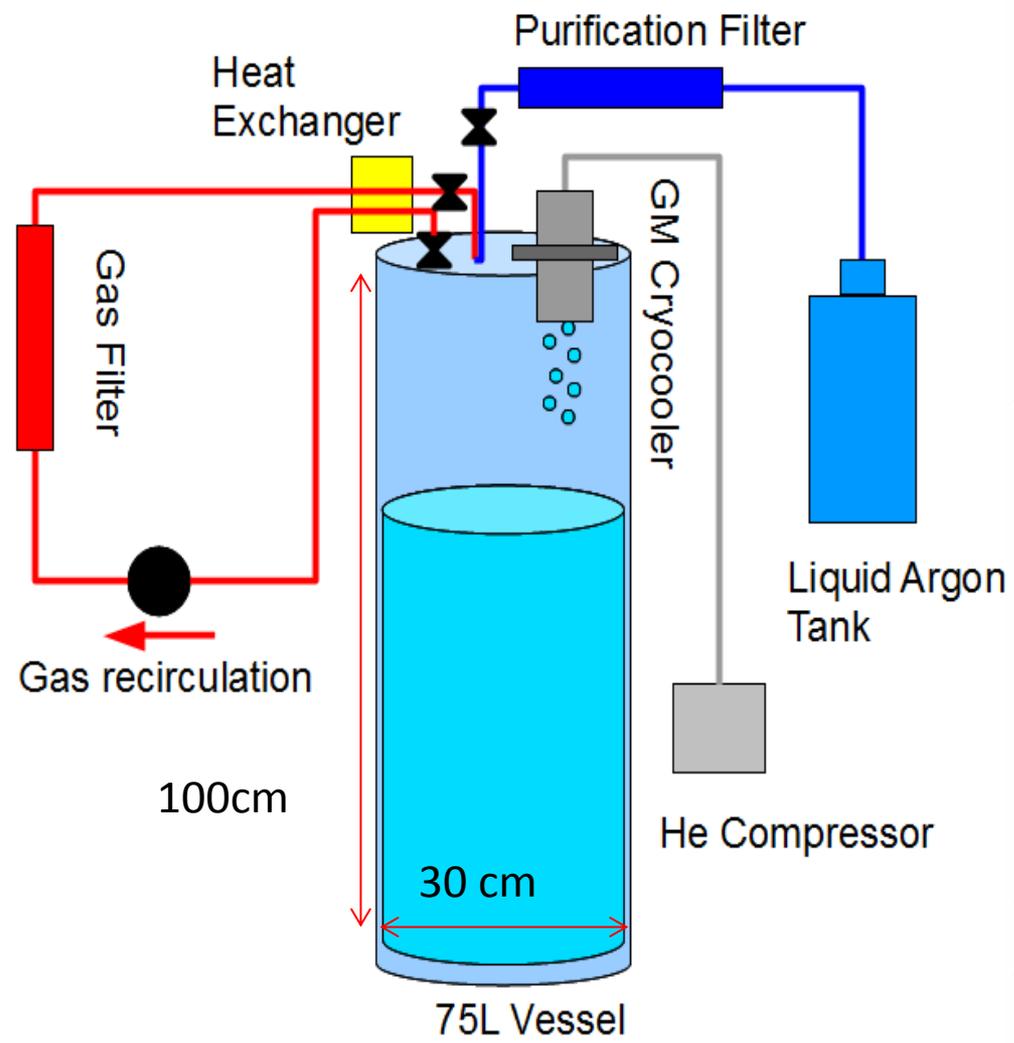
まずは、

① 検出光量の最大化

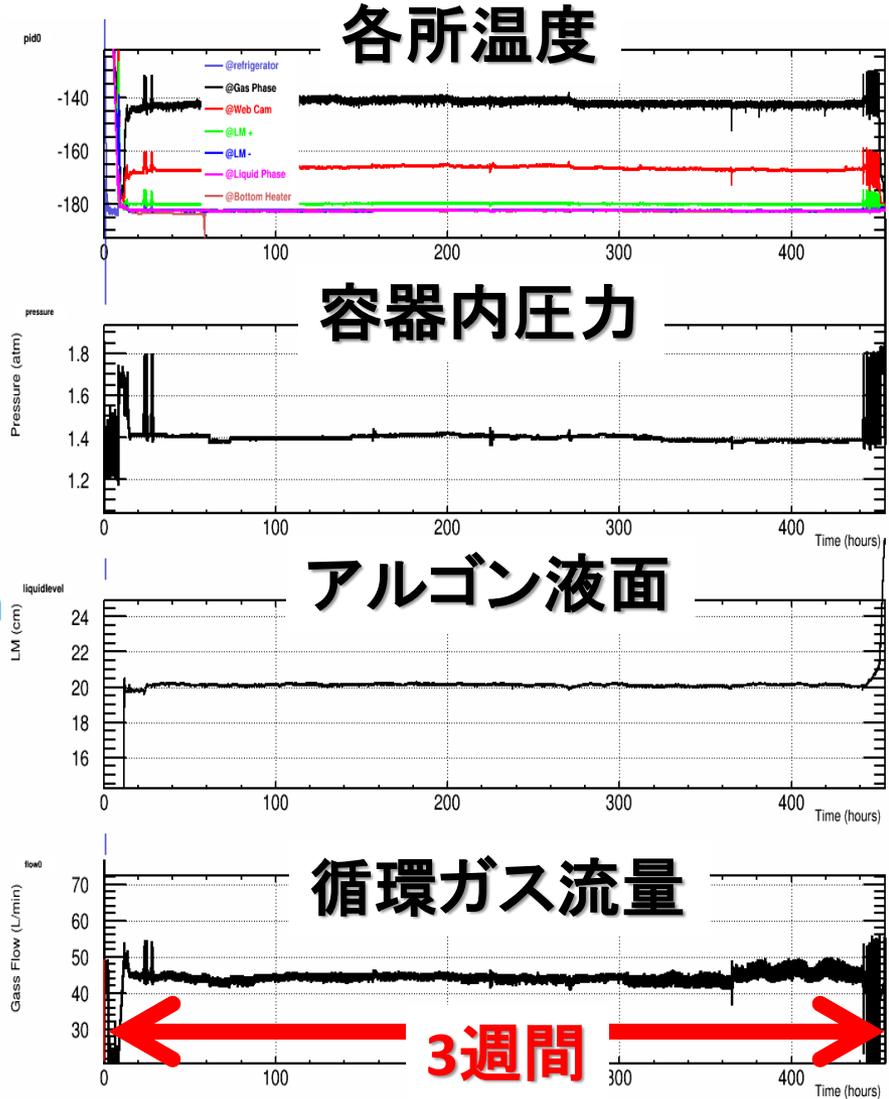
② γ線事象除去力の評価

# ANKOKテストスタンドの外観

## ◆75L容器, 循環ライン等:



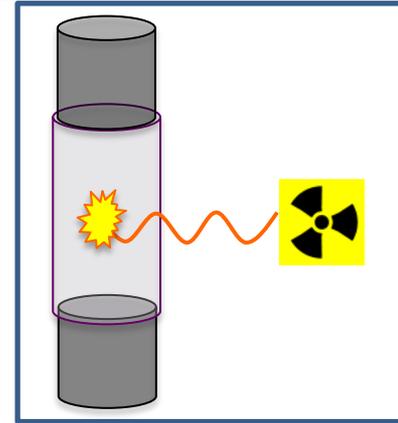
## ◆スローコントロール・モニター



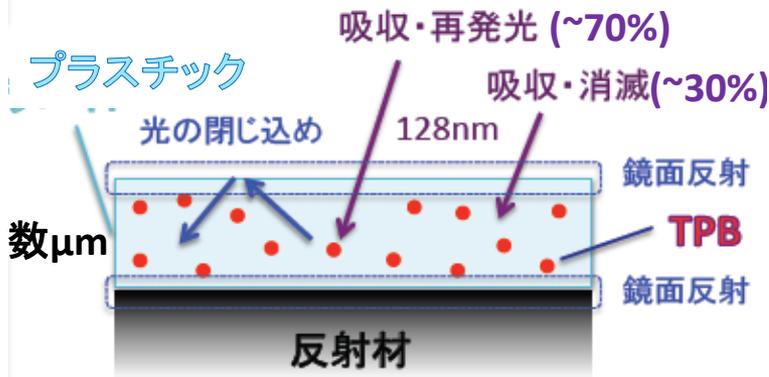
# ① 検出光量の最大化

## ★ 鍵:

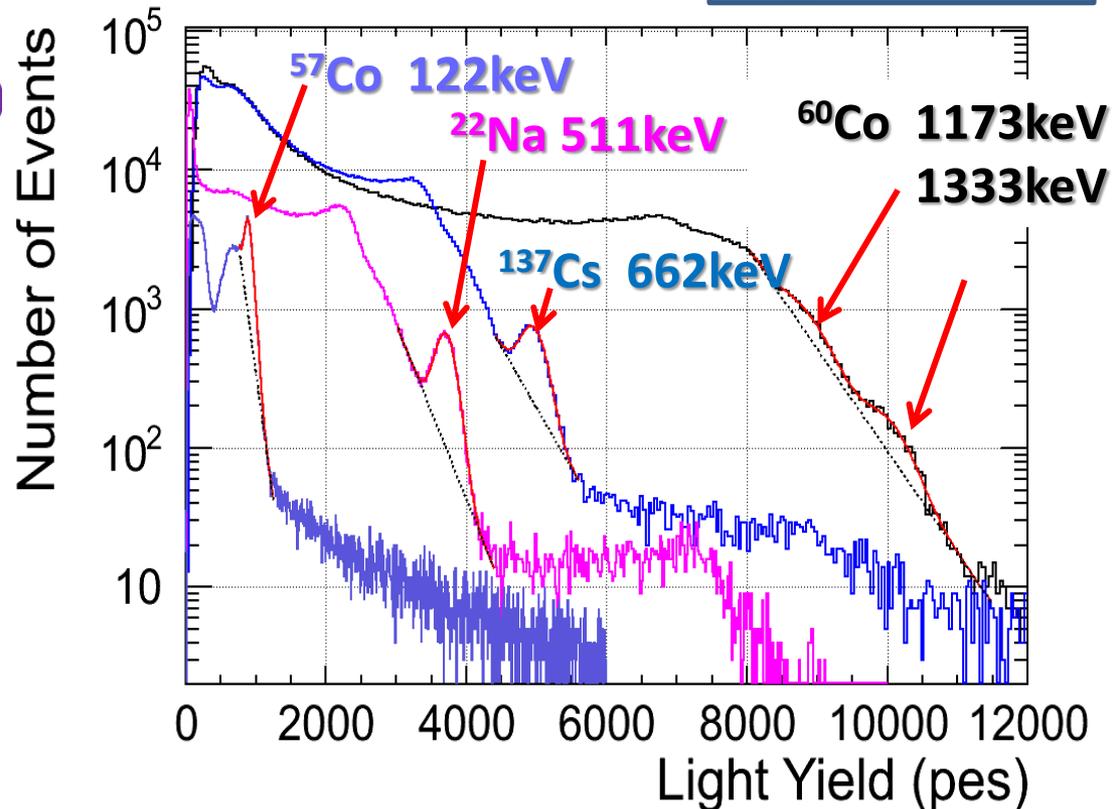
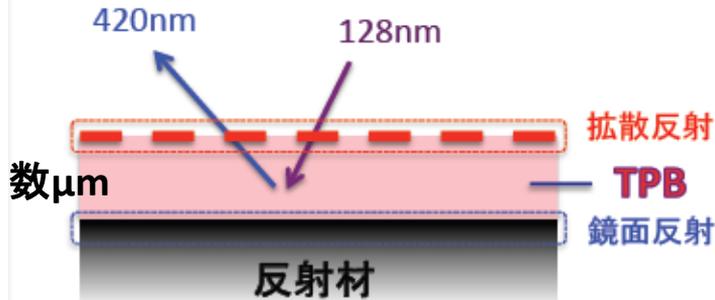
- 塗布するTPB量の最適化・手法確立
- 不純物 ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ) の徹底的な除去
- 高QEのPMTの使用、内部構造の工夫



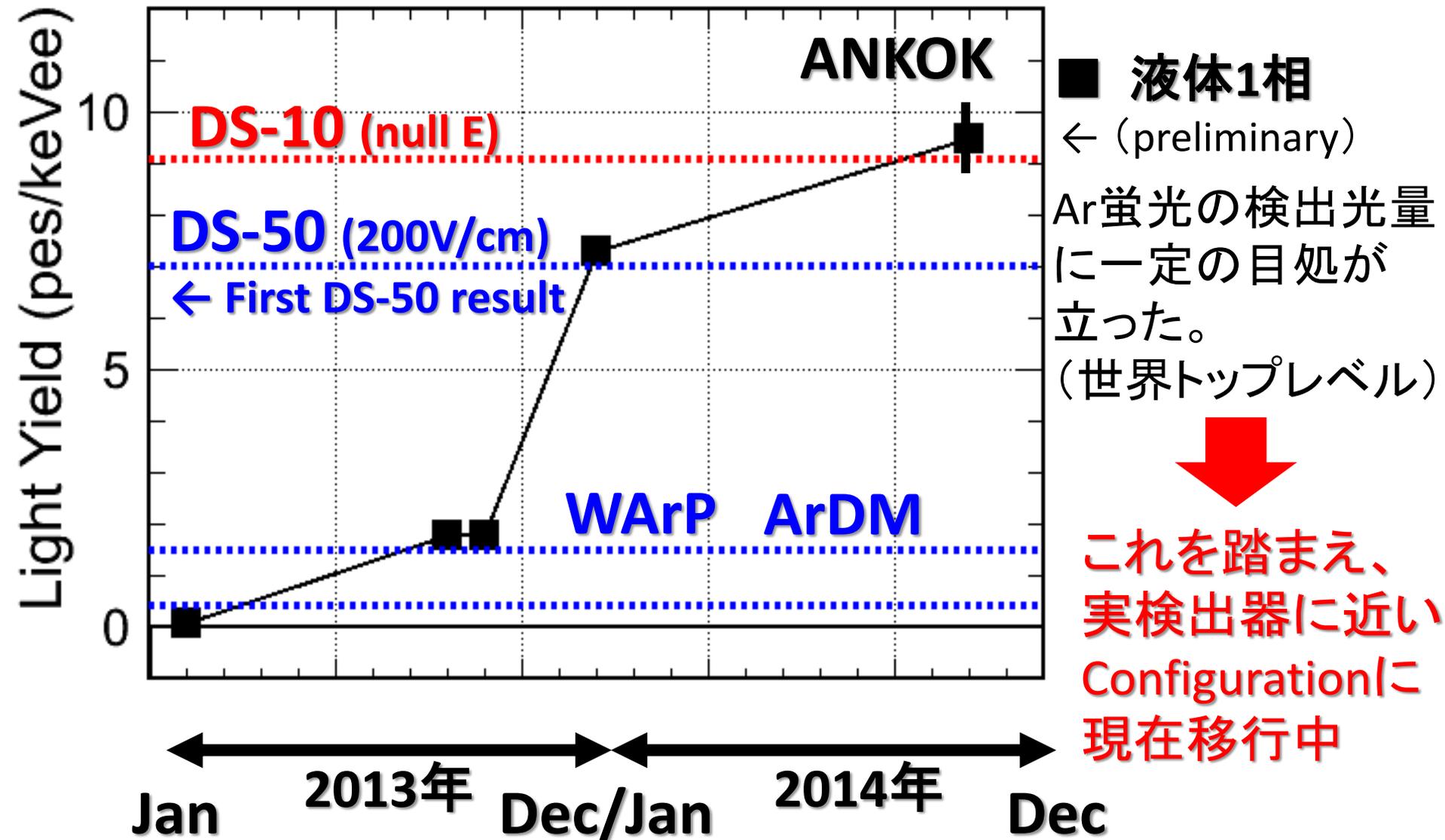
### 【高分子マトリックス法によるTPB塗布】



### 【真空蒸着によるTPB塗布】



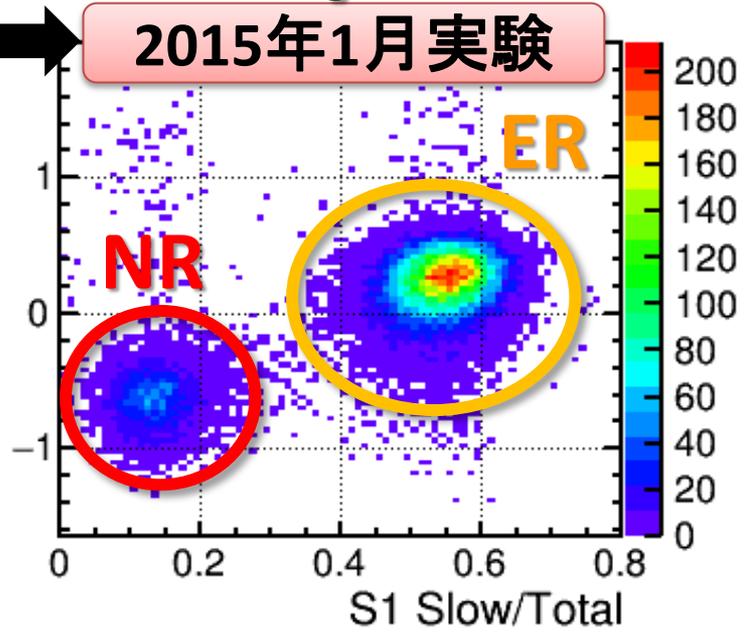
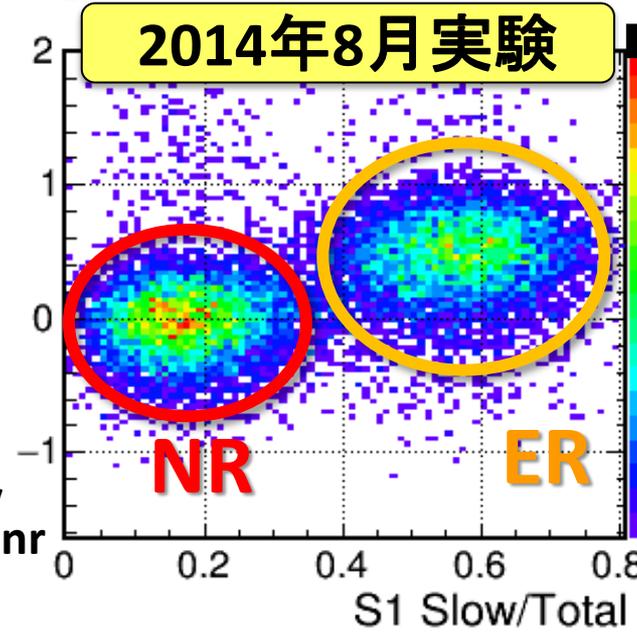
# 検出光量の推移と比較



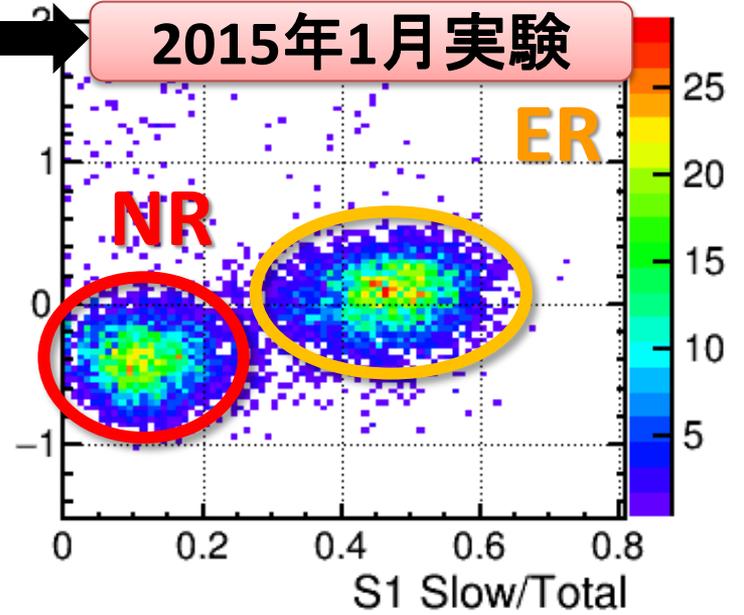
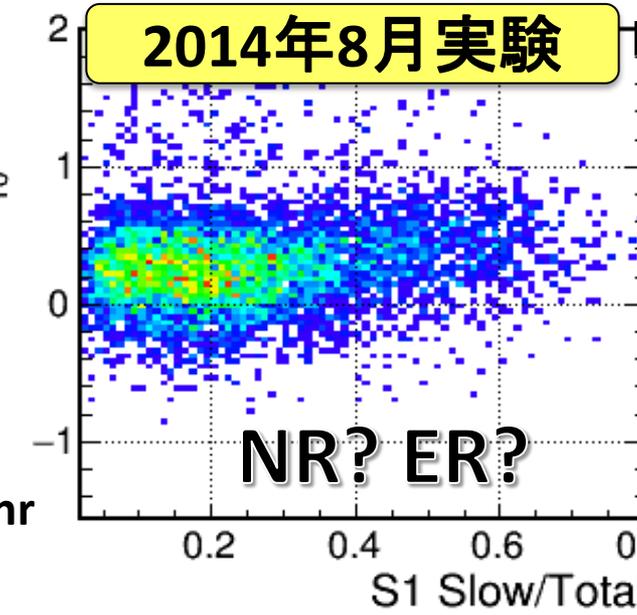
# ② n/γ事象識別 (PSD vs S2/S1比)

252Cf線

High Energy Region:  
 $E_{nr} = 100 \sim 200 \text{keV}_{nr}$

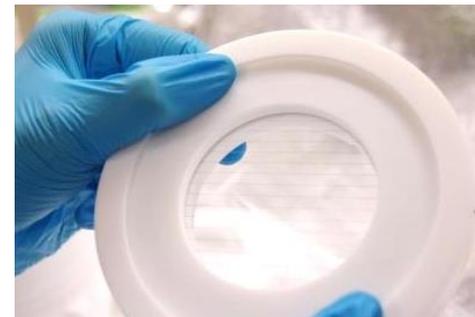
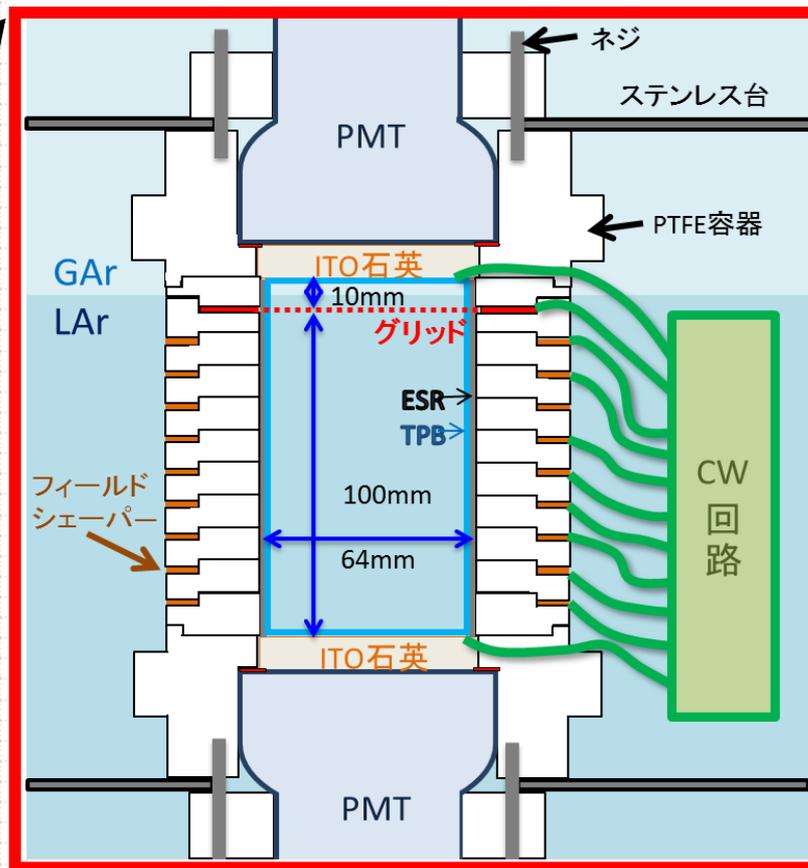
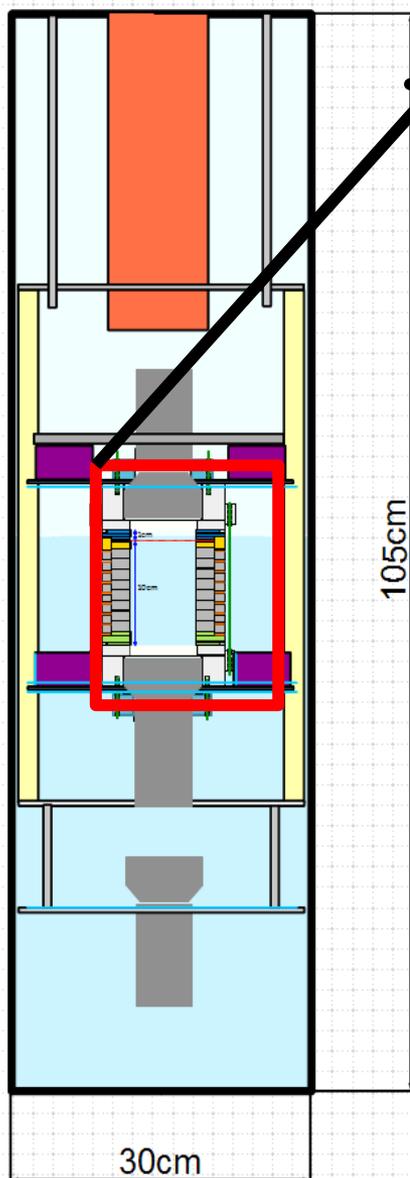


Low Energy region:  
 $E_{nr} = 20 \sim 100 \text{keV}_{nr}$



# 2相型検出器 (2015年1月)

✓ テフロンユニット構造



- ✓ 石英+ITO電極でゼロ電場領域を回避。
- ✓ 全ての面にTPB塗布

# 最近(直近)の取り組み

以下はon-goingなので、コメント頂けると助かります。

1. ANKOK Simulation Package構築
2. 内部放射線事象( $\alpha$ 線)理解・影響・削減
3. VUV-MPPC開発と利用検討
4. 本実験デザイン/テストスタンド増強

新学術(公募) - 3

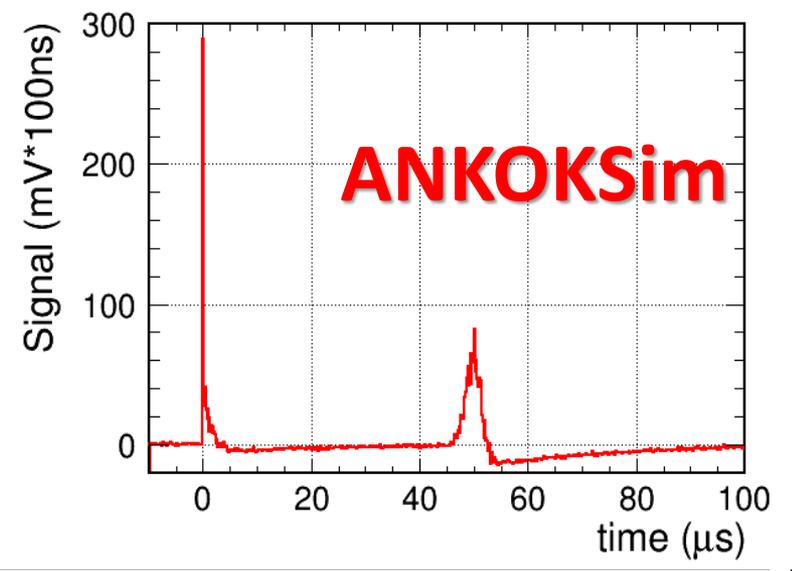
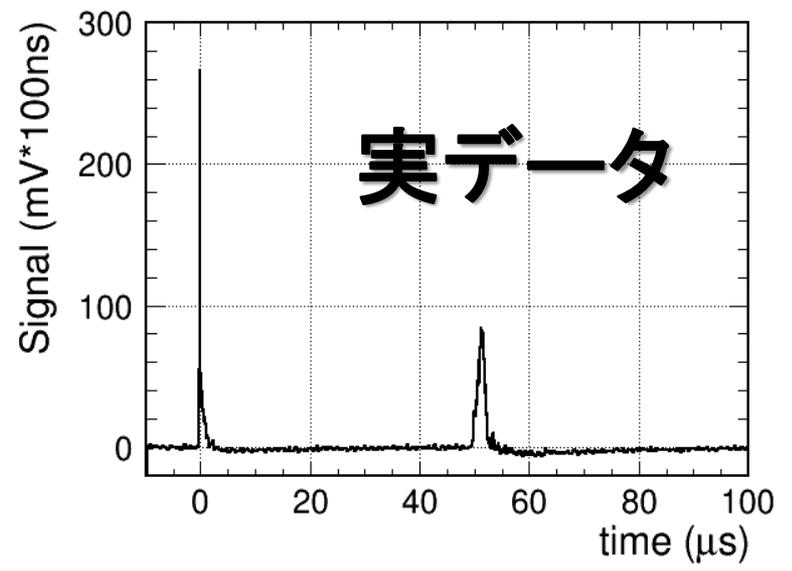
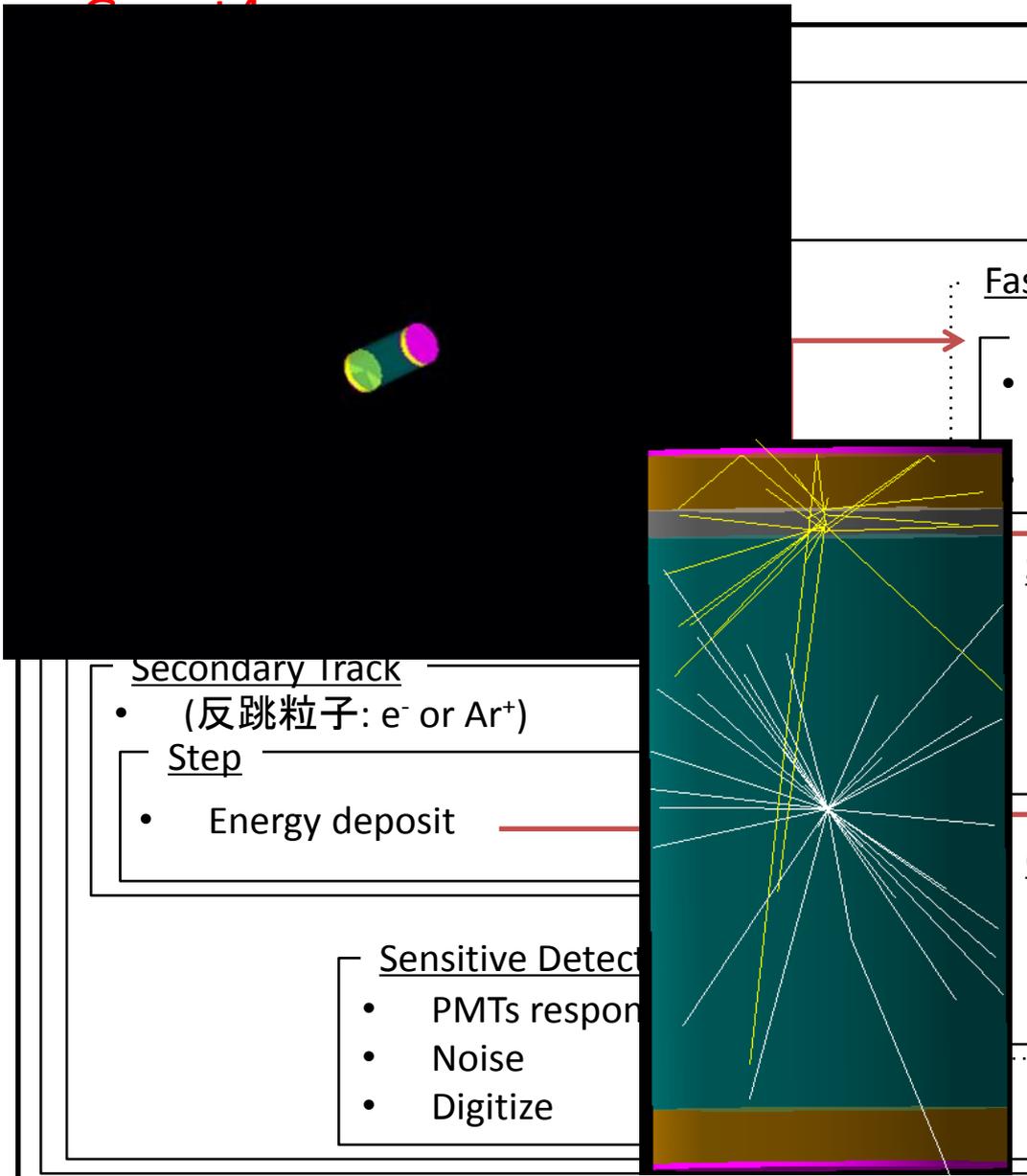
研究目的(つづき)

## ② 研究期間内に明らかにすること

WIMP 質量  $10\text{GeV}/c^2$ 、断面積  $10^{-41}\text{cm}^2$  領域の暗黒物質発見(or 棄却)感度をもつ検出器を構築するために、以下の研究課題を本研究期間2年間で段階的にクリアーする必要がある。

1. 検出光量  $10\text{pes}/\text{KeV}_{ee}$  以上の達成 (DS-50 最新結果(2014年)は  $7\text{pes}/\text{KeV}_{ee}$  で運用)
2. 真空紫外光に直接感度のある MPPC の開発・実装(+赤外波長成分の研究)
3. 1. 2. を有する有効質量  $30\text{kg}$  の気液2相型検出器の設計と構築
4. 地上実験データを用いた背景事象の詳細理解(PSD  $\times$  S1/S2) と実際の暗黒物質探索  
→  $30\text{kg} \times 20\text{days}$  の暗黒物質探索@地上の結果を論文にまとめることを最終達成事項とする。

# ANKOK Simulationの構築



# PSDの分散(参照: DS-50)

## ◆ First result from DS-50

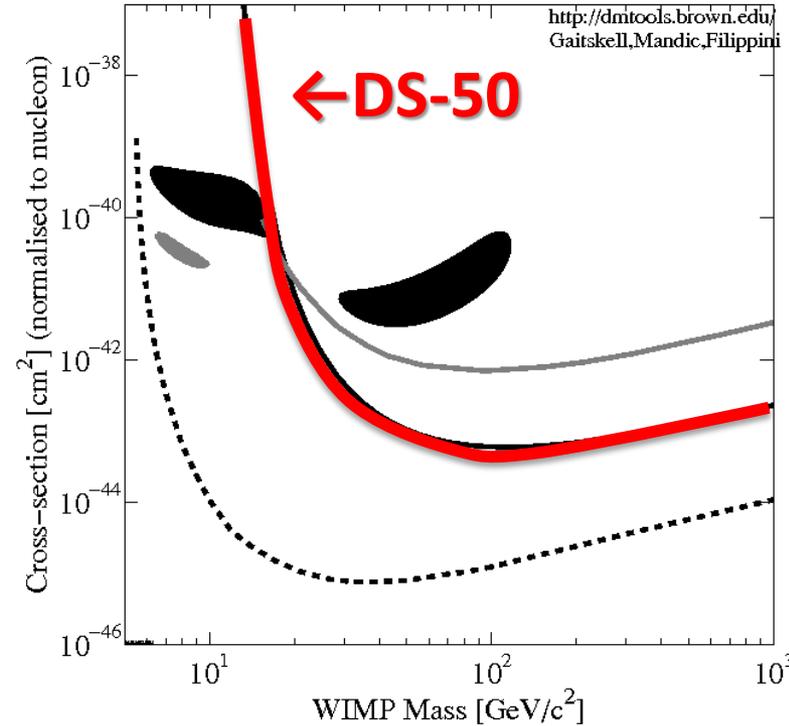
arXiv:1410.0653 (2014.Oct)

- 1422kg・days (fiducial 37kg)
- 7.1pes/KeVee (@200V/cm)
- Bkg rejection 0.01ev/(5PEs)

Only PSD cut (no S2/S1)

→ Thre. > 80pes (sig eff. 10%)

★  $E_R > 38\text{KeVnr}$ の閾値



現在ANKOKも同様の分散

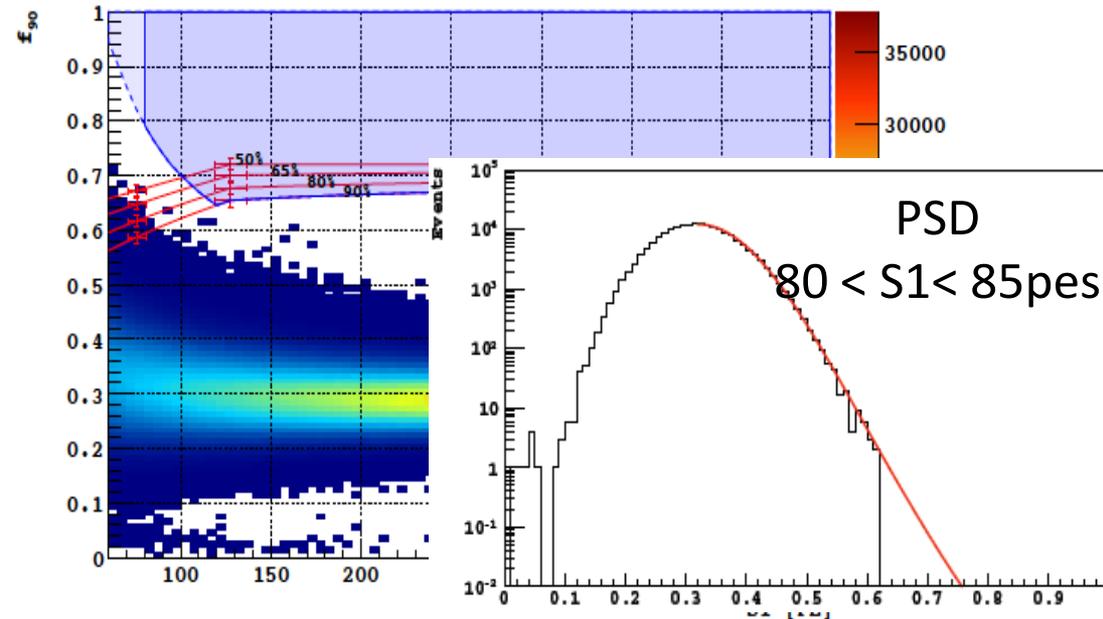
★ Low Mass WIMPには、

☑ 光量最大化

☐ PSD分散の抑制

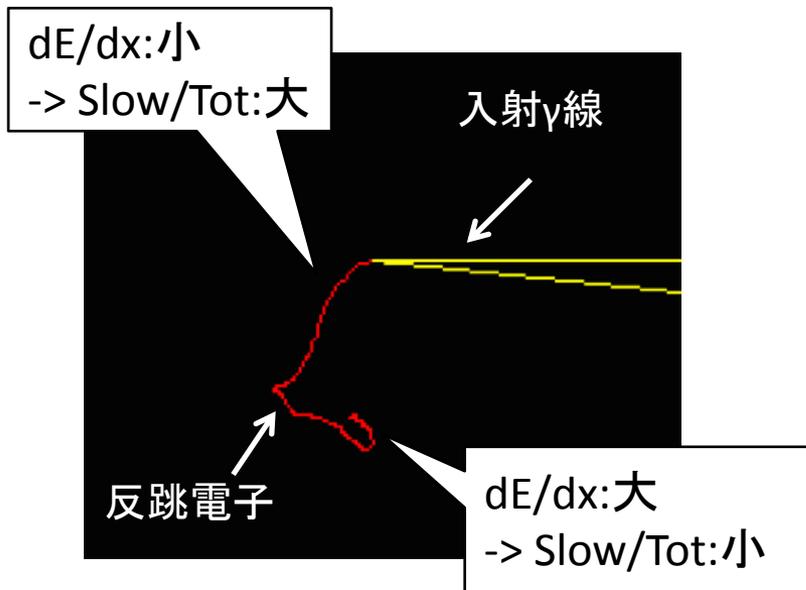
☑ S2/S1比の利用

が必須条件

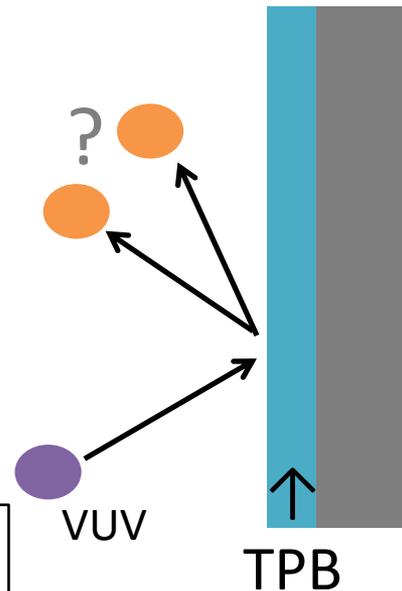


# PSD分散の理解・抑制に向けて

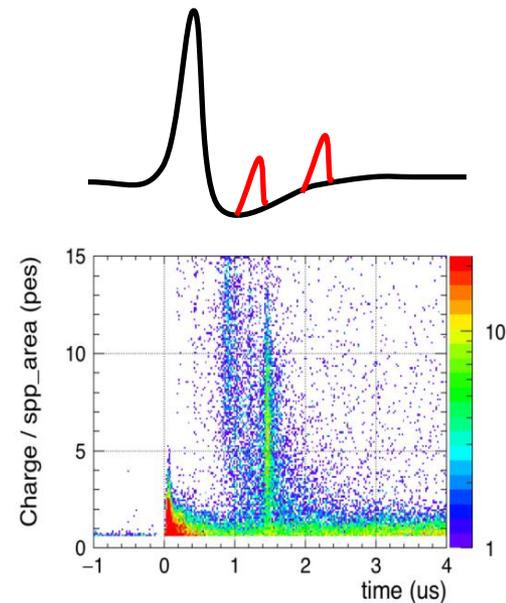
✓ ステップ毎に $dE/dx$ の違いによる1重項/3重項・電離電子・再結合率の考慮



✓ 波長変換効率のばらつき・遅延



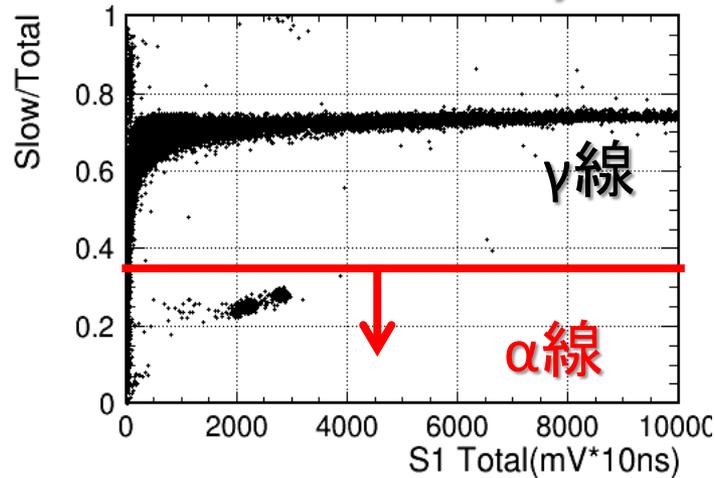
✓ PMTNoise/spike/gainのばらつき等の影響



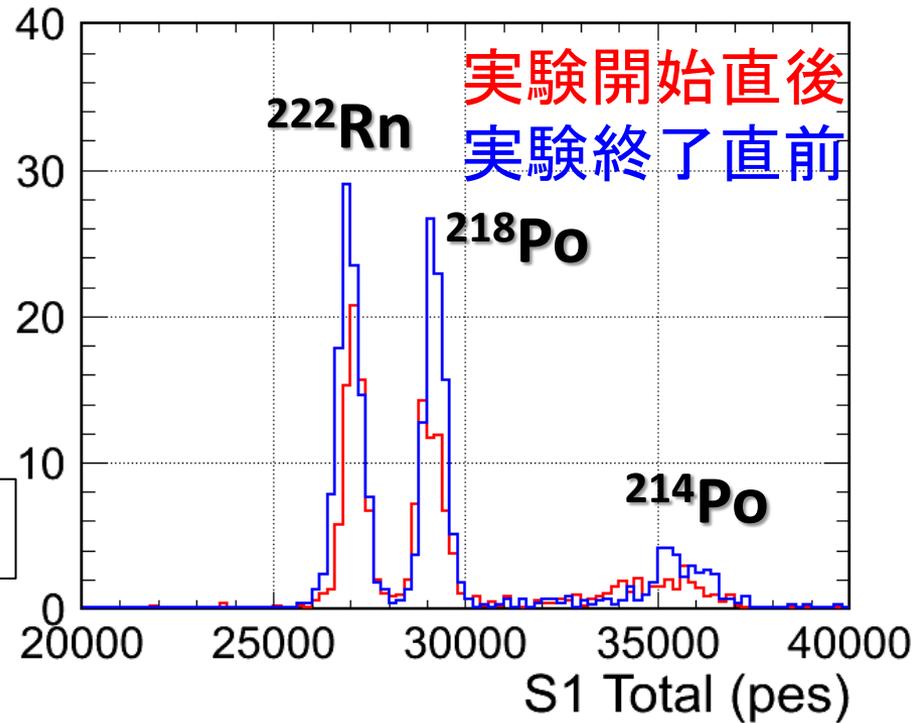
★ Photo-counting/解析手法等を含め、複数要素の考慮・比較が重要。構築中のSimulationとデータを比較し、PSD分散の原因追求・抑制対応に取り組んでいる。(←これが現在の最重要課題)

# 内部放射線 ( $\alpha$ -ray観測)

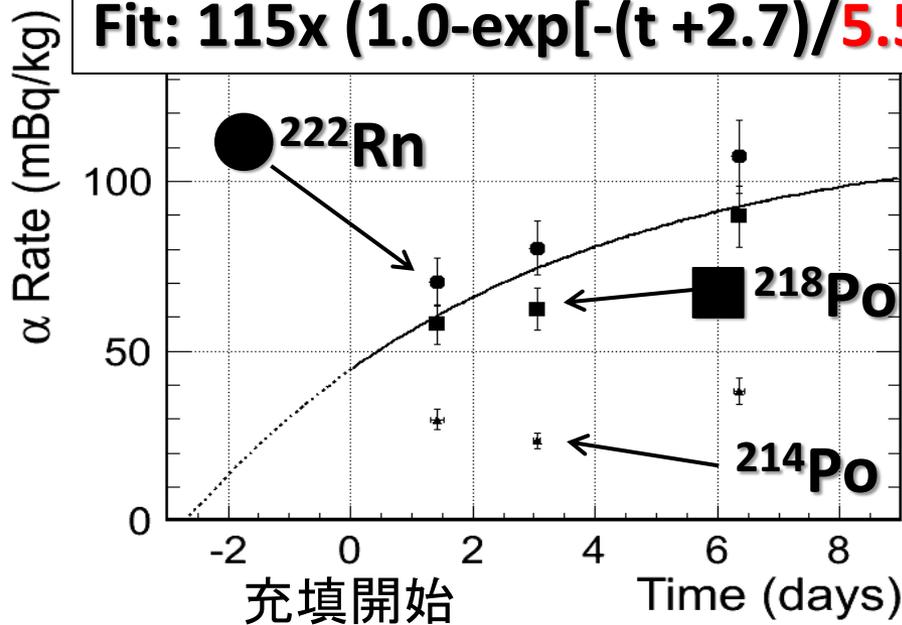
◆ PSD cutで $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ を抽出:



mBq/kg/200pes



Fit:  $115 \times (1.0 - \exp[-(t + 2.7)/5.5])$

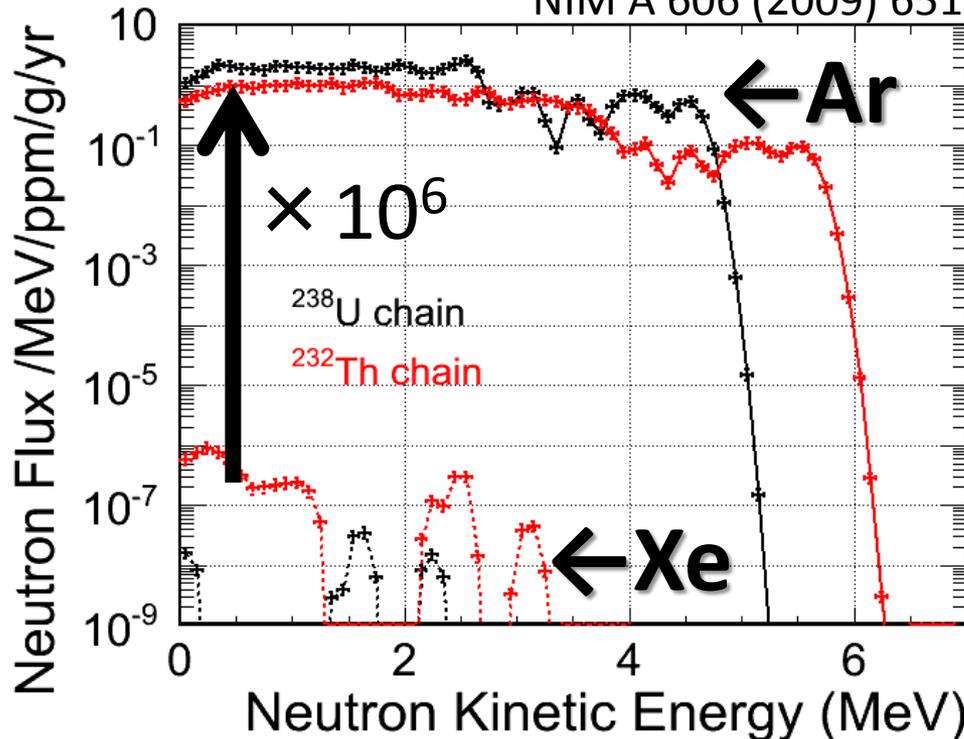


- ◆ **部材中のRaからRnが放出:**  
(CW/PMT PCB・・・わかっていましたが。。)
- ◆ 充填開始前は2週間真空引き  
→ 充填開始時にすでに残留が?  
★ 現在調査中

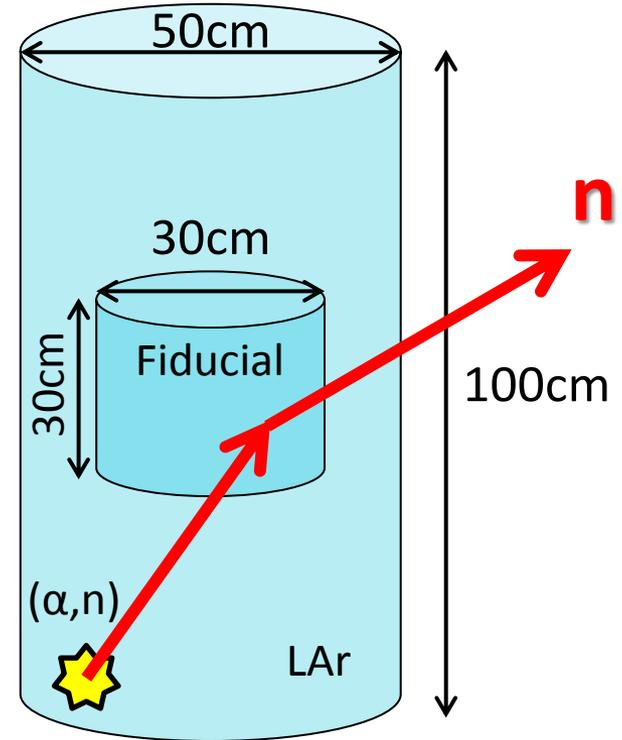
# 内部放射線( $\alpha, n$ ) : $\alpha + \text{Ar} \rightarrow n$

- ◆ Ar1g中にU,Th系列(平衡状態)  
1ppm含まれる場合のn-flux:

NIM A 606 (2009) 651



- ◆ 8.36ppb(g/g)の $^{238}\text{U}$

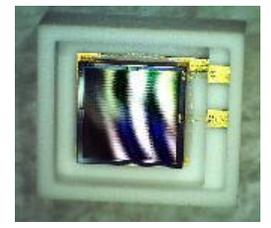


- fiducial内で起こるn事象  
数を現在精査中(Geant4)

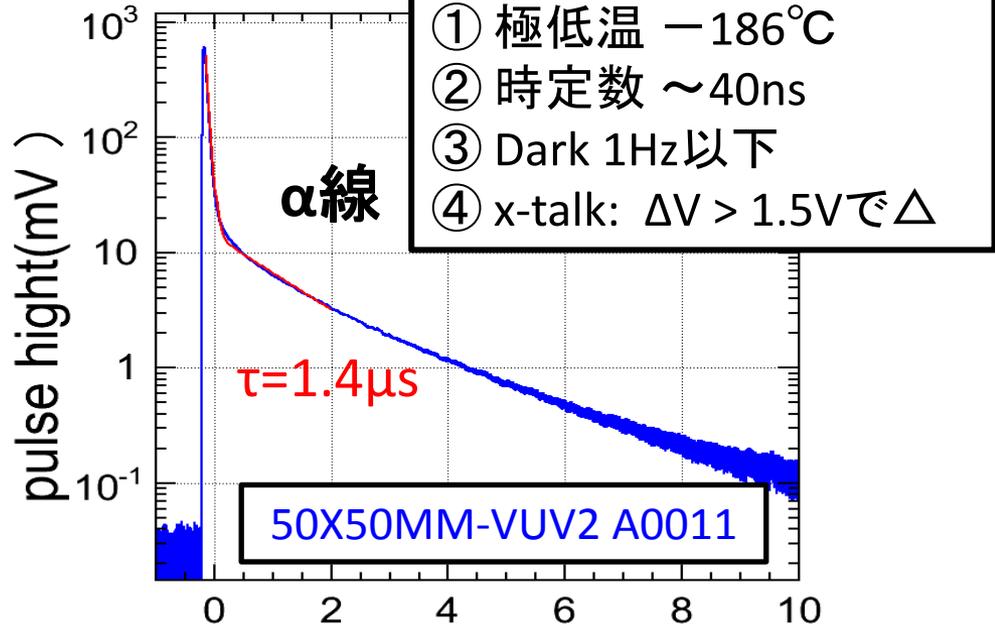
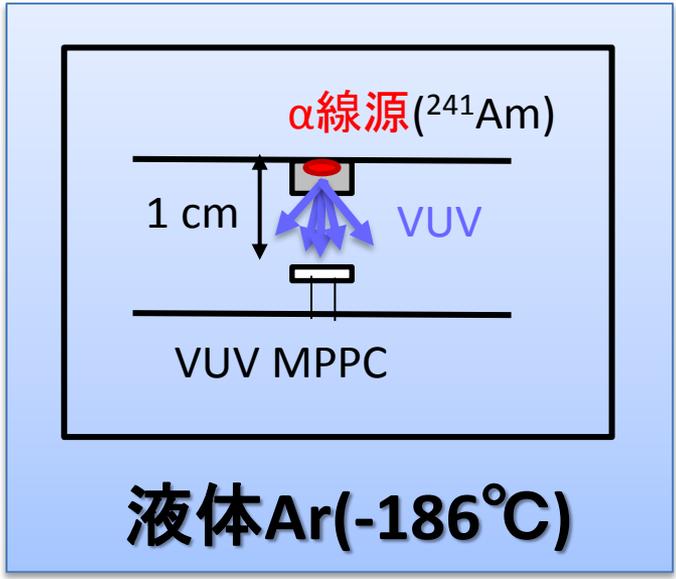
SOURCES-4Cを入手、継続進行中

- ★ 今後部材の選定や活性炭による除去を行う予定
- ★ ただし、同時に出る $\alpha$ 線信号をtagすればvetoは可能

# VUV-sensitive MPPC



## ★ 128nmに直接感度のあるMPPCの開発試験



- ① 極低温 -186°C
- ② 時定数 ~40ns
- ③ Dark 1Hz以下
- ④ x-talk: ΔV > 1.5VでΔ

3mmx3mm, 50μm pitch  
 3600 pixels/chip  
 PDE: ~7%(@128nm LAr)

→ [arXiv:1505.00091](https://arxiv.org/abs/1505.00091)

Performance of VUV-sensitive MPPC for Liquid Argon Scintillation Light

T.Igarashi, S.Naka, M.Tanaka, T.Washimi, K.Yorita  
 Waseda University, Tokyo, Japan

先日VUV3 version(x-talk抑制型)の50Uと100Uのサンプルが納品。  
 → 現在試験中、まとめて論文投稿予定。

# VUV-MPPCによる位置分解能向上

## ◆ ANKOK実験への利用検討

上下面に使用するPMTはΦ 3inch

→ 壁際の位置分解能が悪化

→ 検出器側面(気相)に1cm ピッチで VUV-MPPCを配置し、S2を検出することで克服可能。

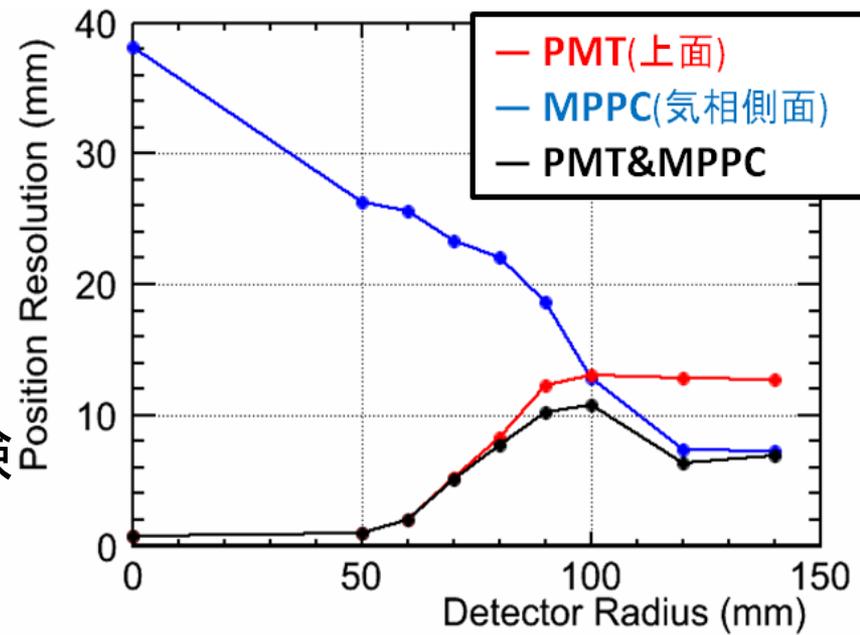
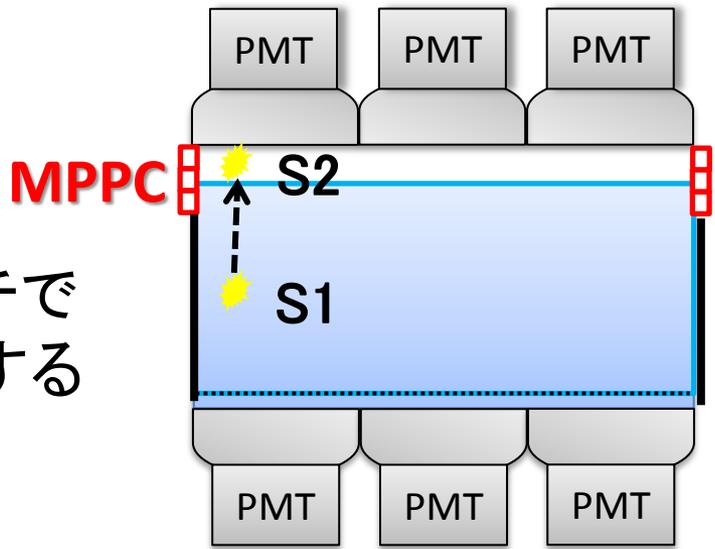
○ 反射光(変換光)よりも直接光をどれだけ拾えるか、が鍵

○ WIMP S2は微量  
→ one-photo countが鍵

○ 実験の独自性

→ VUV-MPPCの開発

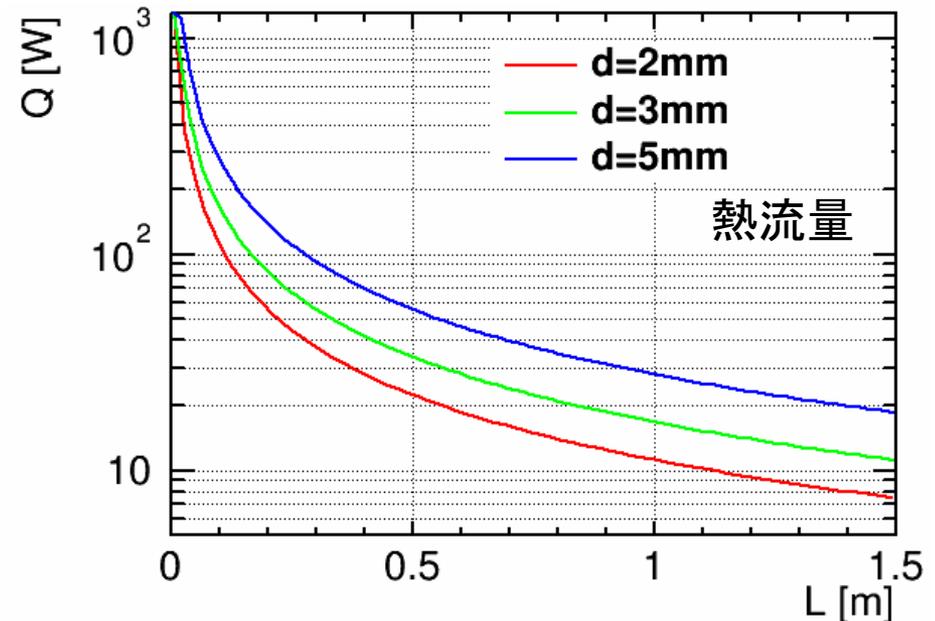
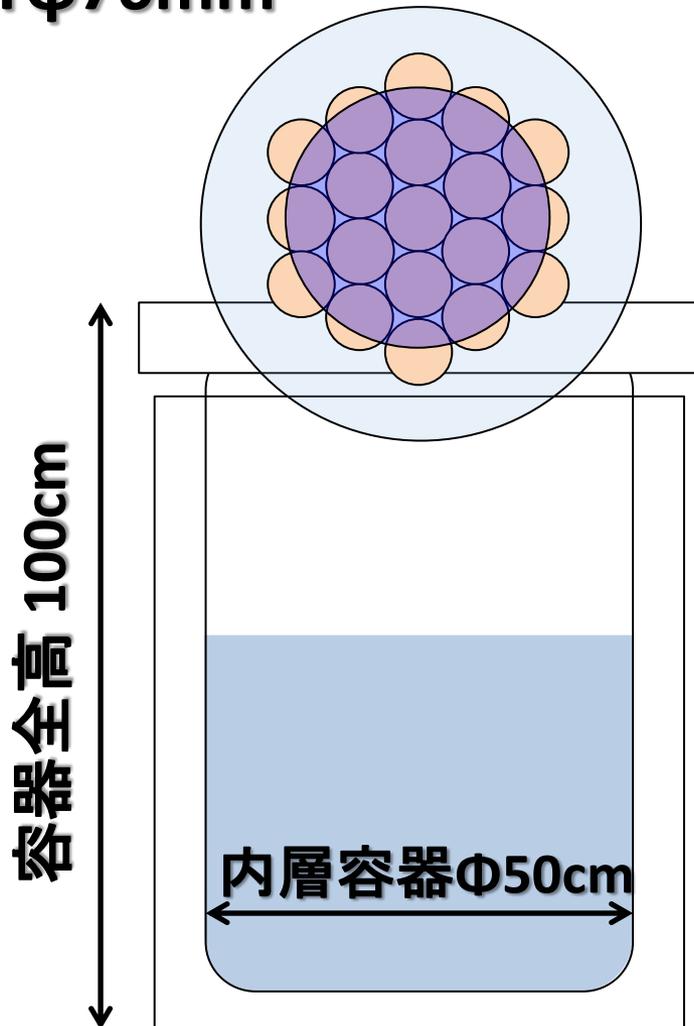
★ 浜松ホトニクスとの共同開発試験  
High PDE, low x-talk&AP, lowbkg,  
低価格の実現に向けて協力。



# 本実験に向けた容器製作

検出器 $\phi 300\text{mm}$ (h $300\text{mm}$ )  
PMT $\phi 76\text{mm}$

★ 外層・内層肉厚の設定、  
荷重(min/max)、締付トルク等々  
を業者と議論中



★ フランジ・シール部: (lowbg/高真空)  
インジウム・Uタイトを検討中  
★ 電解研磨も検討中

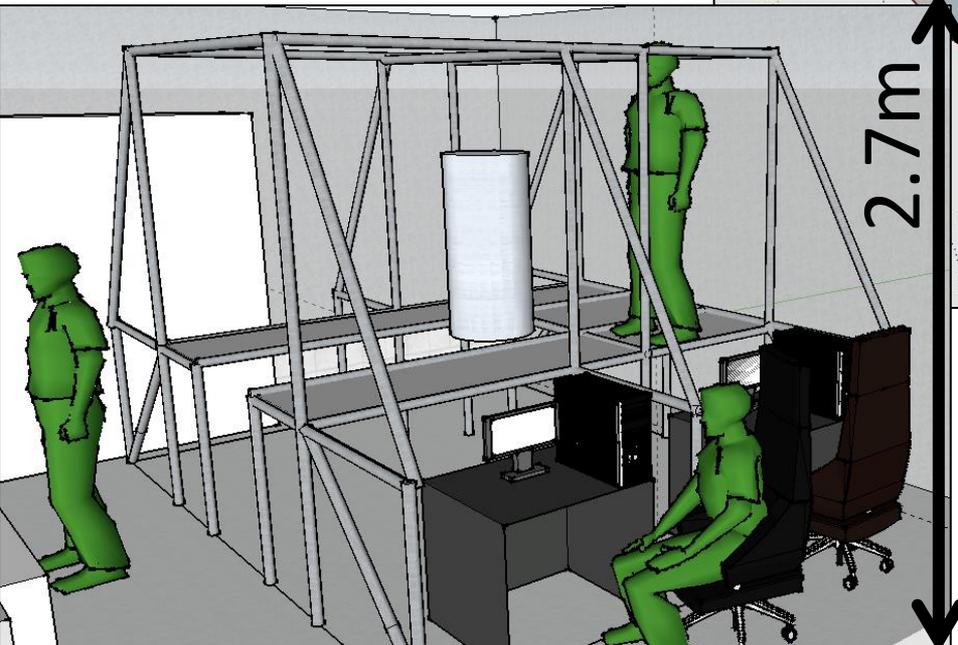
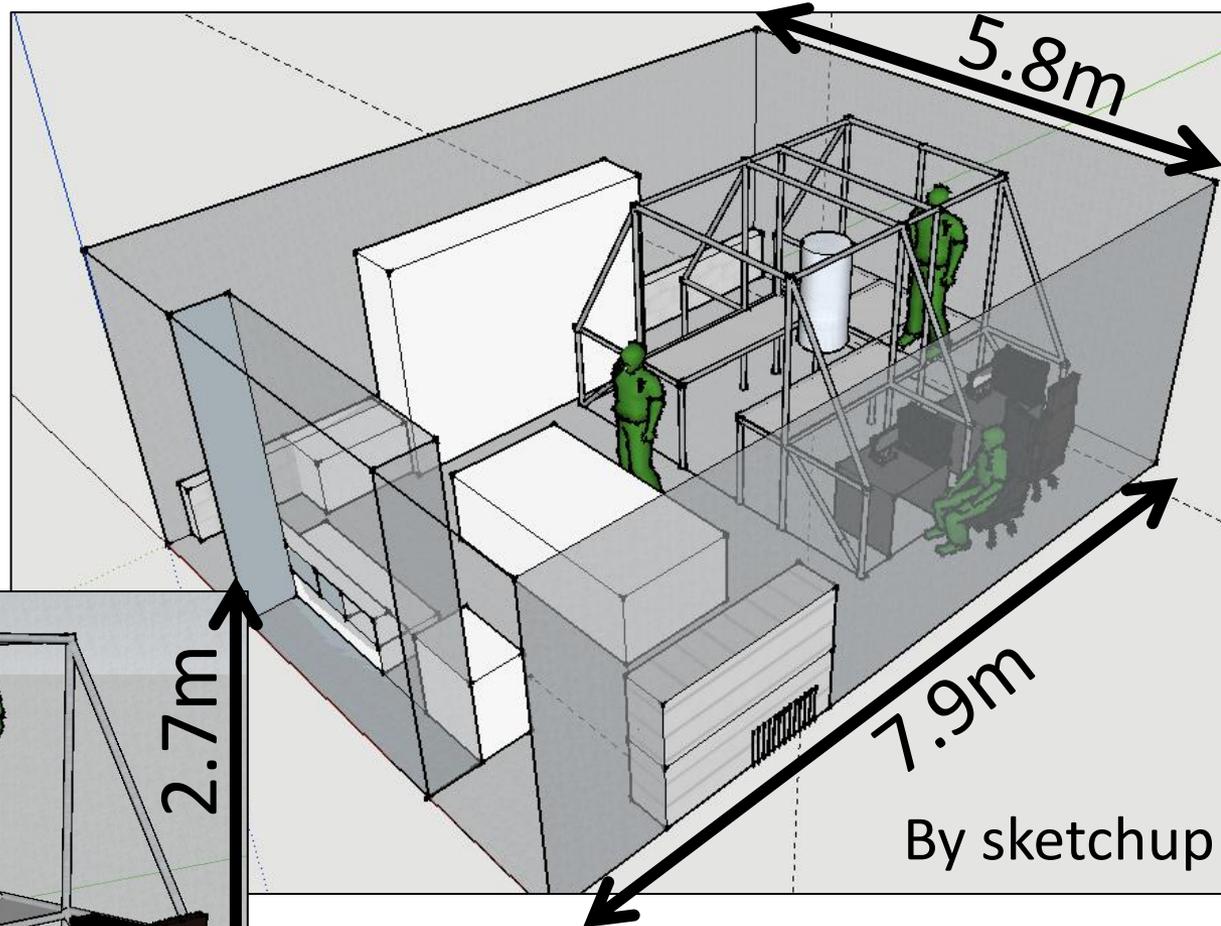
→ 7月を目処に納品予定

# 実験施設の補強・増強

◆西早稲田キャンパス  
8Fの実験室の増強

→ 一体型フレーム  
(3m × 4m × h2.5m)

十分な重量耐性  
拡張柔軟性を確保。



将来の地下実験に向けて、  
可能な限り移設可能&再構築  
が容易な構造を目指している。

# まとめと今後

**ANKOKは始動3年で、開発第1フェーズを終え、  
現在、本実験検出器製作に移行中**

- ✓ ★ 本実験検出器の設計・製作・実装 ( $\Phi 30\text{cm} \times h30\text{cm}$ )
- ✓ ★ ANKOK Simulationの構築
- ✓ ★ **PSD Rejection** + S2/S1 Rejectionの最大化 ( $\gamma/e : \text{Ar39}$ )
- ✓ ★ (極)低バックグラウンド化の必要性 ( $\text{Ar} + \alpha \rightarrow n$  etc)
- ✓ ★ VUV-MPPCの開発・試験・利用 ( $\rightarrow$  壁際位置分解能)
  - ★ 環境背景事象の遮蔽
  - ★ **DAQ**、その他いろいろ。。。
  - ★ 地下実験に向けた準備・検討

$\rightarrow$  世界一の**光量とPSD**に加え、**S2/S1 + VUV-MPPC/lowbkg**で低質量DM探索で世界的競争力のある実験結果を。。。

# お願い/お誘い

共同研究してくださる方  
大歓迎です!

気軽にお声かけください。

今後2~3年のtime scaleで物理結果を  
一緒に目指しましょう。