

# 気液2相型アルゴン光検出器 を用いた暗黒物質探索 (ANKOK実験)

寄田浩平 (早大理工)

For the ANKOK Group

23.Aug.2014 @ 大阪大学  
新学術・地下素核研究会

# 気液2相型Ar光検出器の概要

## ◆ Ar基礎特性:

密度:  $1.4 \text{ g/cm}^3$

沸点:  $-186^\circ\text{C}$

粒子反応:

— 電離電子・蛍光  $\sim 50/\text{keV}$

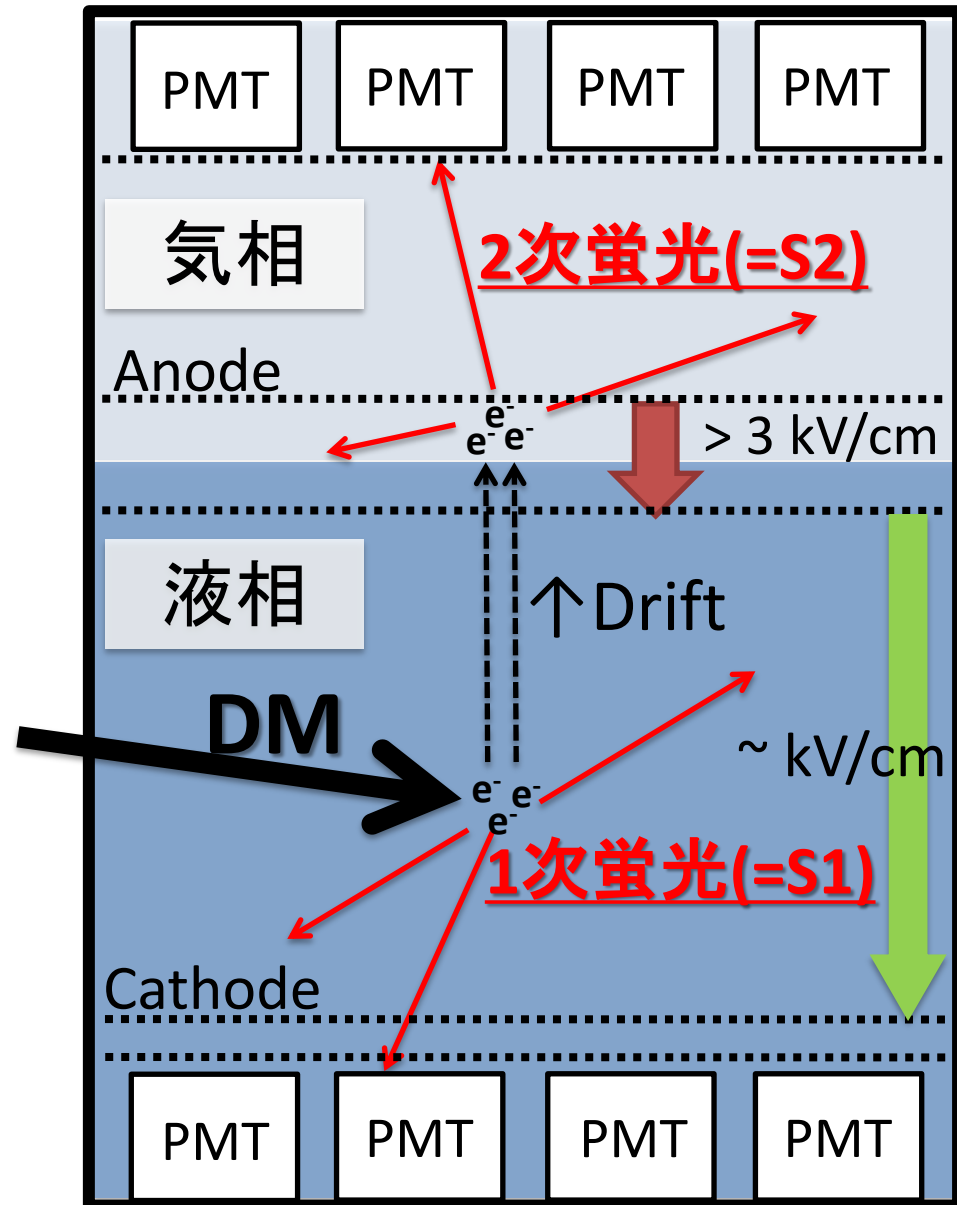
— 蛍光は  $128 \text{ nm}$  (VUV)

★ 安価 (水 $\sim$ 安いワイン程度)

## ◆ 開発要素:

- ✓ 128nm VUV蛍光の検出
- ✓ 極低温、高純度、高電圧印加  
→ 安定・安全運用の確立
- ✓ 3次元位置再構成 (x-y, z)
- ✓ 極低background技術 e.t.c.

★  $^{39}\text{Ar}$ 同位体の存在



# 信号事象と背景事象

## ■ WIMP Signal:

→ Nuclear Recoil (NR)

□  $\gamma$ - $\beta$ : ( $^{39}\text{Ar}$  (1Bq/kg) )

→ Electron Recoil (ER)

① S1の波形弁別 (PSD)

→ Slow/Total (Arの強み)

② S1/S2比

→ 光/電離 (2相型の強み)

→ 合わせ技 (>  $10^8 \sim 9$ ) (+ shield)

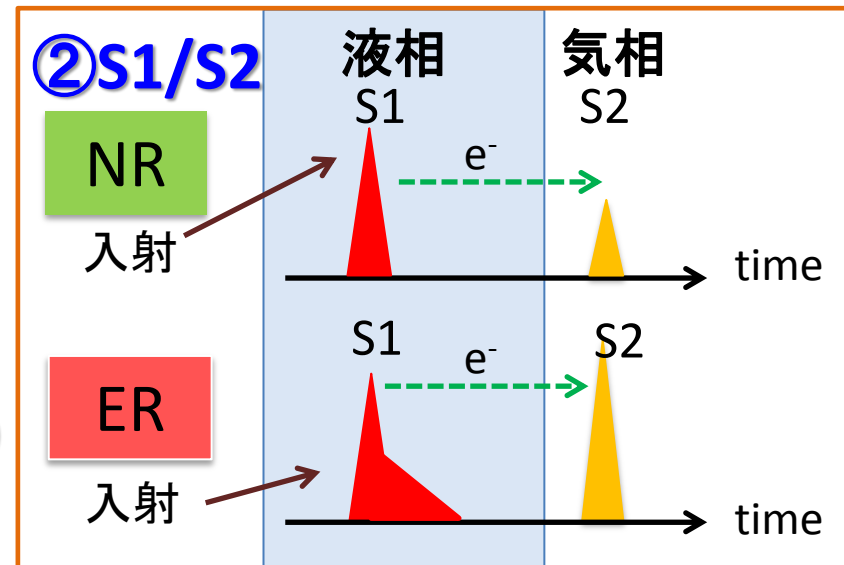
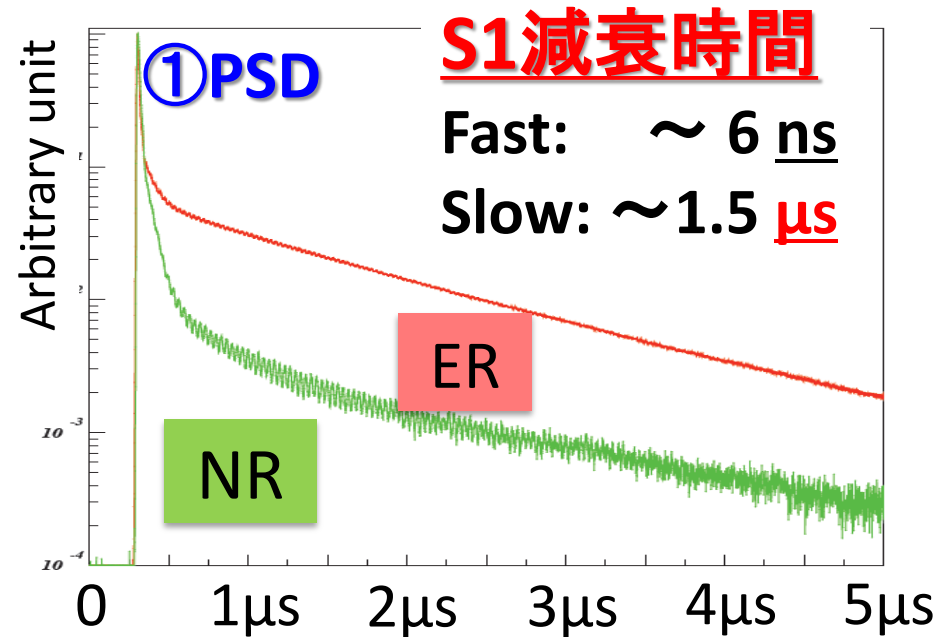
□  $\alpha$ : higher Energy + 発光位置

□  $\mu$ : veto (+→地下)

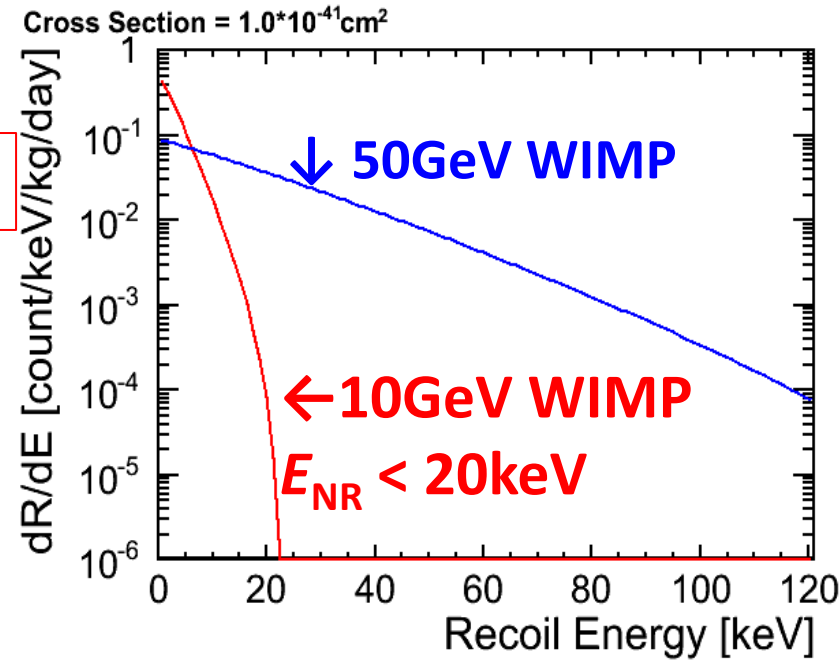
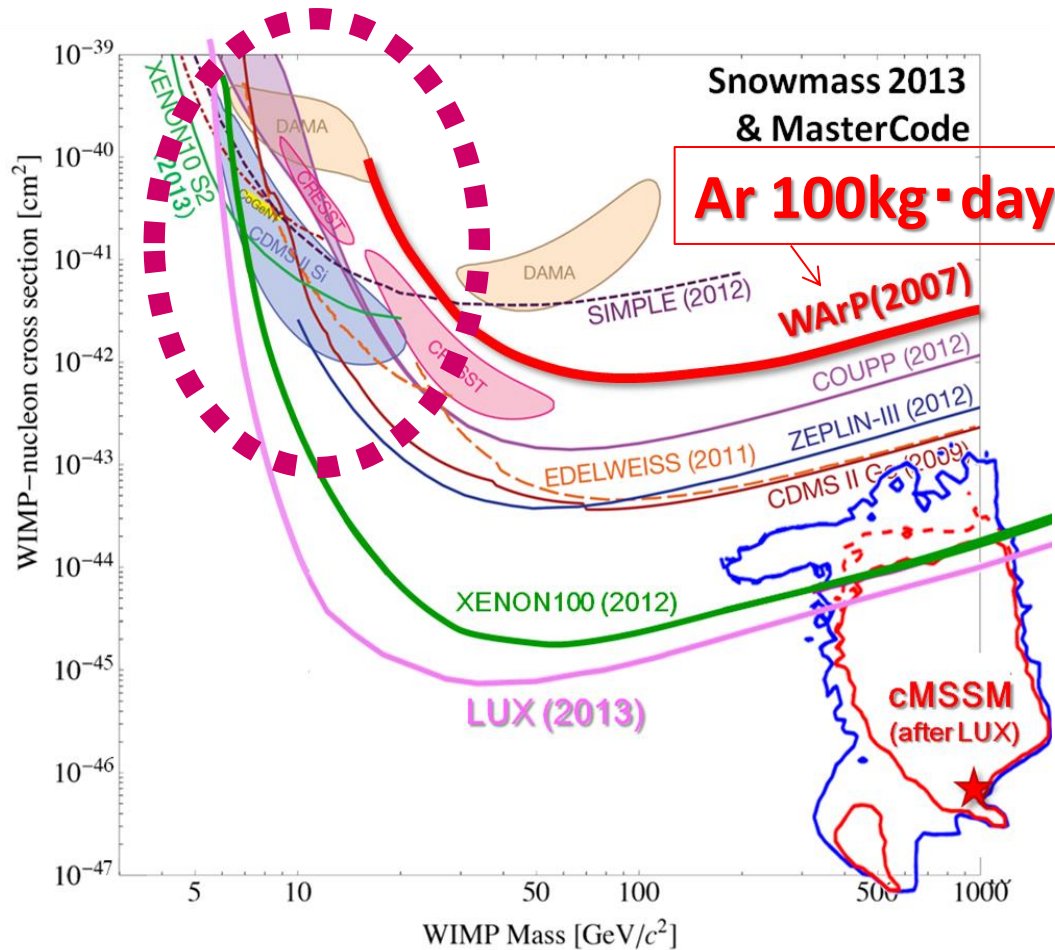
□ Neutron: (NR)

→ Shield + multiple int. (+→地下)

**\* 極低技術が重要**



# ANKOK実験のターゲット



□ **~10GeV WIMP探索**  
 →原子核反跳  $< \sim 20 \text{keVnr}$   
 の信号検出が必要条件

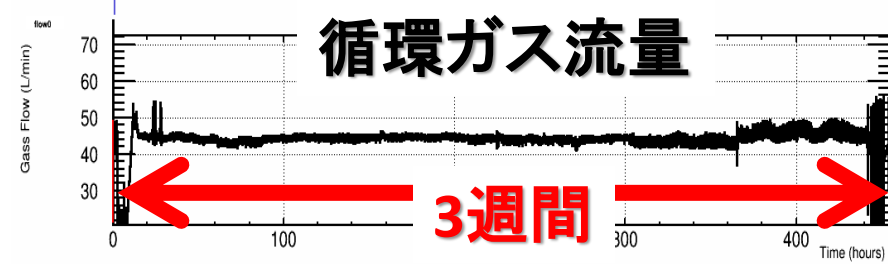
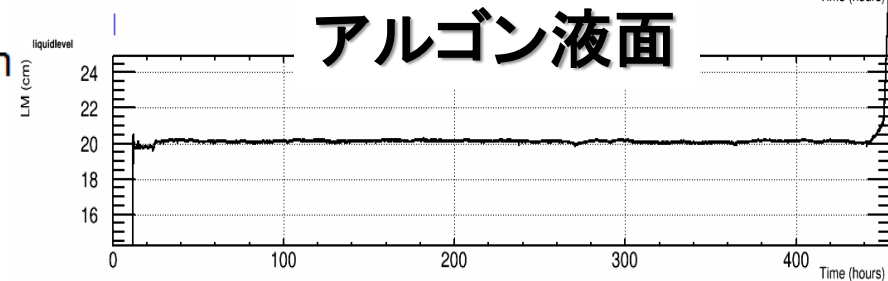
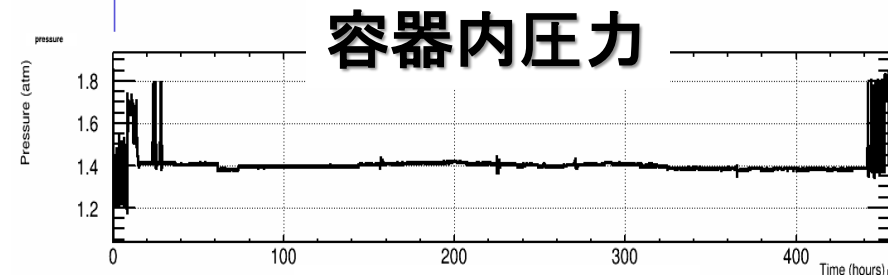
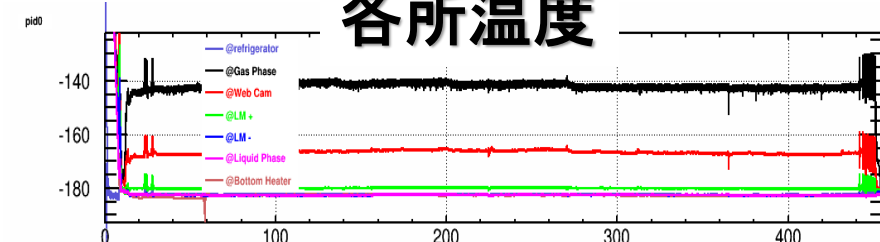
- ① **高感度化(検出光量最大化)**
- ② **背景事象の除去能力**

# 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 各所温度





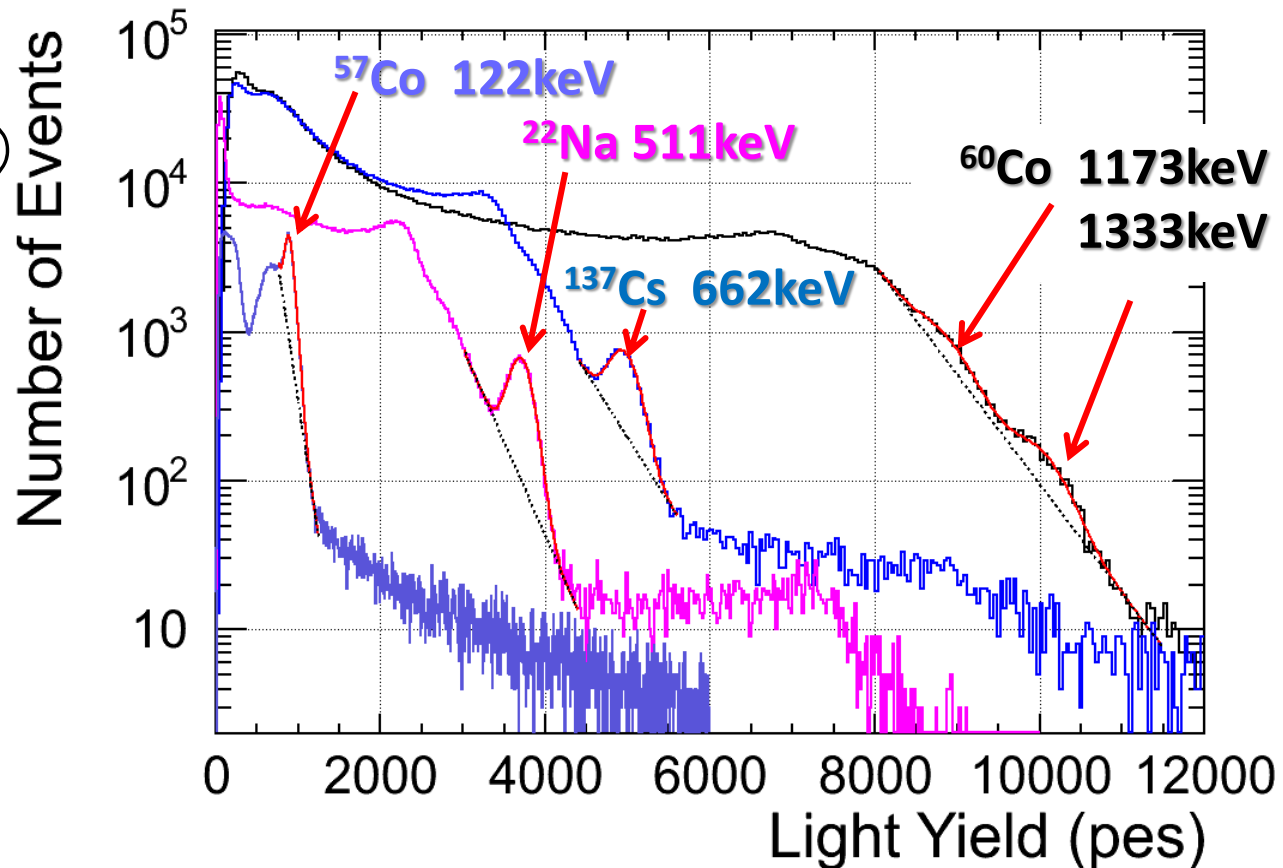
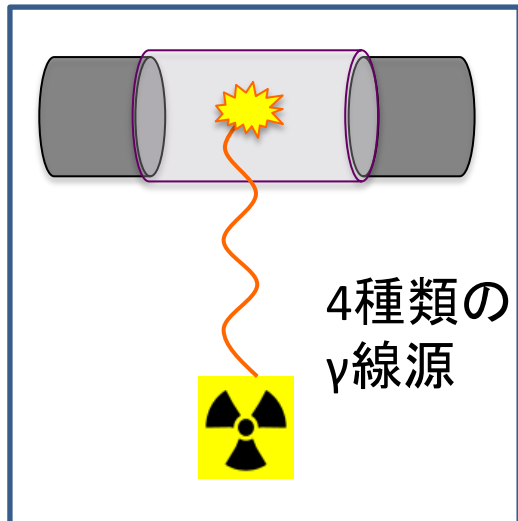
# これまでの結果：検出光量の最大化

## ◆2013年12月のRunの結果：

★ 液体1相式検出器（～0.2kg）で光量評価：

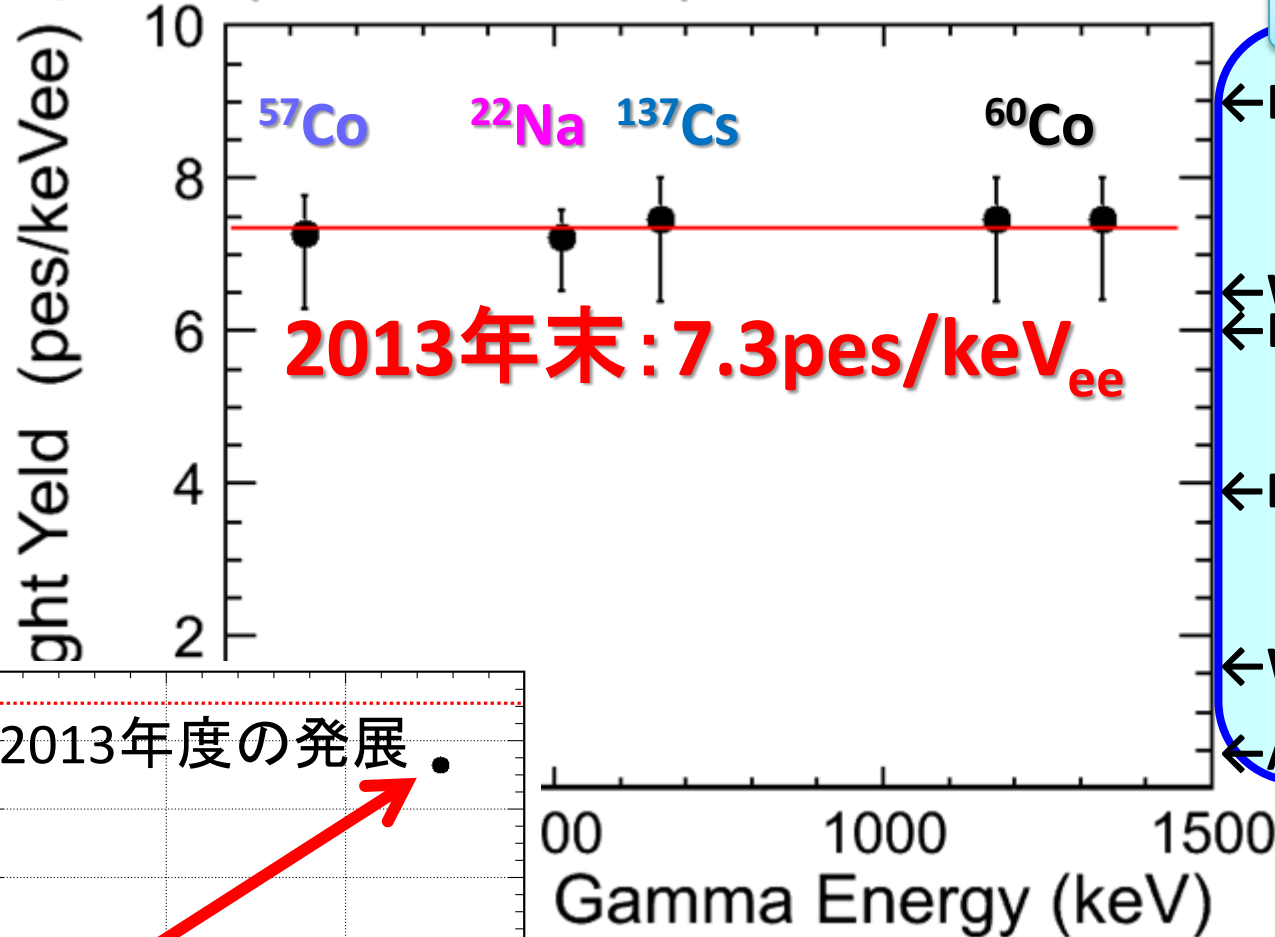
- PMT・反射材に塗布するTPB量の最適化・手法確立（真空蒸着）
- 不純物の除去（ $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ）の徹底

液体アルゴン中に2本のPMT（R6041-506MOD）と反射材(+TPB)で構築



# 光検出効率の測定結果と比較

Light Yield ( Total = fast + slow )



他のLAr実験

← Dark Side : 9.1

← WArP140: 6.4

← DEAP/CLEAN: 6.0

← DARWIN(Ar): 3.8

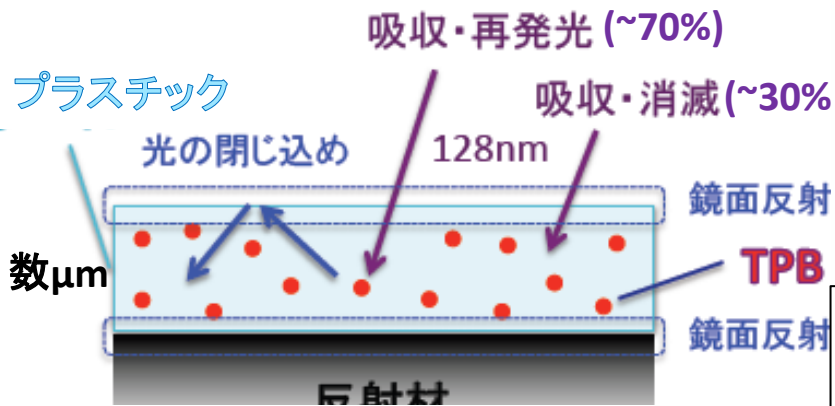
← WArP 2.3L: 1.6

← ArDM: 0.4

◆ 他開発とも並行して、さらなる光量最大化を目指していく。(Higher QE PMT etc)

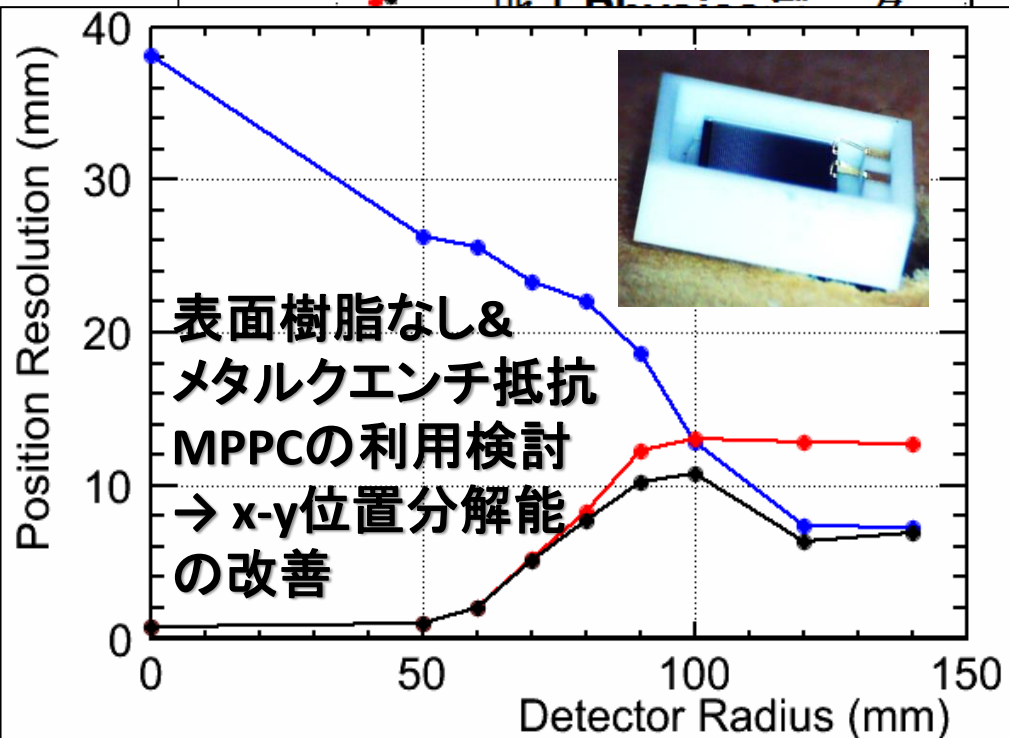
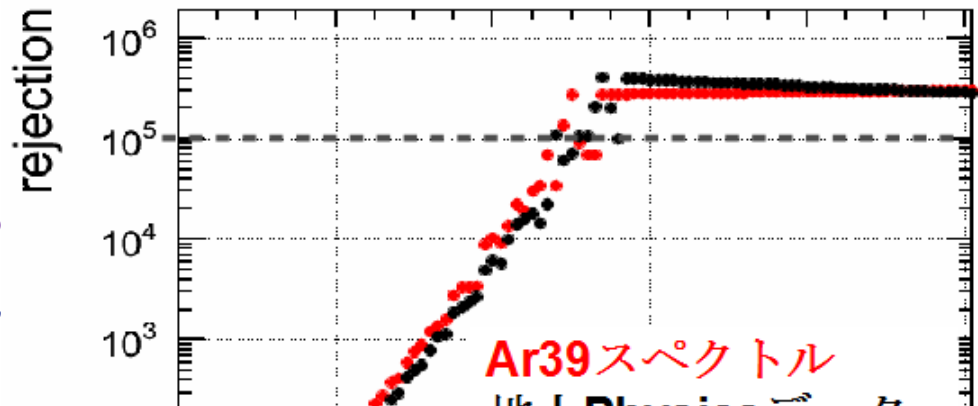
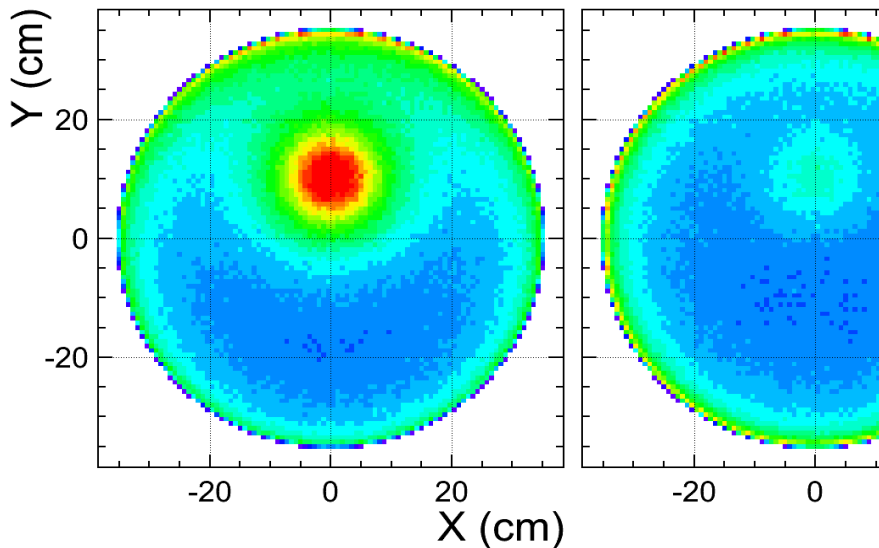
# これまでの結果：その他いろいろ

## 【高分子マトリックス法によるTPB塗布】



透過率100%の場合

透過率20%の場合



詳しくは、2014年3月日本物理学会4講演(田中、鷲見、橋場、五十嵐)参照



# 2014.7.15～8.3の実験(≡ Run6)

## ◆ 今回の実験目的:

- 2相型による総合的PID評価
    - ードリフト電場依存性
    - ー取り出し電場依存性
  - 地上物理データの取得
    - ー内部PMT veto
    - ー外部veto, シールド(鉛・水)
- (★長期間の安定運転)

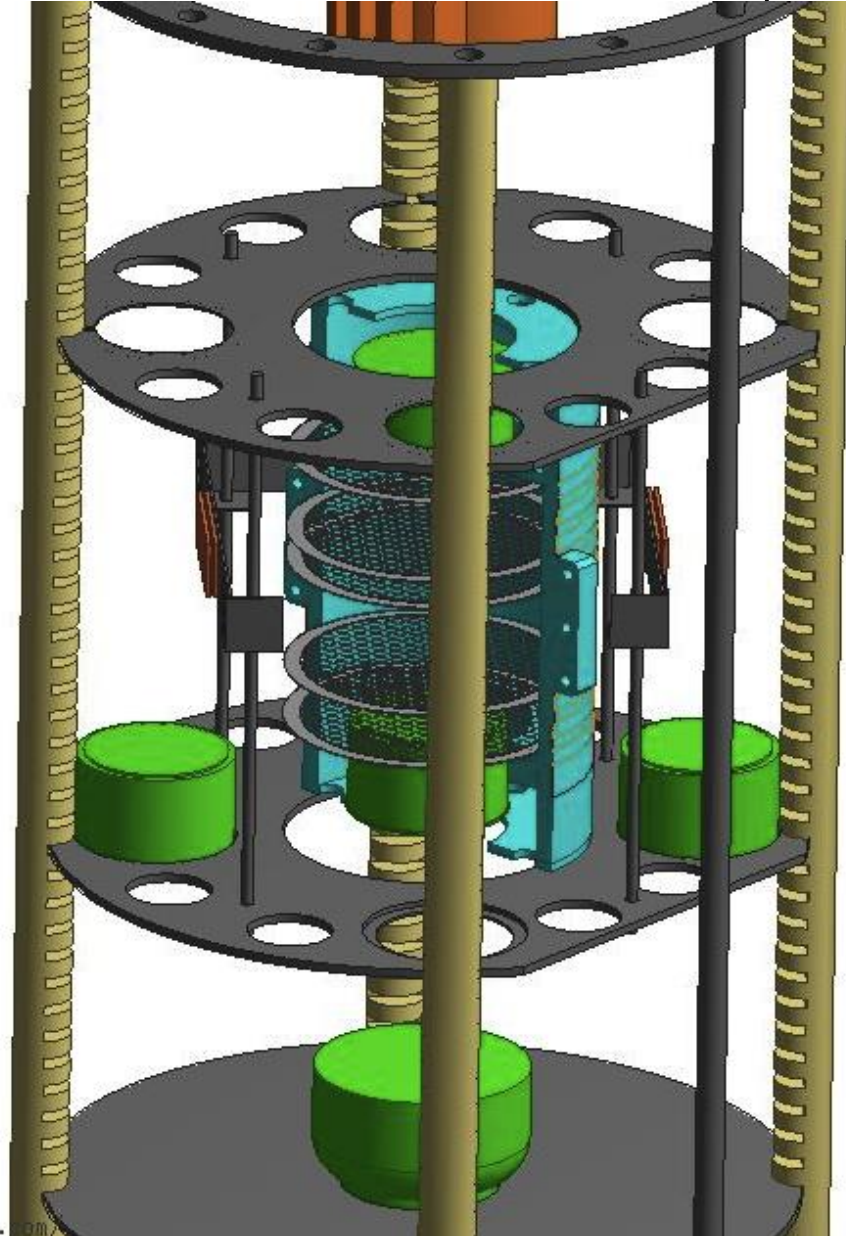
## ■ 取得したデータの例:

- ◆ 線源:  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{252}\text{Cf}$
- 各およそ $1 \times 10^6$

\* E-drift: 0～2kV/cm

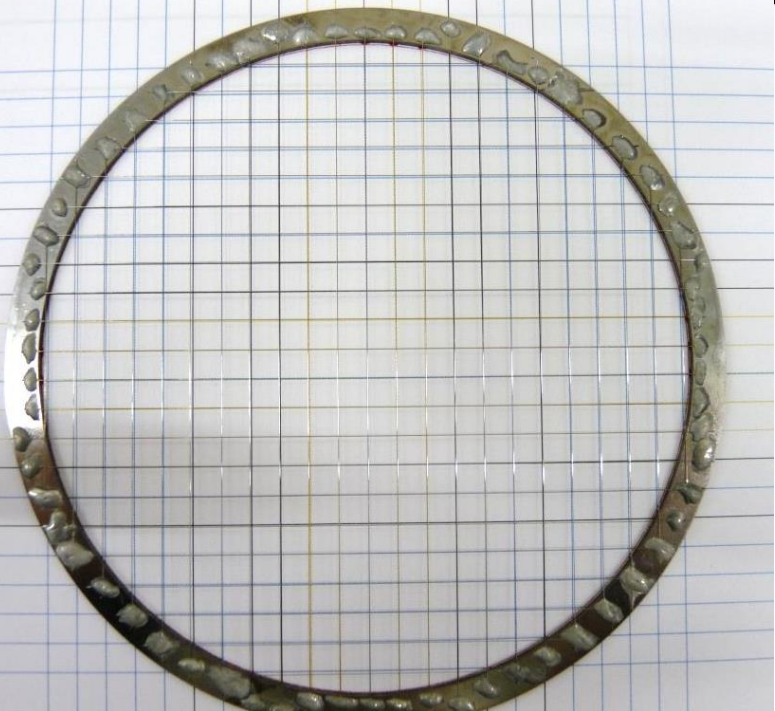
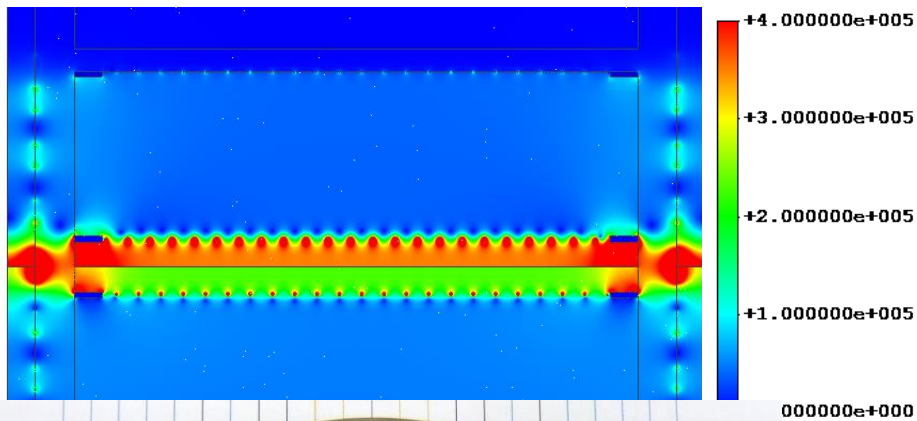
\* E-ext. : 0～7kV/cm (AG気-AG液)

- **Physics Run:** (E-drift(ext.) 500(3.8k)V.cm)
- w/ shield: ~ 2days
- w/o shield: ~10 hours



# Run6 重要事項

## ◆ 検出器内電場分布 (by Femtet)

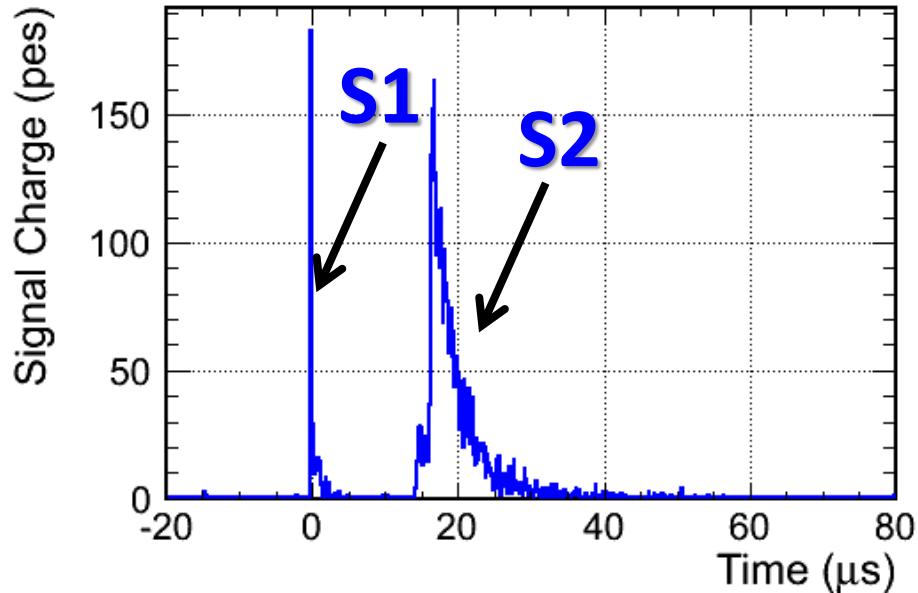


隔

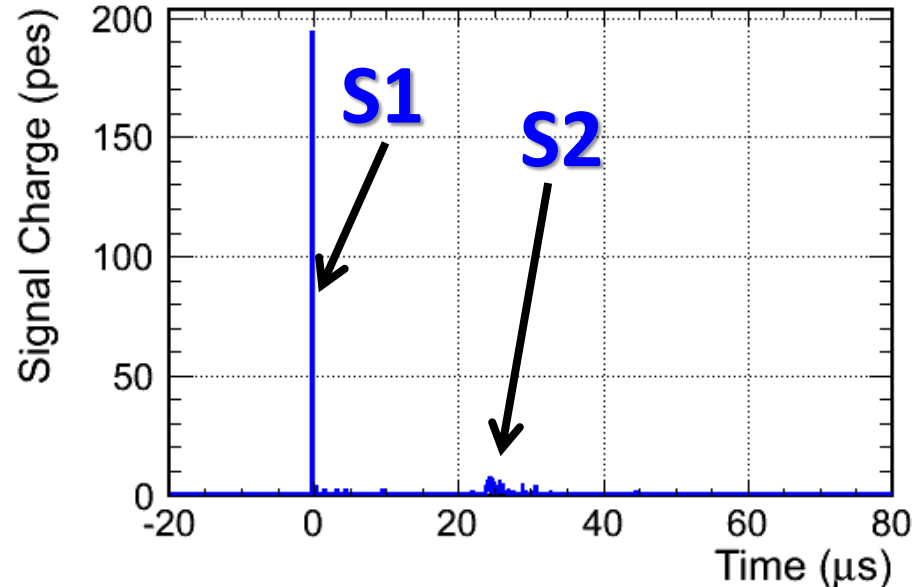


# Run6 取得データの例

## ◆ 典型的な $\gamma$ 事象 ( $^{60}\text{Co}$ )



## ◆ 典型的なn事象 ( $^{242}\text{Cf}$ )



### □ 光量の定義域:

“S1 fast”:  $t=0 \sim 100\text{ns}$

“S1 slow”:  $t=100\text{ns} \sim 5\mu\text{s}$

“S2”:  $t=5\mu\text{s} \sim 80\mu\text{s}$

### □ 事象選択:

S2の存在 ( $> \sim 1\text{pe}$ )

Multiple Event Veto

Drift time (= z-fiducial) cut

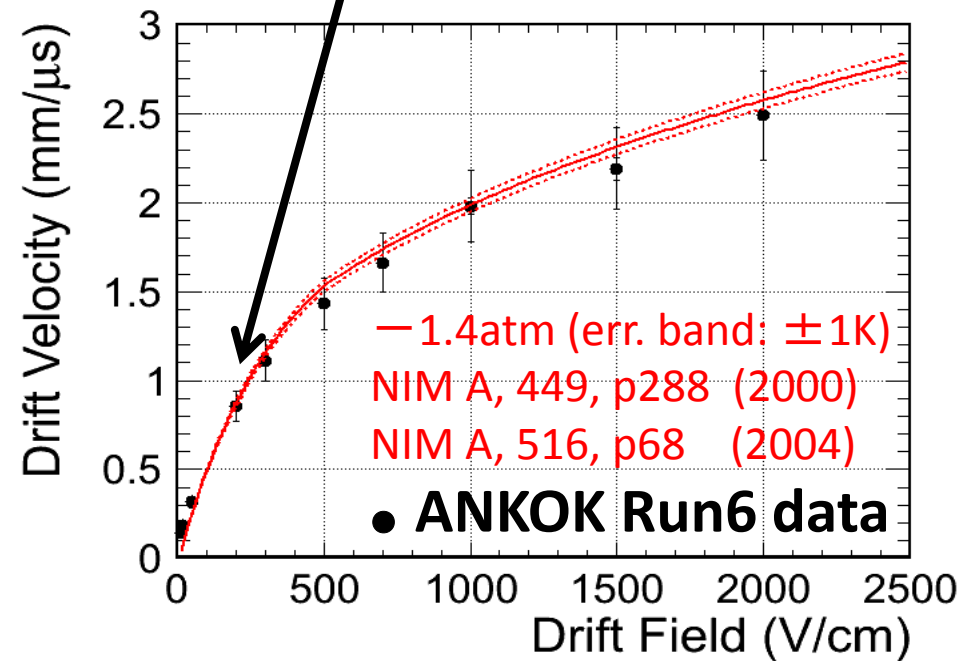
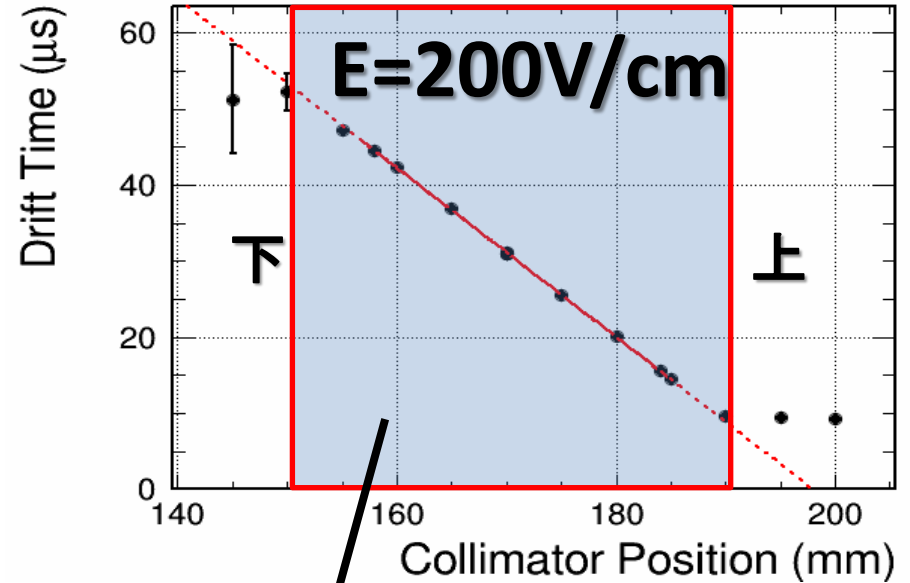
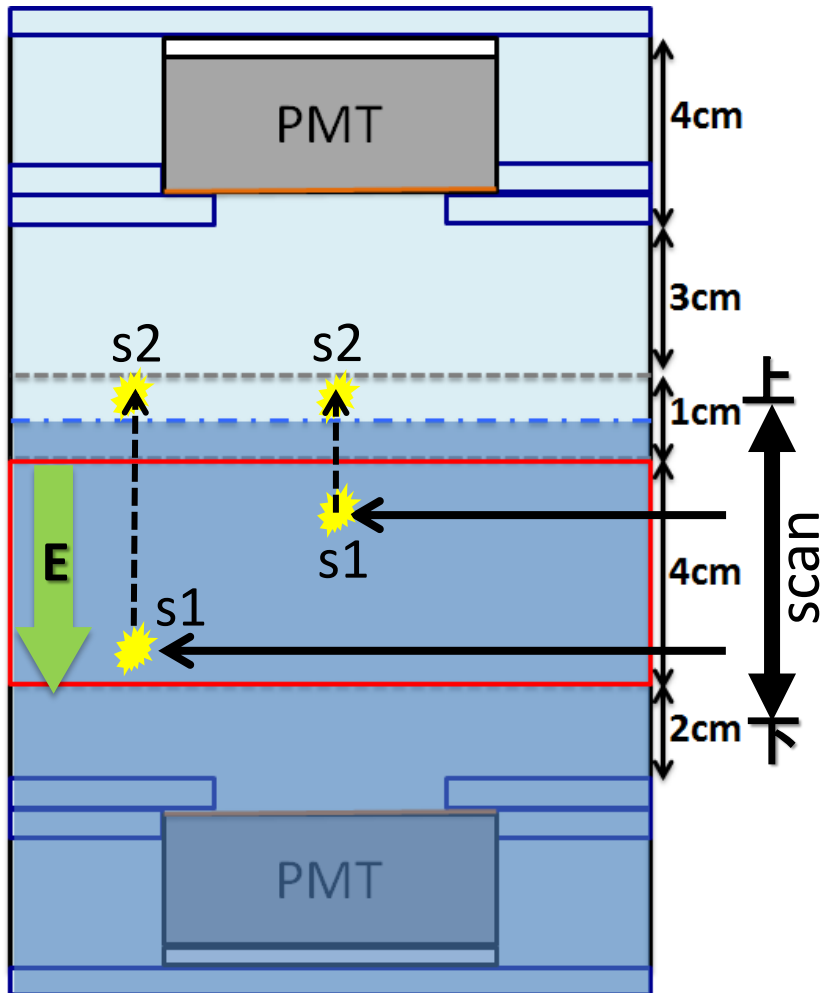
S1光量 (100 ~ 500 pes)

int-/out- Veto etc.

# ドリフト速度の電場依存性

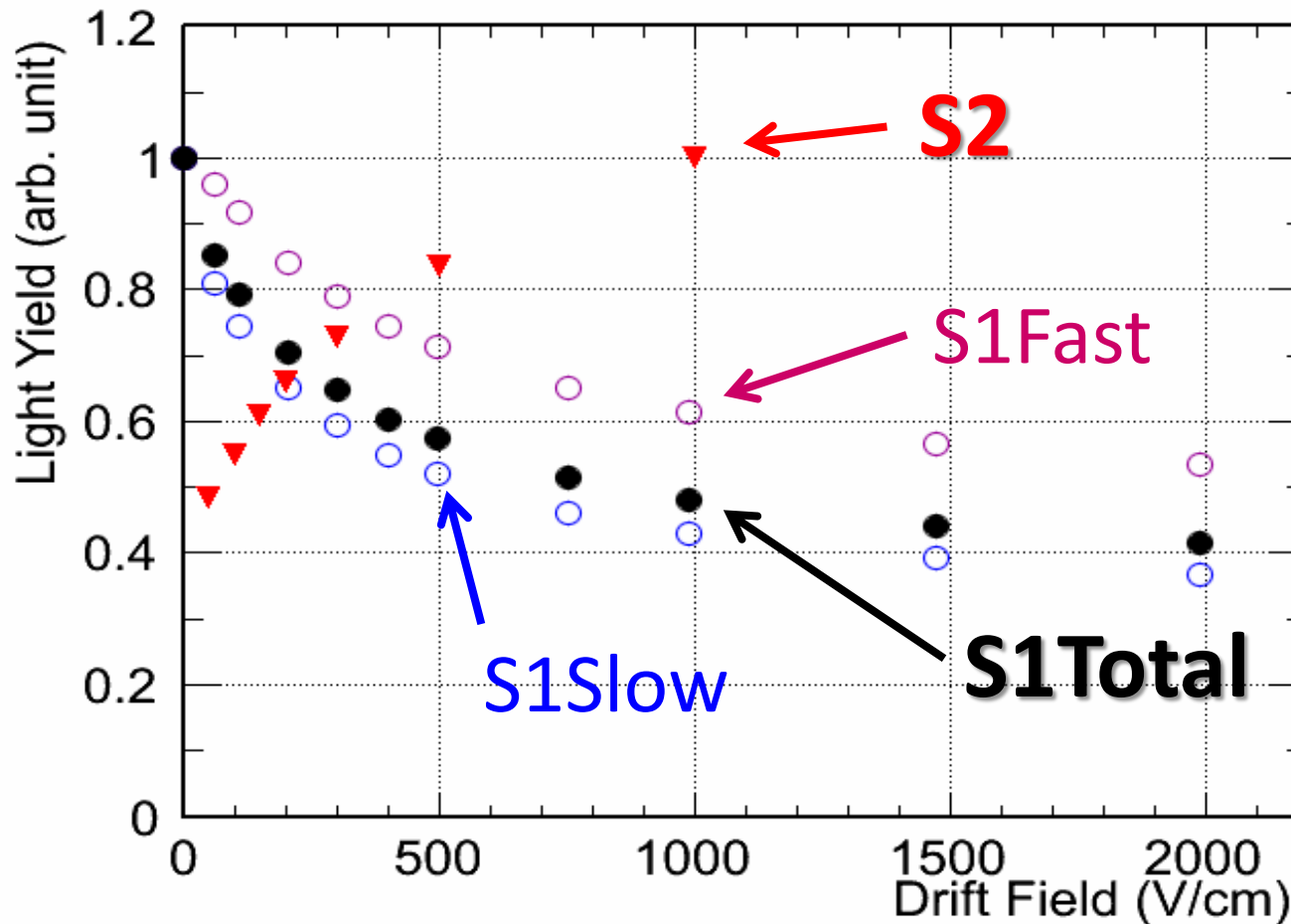
◆  $^{60}\text{Co}$ 線源をコリメートして入射

★ TPC:  $\Delta t (= t_{s2} - t_{s1}) \times v_E \rightarrow$  位置





# S1, S2光量の電場依存性



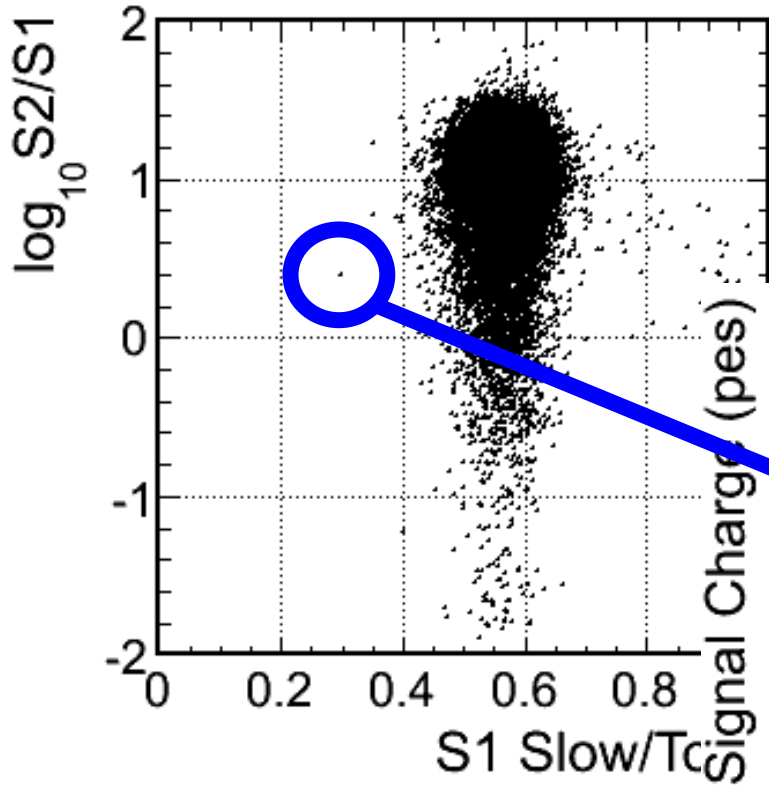
→ 今後これらの基礎データを総合的に精査し、光量・背景事象分離などの観点から、最適なConfigurationを決定する。

★ 取り出し電場、S2発光機構等の詳細は現在進行中

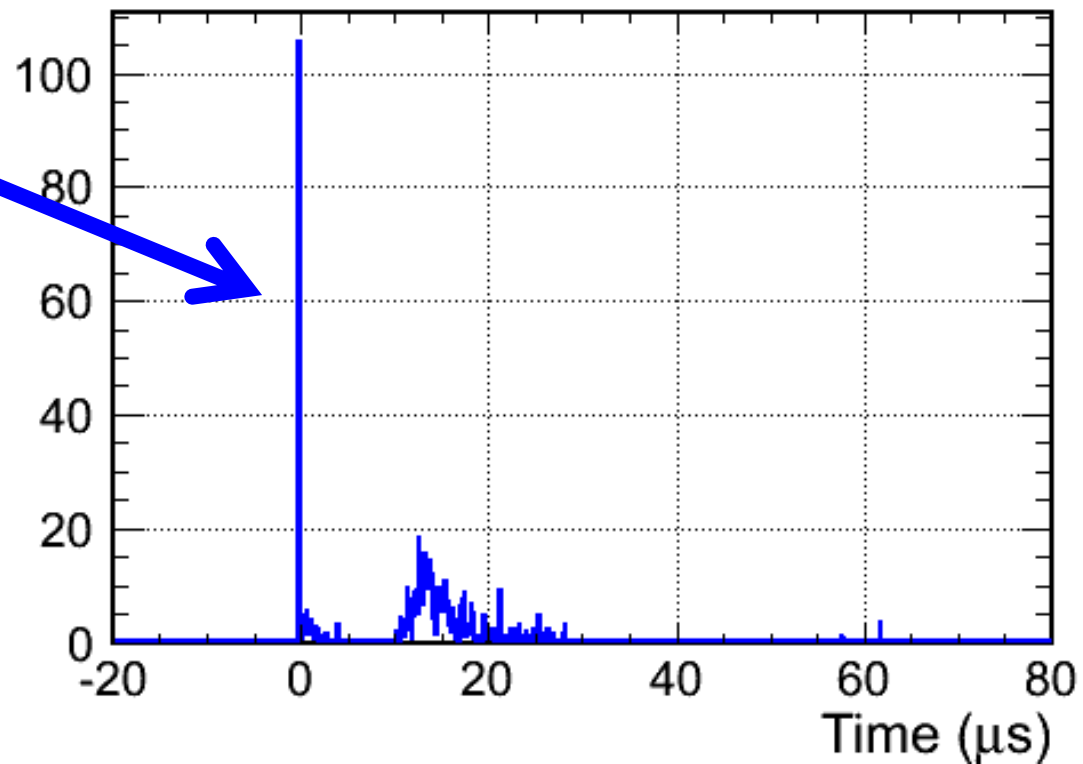
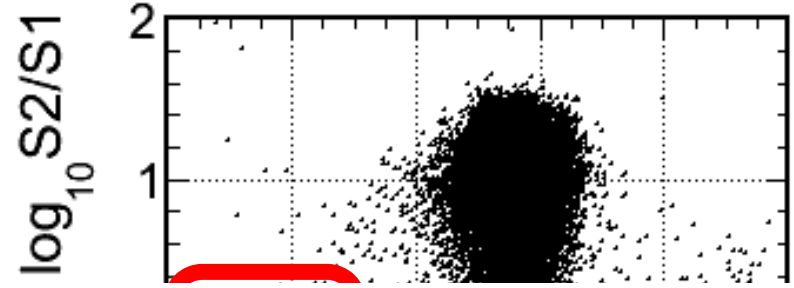


# $\gamma$ rejection by (PSD) & (S1/S2)

◆  $^{60}\text{Co}$ 線源



◆  $^{252}\text{Cf}$ 線源



→ 今回データ、このEnergy  
Rejection powerの定量化

# Physics Data @ Surface (新宿区)

## ◆ 検出器パラメータ:

- Drift field : 500 V/cm
- Extraction field: 3.8 kV/cm
- 内部vetoの実装

## ◆ 上下PMT self-trigger:

- Threshold 5mV (~ 1pe相当)

## Outer Veto:

外側上下・側面カウンター

## Shield:

鉛~6mm、水~30cm

**Rate シールド無: 91 Hz**

**→ シールド有: 45 Hz**

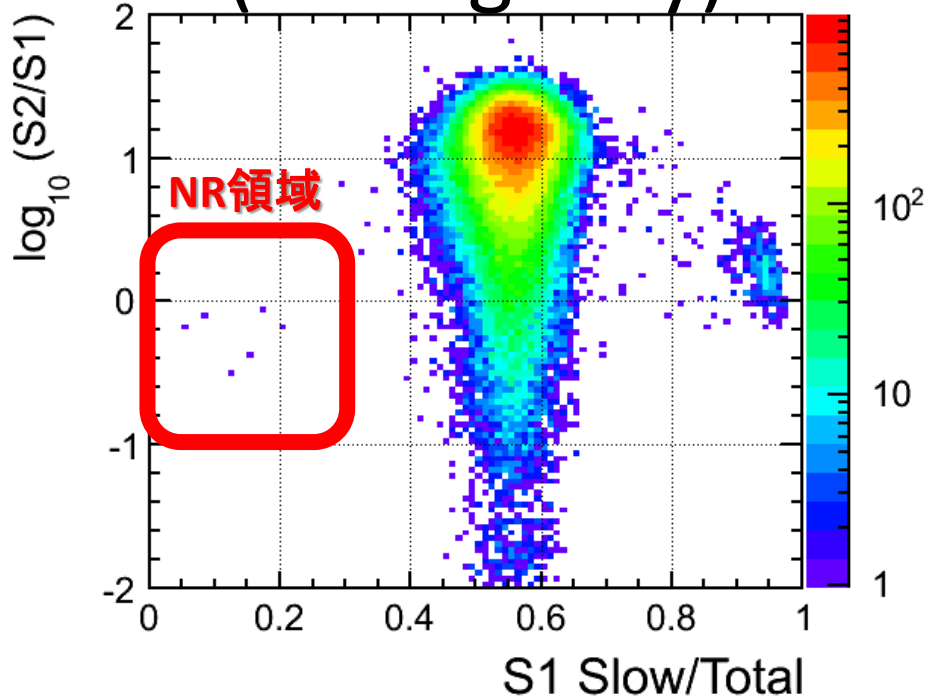
1m x 1mセンチ

(上階の床)



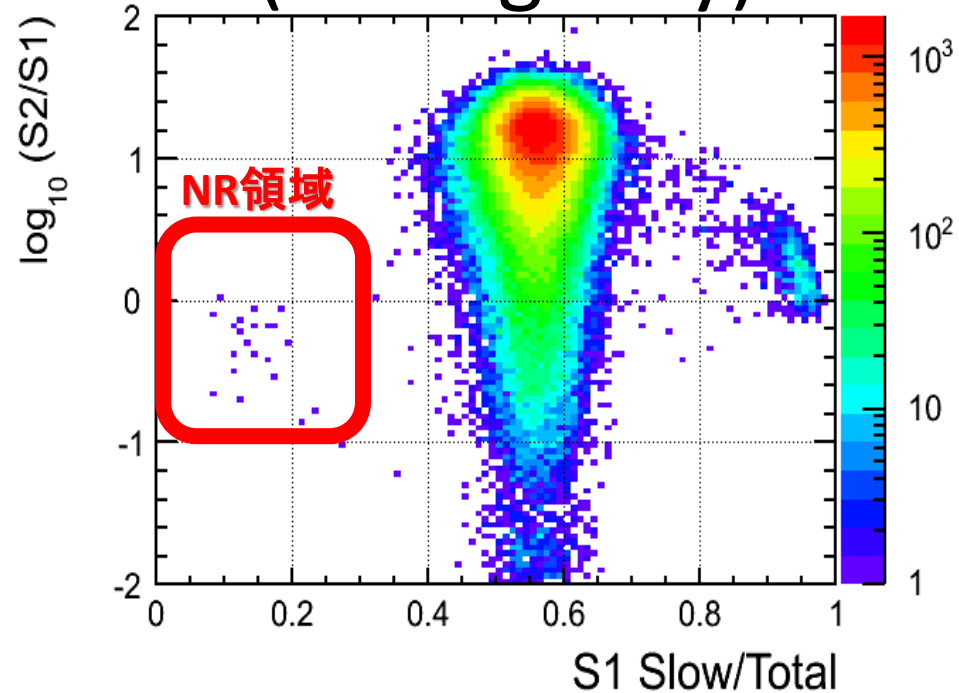
# Physics Data @ Surface(新宿区)

シールドなし  
(0.08kg・day)



**NR領域内：6事象**

シールドあり  
(0.41kg・day)



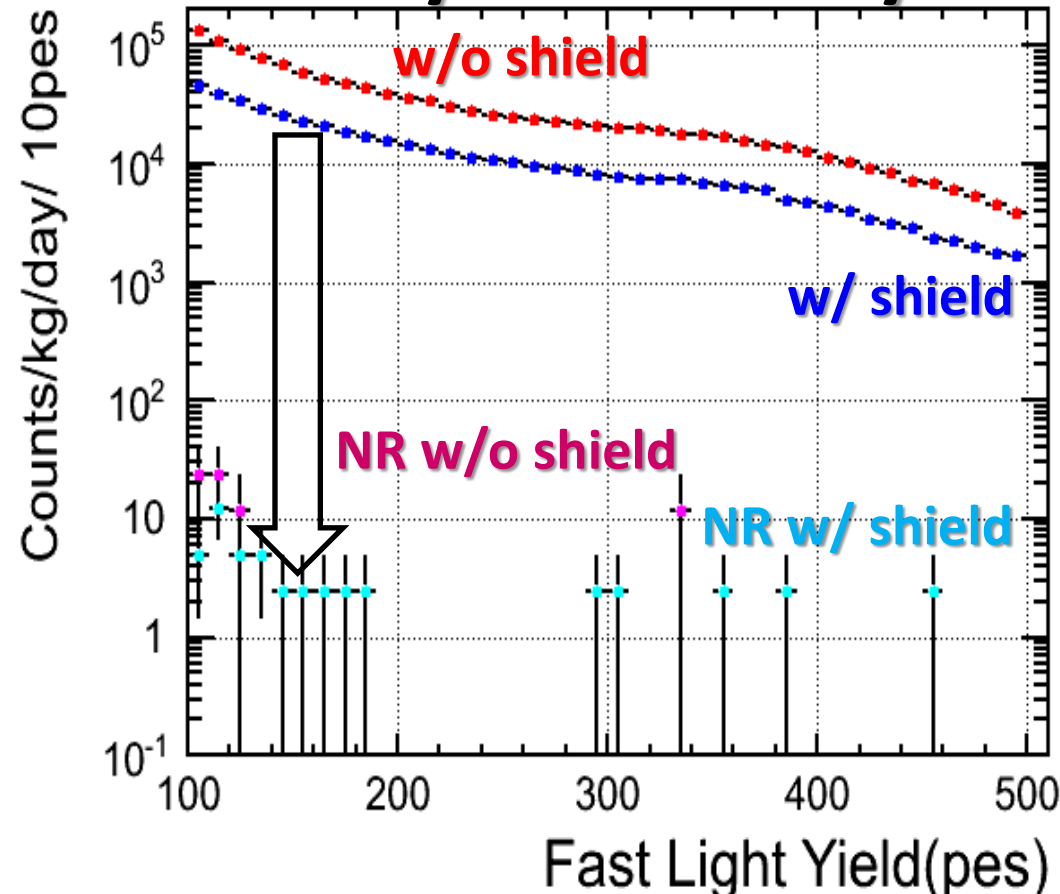
**NR領域内：21事象**

**NR内事象の波形は、全て中性子事象に見える**

# Physics Data @ Surface(新宿区)

→ counts/kg/dayにスケールしてみる

**\* Very Preliminary \***



★ 初期データ:  $\sim 10^6$  の  $\gamma$ -like事象は全て除去

★ この領域 (100-500pes) でのneutron-like量:  
 シールド無:  $\sim 70\text{ev/kg/day}$   
 シールド有:  $\sim 50\text{ev/kg/day}$   
 (\*誤差大)

(→ 詳細は学会@佐賀にて)

# まとめと展望

## ■ ANKOK実験の概要と状況:

### → 小型で高感度な検出器を用いた低質量WIMP探索実験

- ① 極低温・高純度・高電圧等、安定した検出器システムを構築
- ② 現在、7.3pe/KeVee (世界No2)の光量を達成  
→ High QE PMT、N<sub>2</sub> filter等で、10pe/KeVeeを目指す(→~20KeVnr)
- ③  $\gamma/n$  separation  
→ Run6結果の解析中(低い光量領域も含め)
- ④ 鉛シールド、水シールドによる環境背景事象削減努力(→ n flux)

★ (比較的)低予算・短期間・少人数での実験実現(→次の展開?)

★ 赤外光やMPPC(VUV+NIR)の使用検討→他実験との差別化

★ 来年度中には地上実験結果を学術論文に纏める予定。

→ 同時に環境bkgや内部bkgの理解を進める(→問題の洗い出し)

今後は極低技術が鍵 → 本新学術との連携・協力に期待



