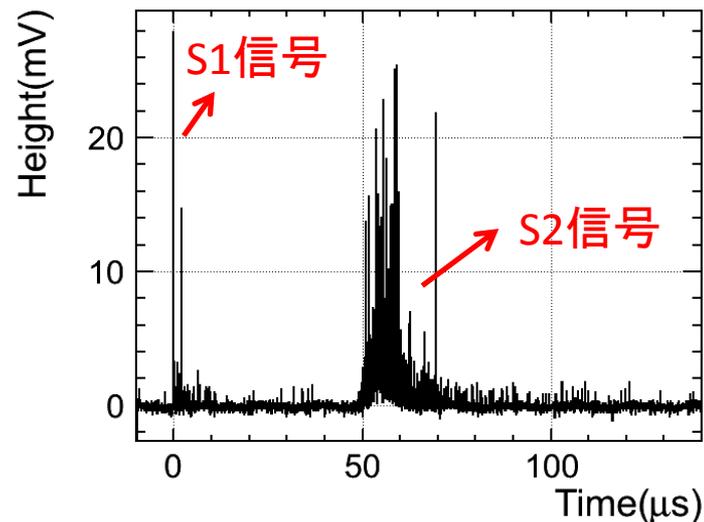


# 気液2相型Ar光TPC検出器



全員徹夜明けの朝に



寄田浩平  
早稲田大学

4月24日@富山県

「極低バックグラウンド素粒子原子核研究懇談会」

# グループ紹介

## ◆ 2009年4月始動の新しい(若い)研究室

### ✓ 液体ArTPC検出器開発研究

新規に2009年8月からR&Dを開始(3年半)

- 10L容器: 低温運用、純度、GEM, 電子読出し等の基礎研究
- 250L beam test@J-PRAC(液体1相) e.t.c.

→ 2012年から本格的にDM探索に向けた開発にシフト。

### 2013年度 Ar Member:

Staff: 寄田、田中

D1: 藤崎

M2: 岡本、橋場

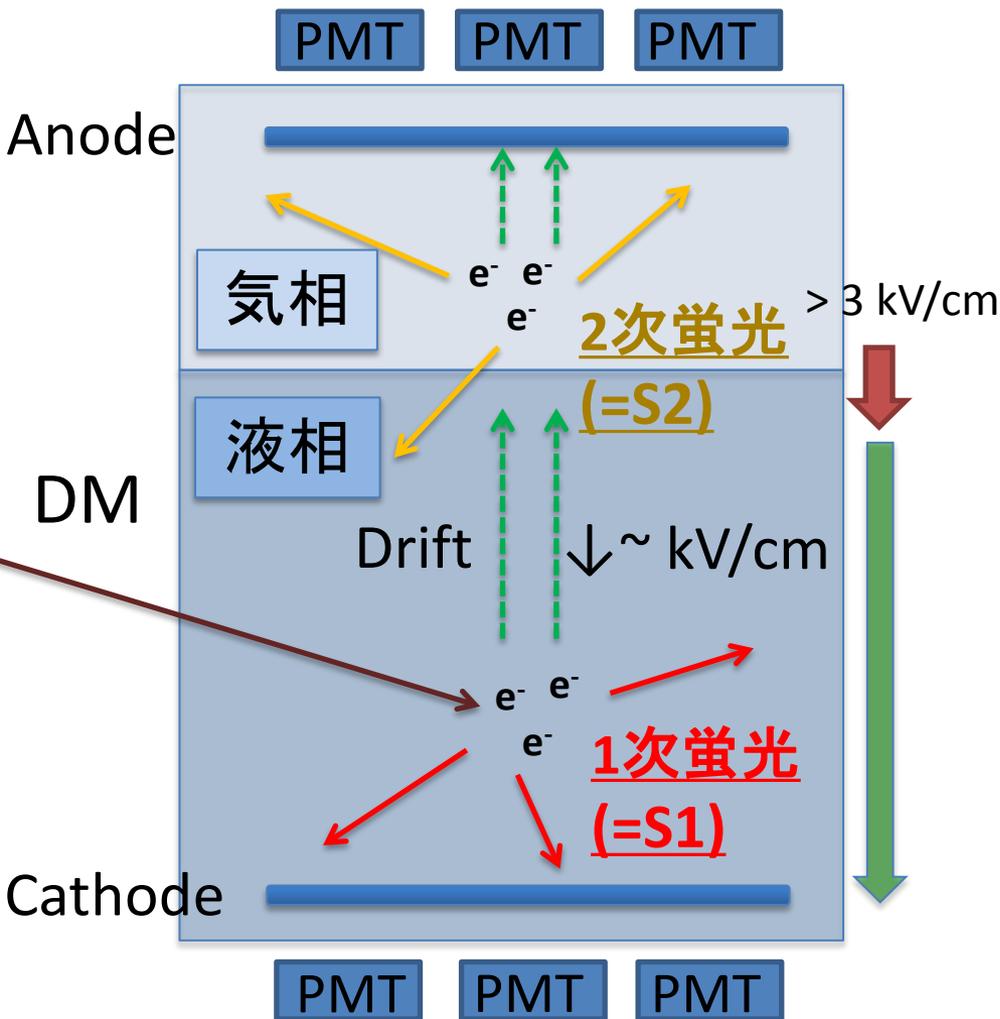
M1: 加地、川村、鷺見

B4: +2名

→ 合計10名の研究体制



# 気液2相型Ar光TPC検出器



## ◆ 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)

## ◆ 主な開発項目:

— 極低温、純度、高電圧印加

—  $128 \text{ nm}$  VUV検出

→ WLS(TPB)で可視光へ

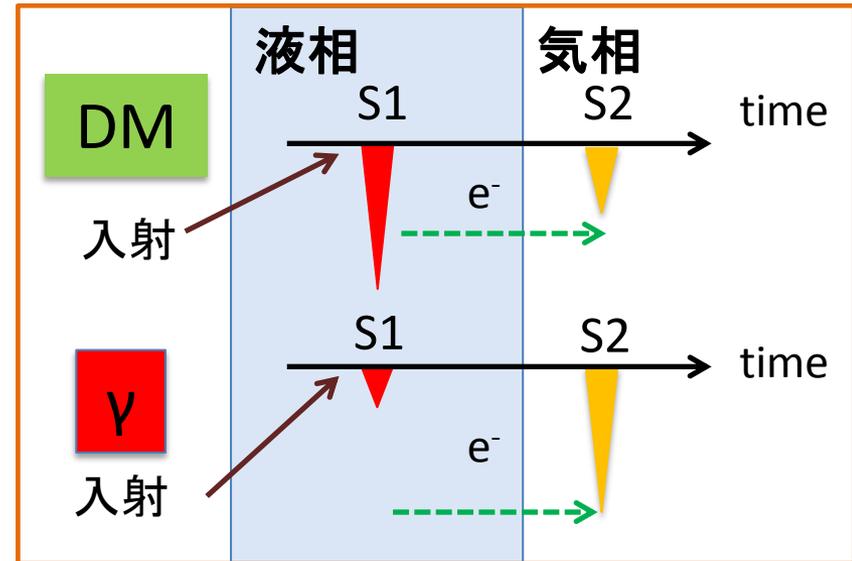
## ◆ $^{39}\text{Ar}$ 同位体の問題

# $\gamma/e$ の除去

## □ 放射性同位体 $^{39}\text{Ar}$

\* 1 Bq / 1kg-LAr

- ① S1/S2比で識別(2相型)
  - ② S1の波形解析弁別(PSD)
- 合わせ技で $\gamma/e$ 除去

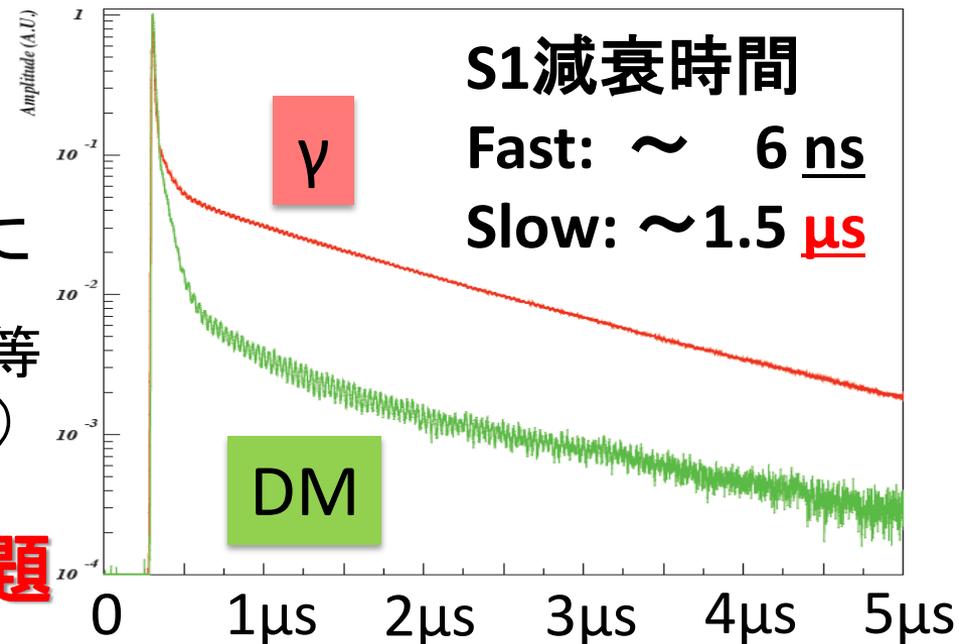


## ◆ 先行研究(DarkSide):

**10<sup>9</sup>程度の除去能力**を算出

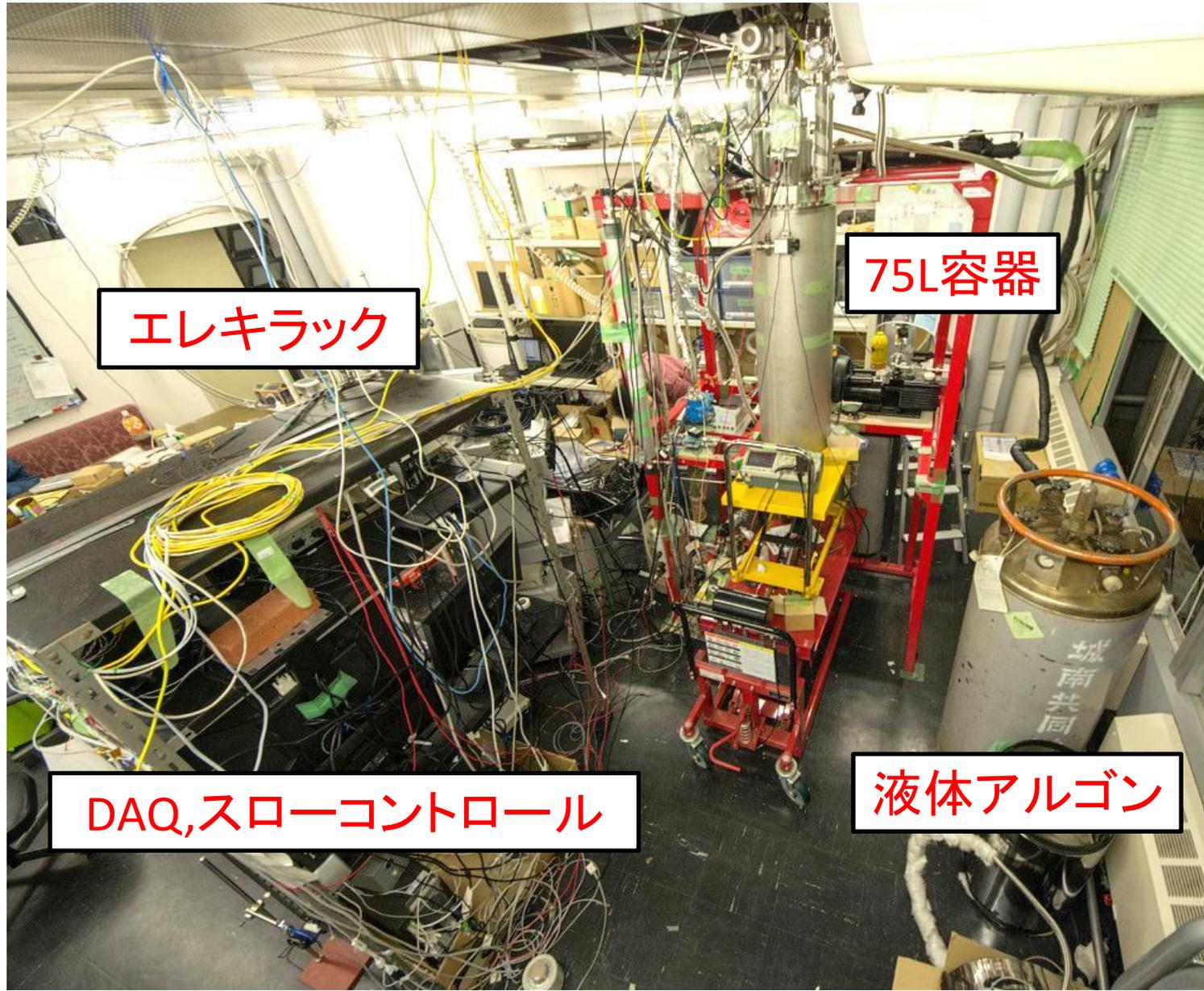
→ これが達成できれば、  
10000 Kg·dayで勝負可能に

\* さらなる大型化には地下精製設備等の抜本的対策が必要(大型化の鍵)



∴ **識別能力評価が最初の課題**

# テストスタンド@早稲田大学



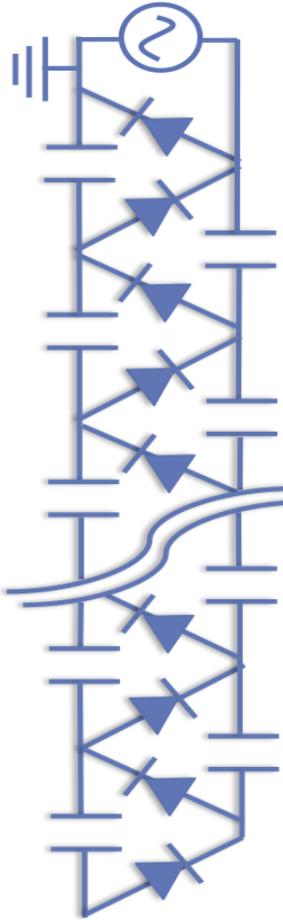
エレキラック

75L容器

DAQ, スローコントロール

液体アルゴン

# プロトタイプ検出器構成

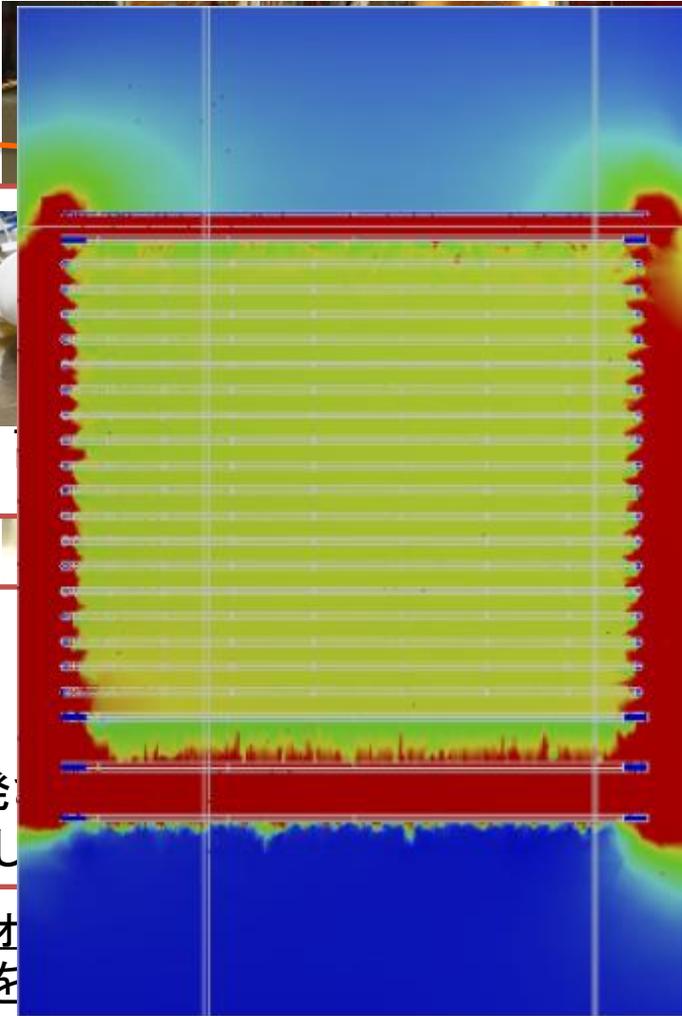


R1106!  
 ・ガラス窓  
 ・液体Ar  
 ・DM探索

R6041-  
 ・ガラス窓  
 ・MEG実  
 を液体Ar

BG、

開発  
 にし



シェーパー

1cm間隔で設置

CW

1kV/cmの電場を  
 達成

PMT

CW(コッククロフト-ウォ

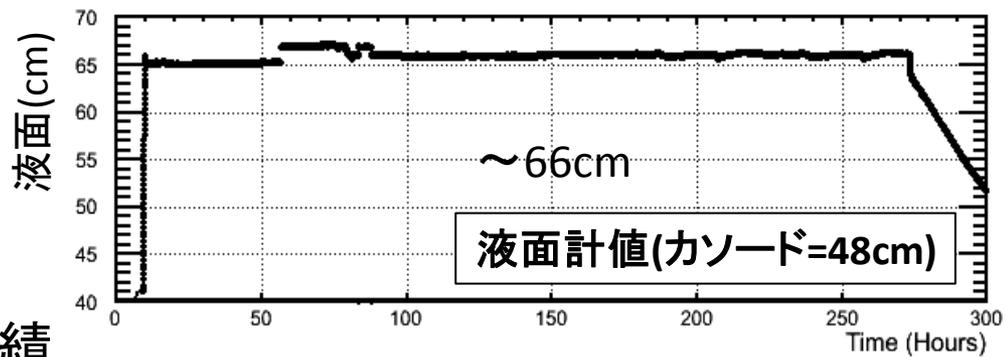
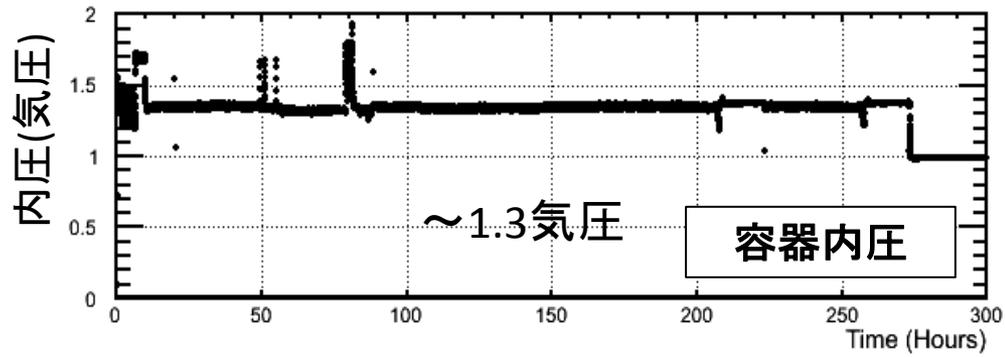
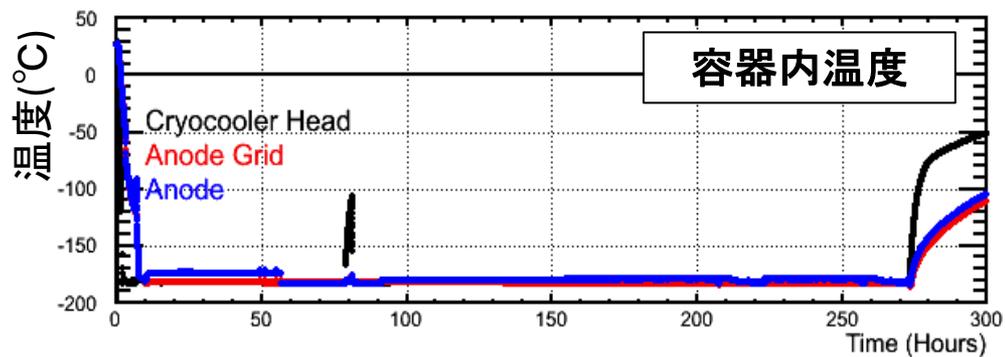
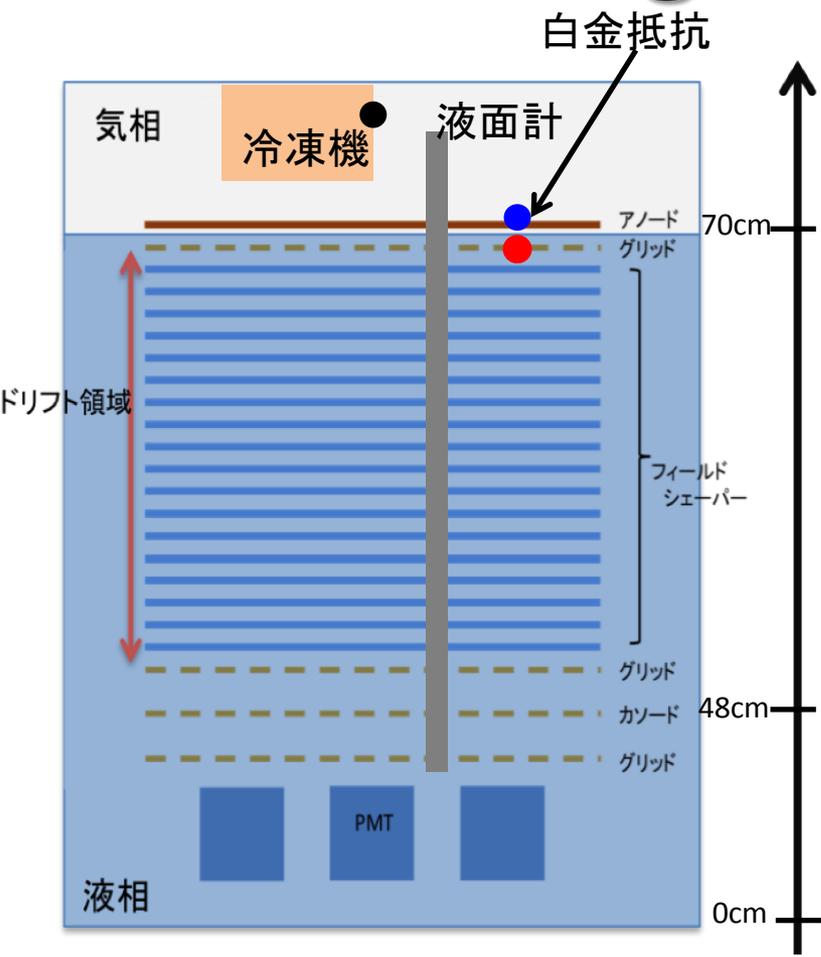
○小さい印加電圧を

○放電しやすいガスAr部分に高電圧がかからない。

○一度の充電で、数日間自然放電が生じない(ACノイズ無し)。

10nsサンプリング  
 み出し

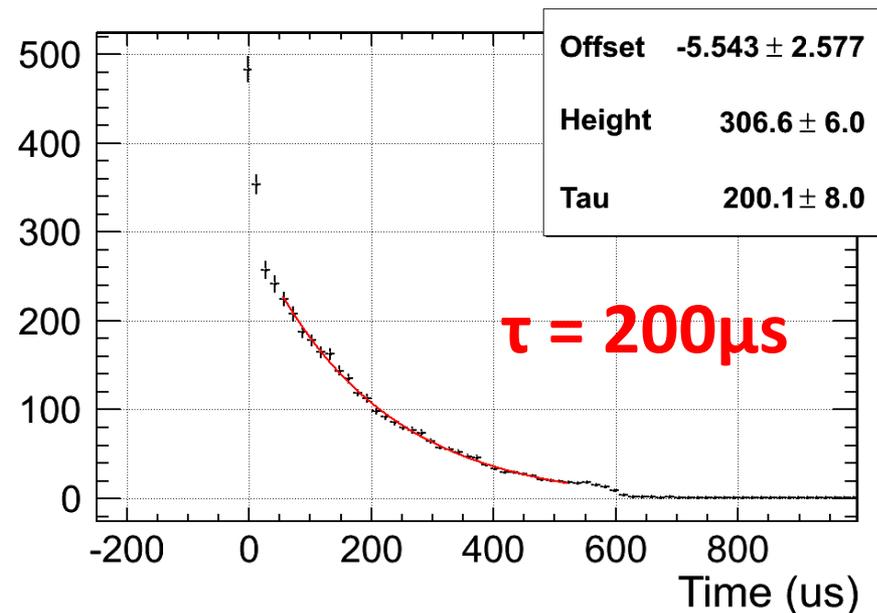
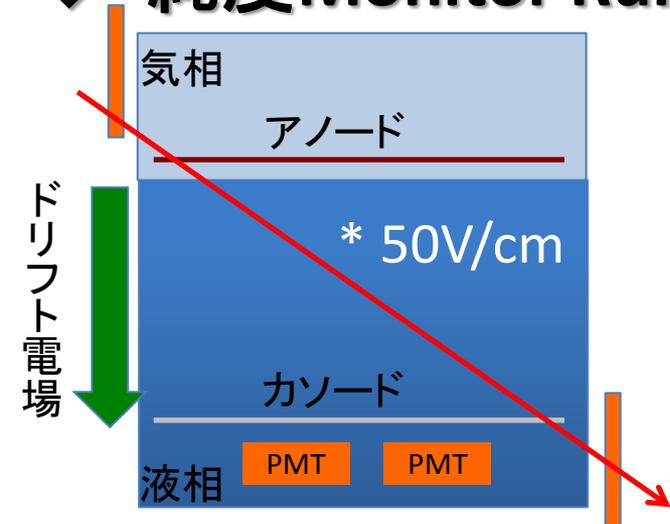
# 予冷→Filling→実験開始→安定運用



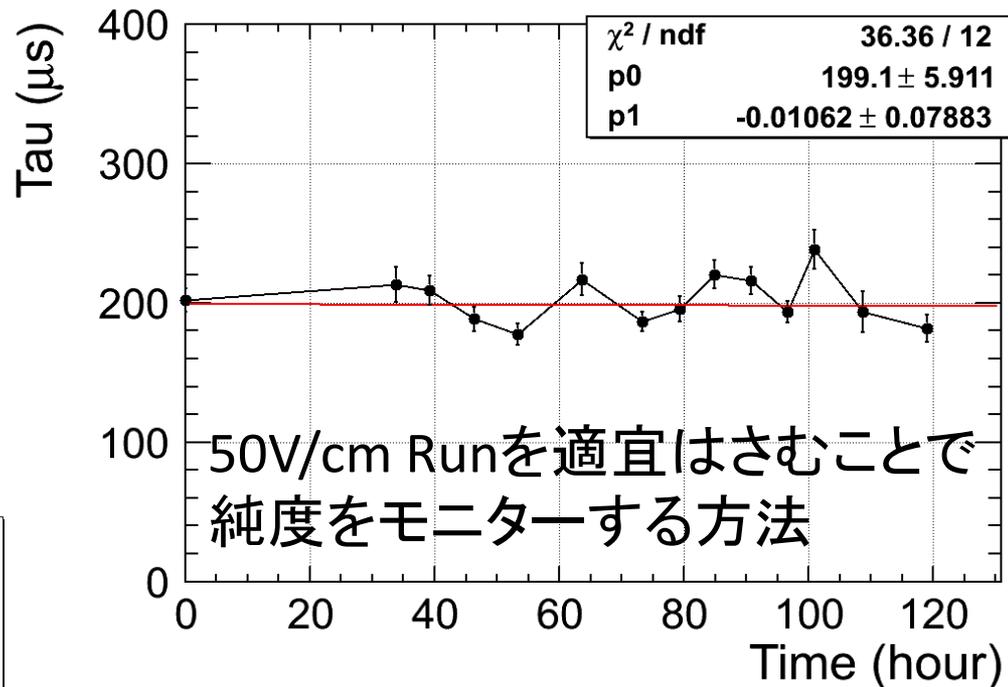
- ✓ 予冷開始～数時間で実験開始
  - ✓ 1mm以下の精度での液面管理
  - ✓ 安定な内圧-温度維持の確立
- 10日程度の安全・安定な運用実績

# S2光量による純度評価

## ◆ “純度Monitor Run”



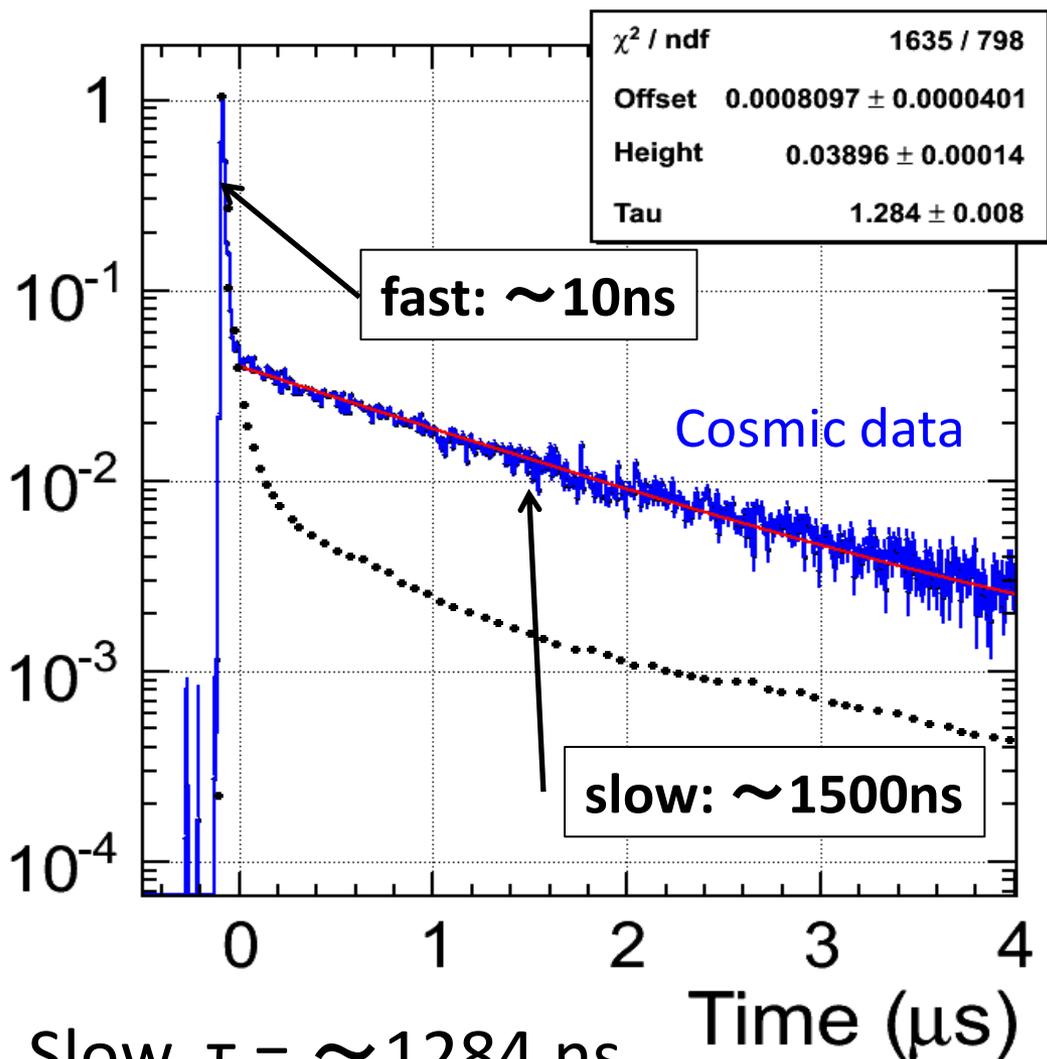
## ◆ 純度の時間依存性 (5日間)



$$\text{時定数}\tau(\mu\text{s}) \times \text{純度(ppb)} = 300$$

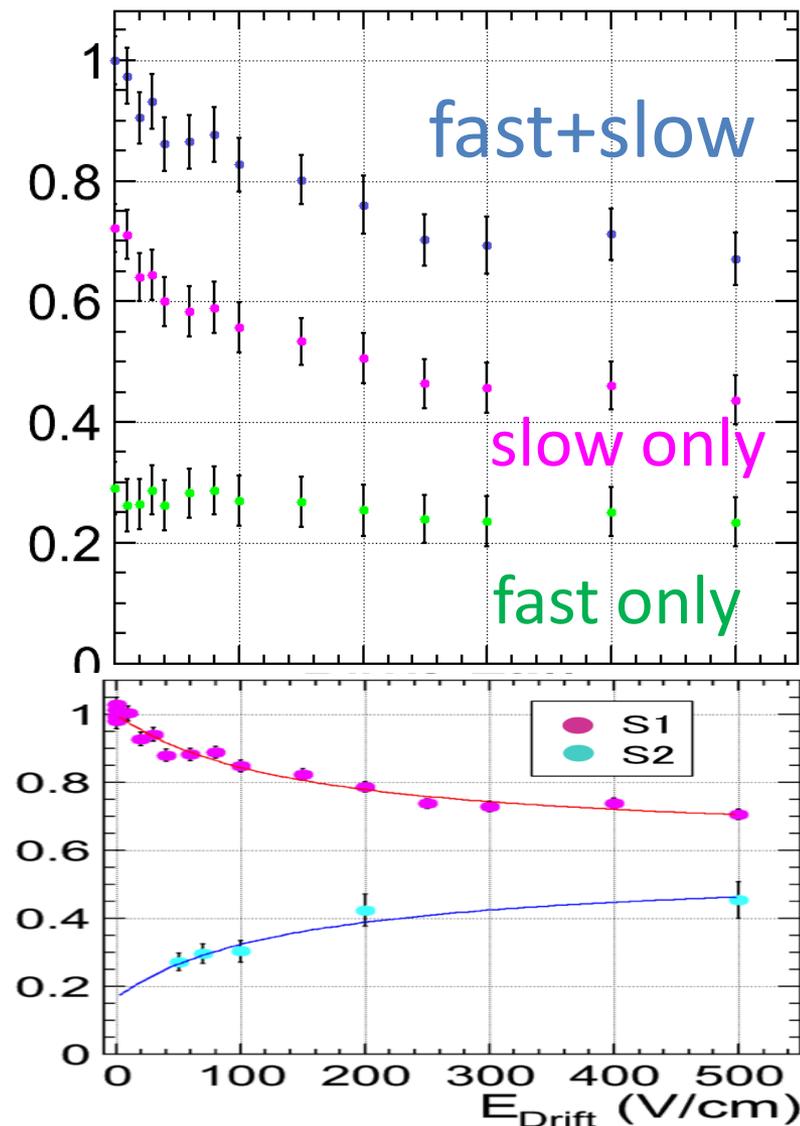
- ✓  $\tau = 200\mu\text{s} \rightarrow 1.5\text{ppb}$ の純度達成  
 実運転1kV/cm (2mm/ $\mu\text{s}$ )だと、  
 40cmのドリフトで40%程度減衰  
 c.f.) 1ppbで60cm程度はOK。

# S1波形とドリフト電場依存性



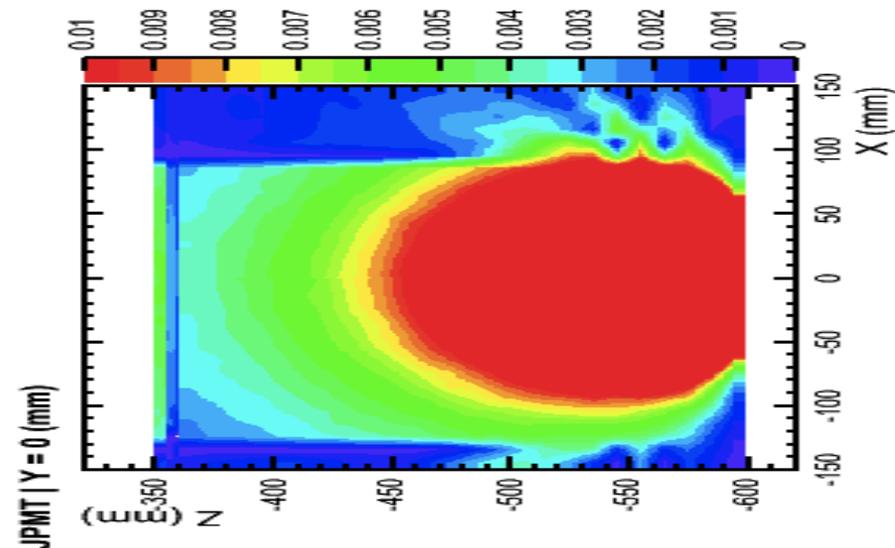
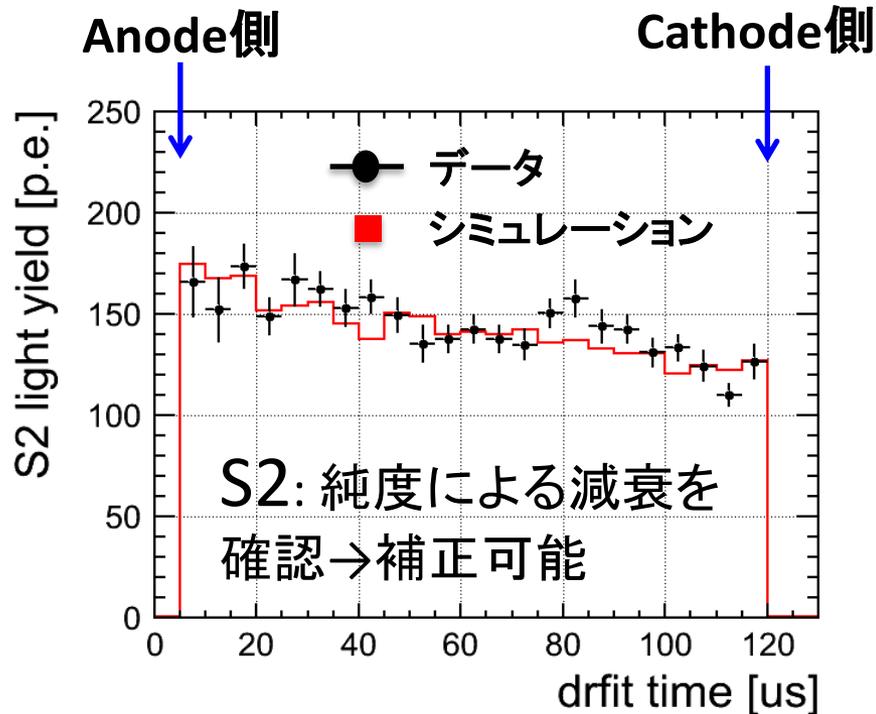
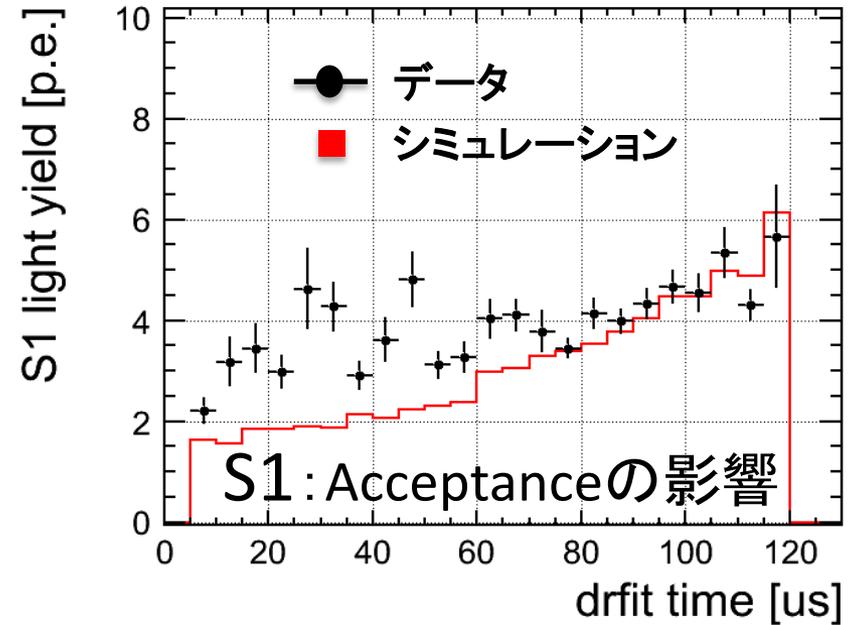
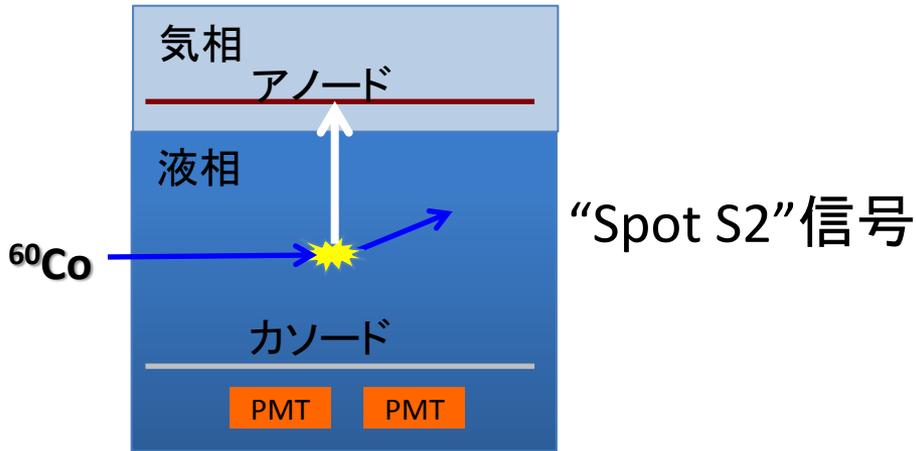
→ PSDによる粒子識別が可能

## ◆ Drift電場依存





# $^{60}\text{Co}$ Dataへの適用 (drift時間方向)



# $\gamma$ 線の理解: PSDとS2/S1

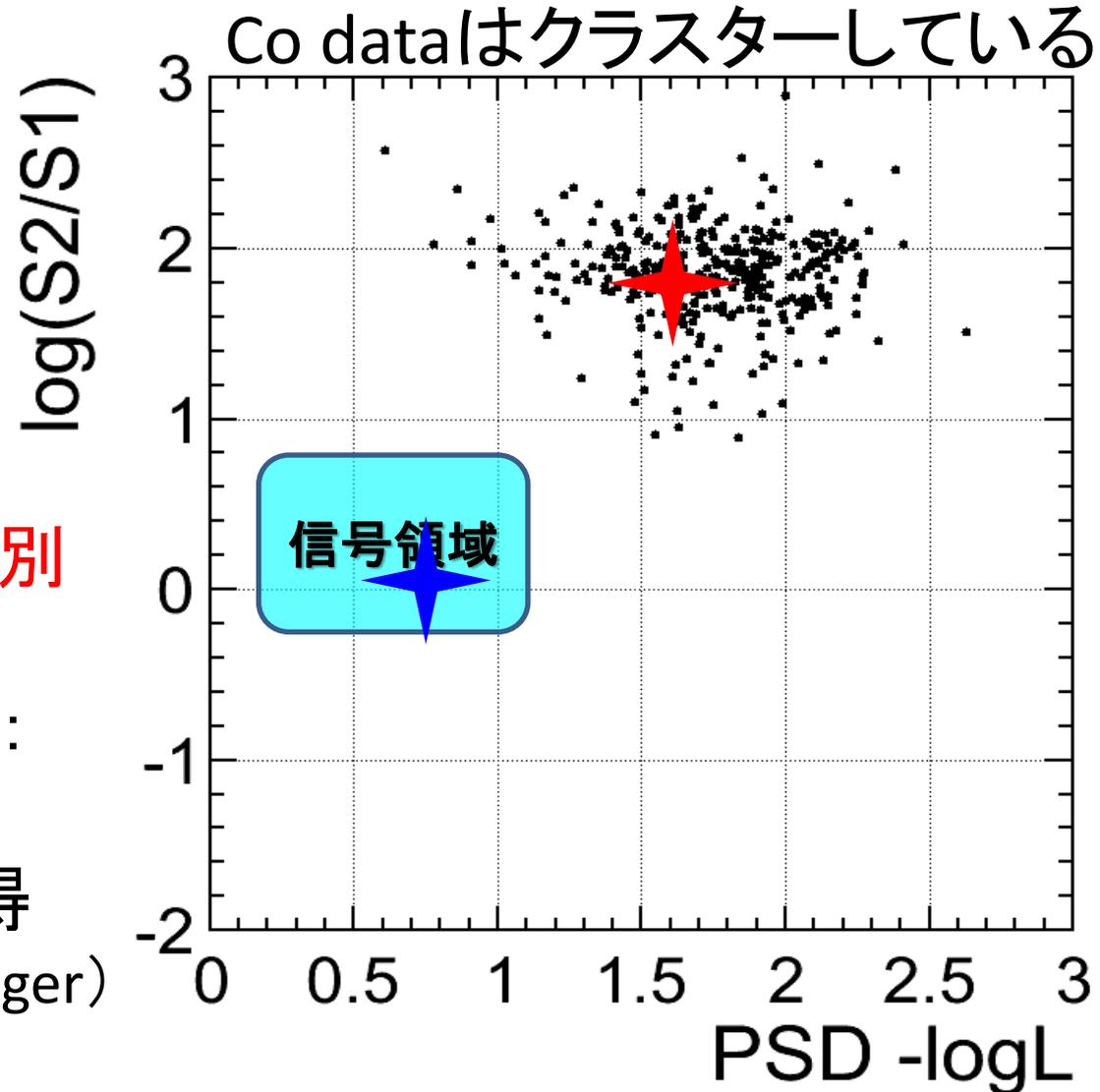
## ◆ S1 PSDの算出:

- Fast-Slow Likelihoodを作成
- Background: 宇宙線データ
  - Signal: 文献参照 (WARP)

→ S2/S1 ratioとの2次元分布(右図)で粒子識別

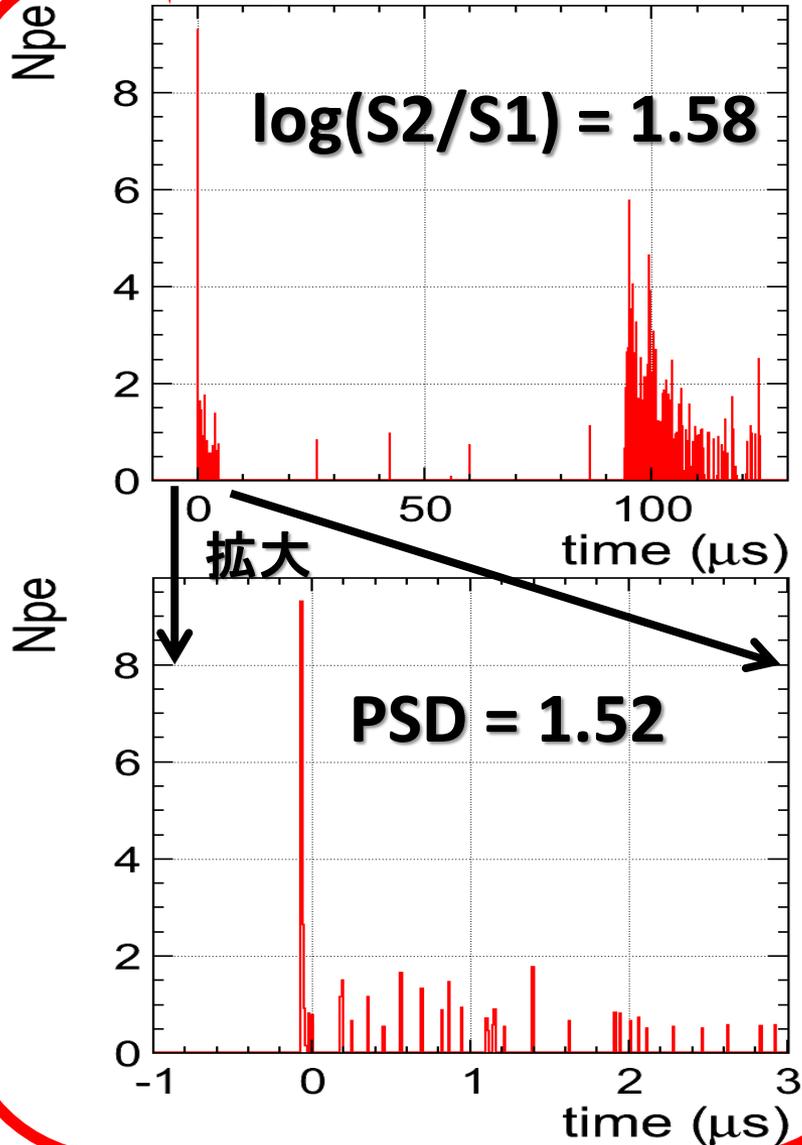
## □ WIMP/中性子事始め:

- 地上"Physics Run"で  
0.17kg・dayデータ取得  
(PMT coincidence Self-trigger)  
→ 現在鋭意解析中

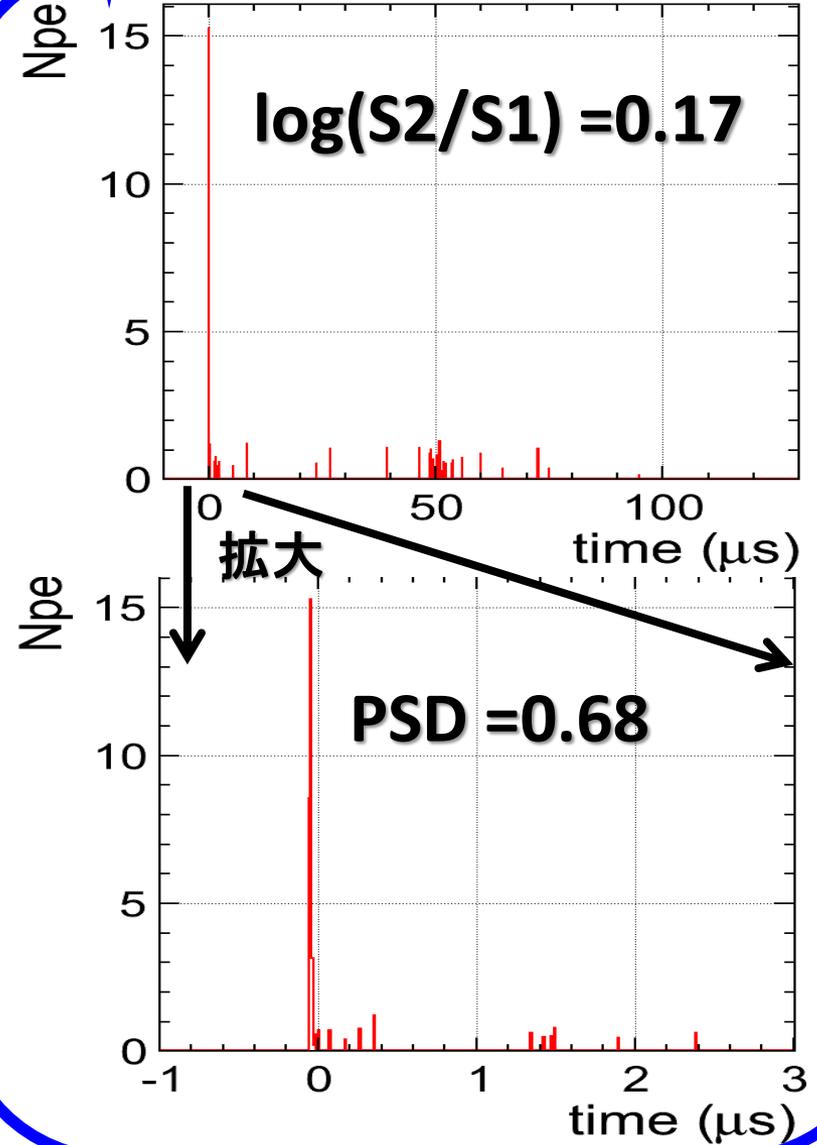


# 0.17kg·day (Surface on 2013.Jan)

**γ-like event**



**neutron-like event**



# 現状の整理と今後

## ■ 検出器構築と安定運用

- ✓ 低温、圧力、液面の制御と維持
- ✓ 高電圧印加と電場成形
- ✓ 高純度 for S2信号(～ppbの維持)
- ✓ 128nm蛍光検出(w/ TPB)

## ■ S1/S2の観測、詳細理解

- ✓ S2信号による純度評価
- ✓ S1波形の理解
- ✓ S2光量の評価
- ✓ 粒子識別能力( $\gamma$  vs ..)
- ✓ Quenching、signal model      ～現在  
→ Simulationの確立
- ✓ .....

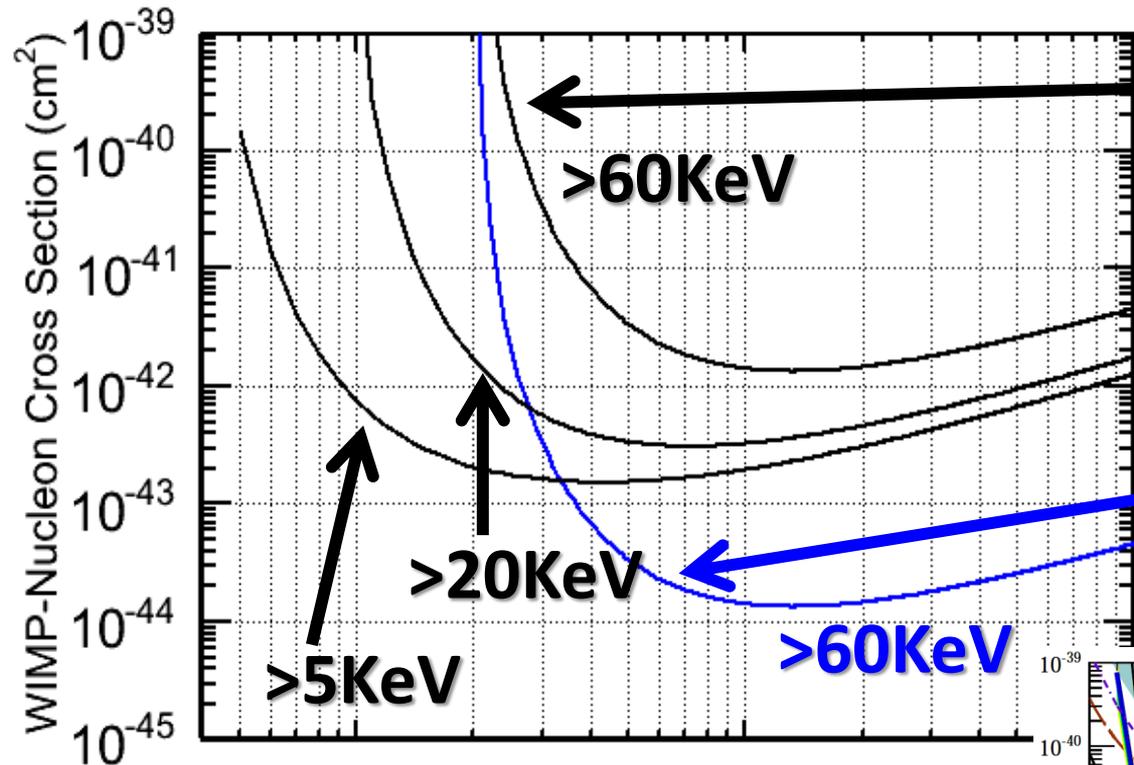
## □ 背景事象の評価

- ✓ Ar39同位体
- ✓ 内部放射線(部材等)
- ✓ 環境背景事象  
→ 特に中性子の評価!  
Cf, Am-Be, n-beam, d-d.....

## □ 検出器最適化と観測

- ✓ 高感度化への挑戦!
- ✓ 物理感度目標の明確化
- ✓ 部材の選定
- ✓ シールディング整備
- ✓ 予算と人
- ✓ 時間(～2015年!)
- ✓ 安全の徹底と実観測
- ✓ .....

# 物理目標(=“志し”)



WARP(2007)  
Er>60KeV、100Kg・day

黒線は全て100Kg・dayで  
Er閾値を変化させた時

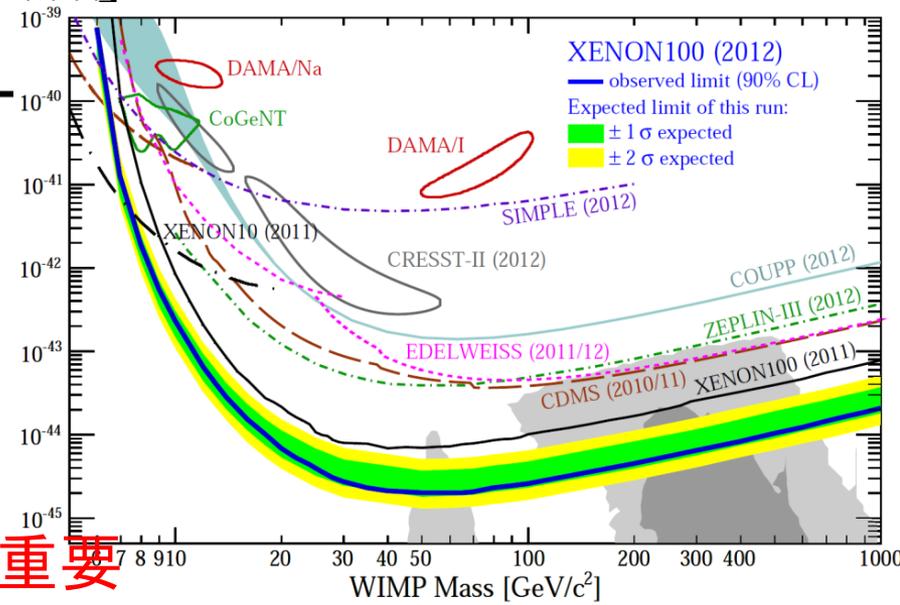
青線はWARPx100  
→ Er>60KeV、10<sup>4</sup>kg.day

高質量領域: Ex) 100kg x 100day

→ 大質量化、長期運用が鍵

低質量領域: Ex) 30kg x 4day

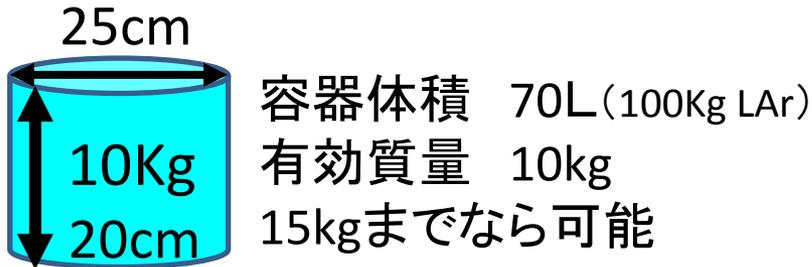
→ 高感度化が鍵



無論、極低バックグラウンド技術が最重要

# 検出器サイズ(現在思案中)

## ◆ 現在のプロトタイプ:

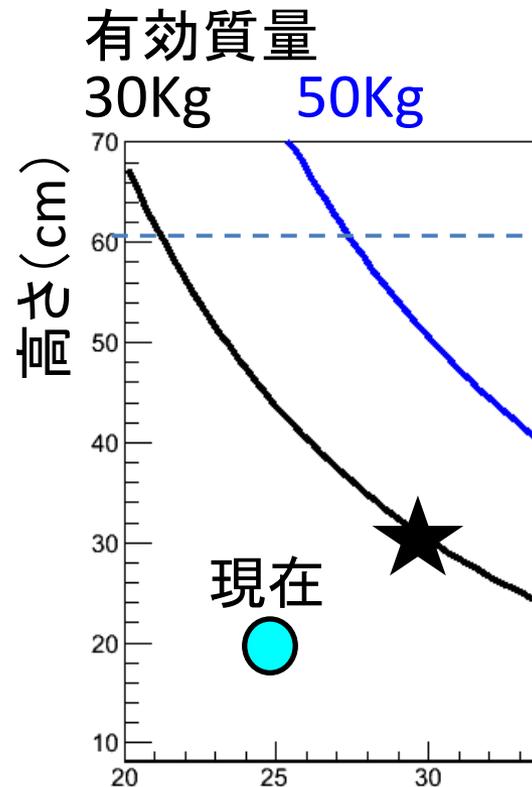


## ✓ 高さ方向の拡張:

高電圧印加 (60kV実績あり)  
純度 (1ppb、1kV/cm)  
→ 60cm程度までが現実的

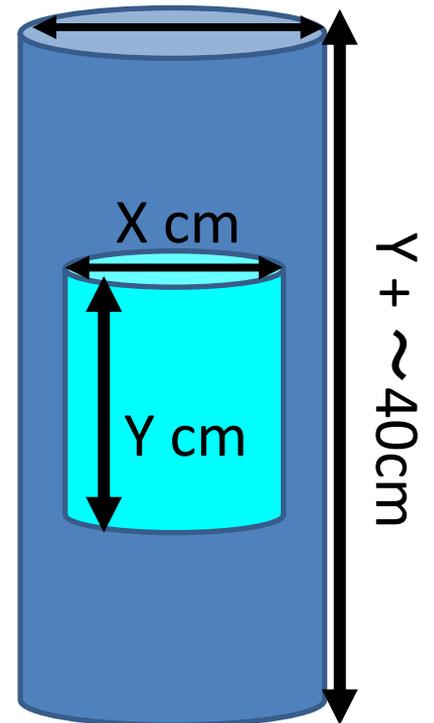
## ✓ 直径方向の拡張:

PMT数 (集光率、予算)



## 容器全体

$X + 10 \sim 20$  cm



WIMP高質量領域: 大質量化 → ★ 100kg ?

WIMP低質量領域: 高性能 (高効率、高分解能) → ★ 30kg ?

→ 実現性: 感度や予算等、多変量が絡み合う。。

# 上下面PMT(低BG,高QE)

## R11065

- ガラス窓材3inch PMT
- 液体Ar温度で使用可能
- DM探索向けに開発  
(低BG、高QE~35%@420nm)



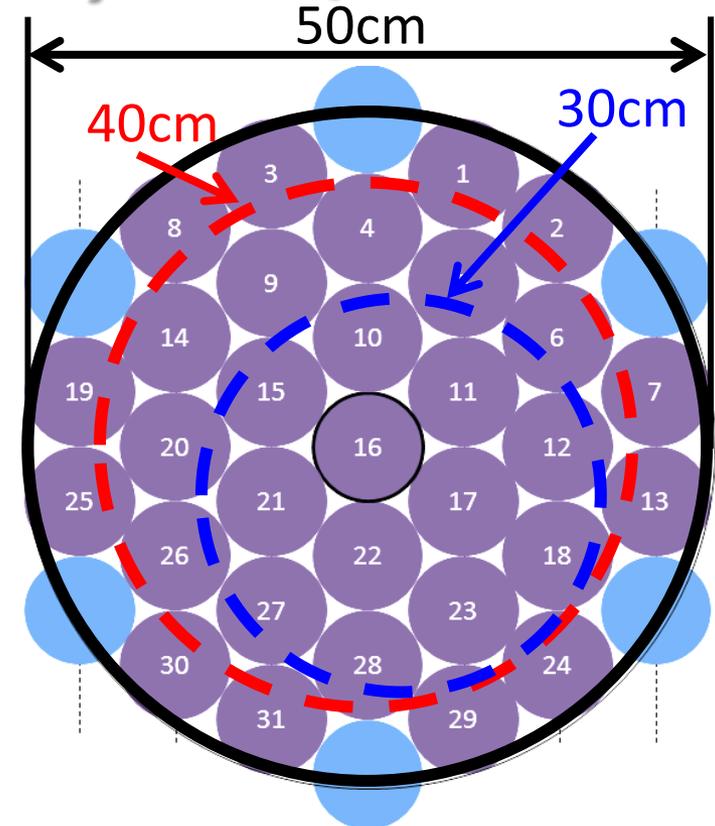
\* 現在早稲田で6本所有(+ 2"MEG 4本)

浜松ホト・堀田氏スライド(2012年12月25日)

## 暗黒物質探査用光電子増倍管

型名	R11410 R11065	R11410-10 R11065-10	R11410-20 R11065-20	R11410-30 R11065-30
STEM	ガラス	セラミック	セラミック	サファイア
メタル管	コパール金属	コパール金属	コバルトフリー 金属	コバルトフリー 金属
インシュレータ	セラミック	コルツ	コルツ	コルツ
アルミシール	標準	標準	高純度	高純度

NOTE: R11410-10/R11065-10 廃盤予定



上下面最大数:

直径50cm: 74本(片面37本)

直径40cm: 38本(片面19本)

直径30cm: 24本(片面12本)

→予算的リミット(!?)

# 高感度化

VCI 2013  
Id: 180

## The UV sensitivity improvement of MPPC

K.Sato, K.Yamamura, T.Nagano, S.Kamakura, R.Yamada, Y.Takahashi, K.Yamamoto  
Solid State Division, HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Hamamatsu, Japan

### ◆ コンパクト & 高感度化

- DSLレベル (~9pe/KeV<sub>e</sub>)
- MgF<sub>2</sub>窓PMTを低温動作
- 極低温MPPC開発 (実用)
- Arからの近赤外蛍光の
- Any Other ?

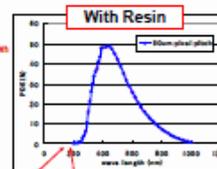
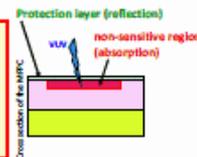
#### 1) Liquid Xenon and Argon as the scintillator

The MPPC is the highly sensitive photon counting solid state device which has peak sensitivity around 440nm. This wave-length was chosen for the purpose of detecting LYSO scintillator illumination which is widely used in Positron Emission Tomography.

	Liquid Xenon	Liquid Argon
Emission wave-length	175nm	128nm
Temperature	-110 deg C	-185 deg C

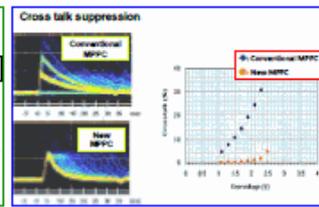
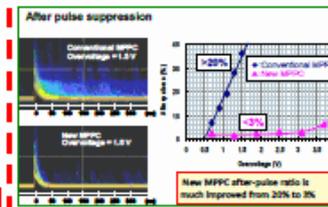
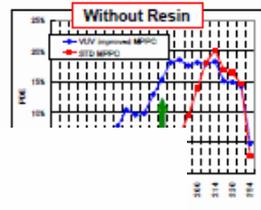
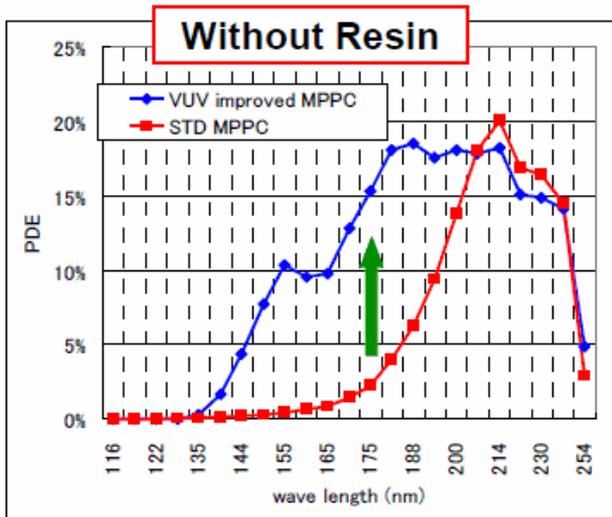
Physics experiments are also an important application of the MPPC. High sensitivity, low dark counts, and rapid response make the MPPC suitable for many experiments. However, some new physics experiments, using liquid scintillators, require shorter wave-length (UV, VUV) detection than the conventional MPPC.

- Dark matter detection  
ZEPLIN, LUX, DARWIN, XENON100
- Double beta decay measurement  
EXO
- Search for rare decay mode  
MEG



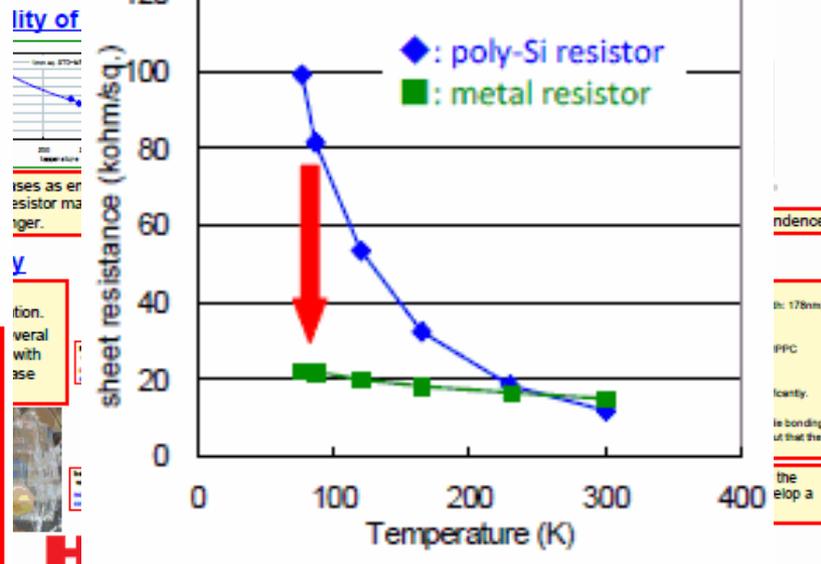
Liquid Argon Liquid Xenon

#### 2) UV sensitivity and basic characteristics improvement



wave-length region on control, active it etc. to enhance the id (128nm)

The conventional MPPC include the "pseudo" output within its signals. Our improved MPPC device eliminates these undesirable characteristics



We enhanced the PDE of the short wave-length region with mixed techniques such as reflection control, active area fabrication methods improvement etc.

The improvement is still in progress to enhance the Liquid- Argon region sensitivity (around 128nm).



# 纏め

## ◆ 本研究懇談会のテーマ: [hecforum:04989]より抜粋

- 1) 国際競争の中での各プロジェクト(R&D含)の現状と将来の展望、必要なリソースの理解
- 2) 関連する実験技術に対する情報共有
- 3) 分野全体で効率的かつ競争力のあるロードマップの構築
- 4) 予算要求を含むプロジェクト実現への共同歩調
- 5) 長期的な競争力を維持するための多様性を担保したR&Dの積極的推進と支援
- 6) コミュニティーの拡大を含む人材交流活性化と人材育成
- 7) 国際共同実験の進め方

～**ANKOK**実験～

**Argon Nisougata @ KamiOKa**