

気液2相型アルゴン光検出器 による暗黒物質探索 (ANKOK実験)

寄田浩平 (早大理工)

27.Jan.2017 @ 大阪 梅田

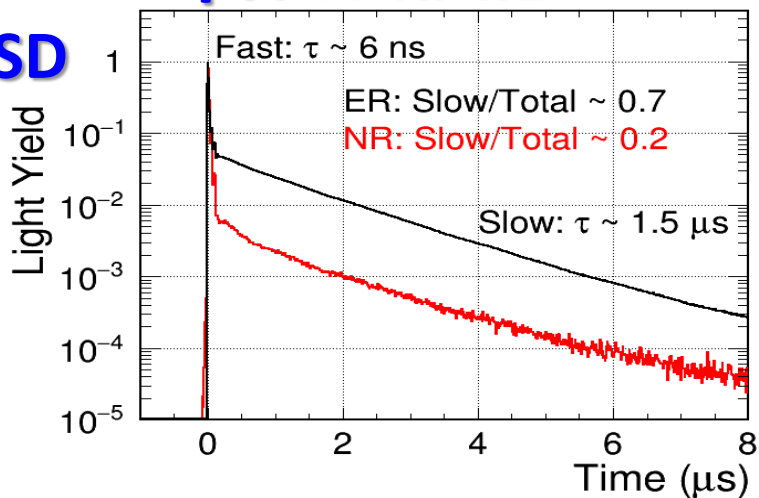
DM懇談会2017

ANKOK実験

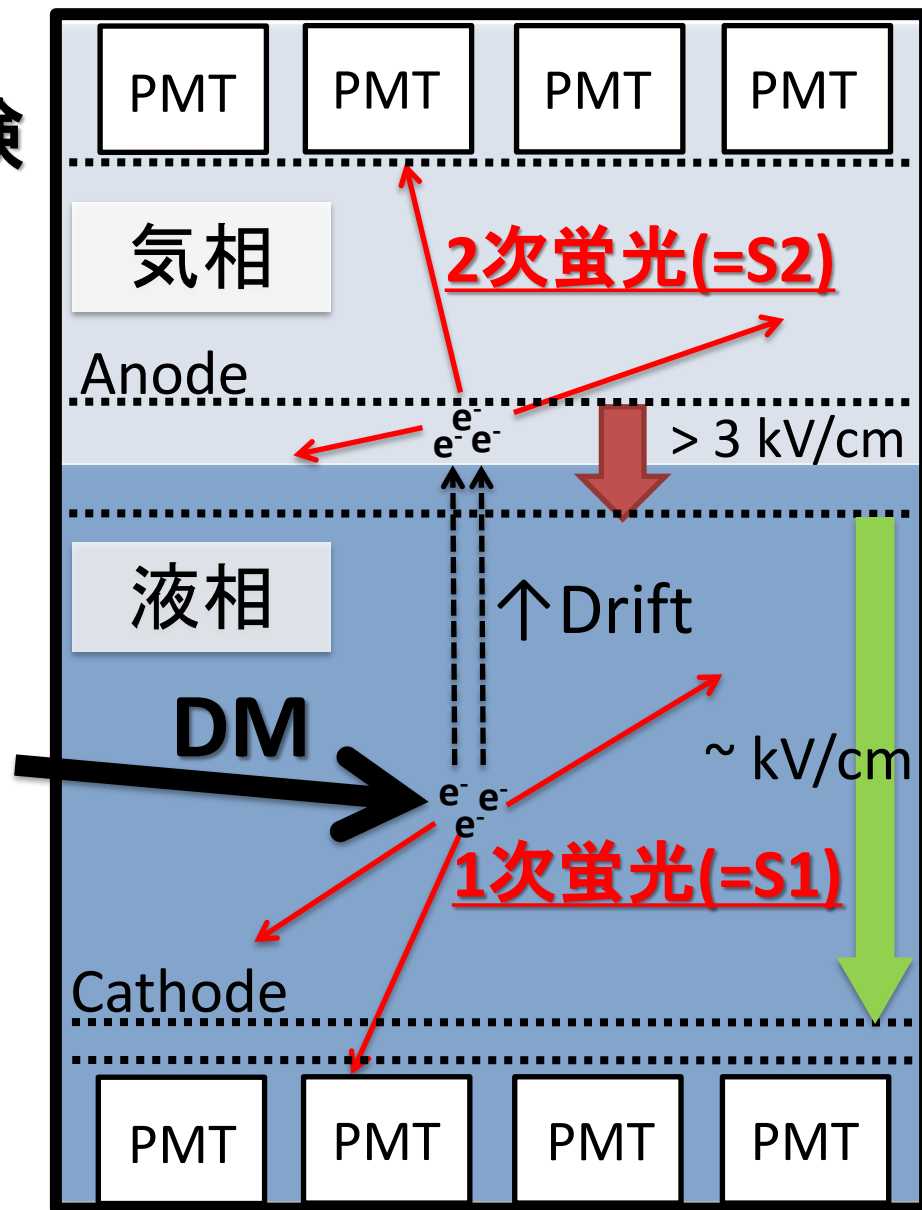
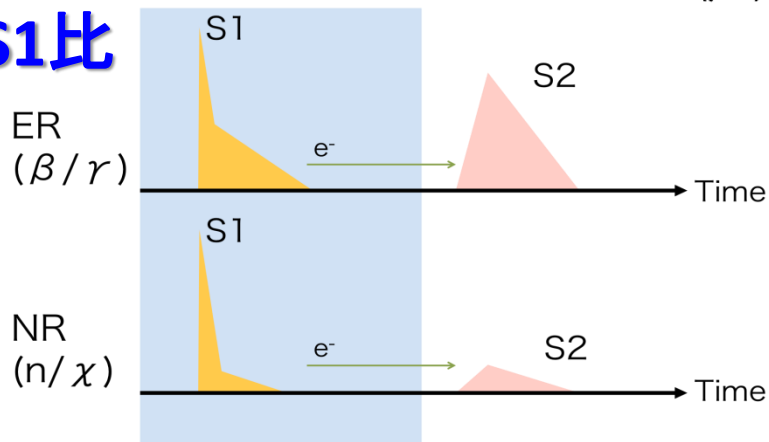
◆ 早大が推進中のAr気液
2相型暗黒物質探索実験

◆ 強力な γ 線分離能力:

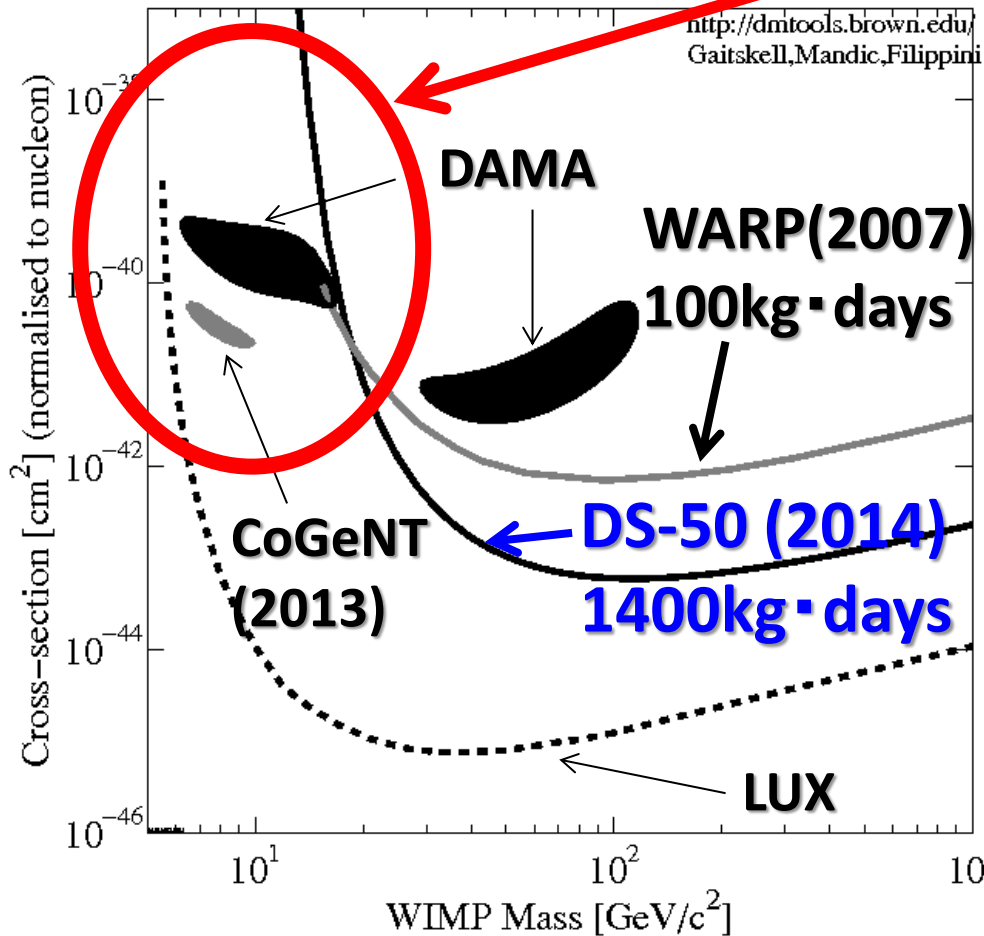
S1 PSD



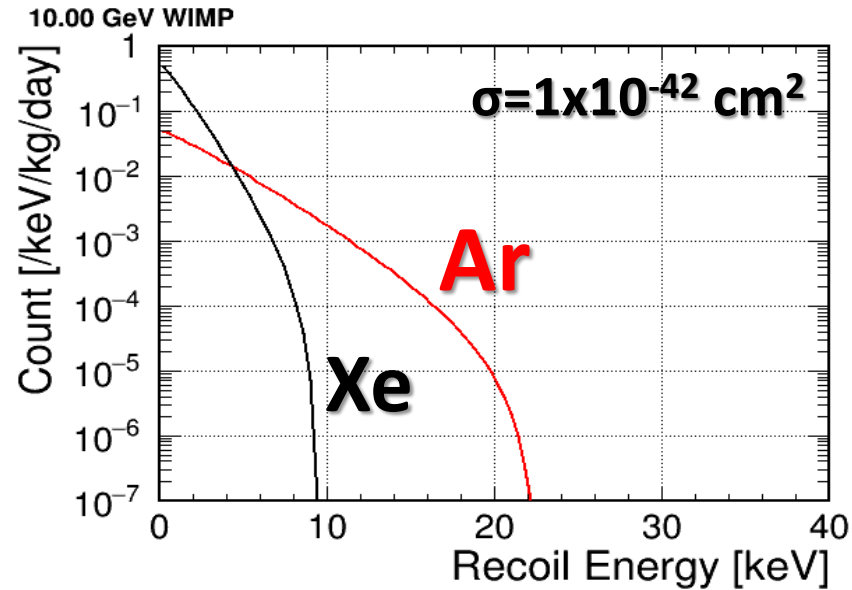
S2/S1比



ANKOK実験のターゲット



10GeV WIMPの反跳



→原子核反跳 20 keV以下の探索のための開発が鍵

★DS50, WARP: 40keV以上

- ① ^{39}Ar の観測とER事象除去力評価と最大化
- ② 小型高感度の本実験検出器の構築
- ③ 地上実験の完遂→地下実験における感度評価

全体像と開発状況

液体アルゴン取扱い

- 液体アルゴン純化
→発光量・電離電子量: O_2, N_2
- 真空断熱・冷凍機による保持
- 長期安定性・モニタリング

小型プロトタイプ検出器開発

- 2相型検出器基礎技術
- 検出光量の最大化(128nm光)
- 電場設計、電圧印加
- MPPCによるXY発光位置再構成
- DAQ・データ解析方法の確立

低バックグラウンド技術

- 環境 γ /中性子の測定
- シールド等による削減
- 内部BGの測定・削減
放射線同位体: U/Th...
 ^{39}Ar の検出

本実験検出器

- テストスタンド増強
- 実機設計・製作
- 物理感度の見積り・改善
- 地上データ取得→結果
- 地下実験の完遂
→問題の再洗出→地下へ

シミュレーション構築

- Ar発光・電離機構
- 光シミュレーション
- 検出器応答
- BGモデル
- ...

**10 GeV/c² WIMPに感度
のある実験の実現**

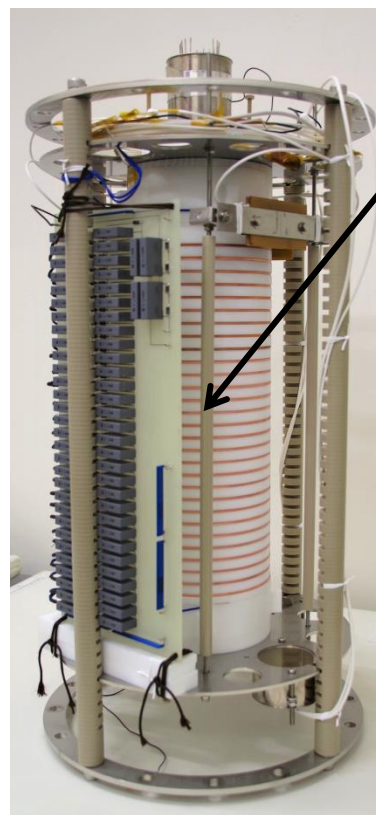
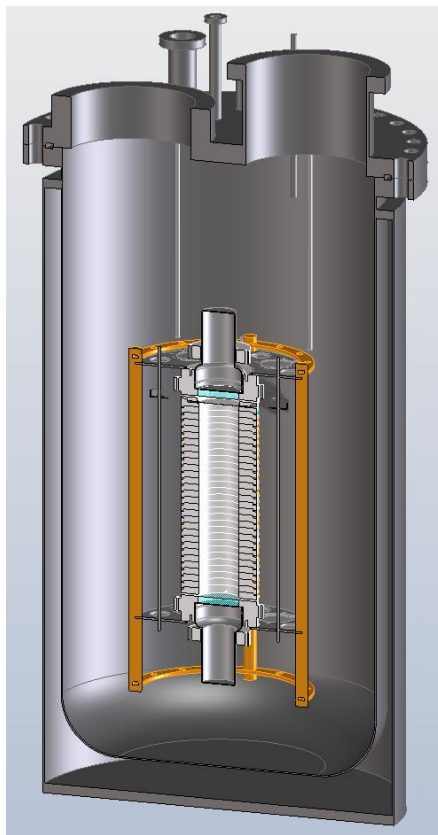
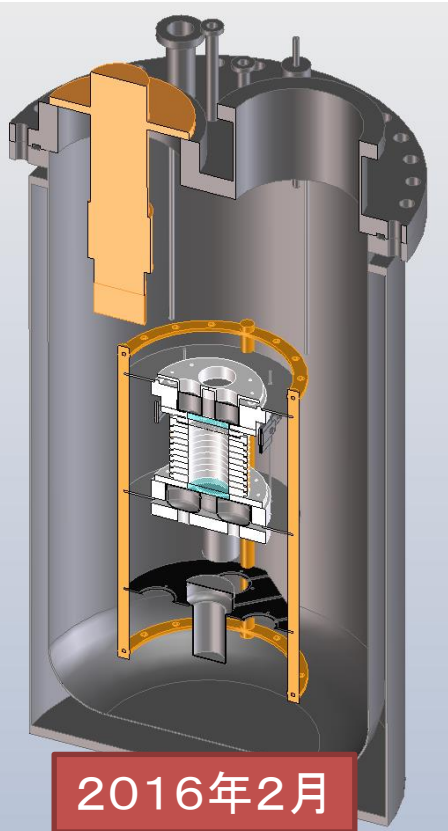
**一定の目途がついた項目
現在、特に注力している課題
今後の課題**

プロトタイプ検出器

◆ 鉛直方向: $Z = 10 \rightarrow 30\text{cm}$ (本検出器長) に延長

→ 高電圧 ($> 1\text{ kV/cm}$: $> 30\text{ kV}$) 印加、電場形成の検証

→ 鉛シールド効果の検証とAr39の(初)観測



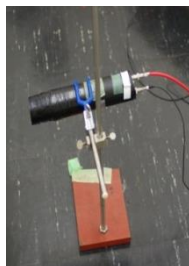
30段CW回路の
設計・製作完了
(電場成形・一様性
はFEMTETで評価)

→ 10月のRunにて、
最終段電圧40kV
(1.3kV/cm)を達成
→ 放電対策を強化
2月のRunで60kVを
目指している。

環境 γ 線の測定と理解

◆ NaIシンチレータを用いて実験場所 (@早大)での環境 γ 線測定と分析

→ 各成分(U/Th/Cosmic等)のフラックス算出



◆ 液体Ar検出器への適用:

NaI測定で得た成分比と

フラックスで環境 γ 線を入射

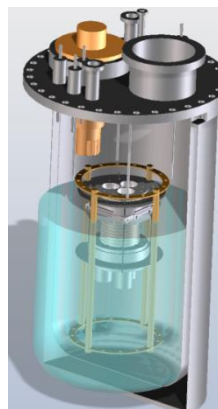
★ 独自の液体Ar応答モデル

★ G4シミュレーション構築

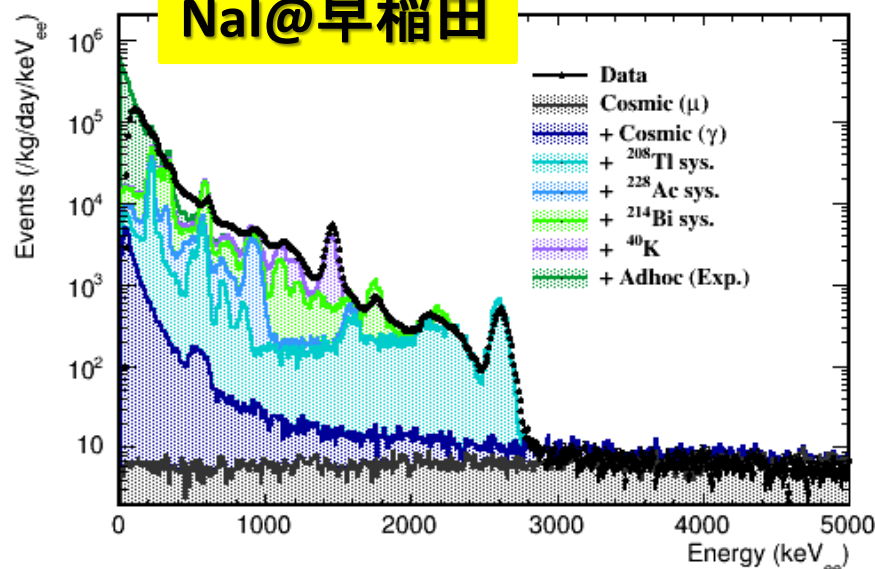
→ シミュレーションが非常に

良い精度でデータを再現

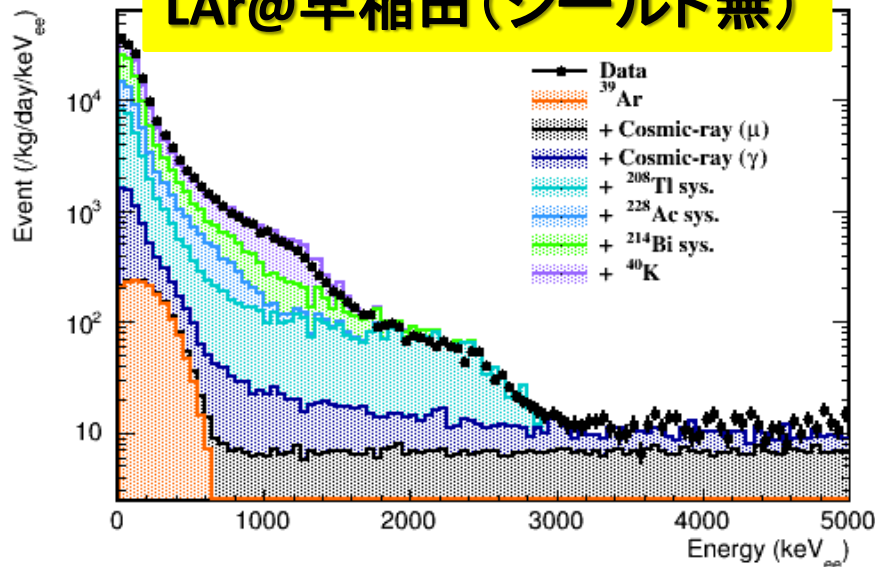
→ 内部BG(^{39}Ar (1Bq/kg)) < 環境 γ



NaI@早稲田



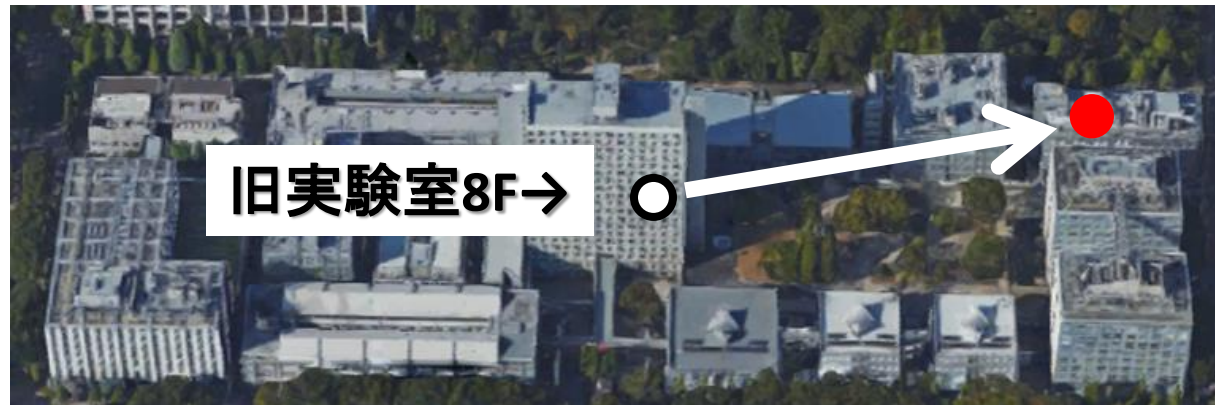
LAr@早稲田(シールド無)



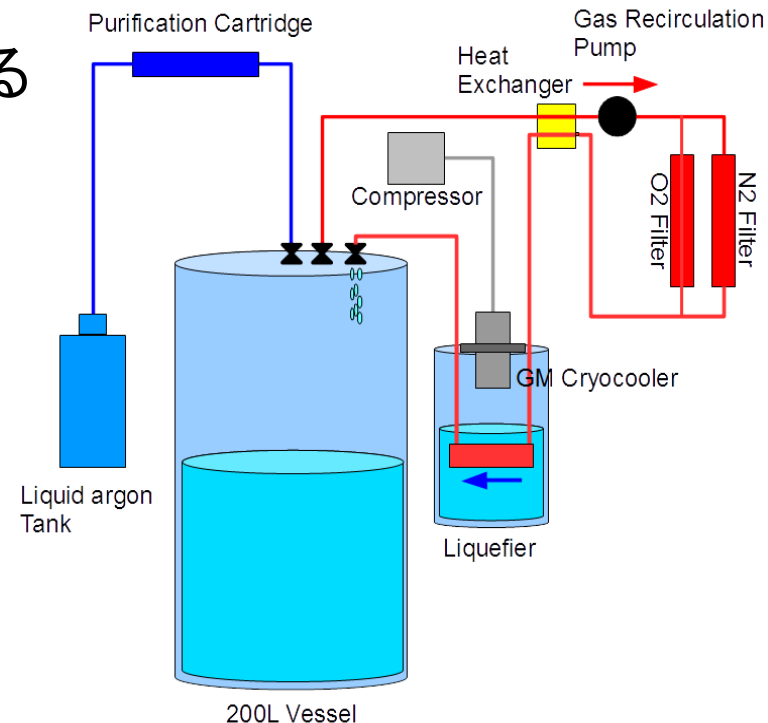
^{39}Ar (や他の内部BG)の理解のためにはシールドによる環境 γ 線を削減が重要

テストスタンド@早稲田大学

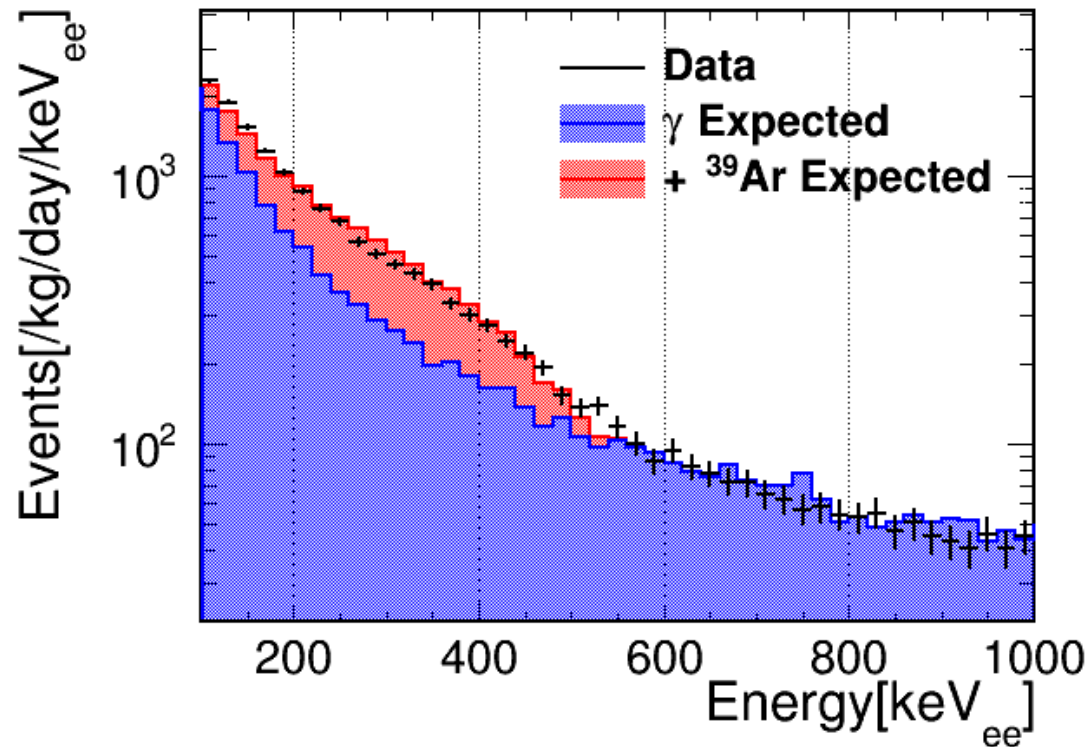
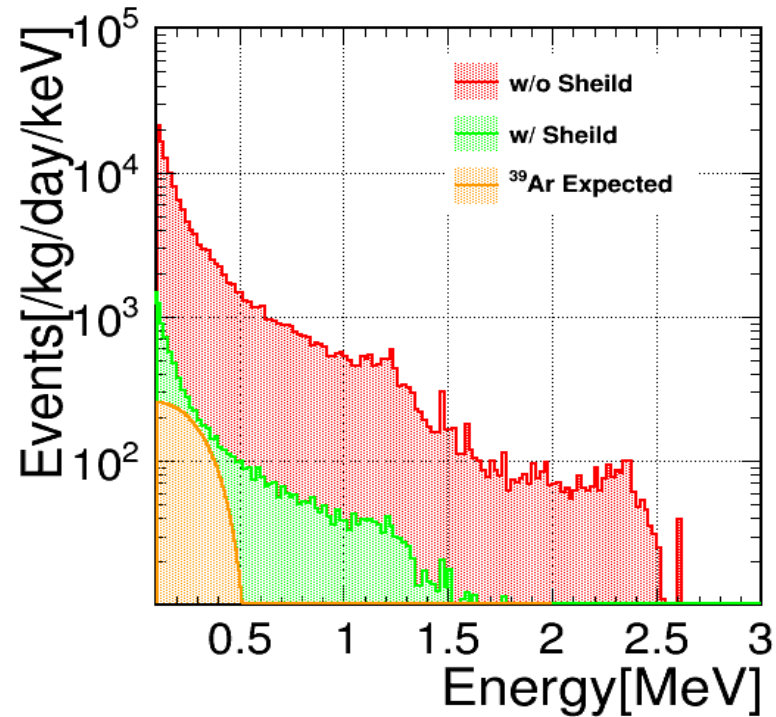
◆地上8Fから**半地下実験室**へ移設@西早稲田キャンパス



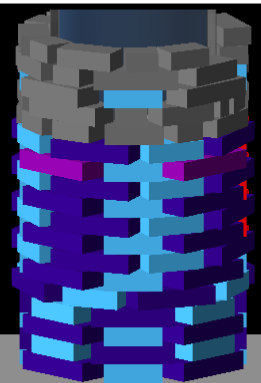
- 地上実験に向けて十分な**床耐荷重**を有する実験室(65号館半地下)を確保
 - 実験装置移設完了(2016年10月)
 - **約4トンの鉛を検出器外周に設置(10cmの鉛シールド)**
- 液化機の新規導入(旧75L容器を流用):
 - 液化装置の切り離し
 - 純Arを循環しながら液化可能
 - 長期のAr純度維持・向上



^{39}Ar ($\sim 1\text{Bq/kg}$) の観測



鉛実装 (G4)



◆ 期待通り、 ^{39}Ar 成分の初観測に成功

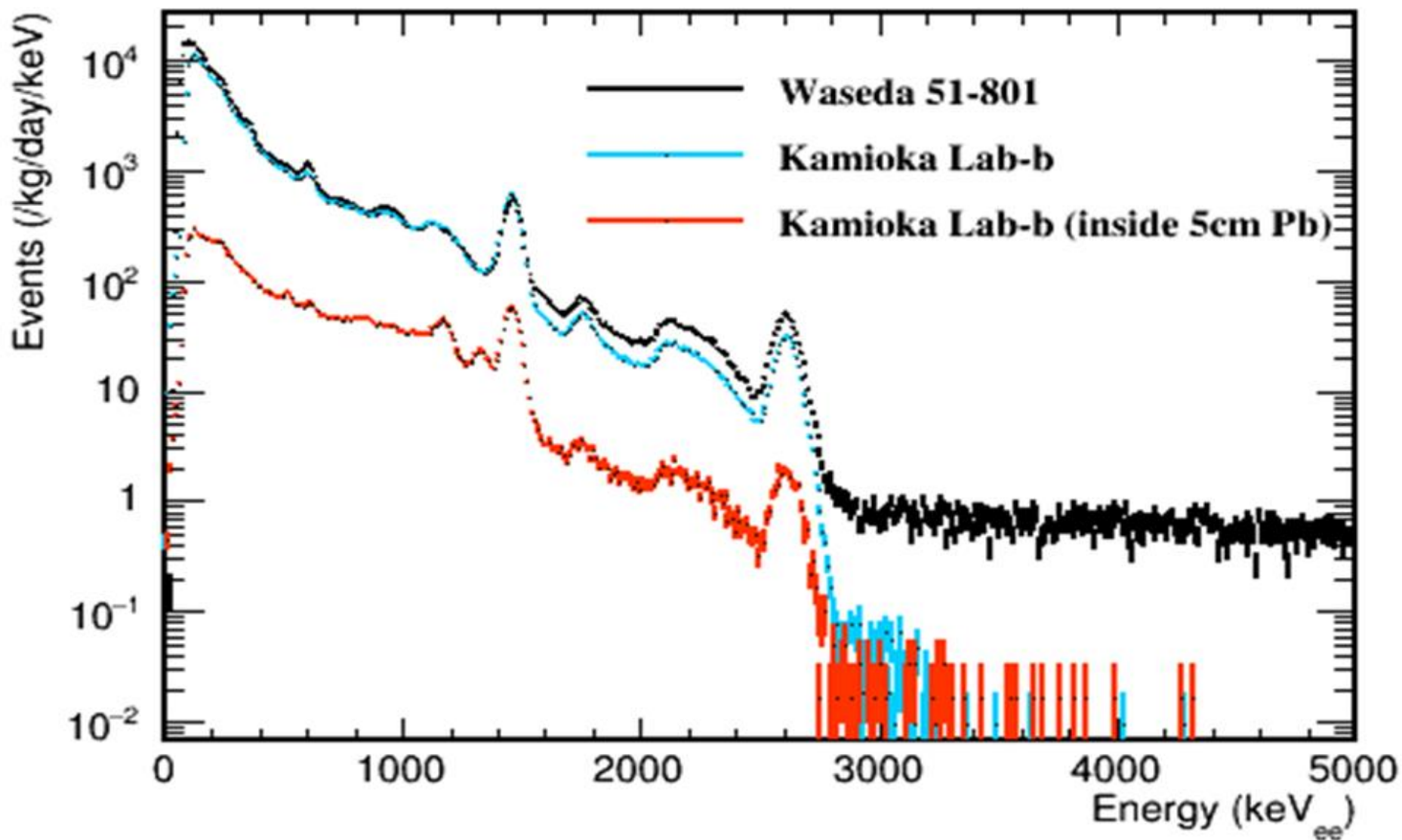
とくに低エネルギー閾値付近を詳細に解析中。

($\sim^{39}\text{Ar}$ のオーダーの確認 \rightarrow 必要条件の算出)

\rightarrow ^{39}Ar は、粒子識別で除去する必要があるため、

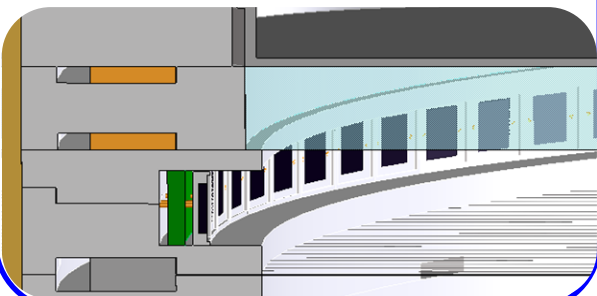
PSD & S2/S1によるPIDの評価・最適化が実験の鍵。

環境 γ 線：地上/地下比較(NaI測定)

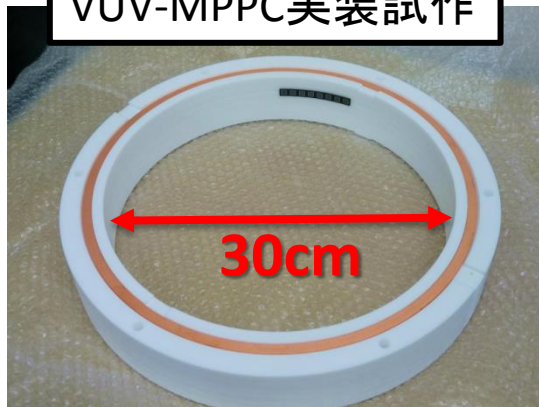


本検出器の構築状況

VUV MPPC

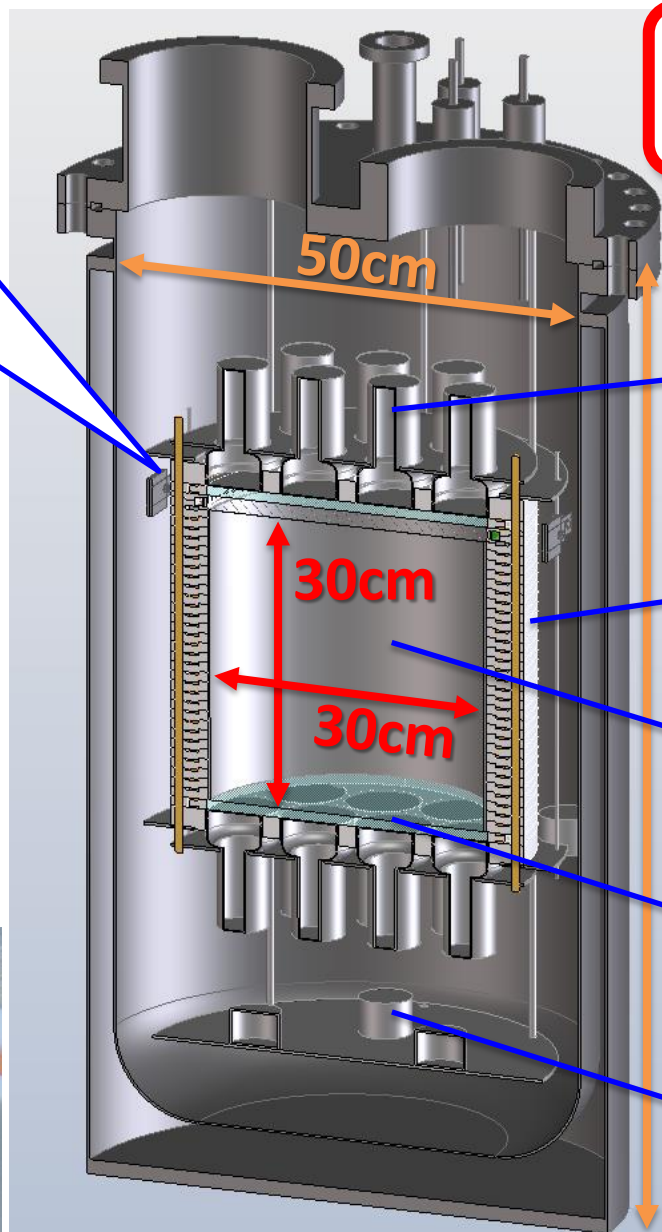


VUV-MPPC実装試作



↓ 6mm角 MPPC

← x8パッケージ品



Active mass 30kg

PMT (計24本)
R11065MOD

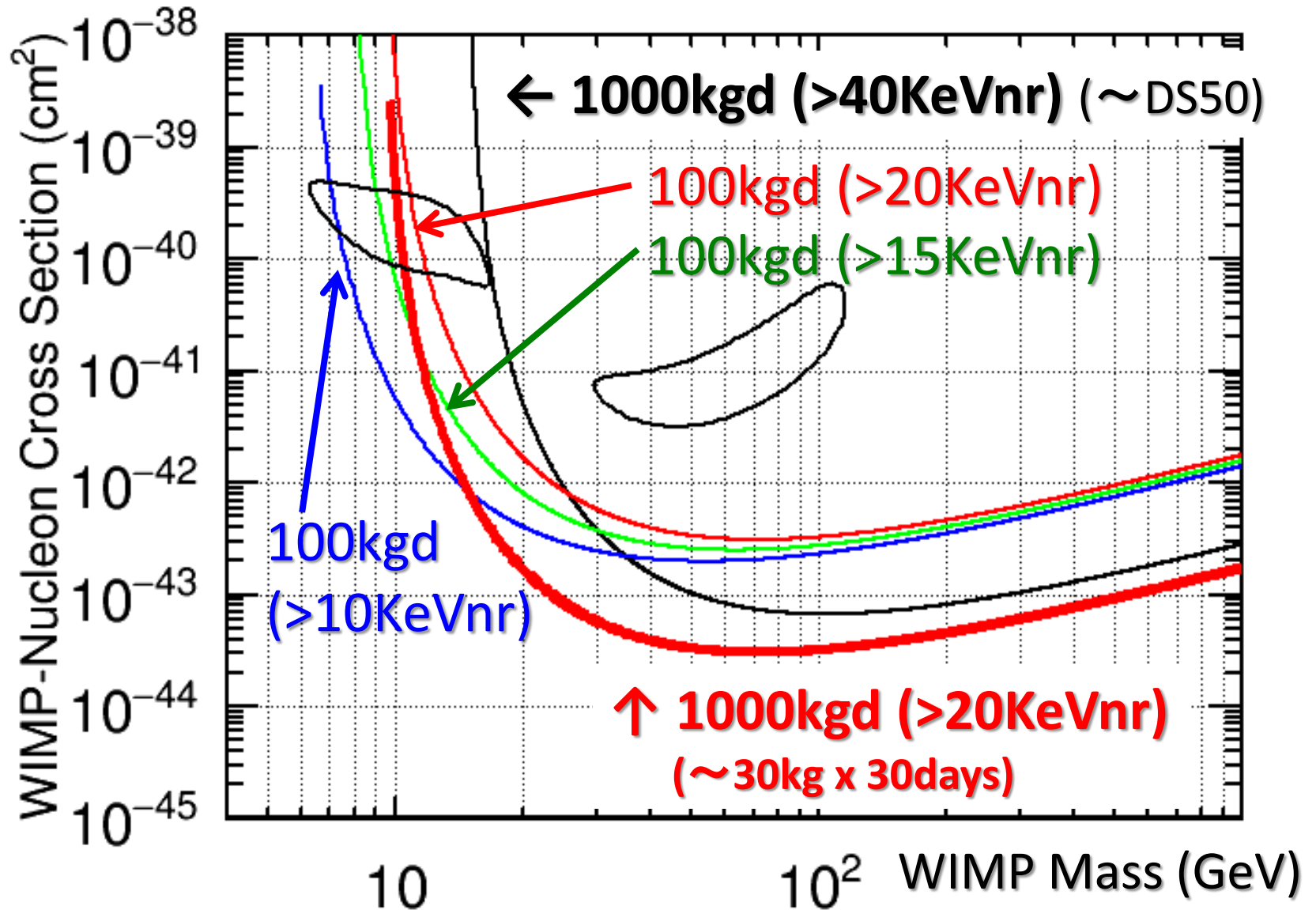
TPC容器

ESR反射材
(TPB蒸着)

ITO石英
(TPB蒸着)

veto PMT
R6041-506MOD

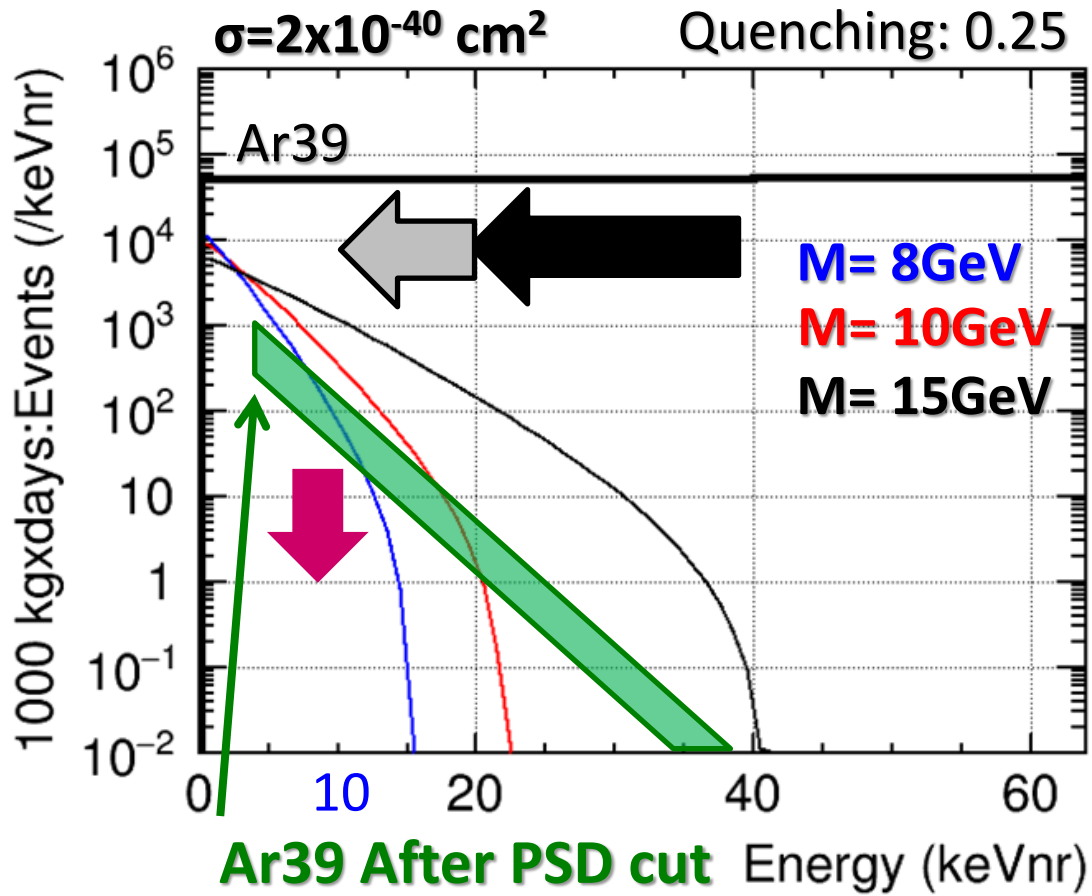
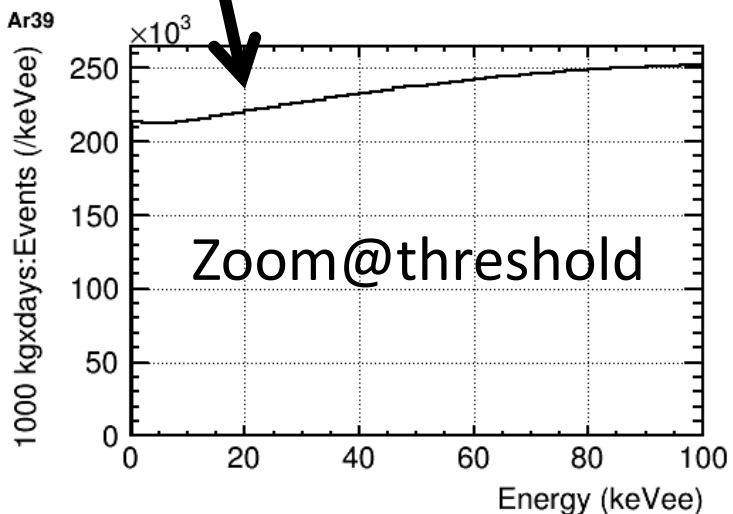
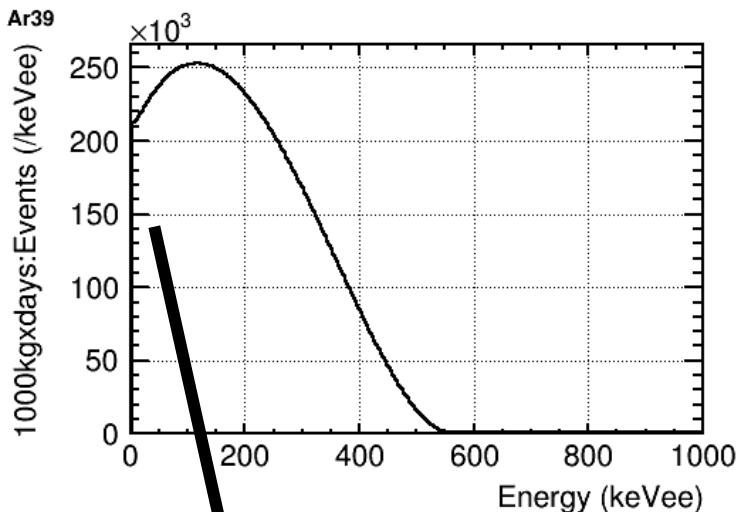
DAMA領域検証感度



★ Fiducial制限 → 低閾値化の実現 (z方向~1mm以下、XY平面VUV-MPPC)

DAMA領域検証に向けて

◆ Ar39@1000kgd (1Bq/kg) と信号事象@1000kgd



↓ S2/S1でどこまでいけるかが鍵

現状の課題

• キセノン

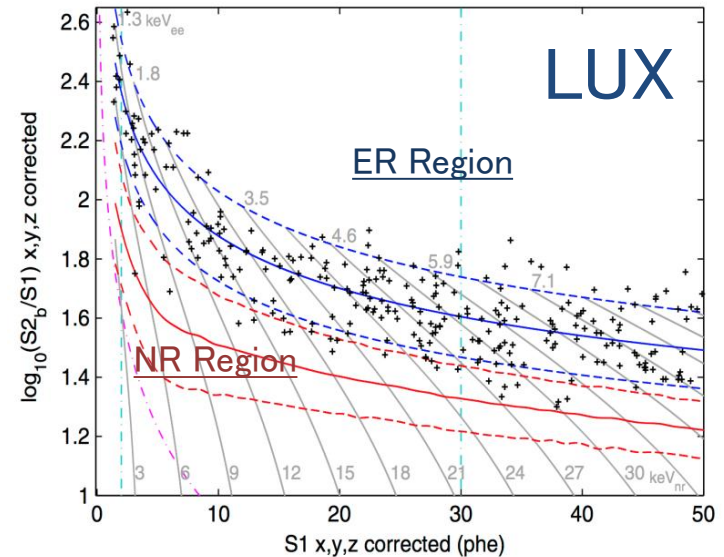
- 低エネルギーでS2/S1比が大幅に増大
 - NEST等モデルによる詳細理解
 - 優れたER/NR分離能力を発揮
- 強力な自己遮蔽能力

• アルゴン

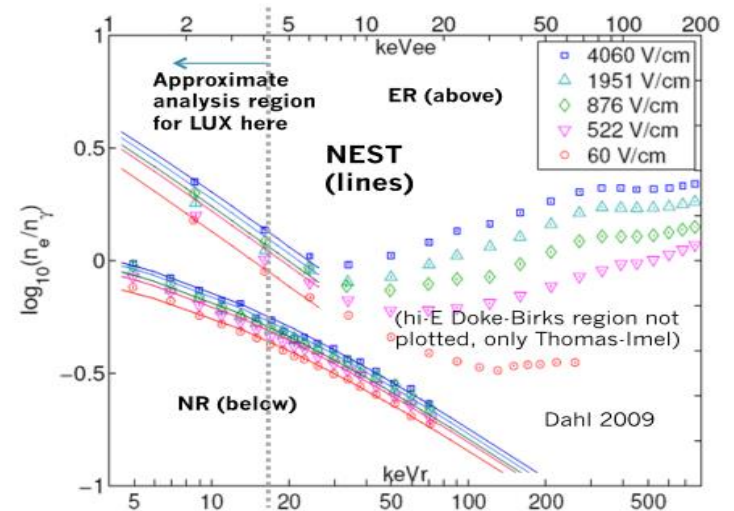
- 低エネルギーでは統計的にS1 PSDの性能が悪化
- DarksideではS2を有効に使えていない。
 - 大質量・低断面積を狙っている。

→ ANKOK:

低エネルギーでのS2の理解とS2/S1比による除去能力を最大化する。



LUX, Phys. Rev. Lett. 112, 091303 (2014)

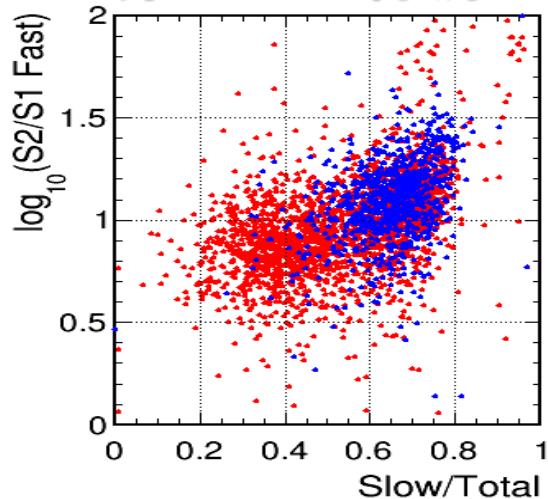


The keVnr energy scale shown here is Dahl's 5000 Hitachi, the 5 keVnr point is actually 8.67 and has been accounted for in NEST when fitting

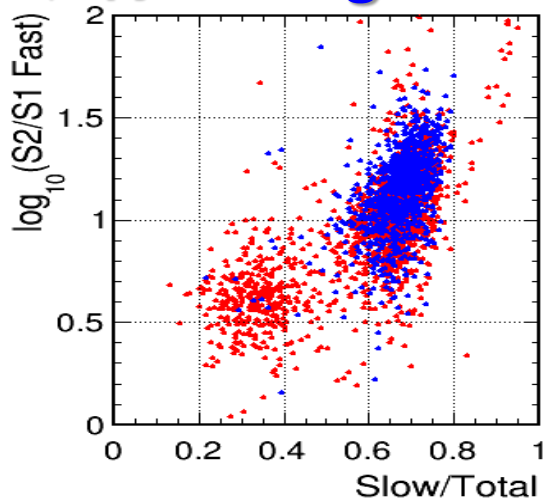
2D-PID分布(S1PSD vs S2/S1)

赤: ^{252}Cf 線源データ、青: Backgroundデータ

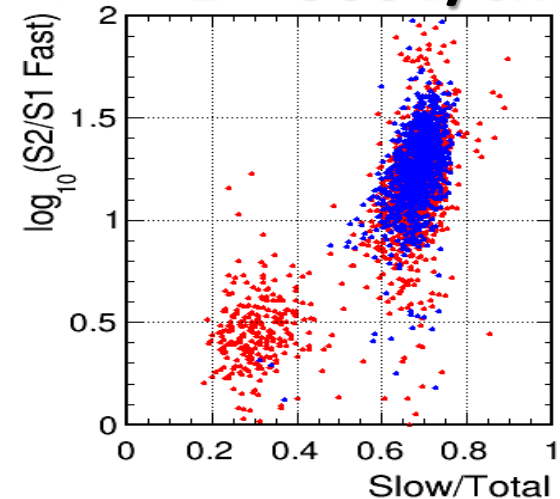
E = 500V/cm



20KeVnr領域

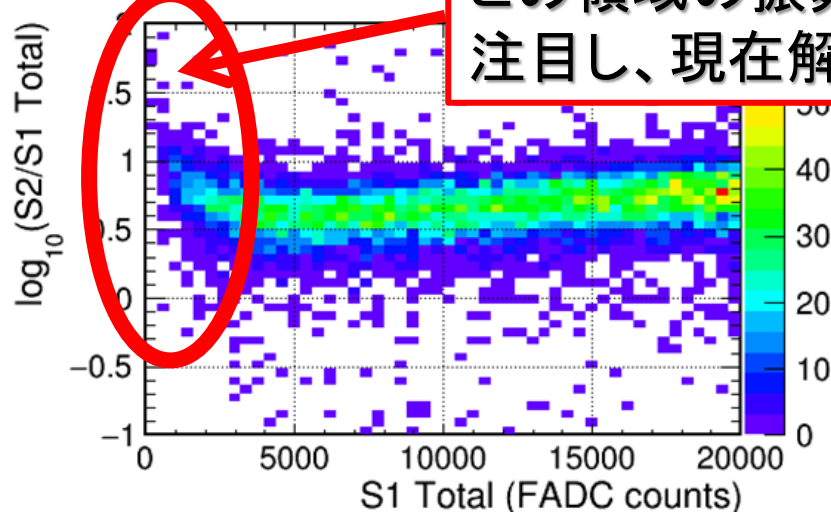
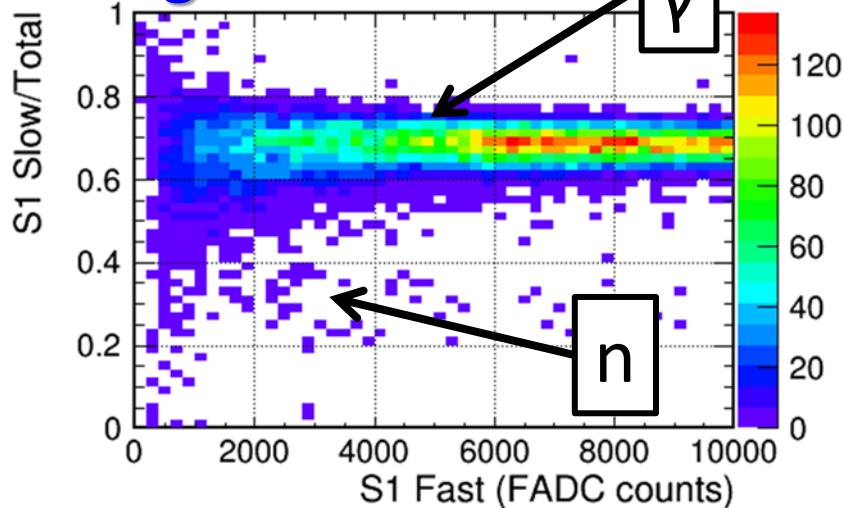


50KeVnr領域



80KeVnr領域

Background Data



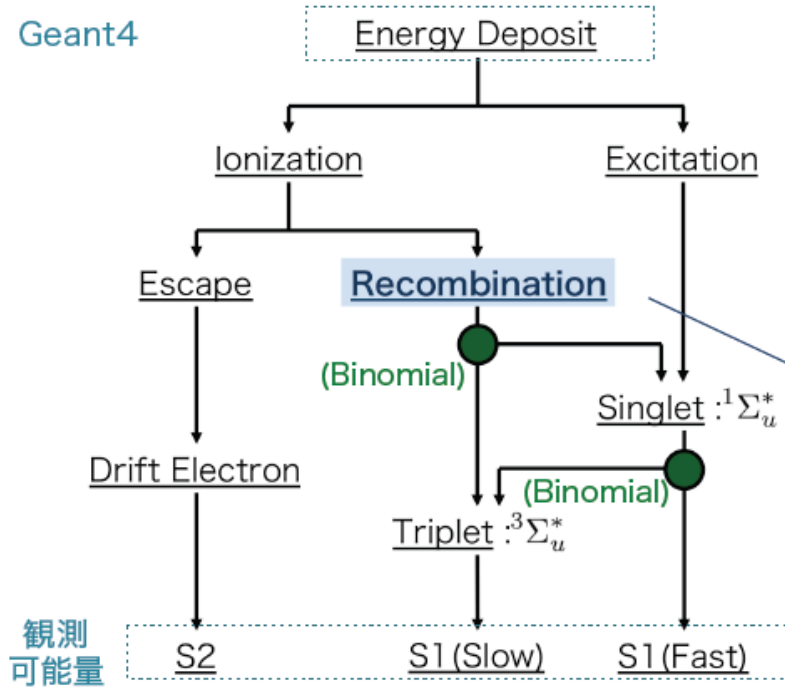
この領域の振舞いに注目し、現在解析中

LAr Response Modelの構築

ANKOK Original Model

Geant4

- 反跳された電子に対するLArの応答(励起/電離/再結合)をモデル化。
- 理論/実験の複数の先行研究を参考とし、現象論的な理解を目指す。
- 検出器シミュレーションにおいて、Geant4により計算された各trackや各stepごとにこのモデルを用いた演算を行う。



Birks' Law (ICARUS) :

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{A}{1 + k/\rho E dE/dx}$$

or,

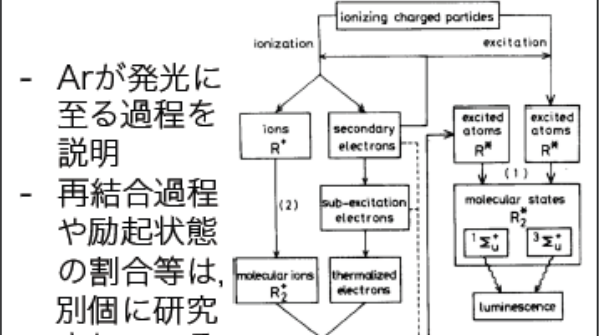
Thomas-Imel Box Model :

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{\xi} \ln(1 + \xi), \xi \equiv \frac{\alpha N_i}{E}$$

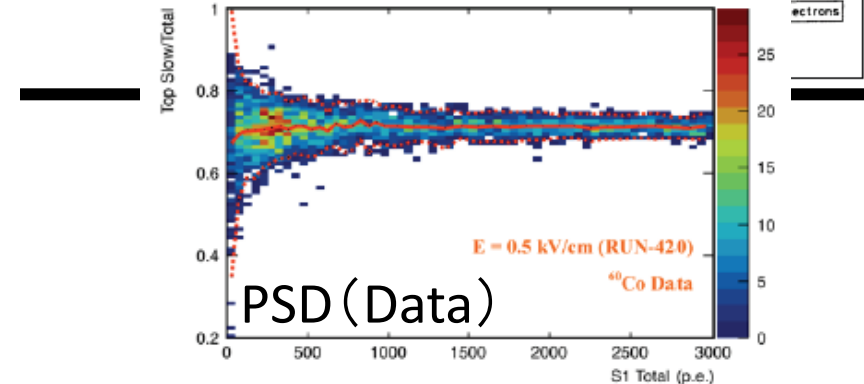
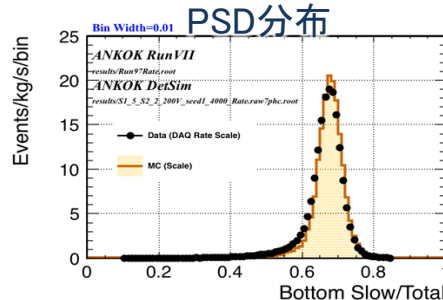
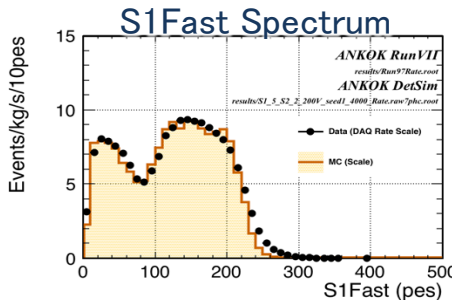
Inspired by NEST Simulation
(: for Liquid Xenon)

先行研究 (一例)

M. Suzuki et al. NIM 192 565 (1982).



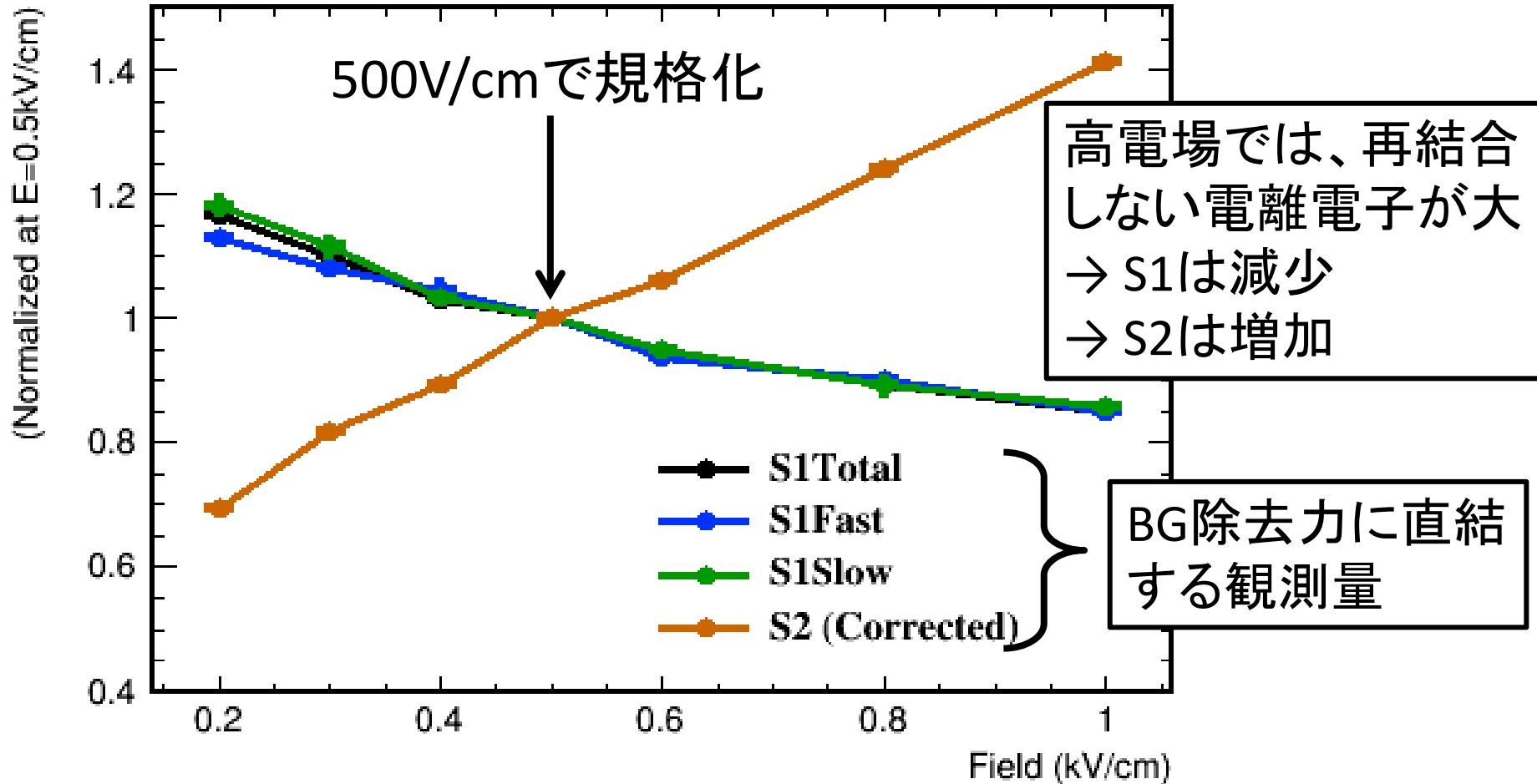
- Arが発光に至る過程を説明
- 再結合過程や励起状態の割合等は、別個に研究



観測可能量

電場依存性

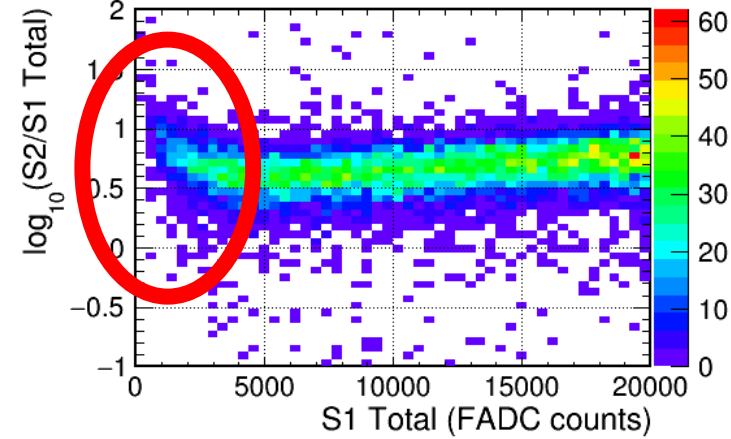
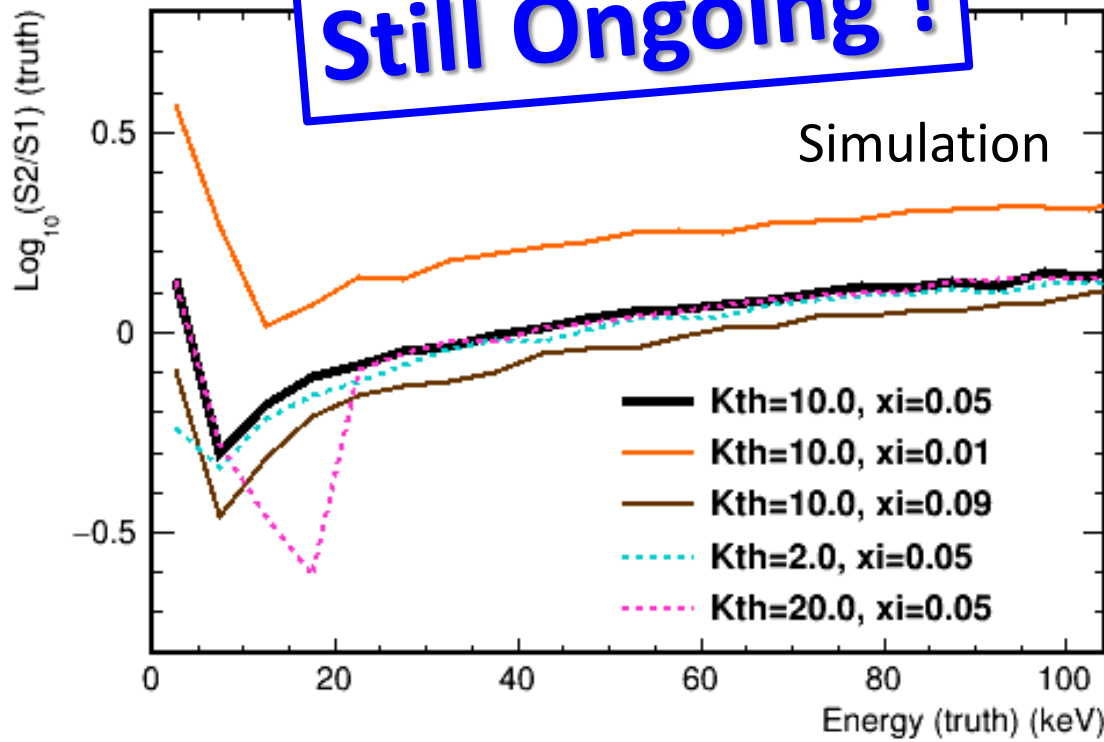
◆データ: 各電場で ^{60}Co をコリメートして入射



低エネルギーを精査→シミュレーション実装→最適運用電場

S2モデル: TIB/Birks Simulation Study

Still Ongoing!



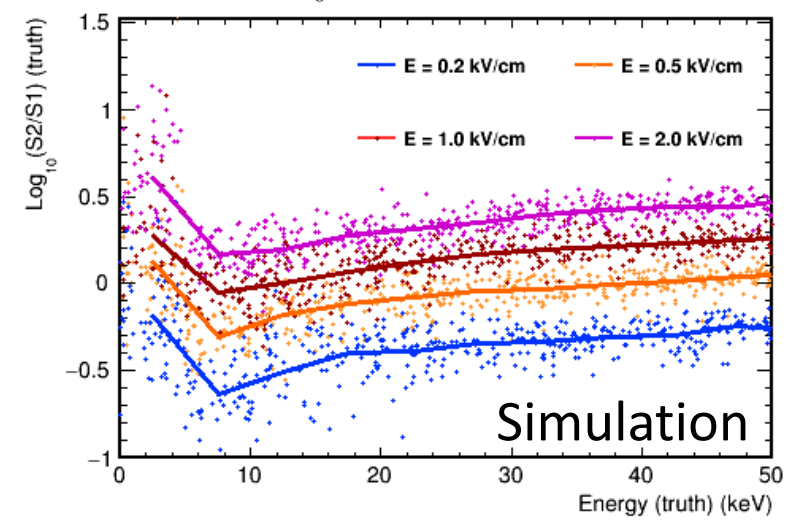
Birks' Law (ICARUS) :

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{A}{1 + \frac{k}{\rho E} \frac{dE}{dx}}$$

or,

Thomas-Imel Box Model :

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{\xi} \ln(1 + \xi), \xi \equiv \frac{\alpha N_i}{E}$$



現在進行中(2月のRunで良質なデータを取得予定)→JPS@大阪にて

大所高所から・・・(by 身内さん)

- ◆ **ANKOK実験の「大前提」: DAMA領域の検証**
 - “Ar媒質”で世界初の検証結果を出すこと。
比較的軽い原子核 & 気液2相式技術
 - 「日本発信」での媒質比較(w/ XMASS)
- ◆ **さらなる発展に向けて(上記の成果にもよりますが・・・)**
 - 季節変動現象の検証と原因追及(長期運用)
 - 発展拡張性(Full MPPC化や大型化)
 - 安価(～5000万円) & 高い機動力(移設可能)
 - 多地点での観測(南半球等)
- ◆ **その他:**
 - 技術開発・経験蓄積・学生教育面での効果大
 - 高い費用対効果
 - 日本のDM探索分野の裾野拡大と強化・底上げ
 - 「日の丸」のための生産的な方向性を模索

(纏まらない) まとめ

◆ 現在、TDRを執筆中(これまでと今後)

◆ 現状課題: 地上実験の完遂

① 環境 γ 線/Ar39に対する除去力評価

② 中性子応答と評価

↓ 地下実験での実行性
↓ 探索感度を立証する。

◆ 地下への移設:

(環境中性子の削減)

→ 30kg・30daysの運転、
WIMP探索を行う予定。

