

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, 田中雅士

鷺見貴生, 五十嵐貴弘, 木村真人, 鈴木優飛
中新平, 横山寛至, 菊地崇矩, 矢口徹磨, 小瀬樹
早大理工

18.Dec.2015 @ 柏キャンパス

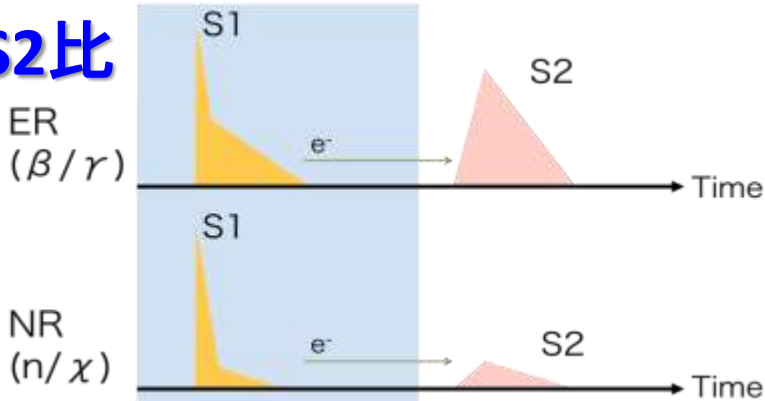
東大宇宙線研共同利用成果発表会

ANKOK実験

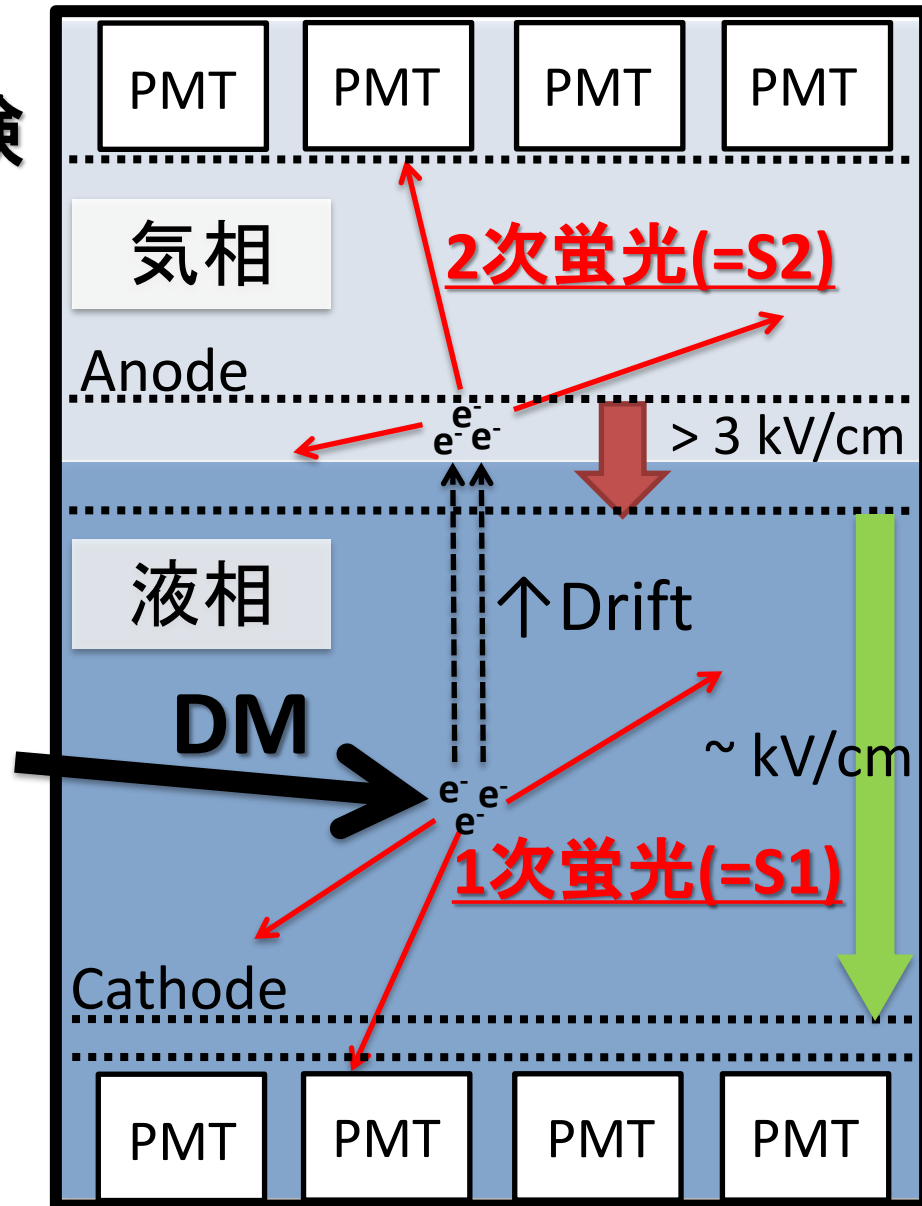
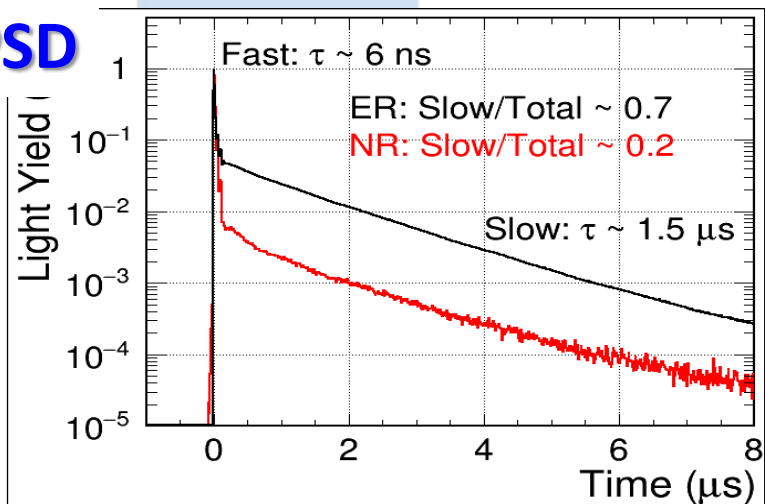
- ◆ 早大が推進中のAr気液
2相型暗黒物質探索実験

- ◆ 強力な γ 線分離能力:

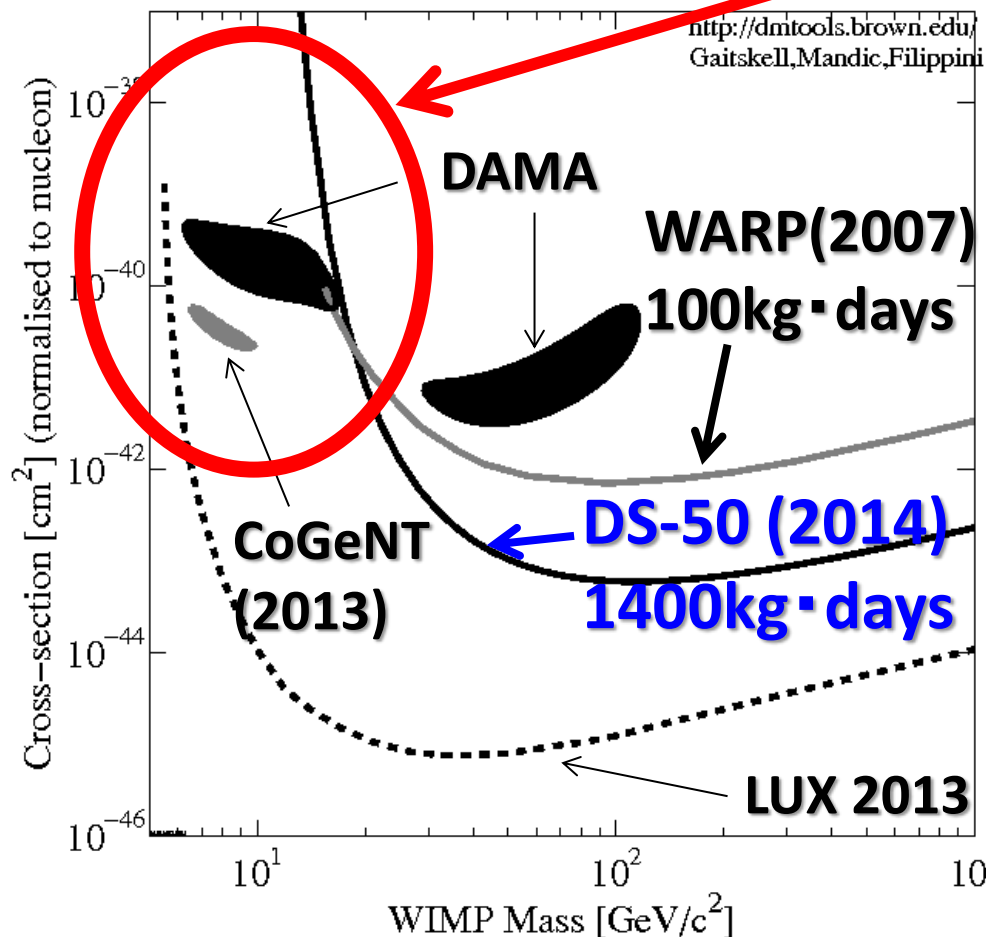
S1/S2比



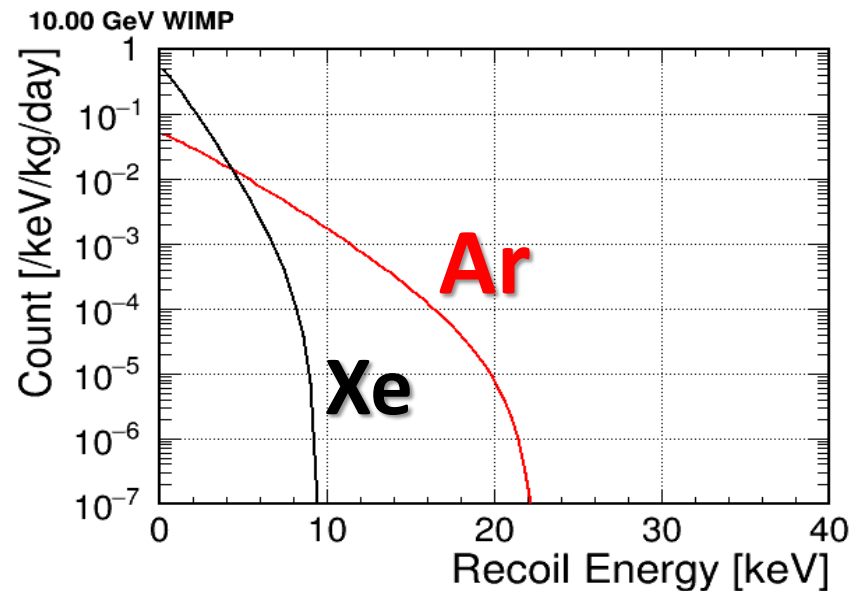
S1 PSD



ANKOK実験のターゲットと課題



□ 10GeV WIMPの反跳



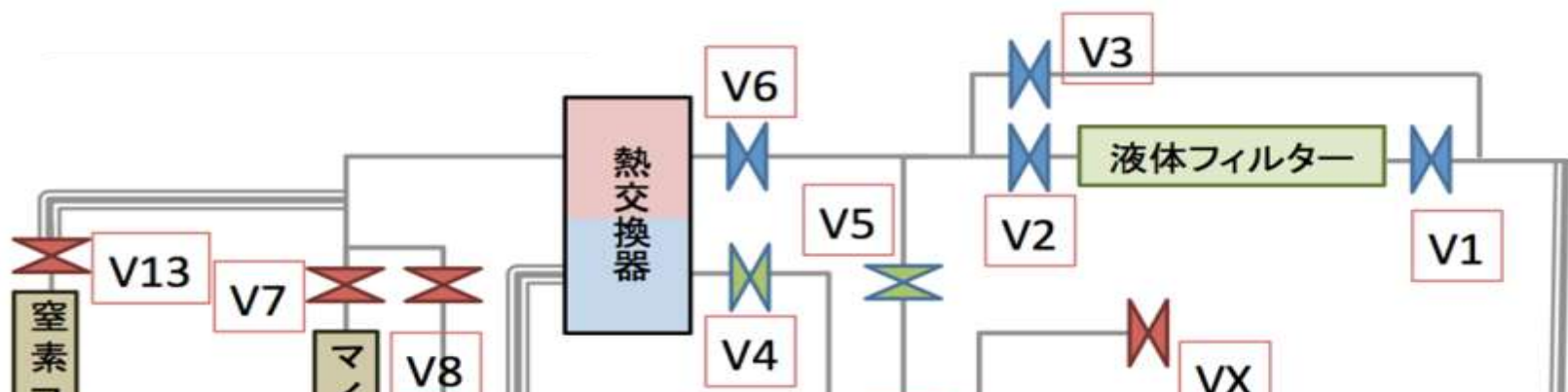
→原子核反跳 20 keV以下の探索のための開発が鍵

★DS50, WARP: 40keV以上

- ① 検出光量最大化(世界最高レベルを達成)
- ② 低エネルギー応答(S1/S2)・種々依存性の理解と最適化
- ③ 背景事象の理解と削減(γ , n , α)

ANKOKテストスタンド(旧)

◆西早稲田キャンパス: 75L容器, 循環ライン等



1. 実験開始までに約2週間の真空引き
2. 液体アルゴン充填開始からデータ取得まで~12時間
3. 高純度液体アルゴン精製(酸素・水<1ppb、窒素<100ppb)
4. ~3週間の安定運用・高純度保持実績
→ スローコントロール・種々環境モニターの充実
5. 電場形成のための高電圧生成(~20kV)
6. 光検出光量の最大化
→ VUV蛍光(128nm)の波長変換、反射材等

全体像と開発現状

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
→ ^{39}Ar
- 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
- DAQ、データ解析方法の確立

低バックグラウンド技術

- 環境中性子の測定
- シールドによるBG削減
- 内部BGの測定・削減
放射線同位体: Rn, Po,,

本実験検出器

- 物理感度の見積り・改善
- テストスタンド増強
- 実機設計・製作
- 地上データ取得→結果
- (→地下)...

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
を持つ実験の実現**

**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**

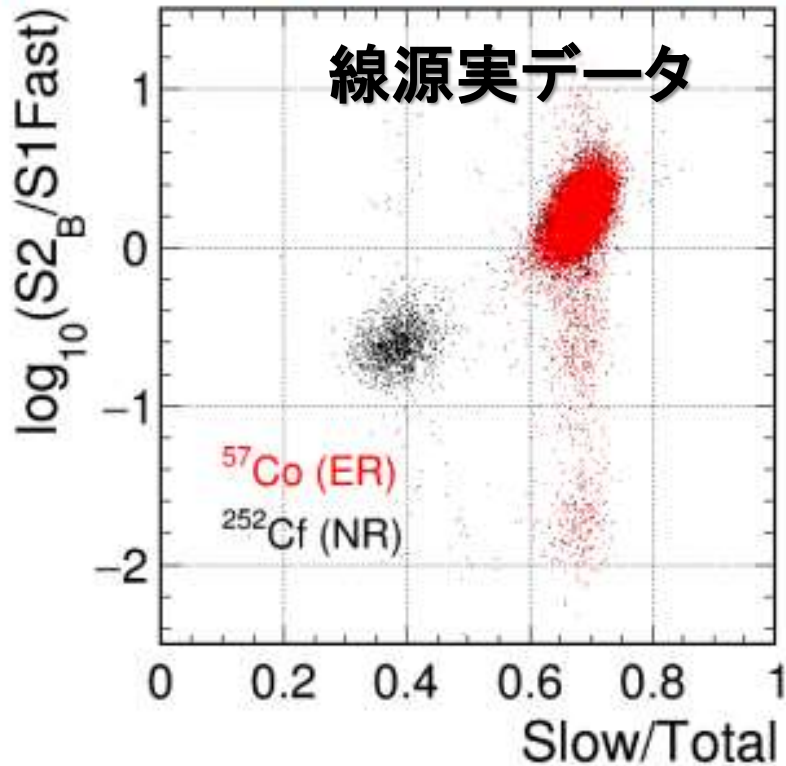
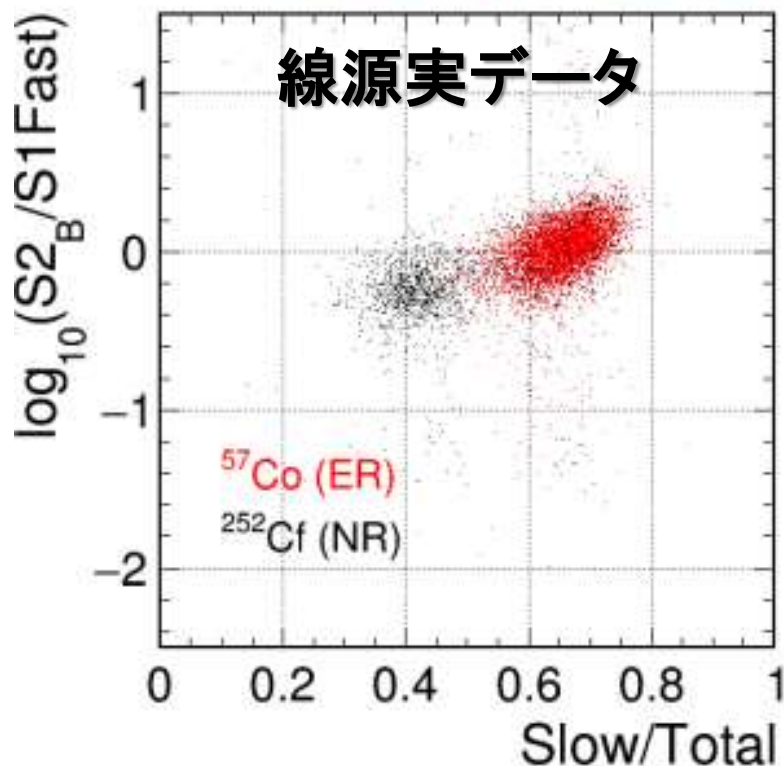
γ 線除去能力とその理解

✓ S1Fast=30~35pes

: $\sim 18\text{keV}_{ee}$, 30keV_{nr}

✓ S1Fast=100~120pes

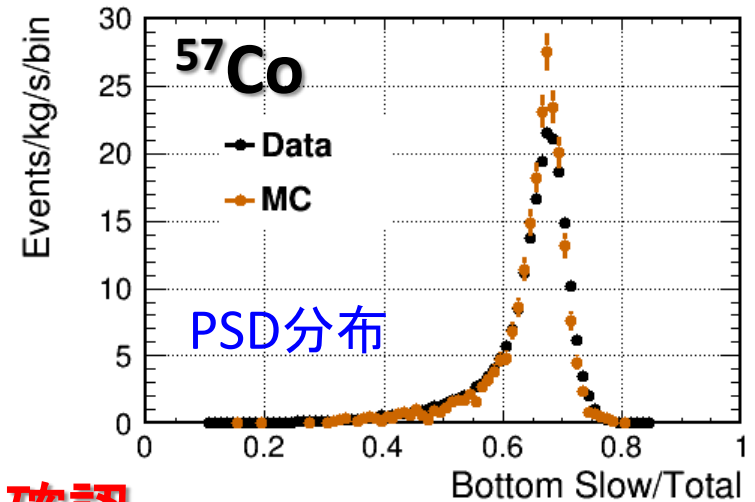
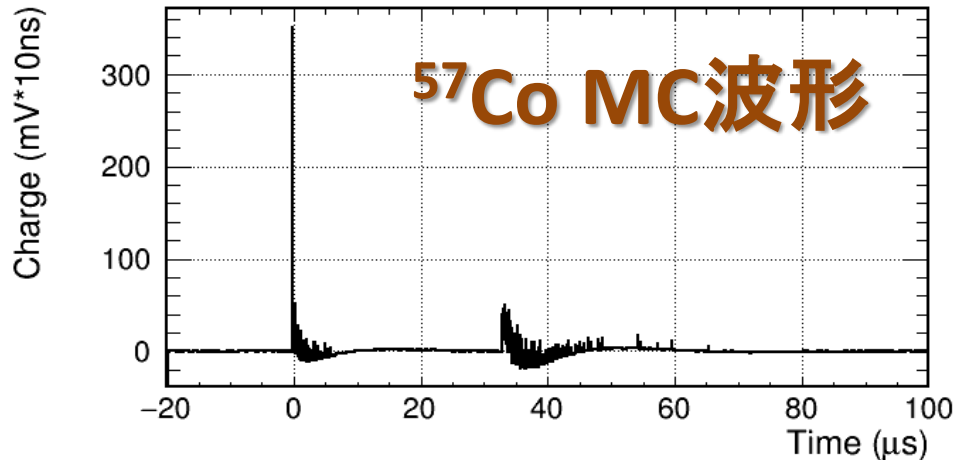
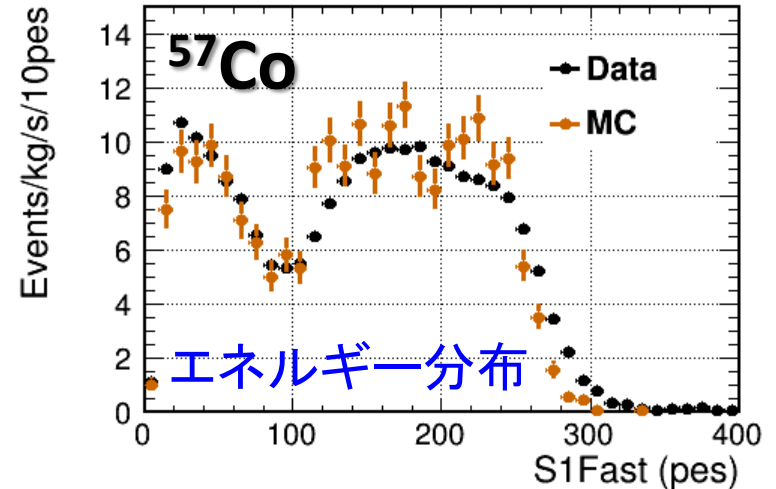
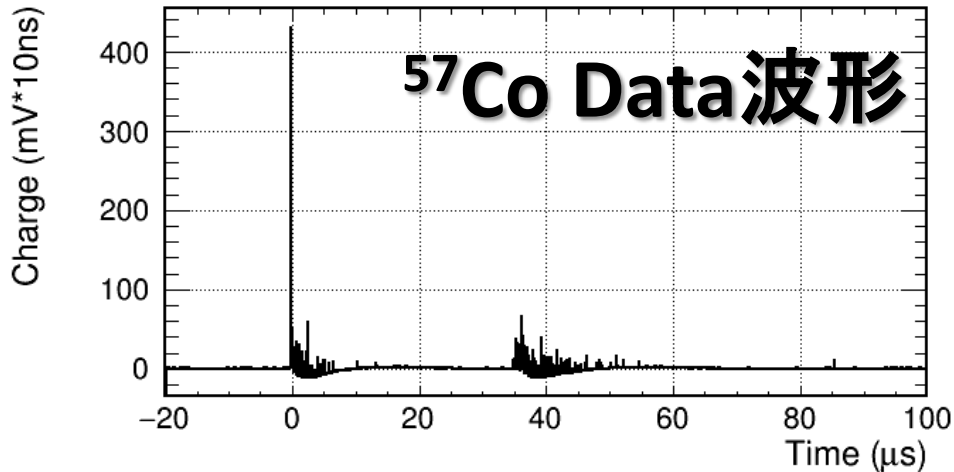
: $\sim 60\text{keV}_{ee}$, 100keV_{nr}



■ 低エネルギー領域での分離能力を確認:

分離能力の定量化にはシールドand/or地下での精査が必要な状況。
(環境中性子の混入によって、分離力がリミットされてしまう。)

γ 線除去能力とその理解

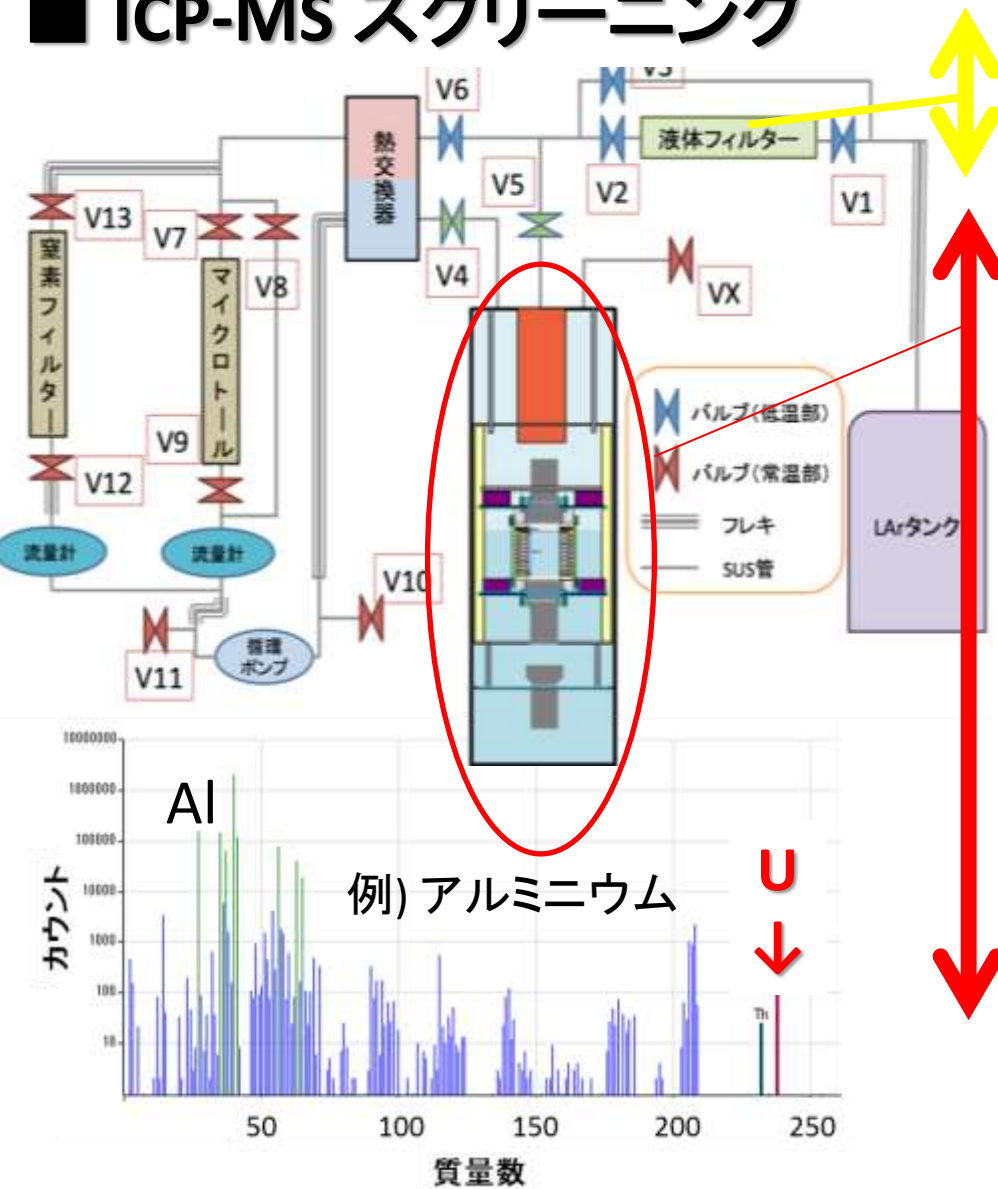


■ 低エネルギー領域での分離能力を確認:

分離能力の定量化にはシールドand/or地下での精査が必要な状況。
(環境中性子の混入によって、分離力がリミットされてしまう。)

検出器部材中の放射線同位体

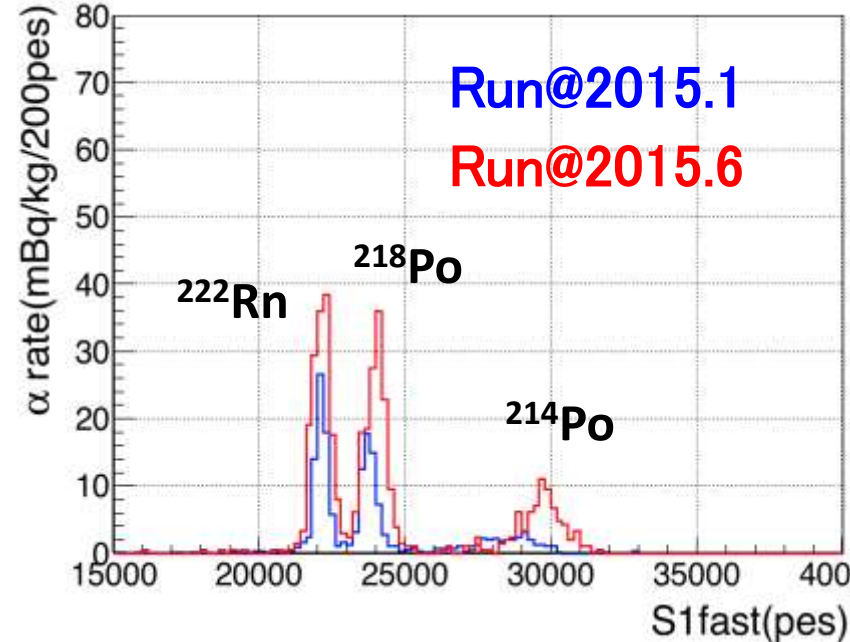
■ ICP-MS スクリーニング



| 部材 | 素材 | U ppm |
|------------|--|---------|
| 分子シーブ | $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_{12})_{12}(\text{SiO}_2)_{12}]27\text{H}_2\text{O}$ | 1.5 |
| 酸化銅触媒 | $\text{CuO}, \text{SO}_2, \text{MgO}, \text{BaO}, \text{ZuO}, \text{Cr}_2\text{O}$ | 0.33 |
| 活性炭 | 炭素 | 0.046 |
| チェンバー | SUS304 | < 0.005 |
| 銅(ガスケット) | 無酸素銅 | < 0.005 |
| 自作液面計基板 | 銅、樹脂 | < 0.005 |
| MPPC box | アルミ | 0.522 |
| ケーブル 絶縁体 | 架橋ポリエチレン | < 0.005 |
| ケーブル グラウンド | 銅線、Agメッキ | < 0.005 |
| プラシン | プラスチック | < 0.005 |
| はんだ | Pb、Sn | < 0.005 |
| 放電棒 | アクリル | < 0.005 |
| カプトンテープ | ポリイミド | < 0.005 |
| インジウム | インジウム | < 0.005 |
| TPB | $\text{C}_{28}\text{H}_{22}$ | < 0.005 |
| ESR | ポリエチレン | < 0.005 |
| CW基板 | FRP | 2.48 |
| ガラスウール | ガラス繊維 | 2.06 |
| ほこり | | 0.305 |
| 髪の毛 | | 0.005 |

放射線同位体の現状

■ これまでの試験運転でU系列核種を観測済 (Bi-Poでも確認)



| 部材 | 素材 | U ppm | | mBq |
|-------------|--------|------------|---------------------|------|
| チェンバー | SUS304 | < 0.005 | 1.13 m ² | 6.1 |
| 冷凍機ヘッド | 銅 | < 0.005 | 10 kg | 662 |
| 支柱 ※ | PEEK | 36.3mBq/kg | 400 g | 14.5 |
| TPC容器 ※ | テフロン | 36mBq/kg | 3.45 kg | 124 |
| フィールドシェーパー | 無酸素銅 | <0.005 | 530 g | 33.0 |
| MPPC box | アルミ | 0.522 | 140 g | 909 |
| ESR | ポリエチレン | < 0.005 | 2.4 g | 0.15 |
| CW基板 | FRP | 2.48 | 10 g | 308 |
| vetoJ 固定台 | アルミ | 0.522 | 204 | 1330 |
| PMT(R11065) | | 1.7 mBq | | 5.1 |

→ 実測合計で～100mBq/kg
 → 本実験に向けて、1/10から
 1/100程度に削減したい。

※PEEK/テフロンはradiopurity.org参照値

□ 今回のスクリーニングからおおよそ半分のソースを特定：
 未測定：ガス循環系等 → 引続き精査し、具体的な削減策へ

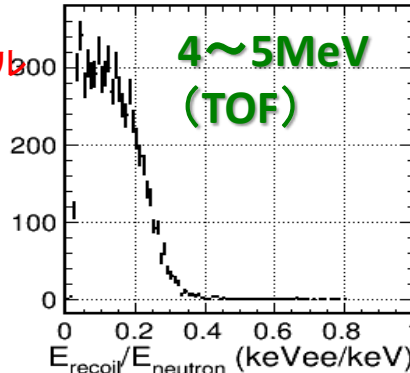
環境中性子測定・評価

■ 液体シンチレータによる環境中性子測定に注力中:

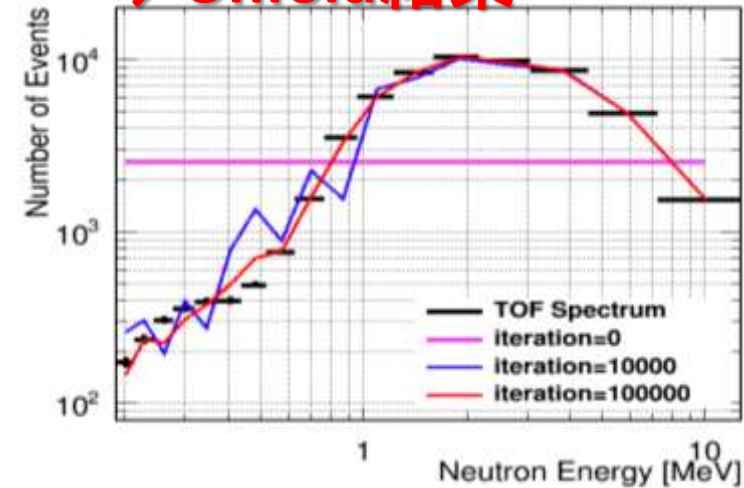
□ Unfolding Methodの確立

$$N(E_R) = \int R(E_R, E) \Phi(E) dE$$

応答関数例

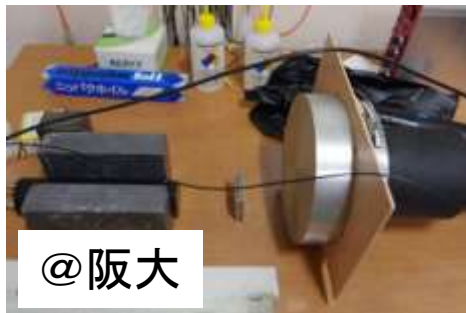


→ Unfold結果



→ 今後、環境中性子に適用

□ 場所依存・時間依存 → 機器のコンパクト化、携帯性の確保



@阪大

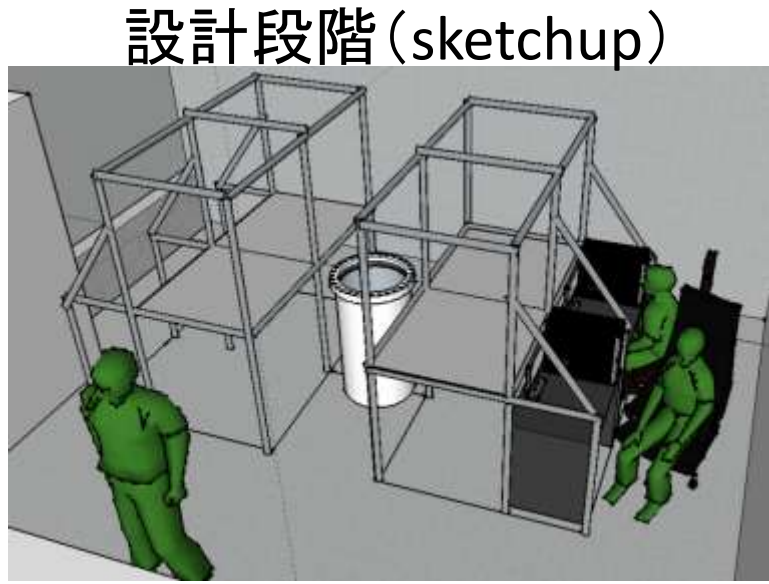


検出器(数十cm角)と
2slot-VME(FADC)とlaptop
のみセットアップを構築
→ どこでも測定可能

中性子測定コンソーシアム(神戸大、名大、阪大、早大)の形成:
→ 情報・機材の共有、種々地下施設での測定、結果の比較検討

新容器・新テストスタンド構築

■ 10月：75L→200L容器に増強



設計段階 (sketchup)



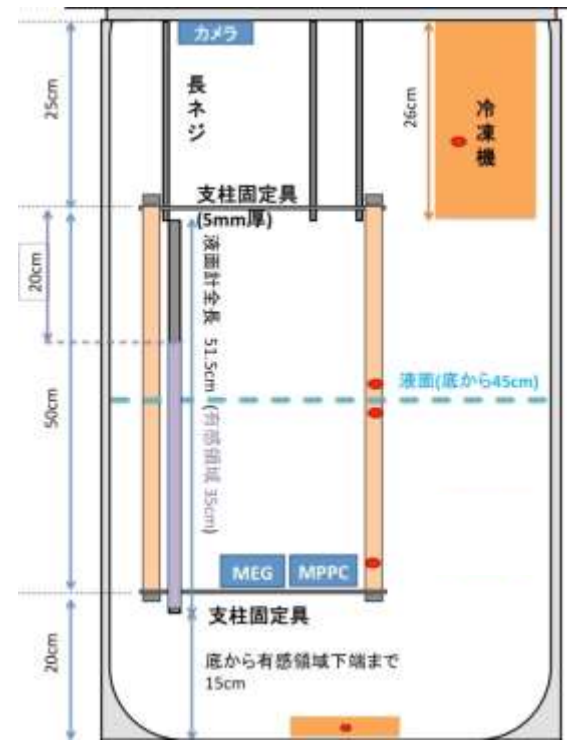
- ✓ 容器φ30→φ50cmに拡張・電解研磨済
- ✓ トップフランジの汎用性拡大
- ✓ 周辺足場の充実(シールド荷重も考慮)
- ✓ 初期テスト(低温保持等の基礎試験)

実物(耐荷重計算後)

新容器・新テストスタンド構築

■ 10月：75L→200L容器に増強

□ 簡易検出器(低物質質量)による初期テスト(10月末)



← 冷却能力保持の検証

← Webcamによる液化内見

← 信号波形(純度評価)

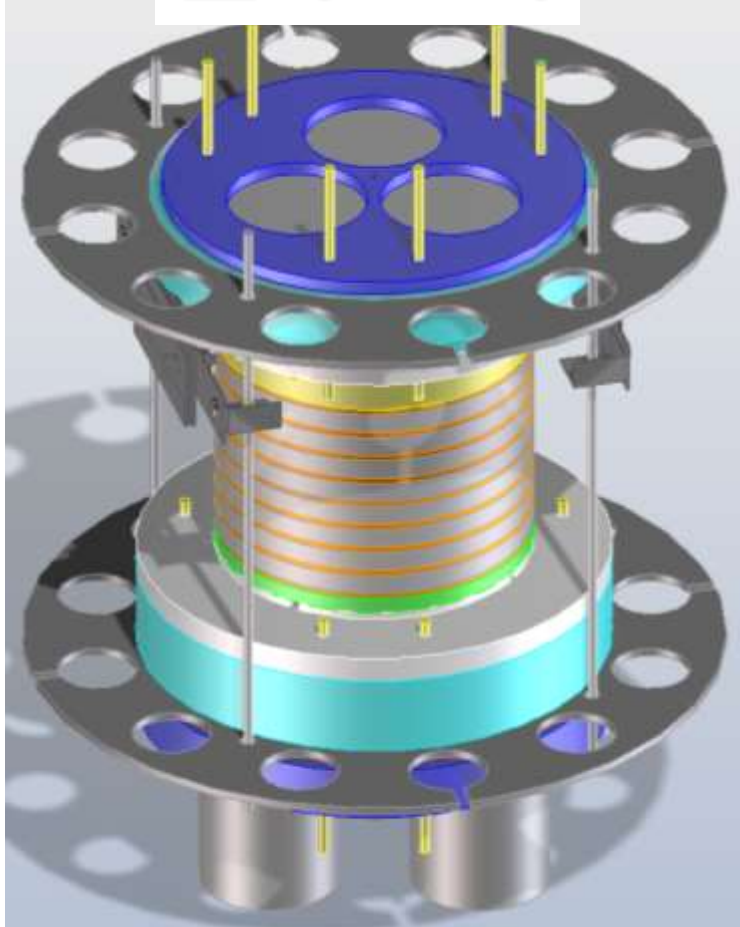
- ★ 初期テストの達成事項
 - 新容器での安定運用
 - 高純度の達成
 - α事象→10mBq(循環系無)

- ✓ 容器φ30→φ50cmに拡張・電解研磨済
- ✓ トップフランジの汎用性拡大
- ✓ 周辺足場の充実(シールド荷重も考慮)
- ✓ 初期テスト(低温保持等)

次期Run(2月予定)

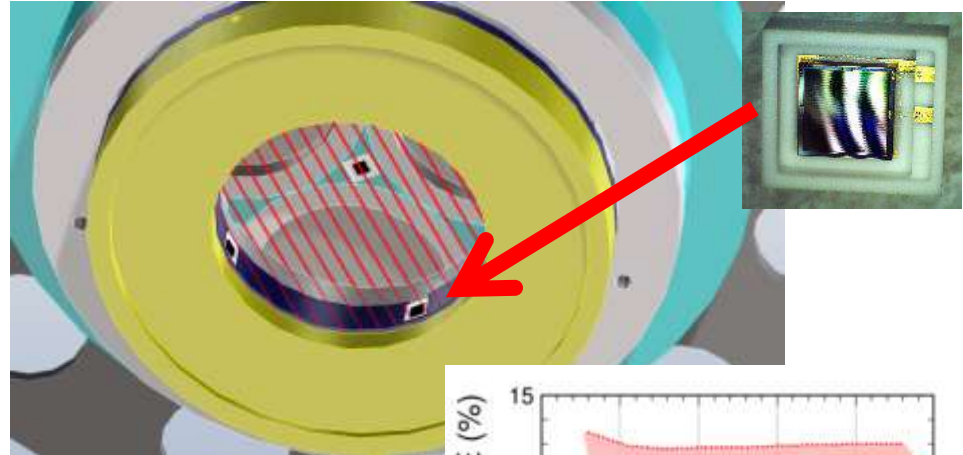
本実験に向けた試験(予算・PMT納期の関係上最低限の増強)

上: 3 PMTs

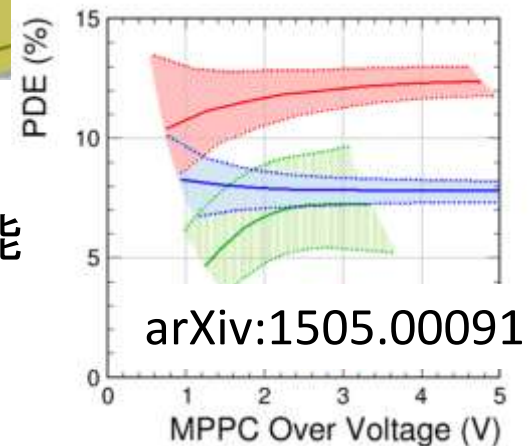


下: 3 PMTs

+ VUV-MPPCの設置



★ 新VUV-MPPCは
128nm直接検出可能
(現在のPDEは12%)
→ さらなる改良可



- 新容器での上下多ch読出し
- x-y発光位置分解能の検証
- MPPC実装(壁際事象の同定検証)

まとめと今後の展望

ANKOKは開発第1フェーズを終え、

現在、本実験検出器製作に移行中

目標：低質量領域探索(DAMA領域)に特化した小型検出器

30kg × 30day → $E_{NR} \sim 20$ keVに感度を持つことが必須

- ✓ 大光量2相検出器の達成
- ✓ ~ 20 keVnr付近でのER/NR事象分離の確認
- ✓ シミュレーションによる検出器応答の理解と最適化
- ✓ 10 \sim 100 mBq/kgの α 線背景事象の検出と特定 → 削減へ
- ✓ 環境中性子測定方法の確立 → 中性子測定コンソーシアム形成
- ✓ 内部バックグラウンドの物理感度への影響の評価
- ★ 本実験検出器(~ 30 kg)の設計製作を開始
- ✓ 新テストスタンドの構築、探索感度の見積り・改善

今後も地上で可能な限りの最適化を行うとともに、地下実験に向けての議論(施設面・安全面等)を引続き・継続的に行っていききたい。