



ArガスTPCを用いた ミグダル効果観測のための 565keV中性子ビーム実験

神戸大 鈴木 啓司

神戸大理, 東北大理^A, 東北大RCNS^B

身内 賢太郎, 東野 聡, 生井 凌太, 谷口 紘大, 中村 輝石^A, 矢野 清志朗^A, 細川 佳志^B





イントロダクション

ミグダル効果とは？

ミグダル効果

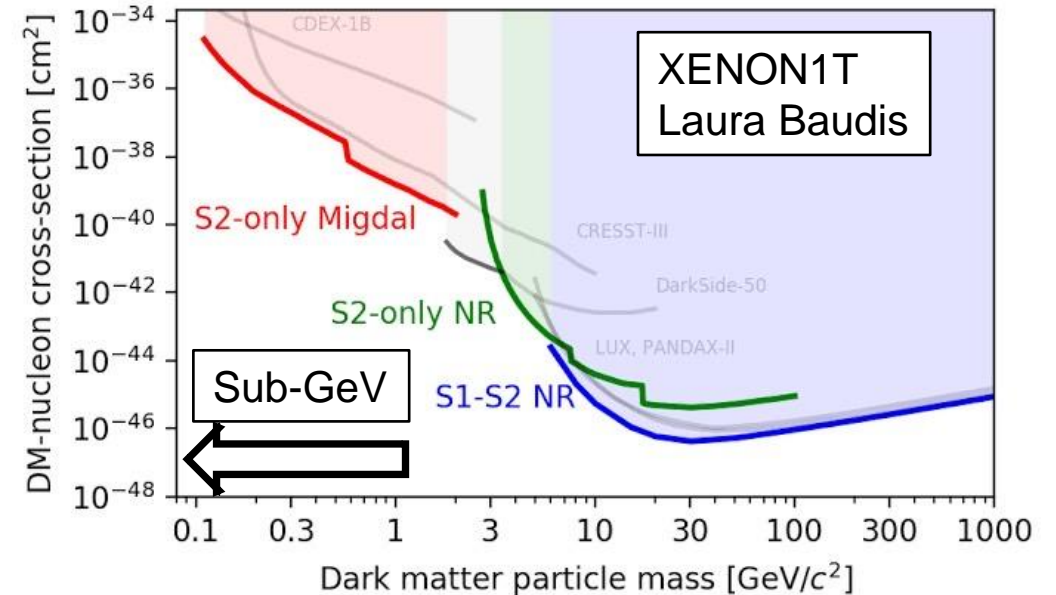
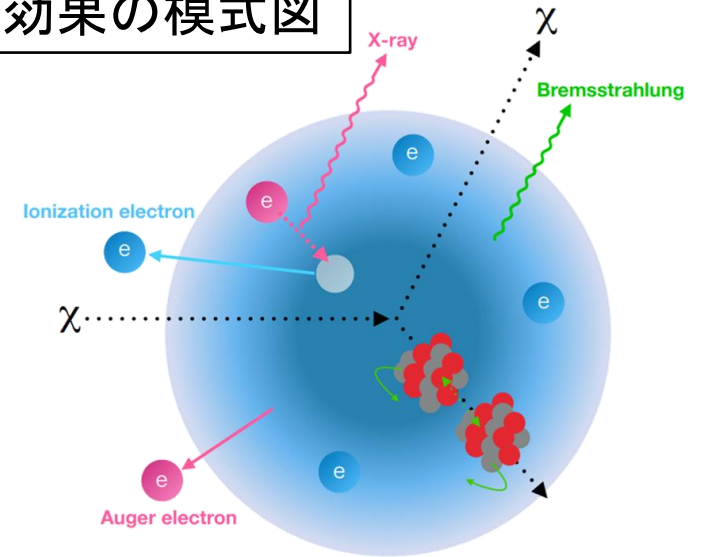
- 原子核反跳(NR)に付随して、追加の電離・励起が生じる
- 実験的な観測事例はない

ミグダル効果があれば...

- 軽い暗黒物質に対する感度が向上する
 - 検出が難しいNR事象ではなく
ミグダル効果による電子を観測する

◎ **ミグダル効果の観測は重要！**

ミグダル効果の模式図

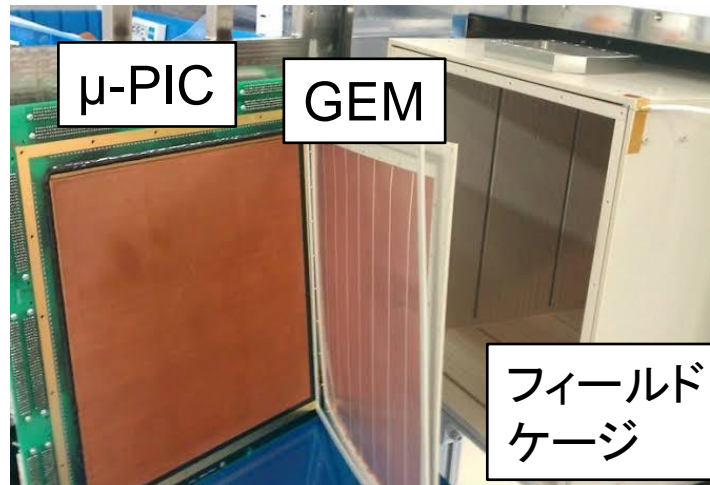
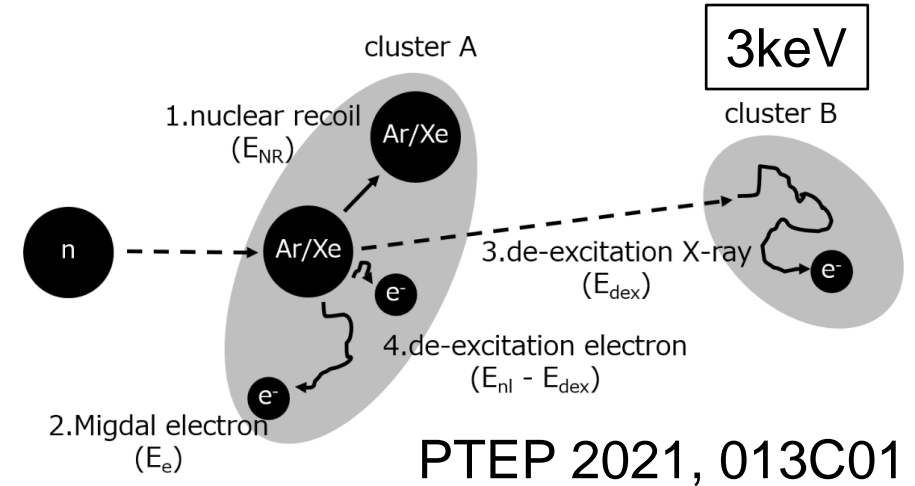


ミグダル効果観測に向けて

MIRACLUE実験

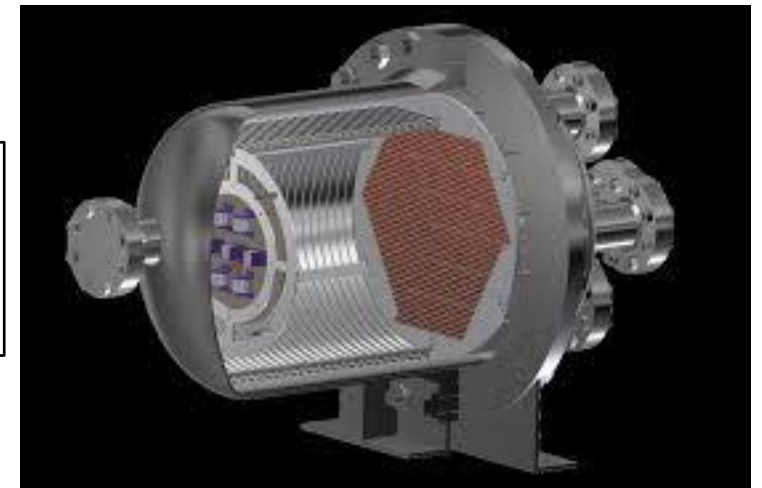
- 東北大と共同でミグダル効果の初観測を目指す
 - 神戸大: ArガスTPC(1atm)
 - 東北大: 高圧XeガスTPC
- K殻電離に伴う**2-cluster事象**を探索
 - 原子核反跳(NR) + Ar(Xe)の特性X線

cluster間の距離は
特性X線の吸収長に従う
(Arでは~3cm)



神戸大:
NEWAGE
の技術

東北大:
AXEL
の技術



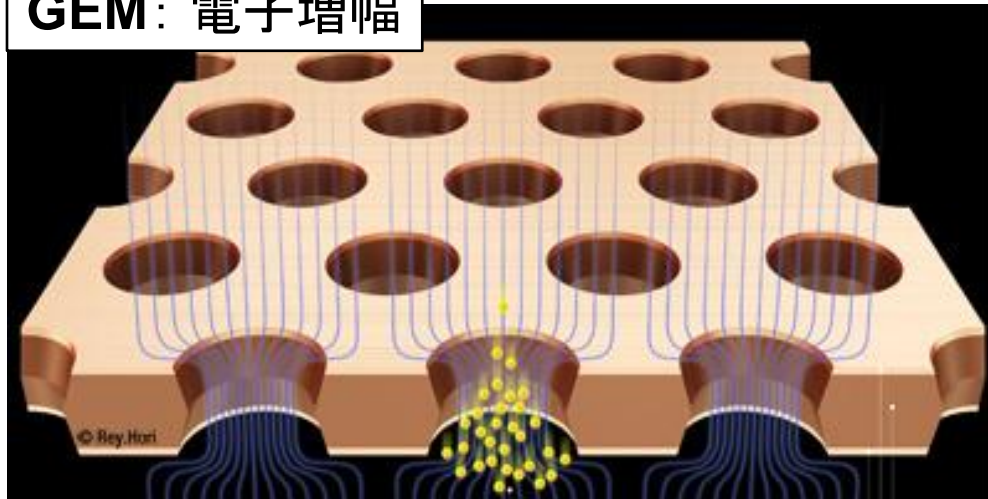
ArガスTPCの検出原理

荷電粒子の検出は次の3ステップ

- ① 荷電粒子がArガスを電離
- ② 電場に沿って電子がドリフト
- ③ 強い電場で電子を増幅して検出

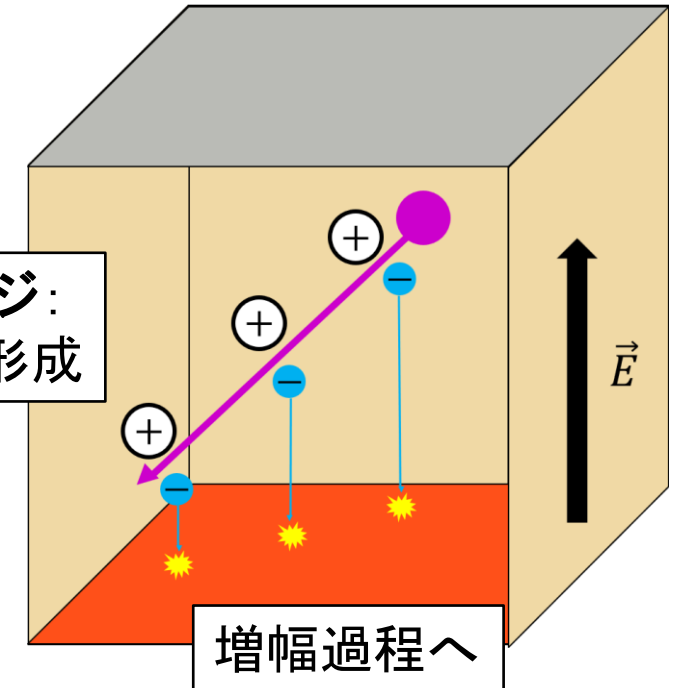
- **GEM + μ -PIC**

GEM: 電子増幅

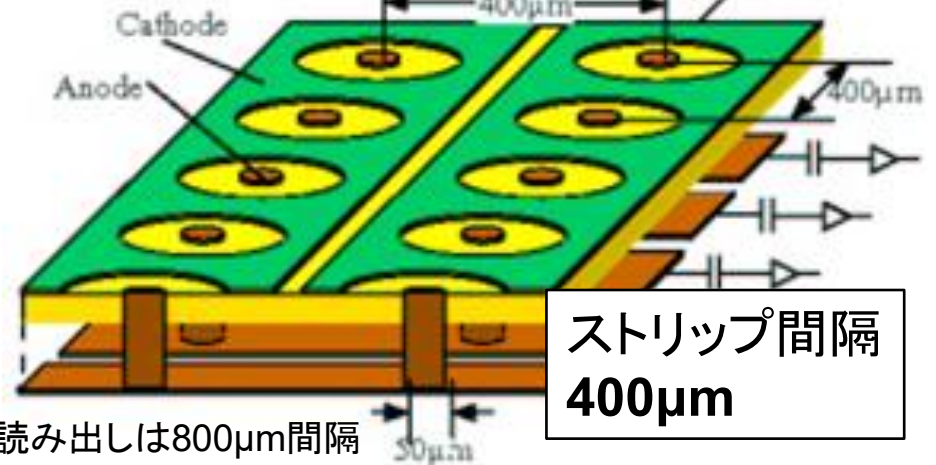


フィールドケージ:
ドリフト電場を形成

※MIRACLUEでは
30cm角



μ -PIC: 増幅&2次元読み出し

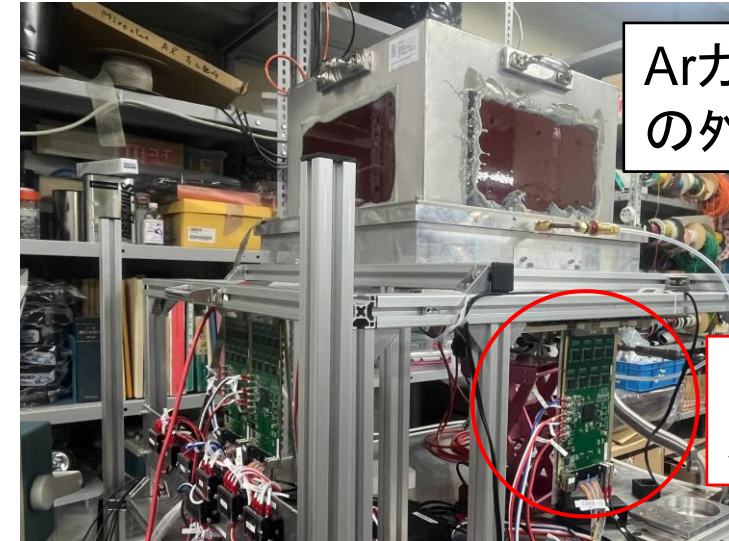
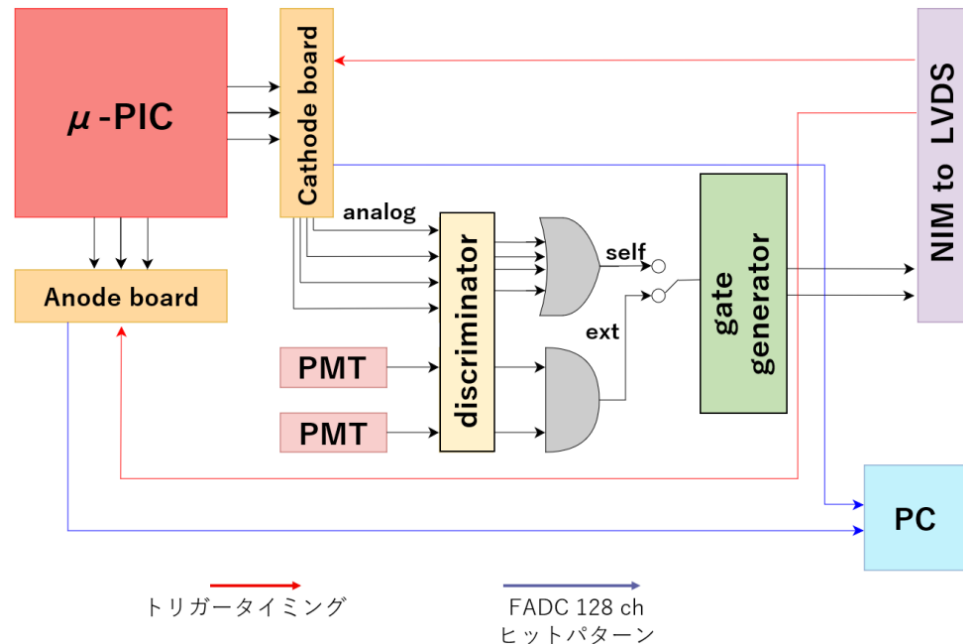


読み出し回路

μ -PICの2次元ストリップ読み出し

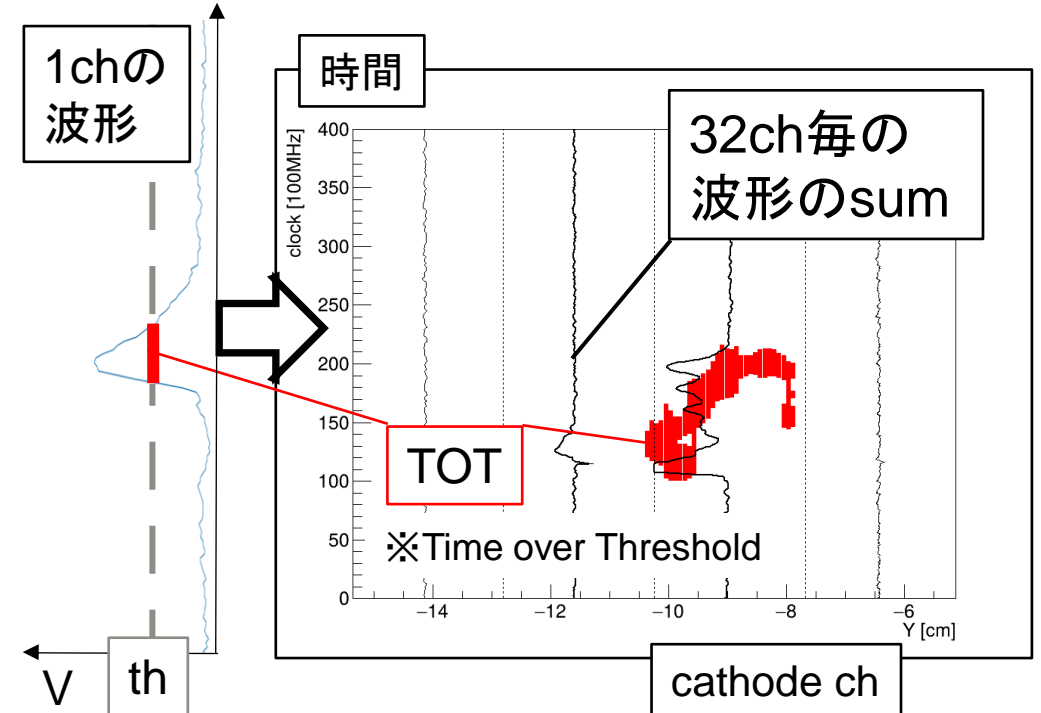
10cm (800 μ m \times 128ch)ごとにボードを割り当て

- chごとのTOTを用いて3次元飛跡を取得
- アナログ波形からエネルギーを算出



ArガスTPC
の外観

読み出し
ボード

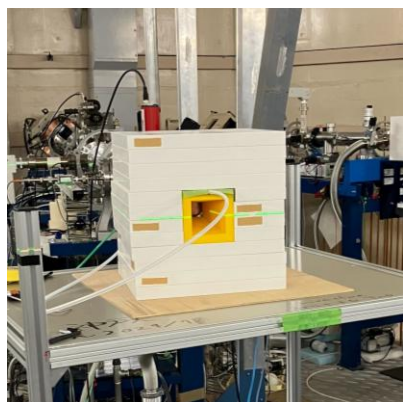
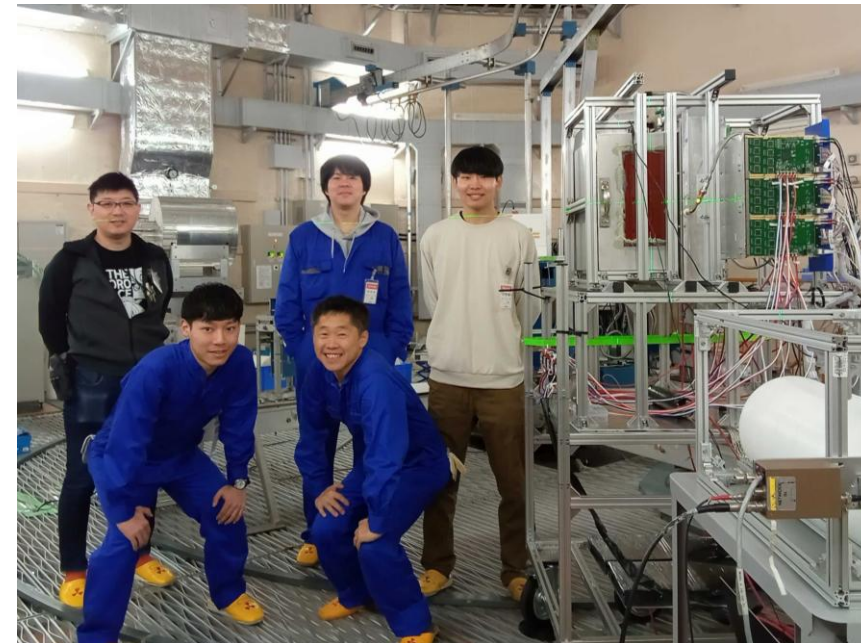


中性子ビーム実験

中性子ビーム実験

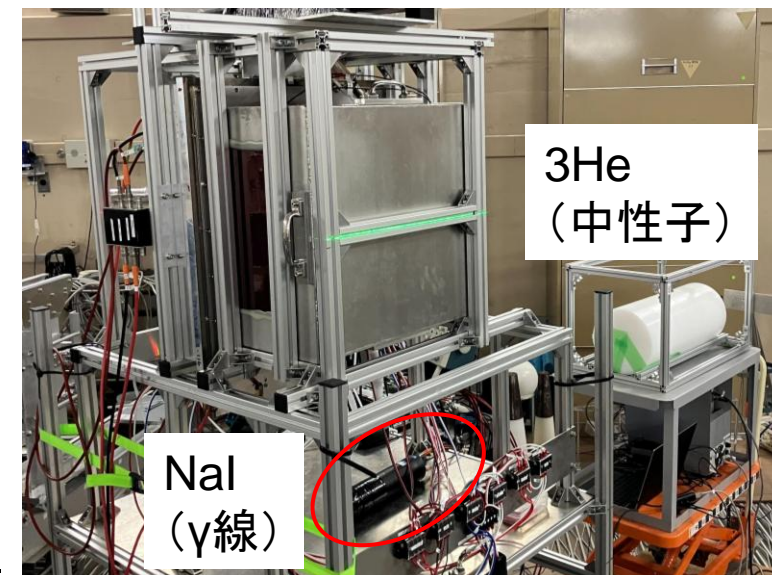
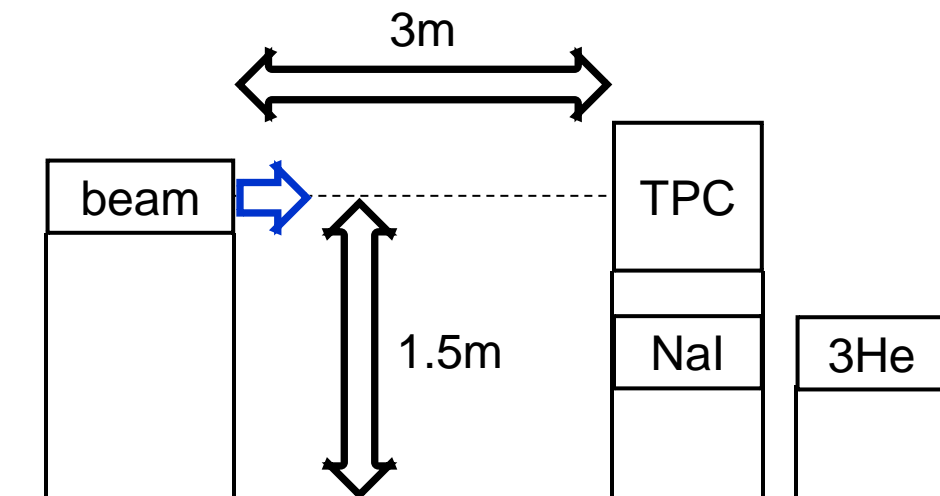
2024年12月 @AIST(産業技術総合研究所)

- ビーム→**565keV**の単色中性子
- 封入ガス→ Ar(0.84atm) + C₂H₆(0.16atm)
- 有感領域→20cm × 30cm × 30cm(5ボード)



コリメーター
を設置

セットアップ図



データ取得の様子

総トリガー数: 3.5×10^6

測定時間 (live time): 1.4×10^4 sec

grafanaで監視@制御室

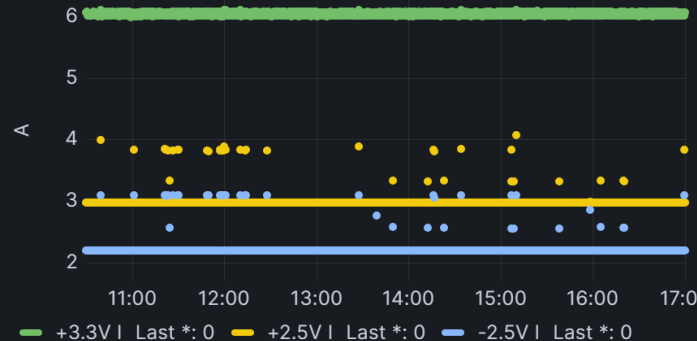
- 3Heのレートとトリガーレートが連動
→ DAQは正常
- 読み出しボードやGEM・ μ -PICの電流値はおおむね安定



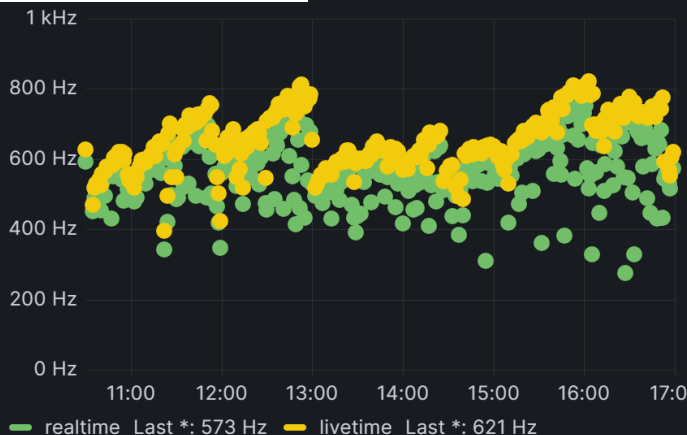
3Heレート(中性子モニター)



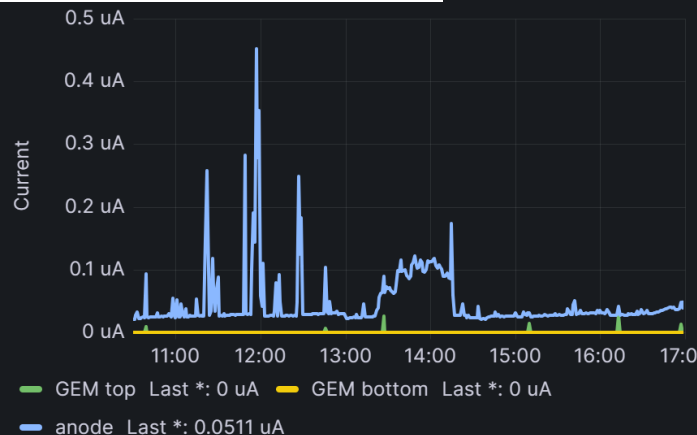
読み出しボード電流値



トリガーレート



GEM・ μ -PIC電流値



イベントレートの見積もり

総トリガー数: 3.5×10^6
live time: 1.4×10^4 sec
(前ページと同じ)

中性子ビームのフラックス: $\sim 10^2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (典型的な値)

- H原子核とAr原子核について、予想されるNR事象のレートを算出

Target nuclei	H	Ar
Number of nuclei	7.0×10^{23}	6.1×10^{23}
Cross-section for 565keV neutron	5.75 barn	0.65 barn
Migdal branching		7.2×10^{-5}
Fluorescence yield (K shell)		0.14
Expected event rate	$2.7 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$	$2.7 \times 10^1 \text{ s}^{-1}$
Expected events	3.8×10^6	3.8×10^5
Expected event rate (Migdal)		34 day^{-1}
Expected events (Migdal)		5.4

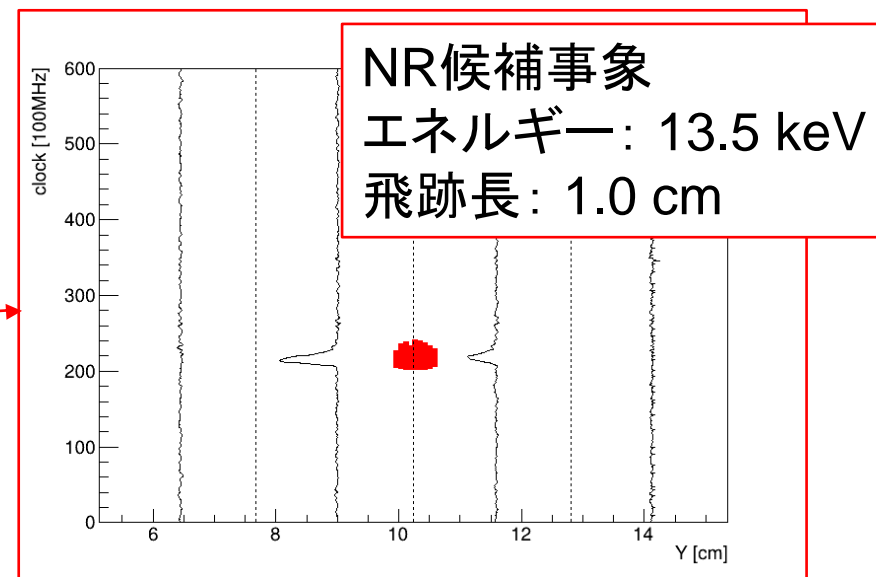
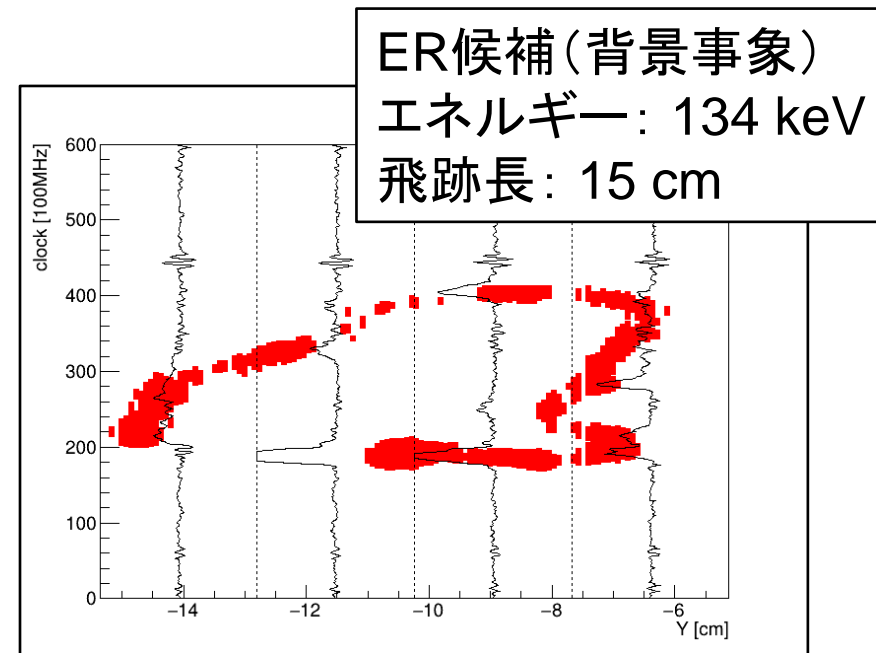
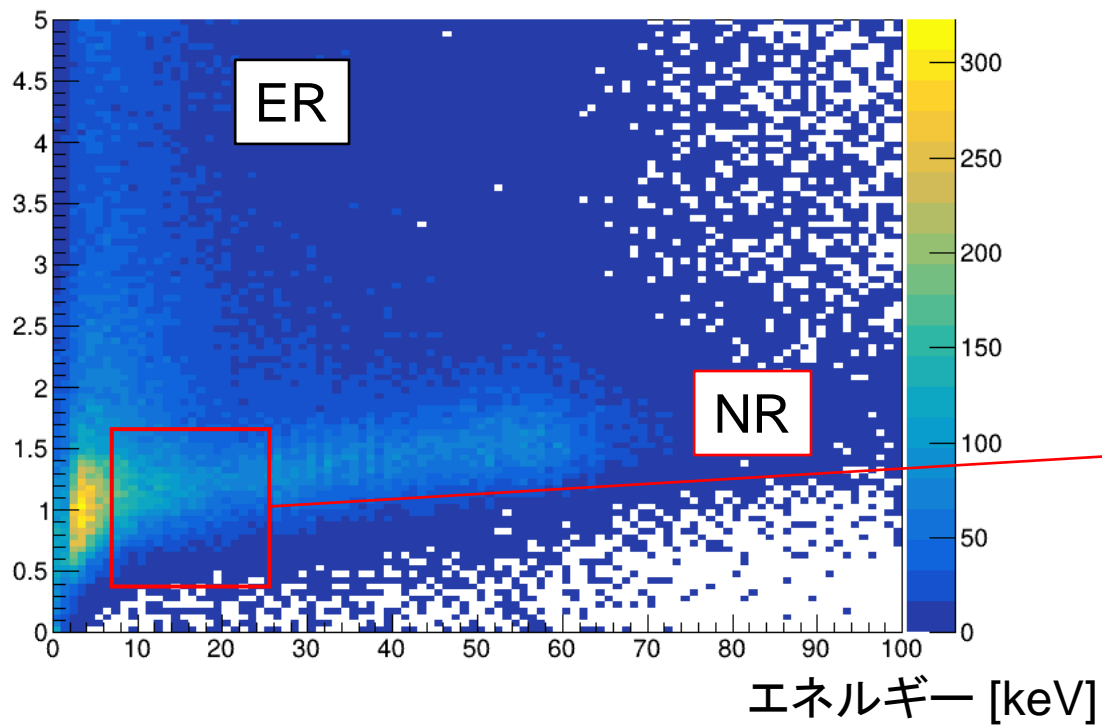
Arについては
Migdalイベント
のレートも計算

背景事象との識別

NRとER(電子反跳)を識別可能

- 粒子の種類(H, C, Ar)によるNRの識別が課題

飛跡長 [cm]



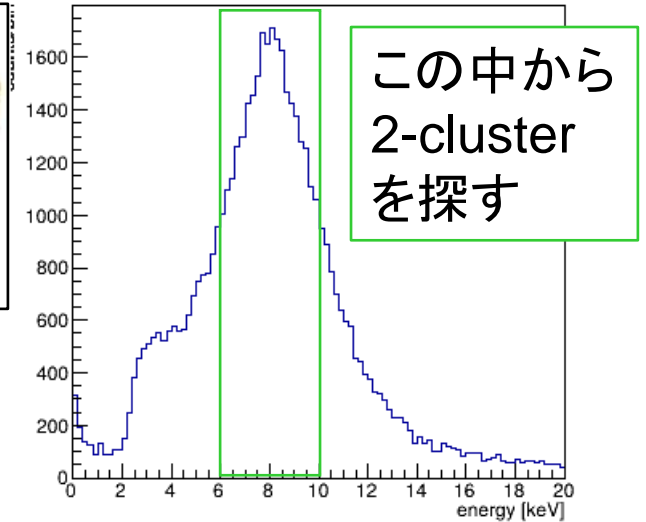
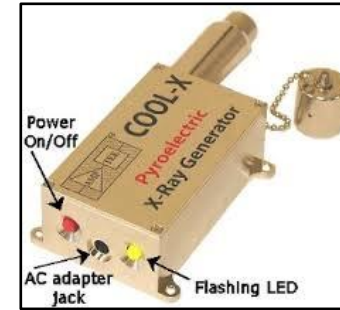
2-cluster解析

2-cluster探索の検証

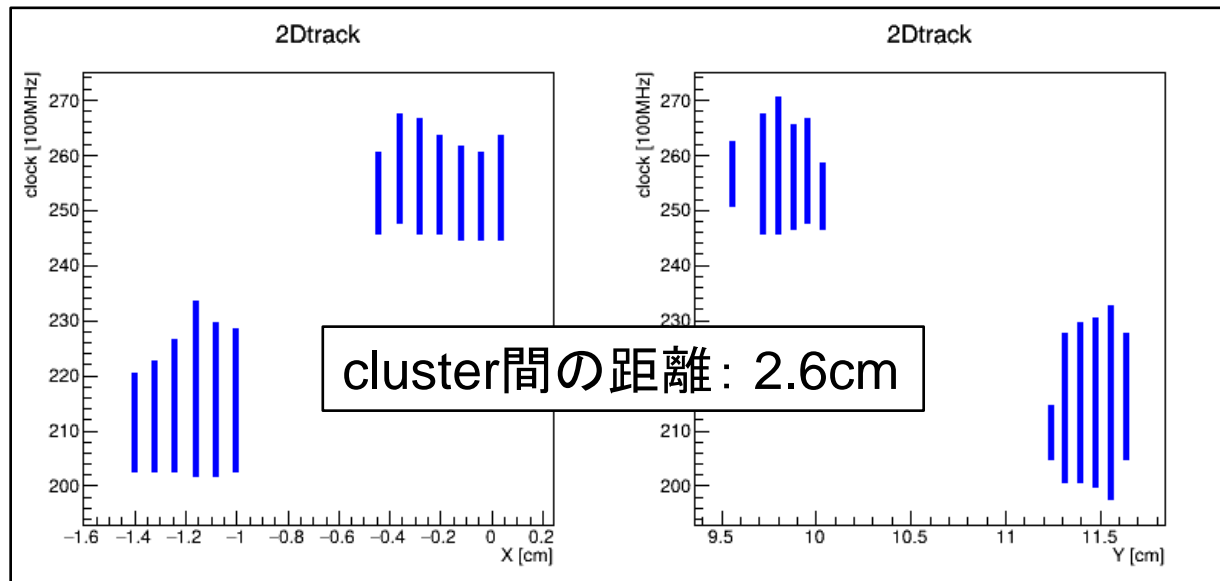
Amptekの「COOL-X」→8keVのX線源

- ビーム実験時のエネルギー較正に使用
- ◎ 光電効果(5keV) + Arの特性X線(3keV)で
2-cluster探索の原理検証ができる

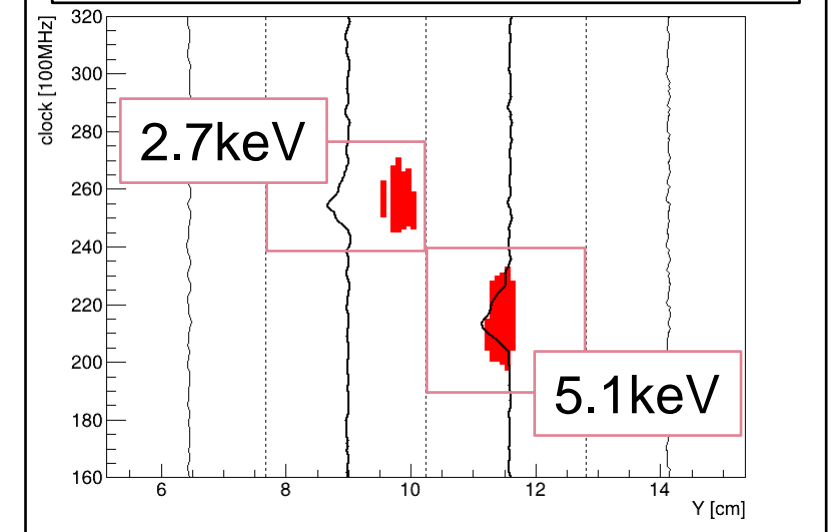
COOL-Xのスペクトル



2-cluster事象の例



clusterごとにエネルギーを計算



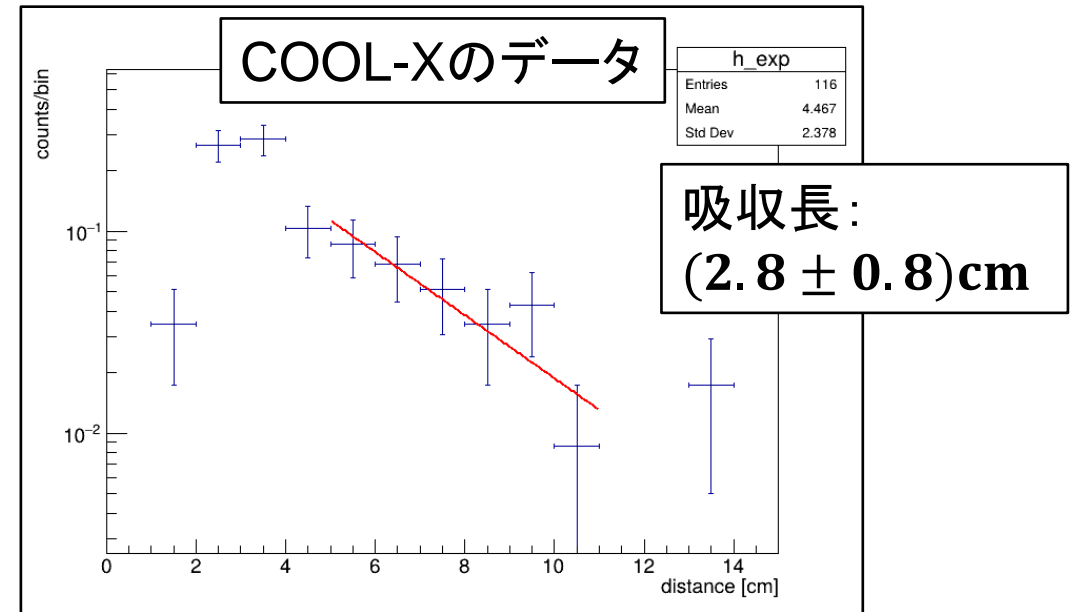
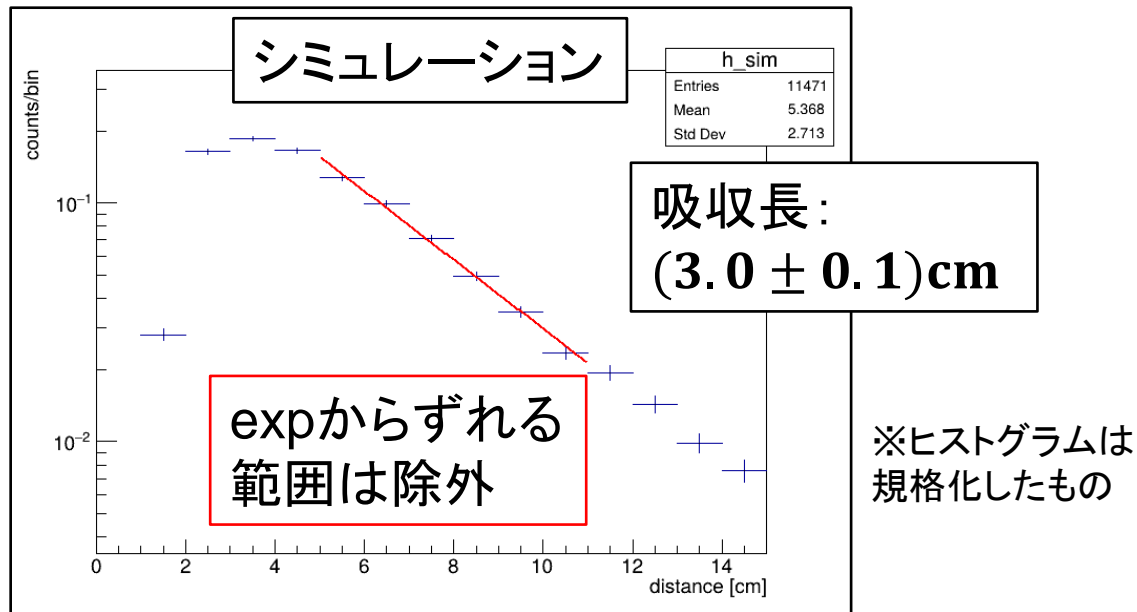
cluster間の距離分布

cluster間の距離分布をシミュレーションと比較

- 特定の範囲を $y = Ce^{-\frac{x}{\lambda}}$ でフィット (λ : 吸収長)
- ◎ 統計は少ないが、誤差の範囲内で一致

主なカット条件

- ① 合計が (8 ± 2) keV
- ② 2つのclusterのうち一方が (3.0 ± 1.5) keVである
- ③ 2つのclusterがZ軸方向に 1.6cm以上離れている



2-cluster探索のデモンストレーションができた!

まとめと今後の展望

まとめ

- 2024年12月に産総研にて中性子ビーム実験を実施
 - 安定した環境下でデータを取得することができた
- NRとERの識別はできているが、反跳原子核の識別が課題
- 8keVのX線源を用いた2-cluster探索の原理検証ができた

今後の展望

- NR + Arの特性X線(3keV)の2-cluster解析を進める
- C₂H₆(16%)のかわりにCF₄(1%)をクエンチャーとして用いる
 - 背景事象の大幅な削減が期待される



BACK UP

