

ガス検出器を用いた ミグダル効果観測のための 背景事象の見積もり



神戸大理 金崎奎

中村輝石^A 身内賢太郎 東野聡 水越慧太 池田智法^B

東北大理^A 京都大理^B

MIRACLUE Collaboration

2021/09/14 14:30~ 日本物理学会 秋季大会 講演番号：14pV2-5

Contents

1. Introduction

- ミグダル効果
- MIRACLUE

2. Background

- 実験概要と主な背景事象(BG)
- BG削減の要請

3. BG simulation

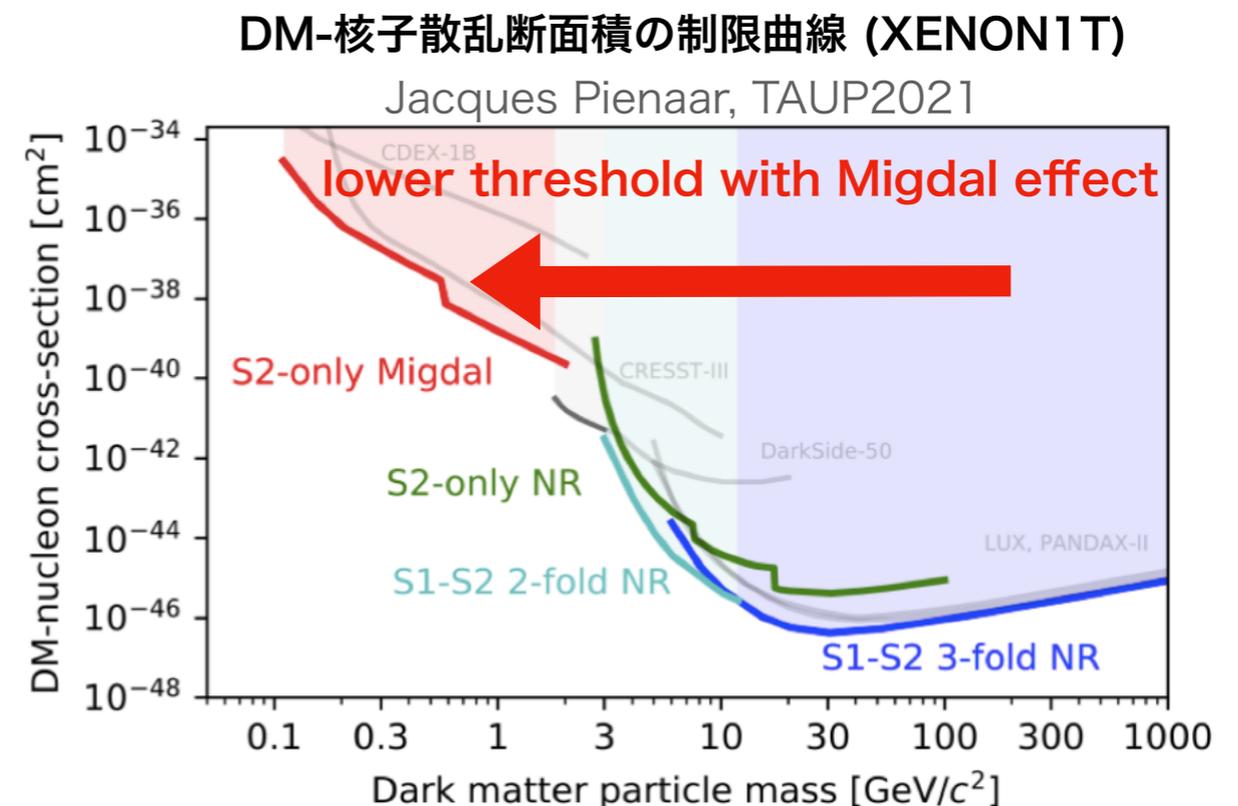
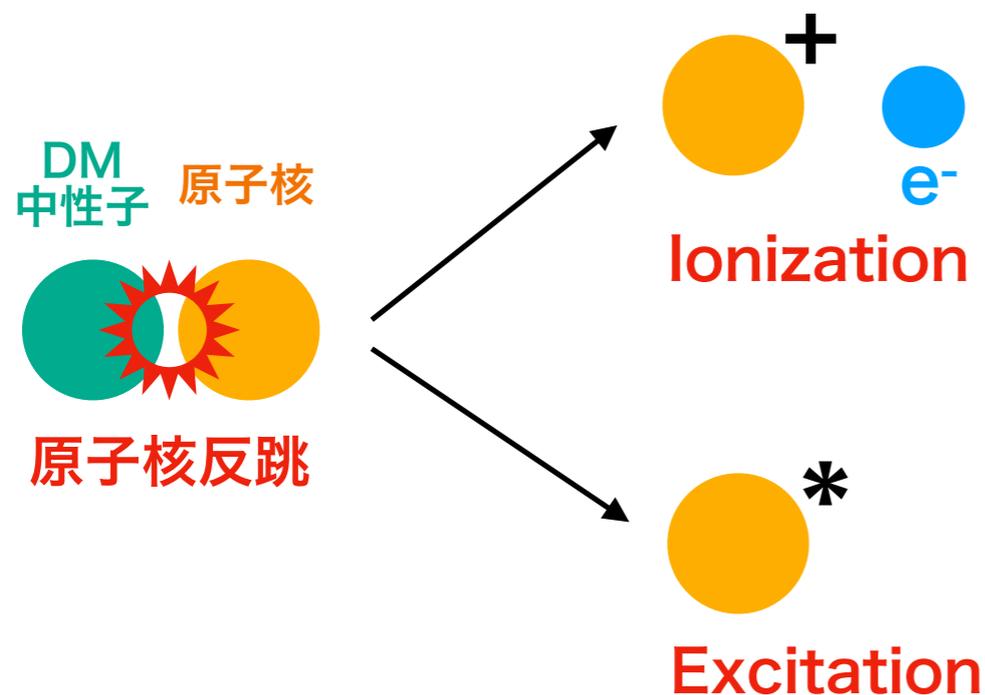
- 中性子シールド
- BGの見積もり
- chamberの材質

4. 今後の展望とまとめ

1. Introduction

ミグダル効果

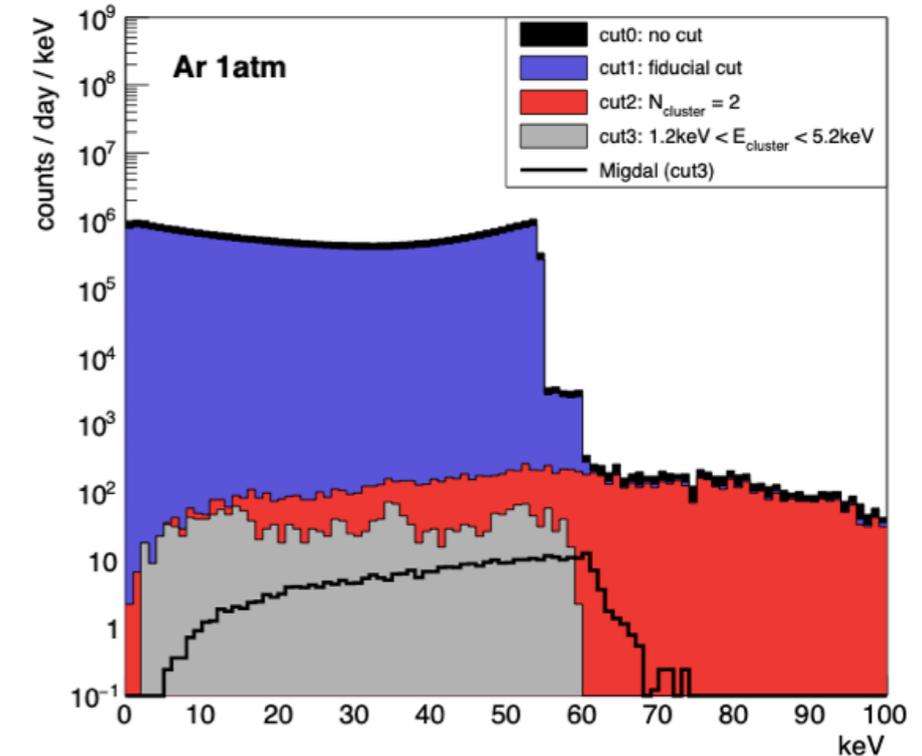
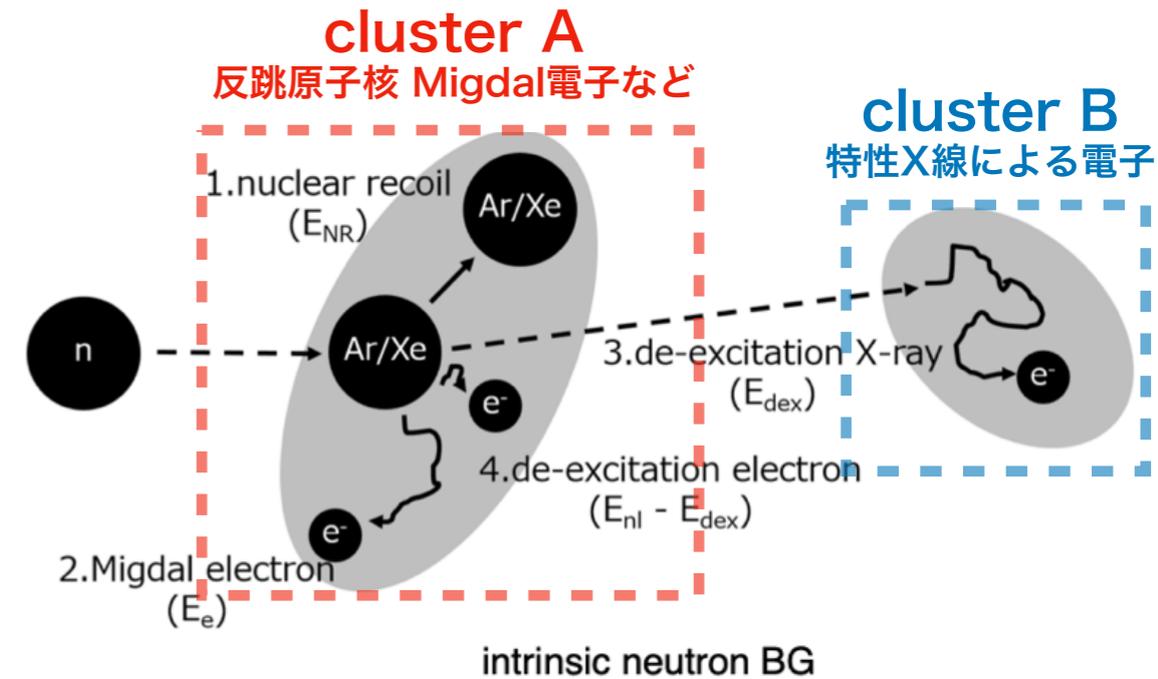
- 原子核反跳に伴って低確率で**追加の電離・励起**が起きる
- 暗黒物質探索実験への応用が期待されており、特に低質量WIMPsに対する感度が向上する
- 原子核反跳に伴うミグダル効果の**実験的観測はされていない**



1. Introduction

MIRACLUE

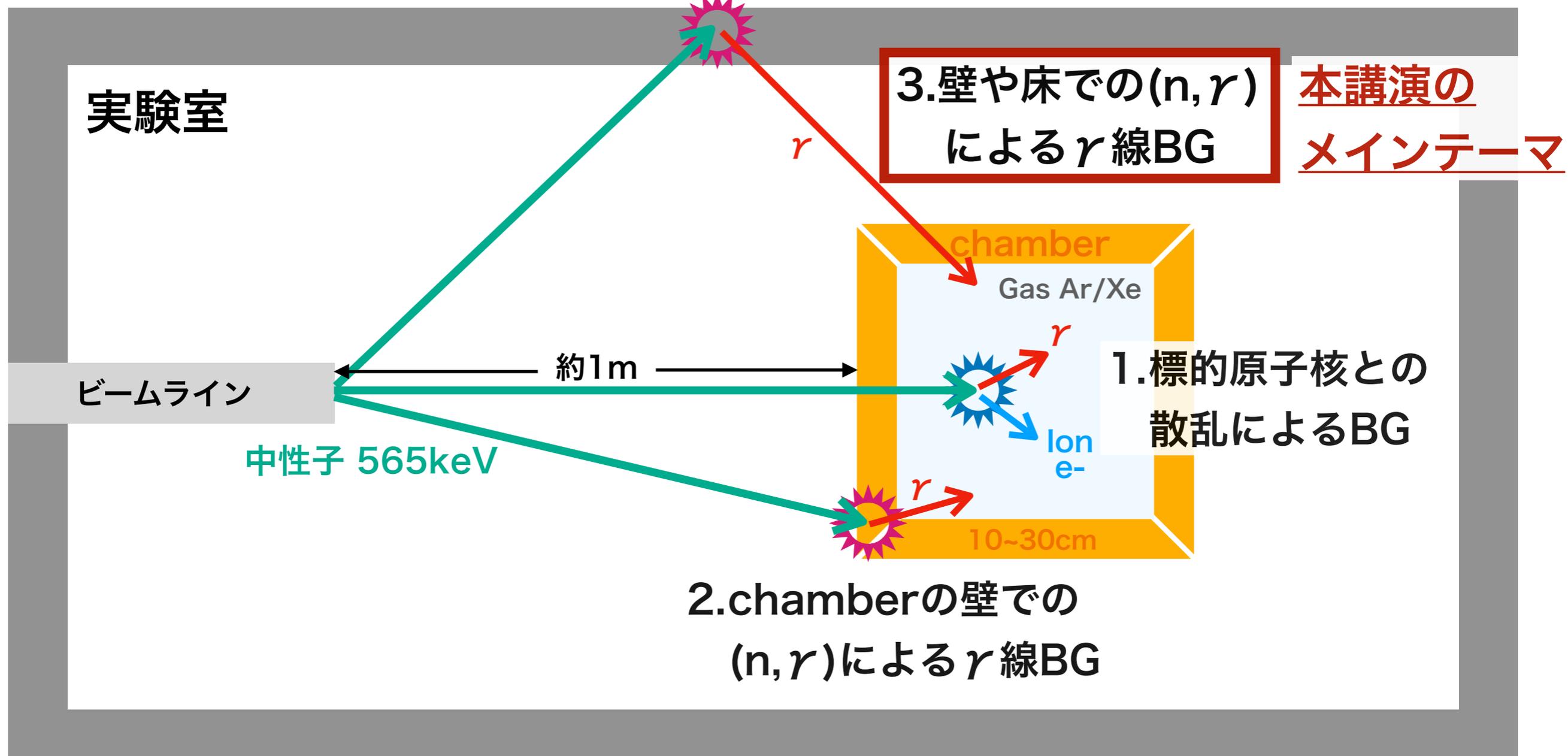
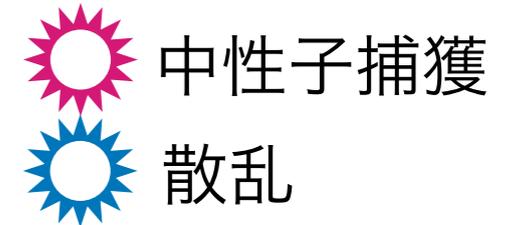
- 位置に感度を持つAr/Xe ガスTPCを用いてミグダル効果の観測を目指す
- ミグダル効果による**特性X線**に着目
→ **2つのcluster**を観測しBGを排除
- 純粹に標的原子核と中性子の散乱のみを考えた場合、**BGの数分の1**のレートで観測が可能
→ **外的なBGの理解・削減が重要**
- 今冬に中性子ビーム試験を計画中 @AIST



Kiseki D. Nakamura et al, PTEP(2021), 013C01
“Detection capability of Migdal effect for argon and xenon nuclei with position sensitive gaseous detectors”

2. Background

実験概要と主な背景事象(BG)

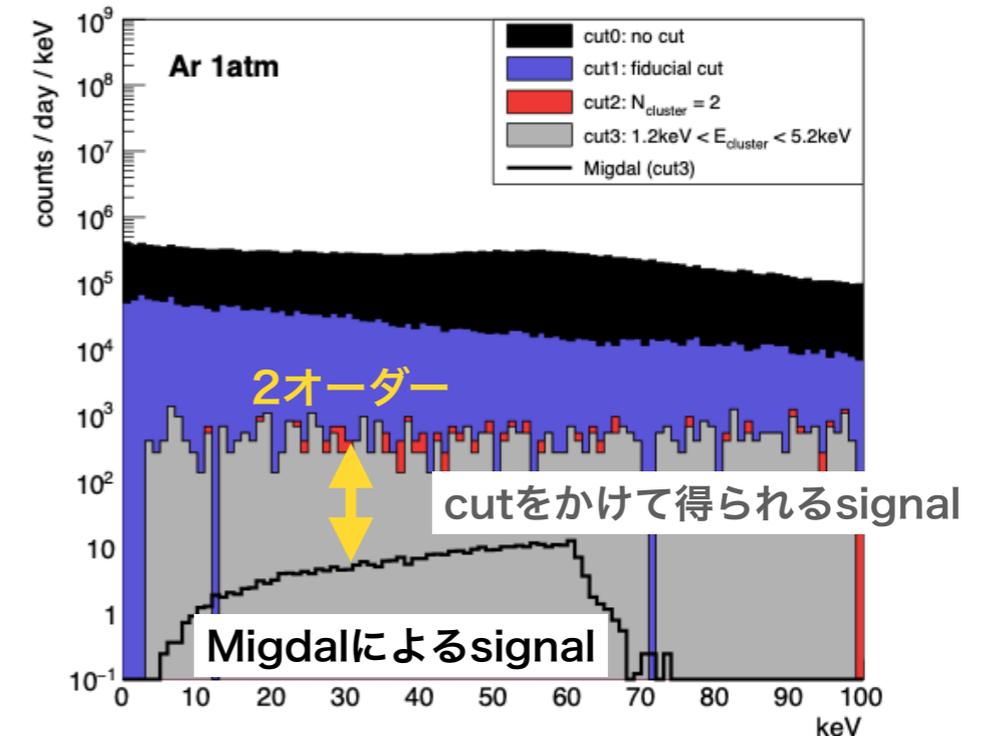


2. Background

BG削減の要請

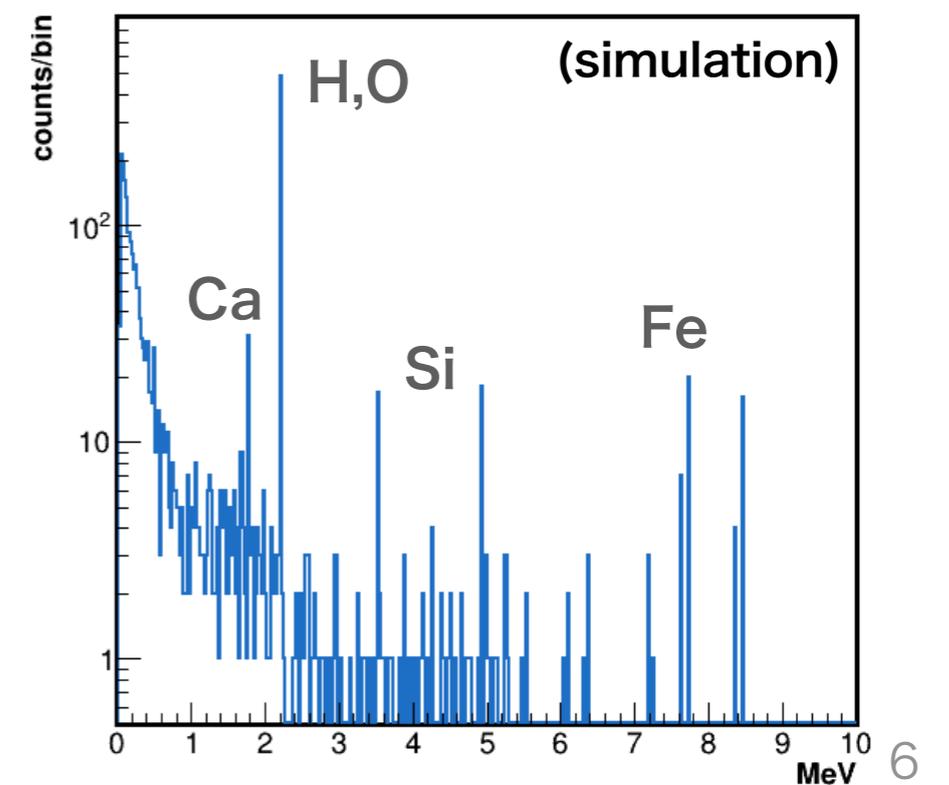
- 遮蔽を特に行わないモデルに関してはすでにシミュレートされている
 - **実験室からの γ 線が支配的**
 - Arガス標的に対しては、**2オーダー落とす**必要がある
- 放射線シミュレーションツールキット  **GEANT4** を用いて、要請を満たす放射線シールドの形状・材質の検討を行った

実験室からの γ 線によるBG



Kiseki D. Nakamura et al, PTEP(2021), 013C01

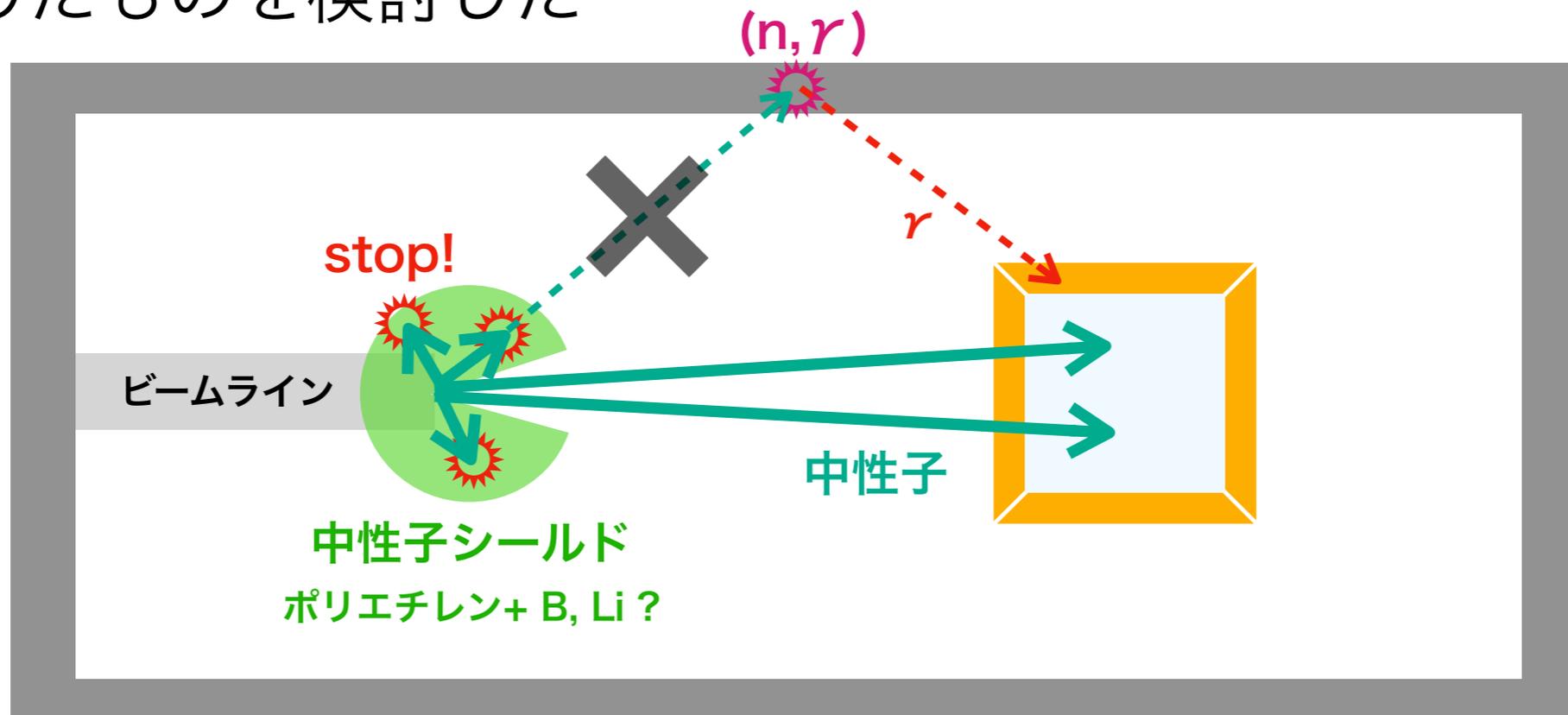
実験室からの γ 線のエネルギースペクトル



3. BG simulation

中性子シールド：基本的なアイデア

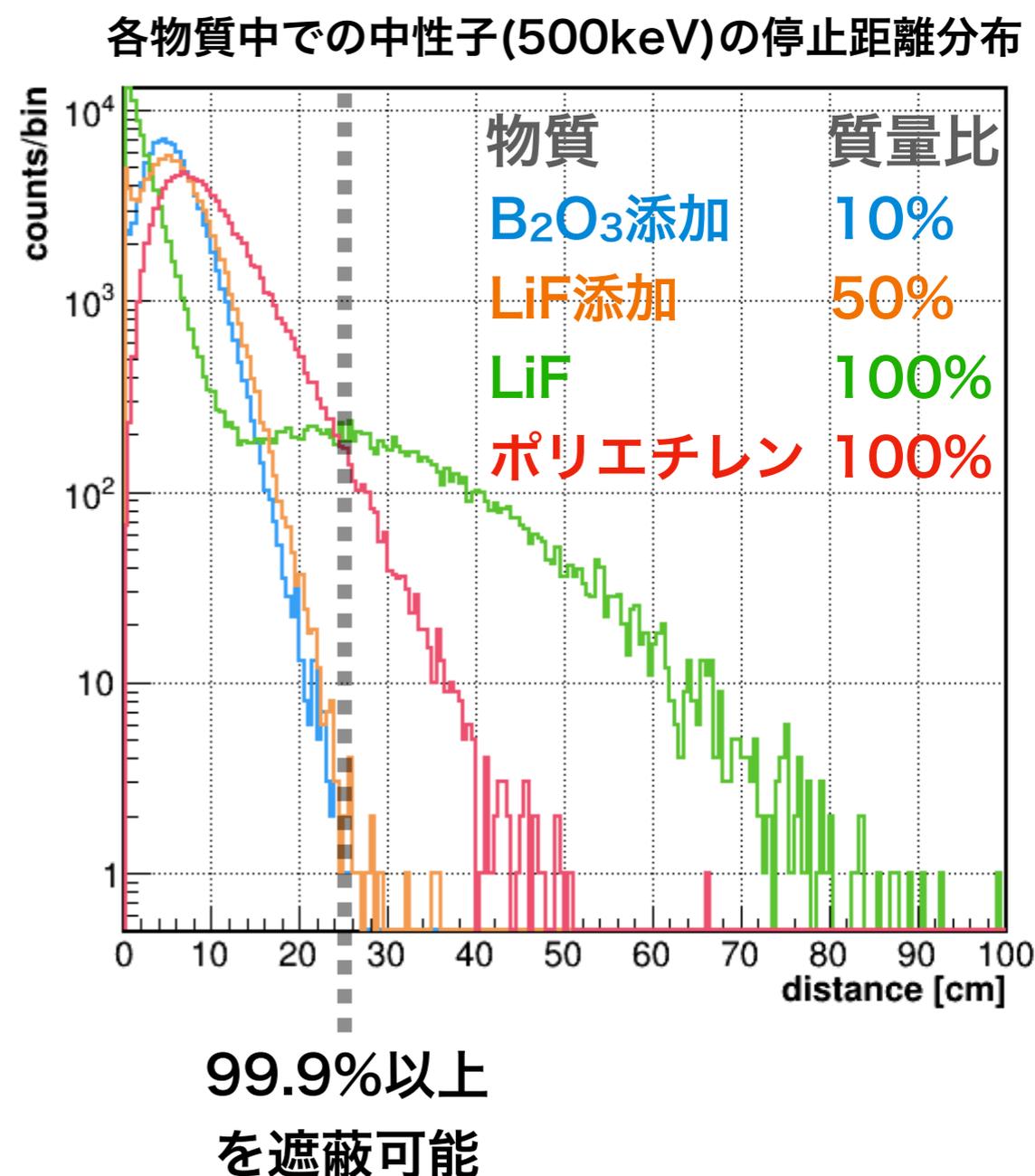
- 検出器方向以外の中性を、壁や床に到達する前に遮蔽すれば実験室からの (n, r) を大幅に減らすことができる
- 高速中性子のシールドとしてよく用いられるポリエチレン(PE)をベースに、熱中性子捕獲断面積の高いボロンやリチウムを添加したものを検討した



3. BG simulation

中性子シールド：サイズ

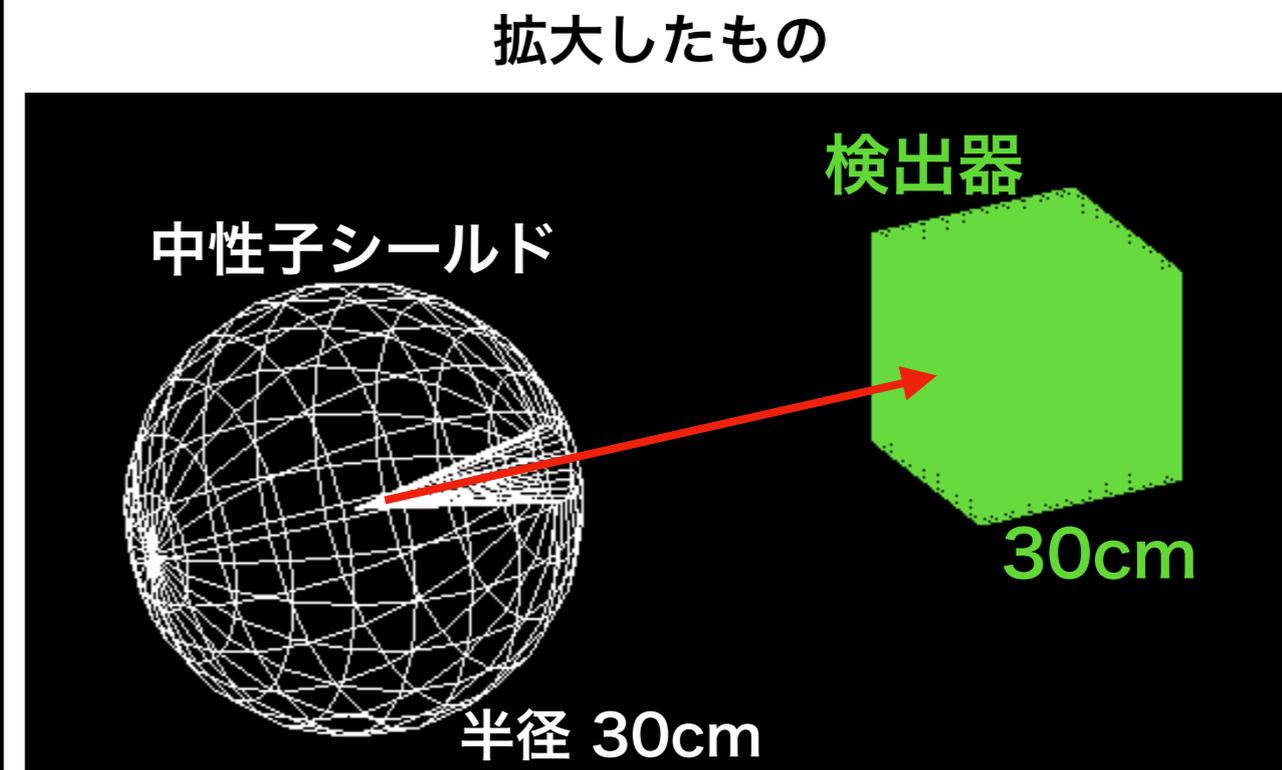
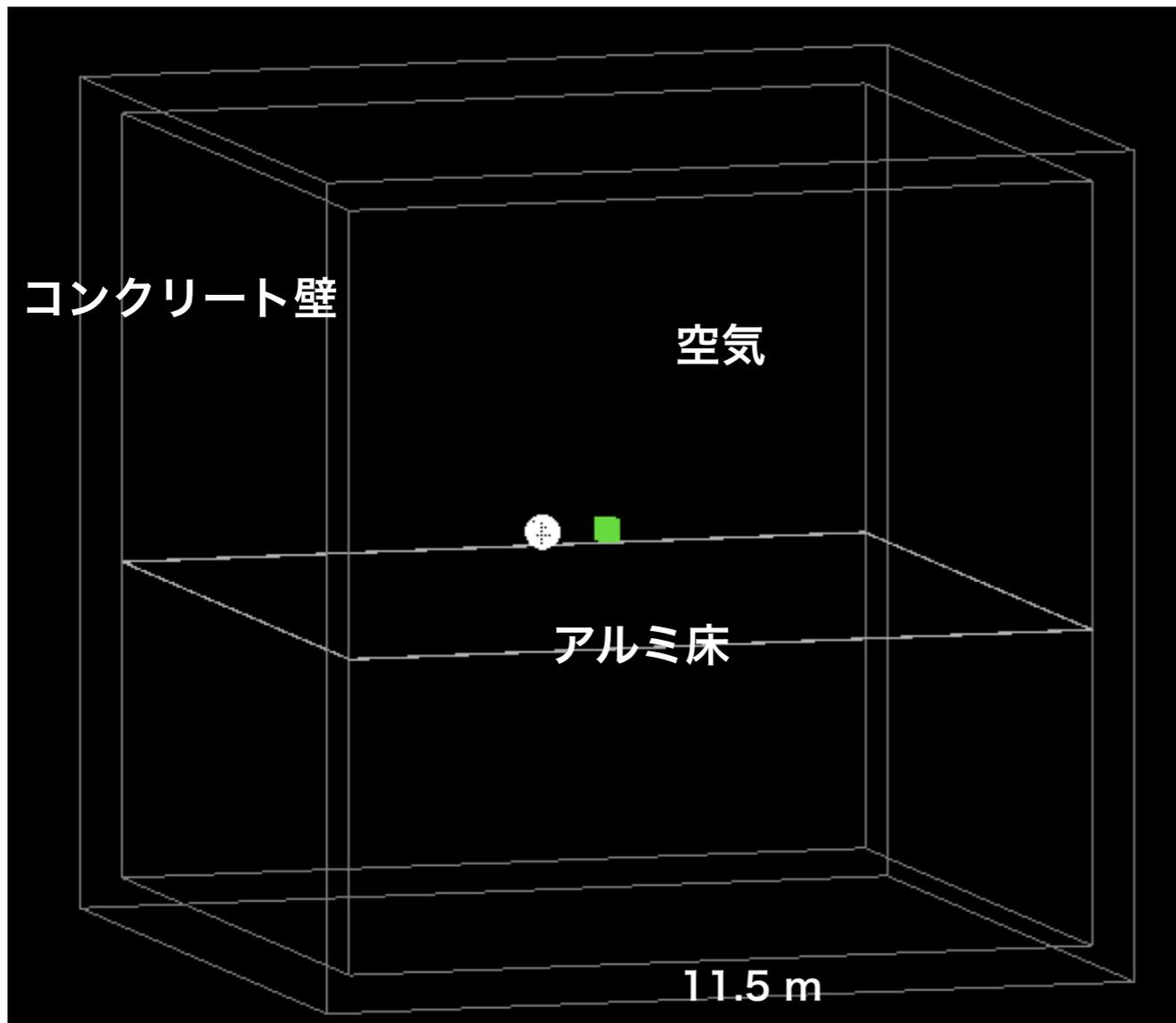
- それぞれの物質の中で、500keVの中性子が完全に停止するまでの距離をシミュレーション
 - 25cmのとき、
 - B₂O₃ 10%** → 99.997%が停止
 - LiF 50%** → 99.985%が停止
- 遮蔽性能の高い**B₂O₃** or **LiF**添加PE
→ 厚みは **20~30 cm**



3. BG simulation

中性子シールド：シミュレーション詳細

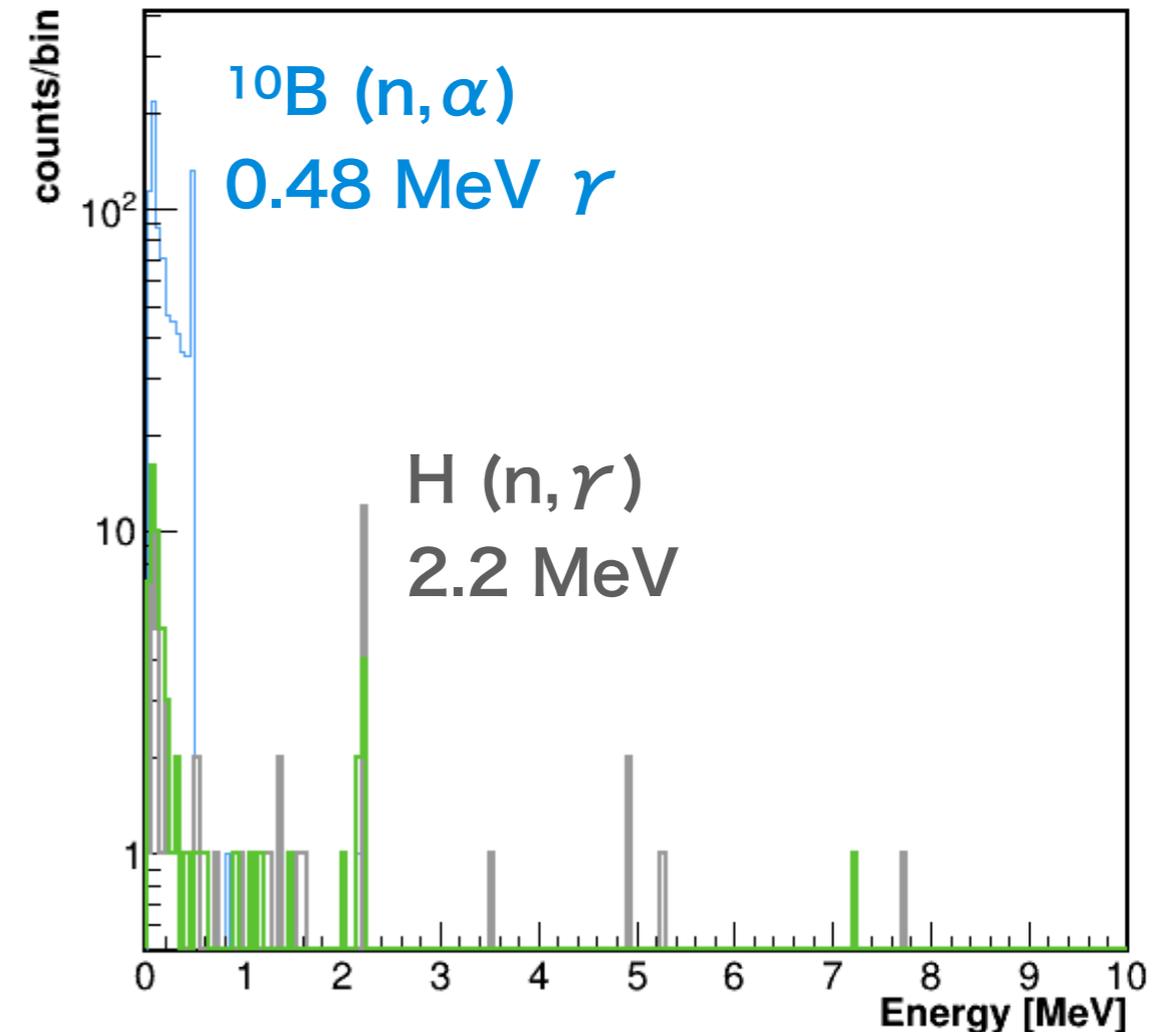
- シンプルな実験室・シールド・検出器を再現した構造（ジオメトリ）



3. BG simulation

中性子シールド：シミュレーション結果

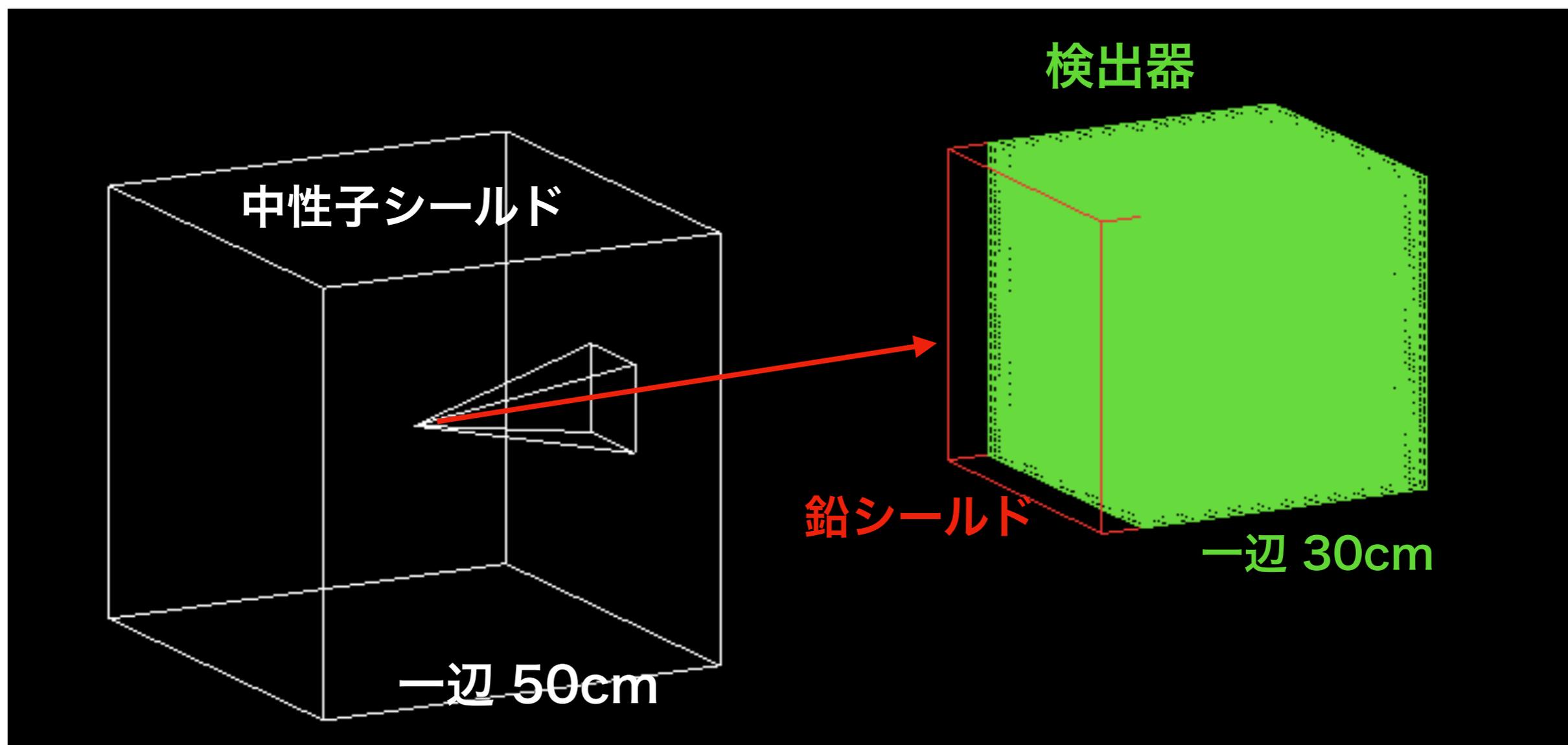
- 中性子は十分に遮蔽できるものの、**中性子シールドの中で γ 線が発生**
 - 特に B_2O_3 添加PEでは中性子シールドなしの時と比べて**1桁増えてしまう**
 - いずれにしてもPE中の水素原子核による2.2MeVの γ 線は避けられない
→ **γ 線シールドの構築**
- | | γ / ~1ms |
|--------------|-----------------|
| B_2O_3 10% | 838 |
| LiF50% | 60 |
| 中性子シールドなし | 58 |



3. BG simulation

中性子シールド： γ 線の削減

- 検出器の前に鉛シールドを設置、厚みを変えていく



3. BG simulation

中性子シールド：鉛シールドの効果

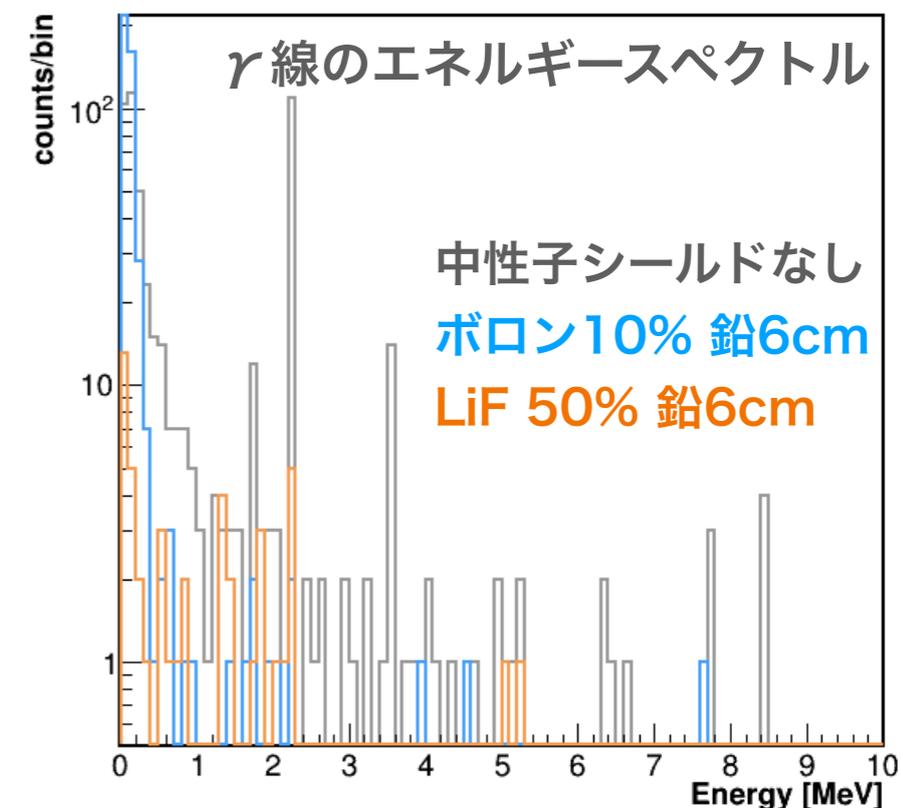
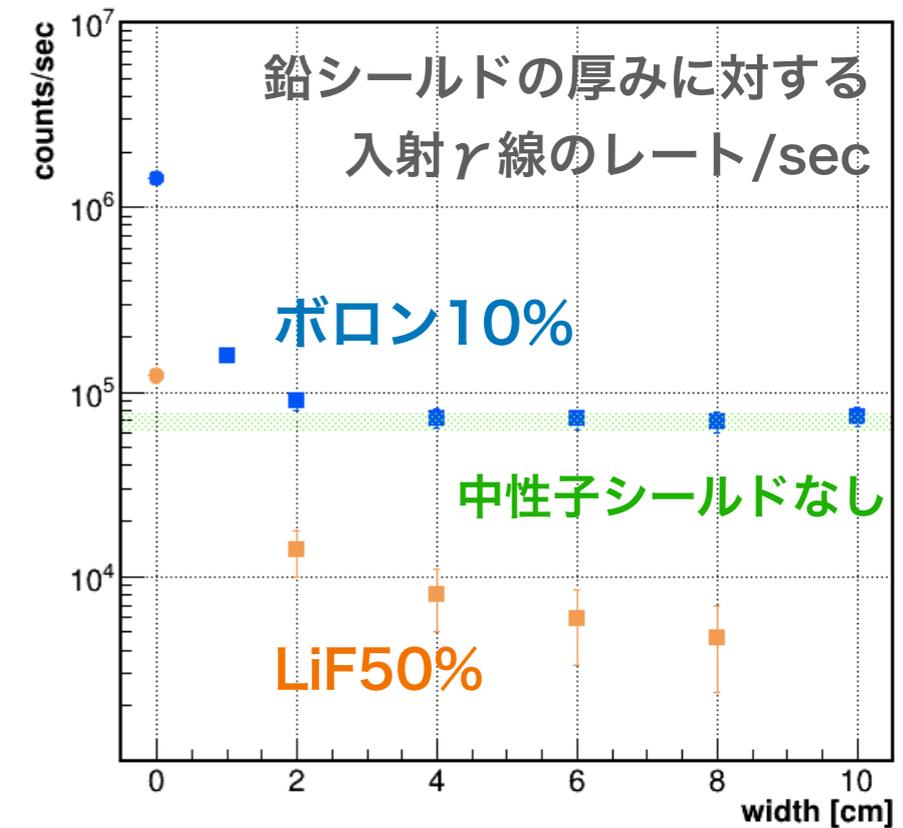
- 鉛を置いた場合の入射 γ 数は
LiF添加PEでは 1/10以下に削減
- 鉛による悪影響の考慮

鉛による(n, γ)

中性子シールド由来の γ 線と
比較すると寄与は小さい

中性子fluxの減少

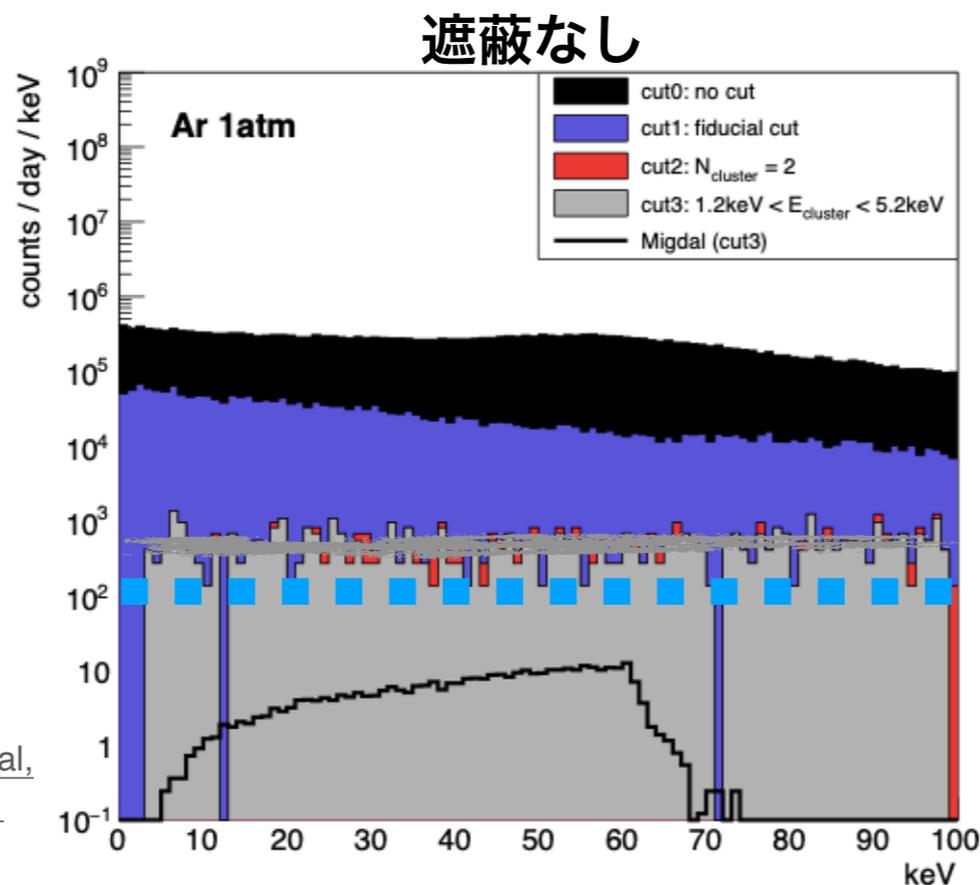
単純計算で1cmの厚みで数%の減少
→ 今後最適化が必要



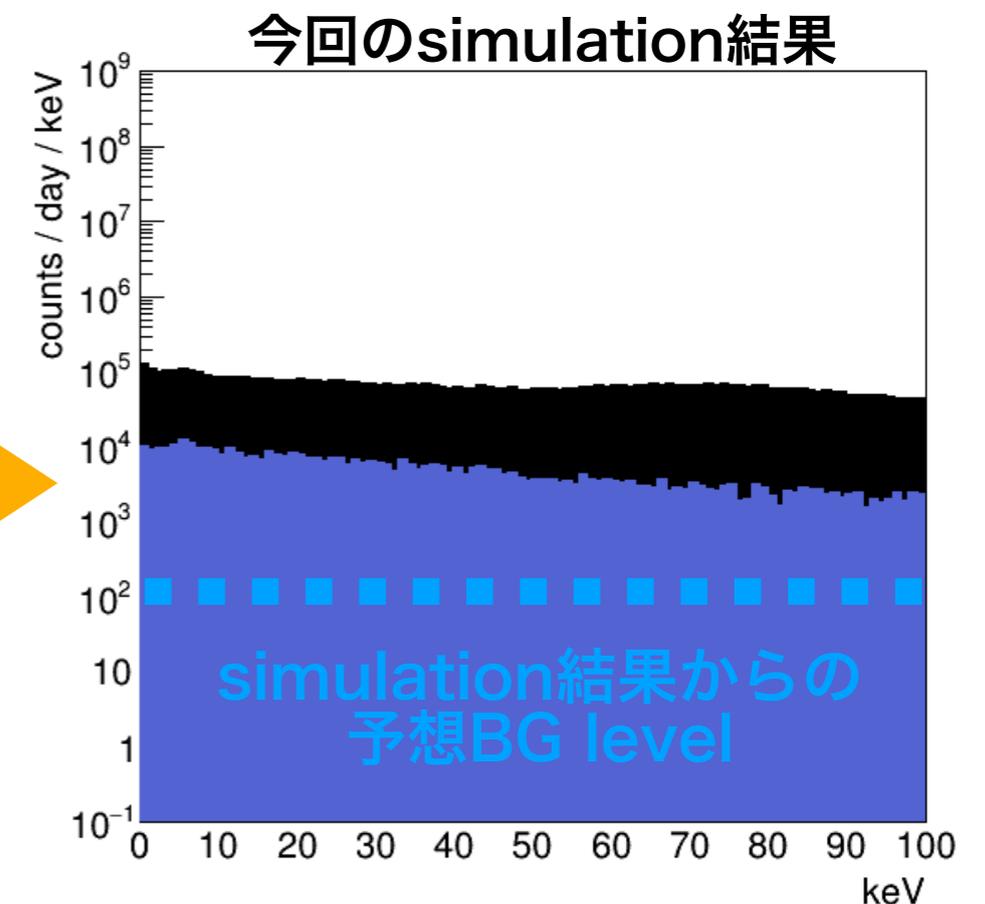
3. BG simulation

BGの見積もり：中性子シールドによる効果

- LiF50%添加PE + 鉛シールド5cmでsimulation
- 遮蔽なしの時と比べて**信号レートは1オーダー弱減少**
- ミグダル効果観測のためには更なる削減が必要



Kiseki D. Nakamura et al,
PTEP(2021), 013C01



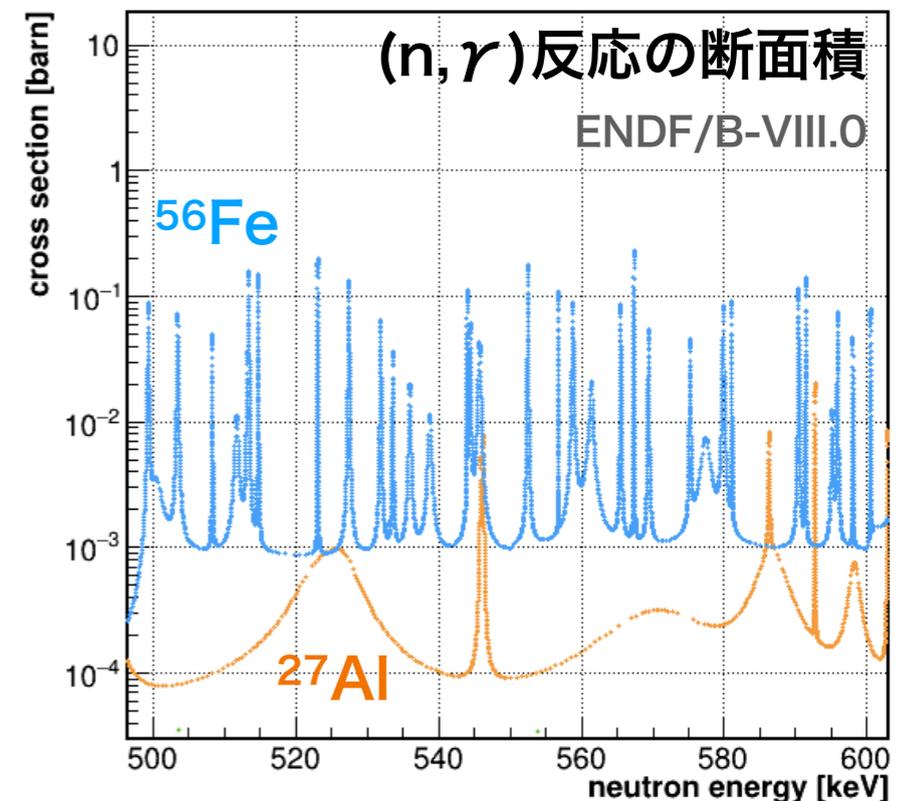
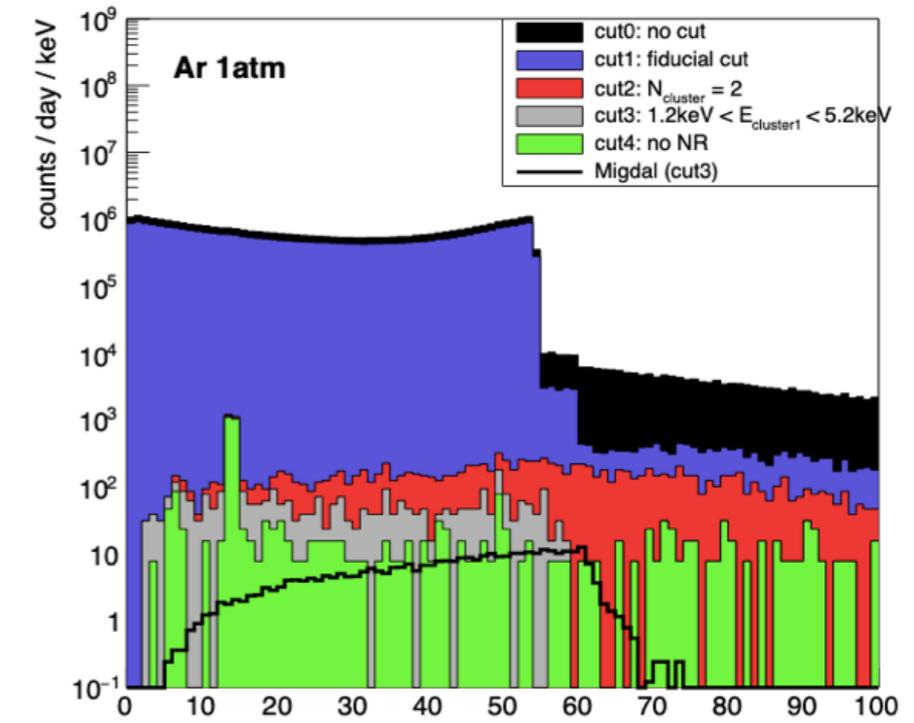
3. BG simulation

chamberの材質

- chamberの材質としてはステンレスを想定していた → → → →
- ^{27}Al の 565keV付近のエネルギーの中性子に対する (n, γ) 反応断面積は、ステンレスの主な組成元素である ^{56}Fe に比べて小さい
- アルミニウムを採用することでさらなるBG削減が期待できる

chamber(SUS) BG + intrinsic BG

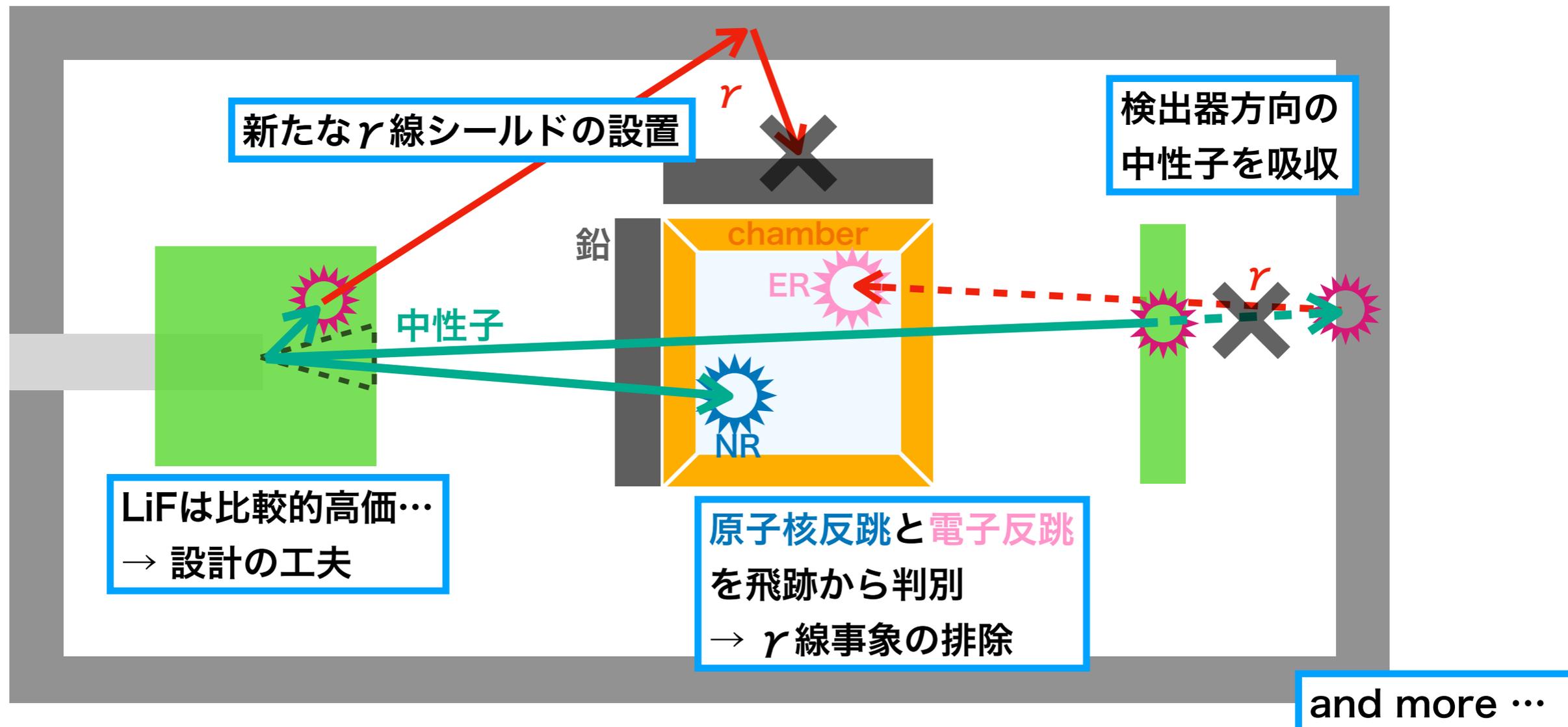
Kiseki D. Nakamura et al, PTEP(2021), 013C01



4. 今後の展望とまとめ

今後の展望

- 今回はかなりシンプルなシールドを考えた
- シールド+ α と解析でさらに落としたい！



4. 今後の展望とまとめ

まとめ

- Geant4を用いてシールドの素材・形状の検討を行った
- LiF添加PEと鉛を用いることで**実験室からの γ 線入射レートを1オーダー以上落とすことができる**と見積もられた
- ミグダル効果によるイベントより**依然1オーダー以上のBGが残る**
- ミグダル効果の観測へ向けて、**更なるBGの削減を行う必要がある**

