



ミグダル効果観測へ向けた 背景事象削減とガスTPC開発

神戸大理 金崎奎

第2回新学術「地下宇宙」若手研究会

2021/11/25 13:40~

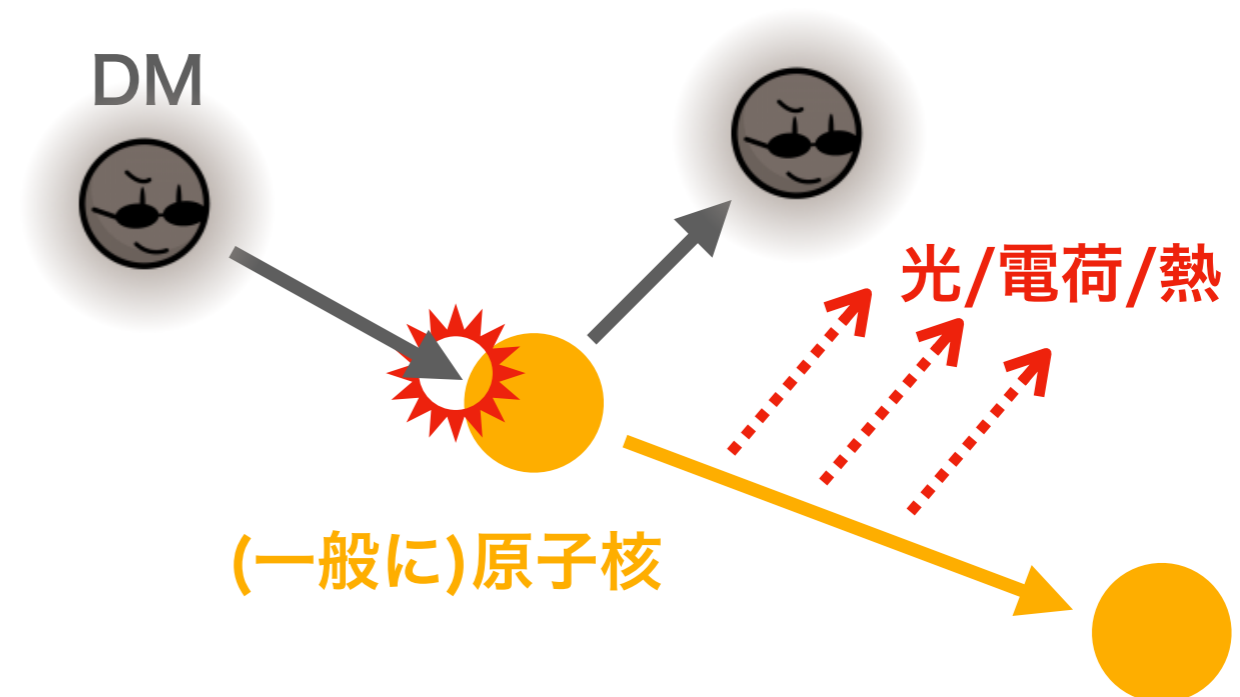
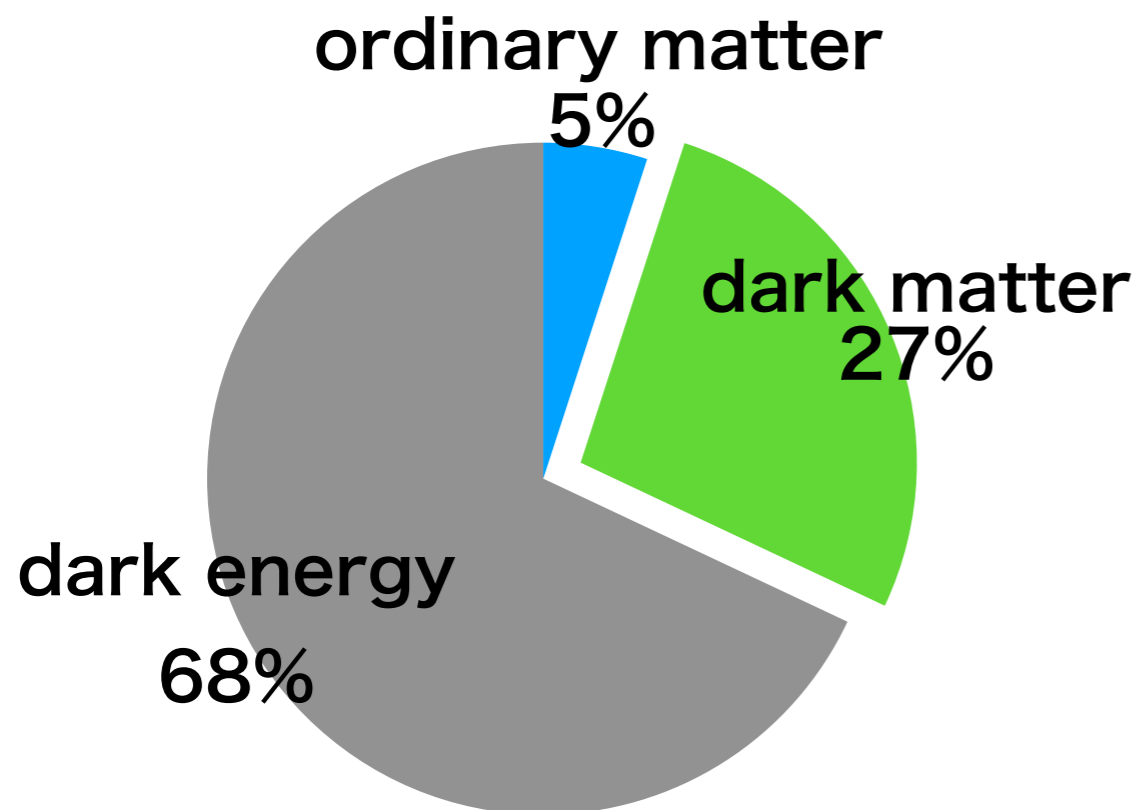
@神戸大学先端融合研究環統合研究拠点 コンベンションホール

1. Migdal効果
2. MIRACLUE
3. BG削減
4. 低物質TPC開発
5. まとめ

1. Migdal効果

暗黒物質

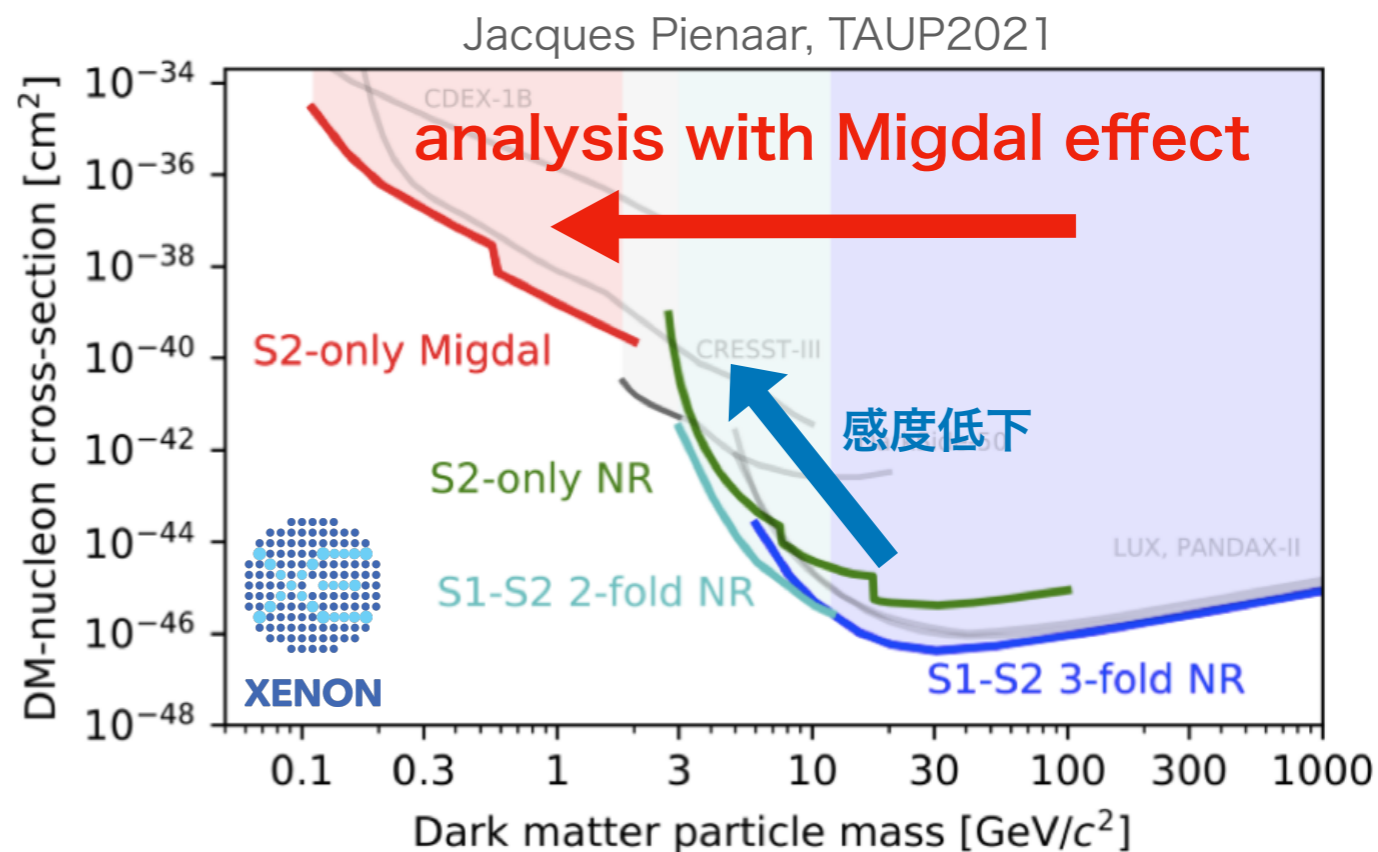
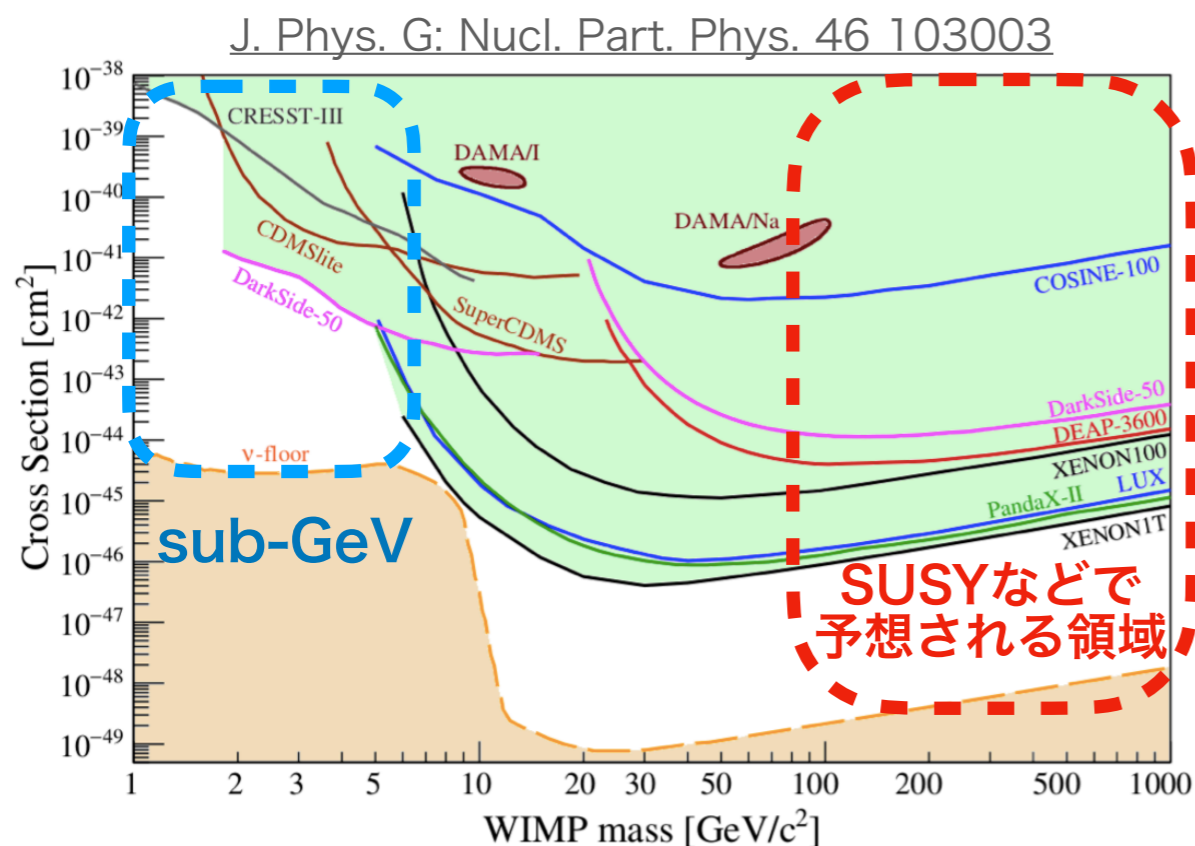
- 宇宙のエネルギー組成のうち、理解されているものは 数%
- 様々な宇宙観測が未知の重力源 **暗黒物質** (DM) の存在を強く示唆
- **WIMPs** (Weakly Interacting Massive Particles) がDMの有力候補
 - 非常に稀にSM粒子と相互作用する(はず)
 - **DM直接探索実験**



1. Migdal効果

DM直接探索実験の現状

- 超対称性理論などから予想される $100\text{GeV}\sim 1\text{TeV}$ のWIMPsは特に重点的に探索が行われてきたが、
→ より低質量 (sub-GeV以下) 領域の探索が最近のトレンド
- Migdal効果を使うと低質量WIMPsに対する感度が大幅に向上する



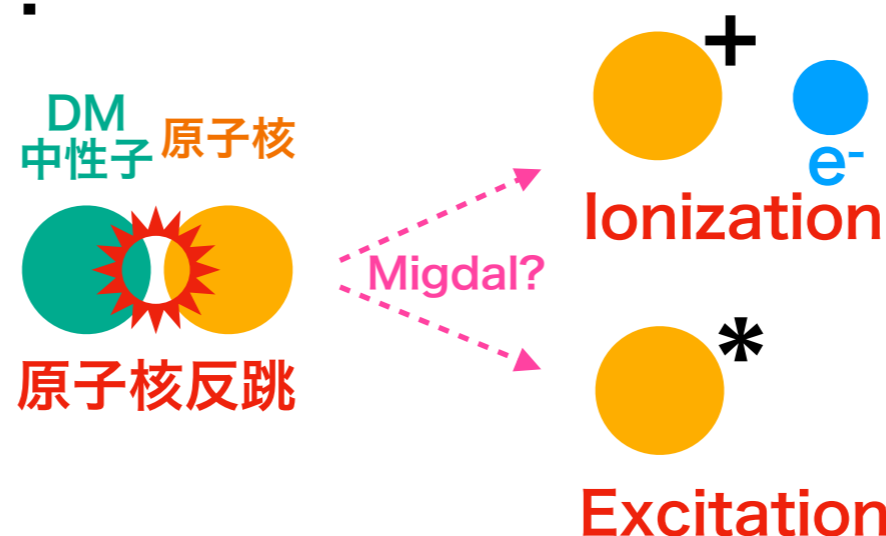
1. Migdal効果

Migdal効果とその問題点

- A. B. Migdal が 1940年ごろに提唱
- 原子核が急に動くと**低確率で電離や励起が追加で起きる**
→ 反跳エネルギーが小さくても観測できるようになる
- DM探索においての問題点
→ **原子核反跳に伴うMigdal効果は観測されていない**
(α 崩壊や β 崩壊に伴うものは確認済みなので、たぶんあるはず)
- 観測できれば **DM** や **CEνNS** 等の実験へのインパクトは大きい
→ **是非とも観測したい!**



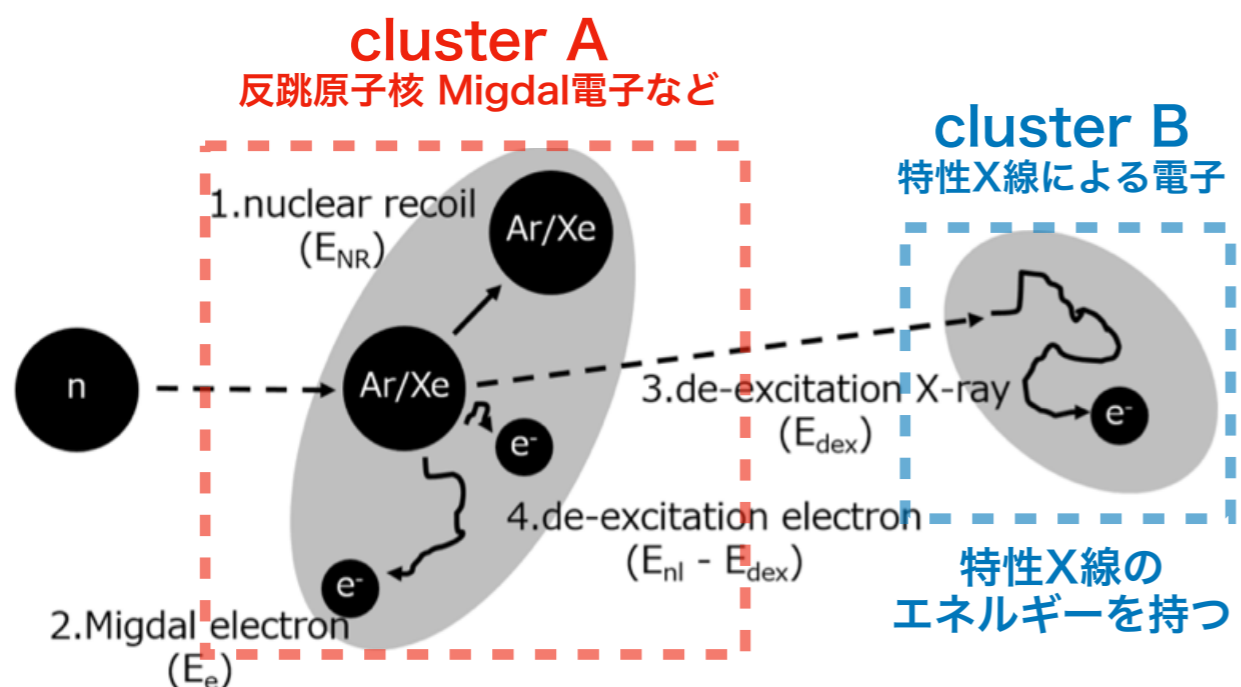
Migdal さん



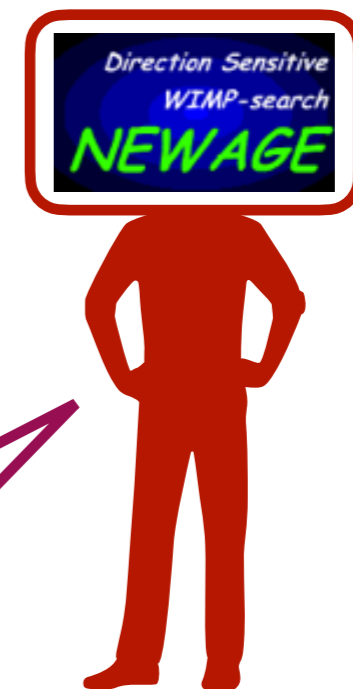
2. MIRACLUE

Migdal効果の観測

- ただの 中性子-原子核の弾性散乱でも背景事象(BG) になってしまう
- Migdal効果をいかに大量の BG と分離するかがミソ
- **K殻電離**に伴う**特性X線**放出のプロセスに着目
→ 2-clusterの**空間的な位置関係・エネルギー**を利用して、BGを排除できそう
- 既存のガスTPCの技術を使って観測できるのでは？



自分得意です

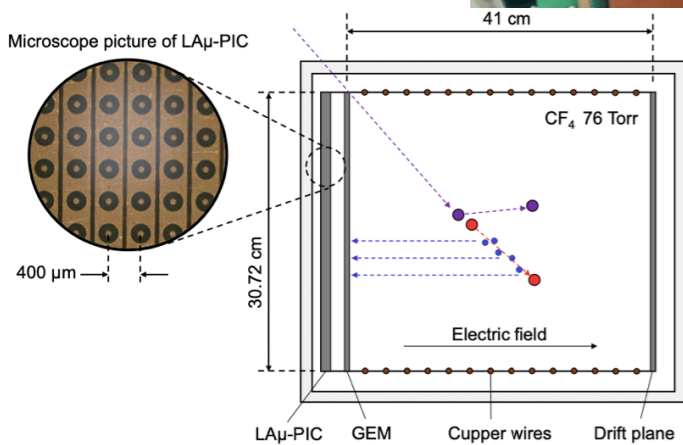
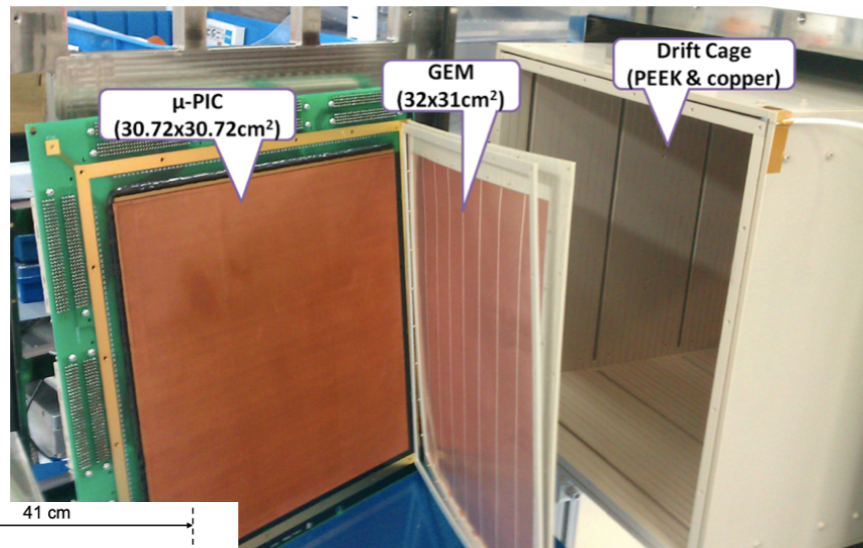


2. MIRACLUE

MIRACLUE Collaboration



DM探索

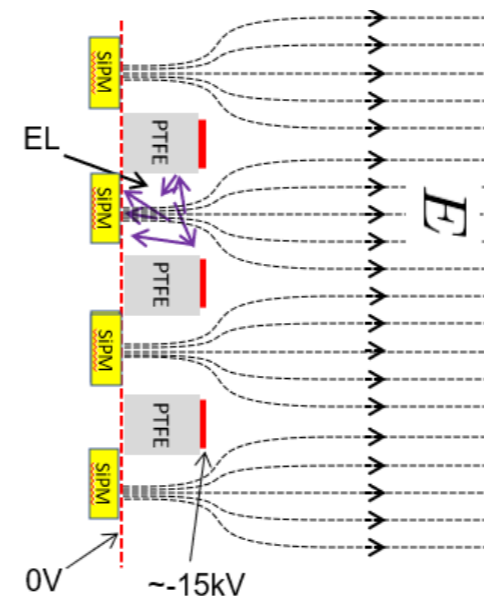
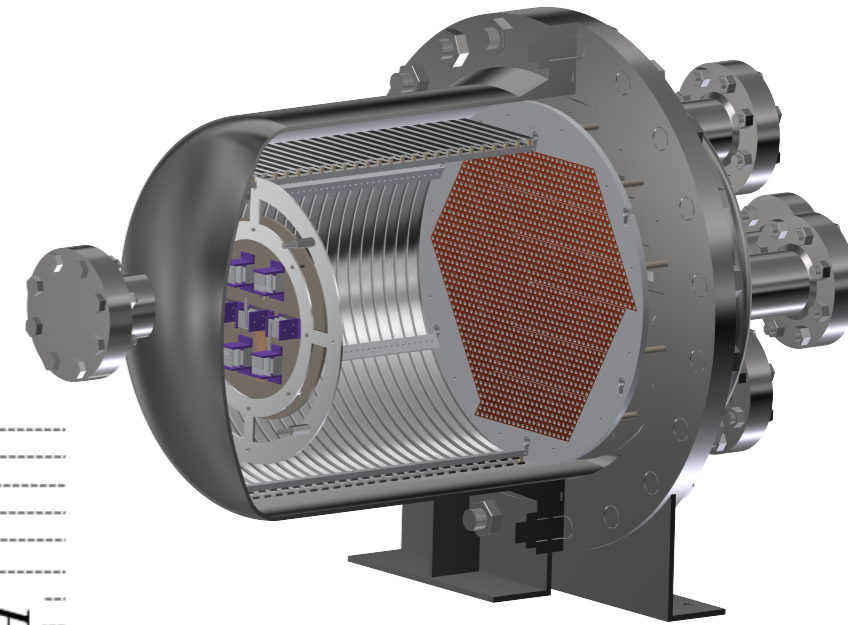


- Ar 1atm
- GEM + μ PIC
- (30cm)³
- 神戸大で開発中
低物質質量TPC → 詳細は後ほど

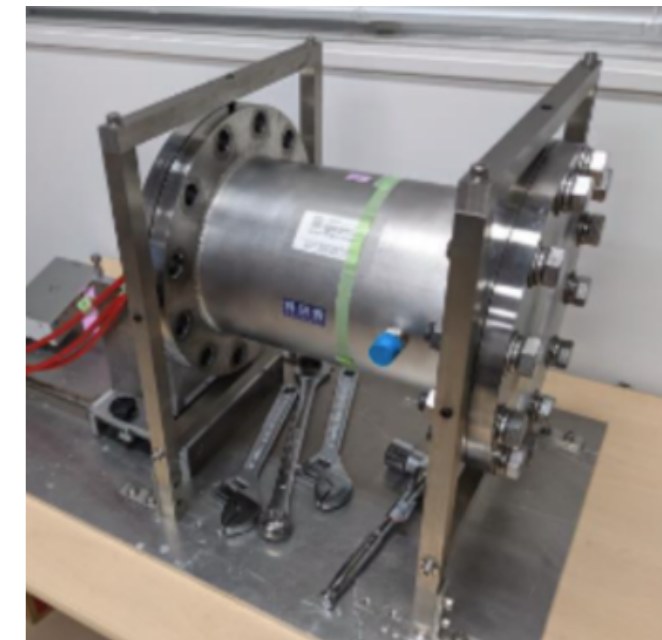
2021/11/25



0νββ探索



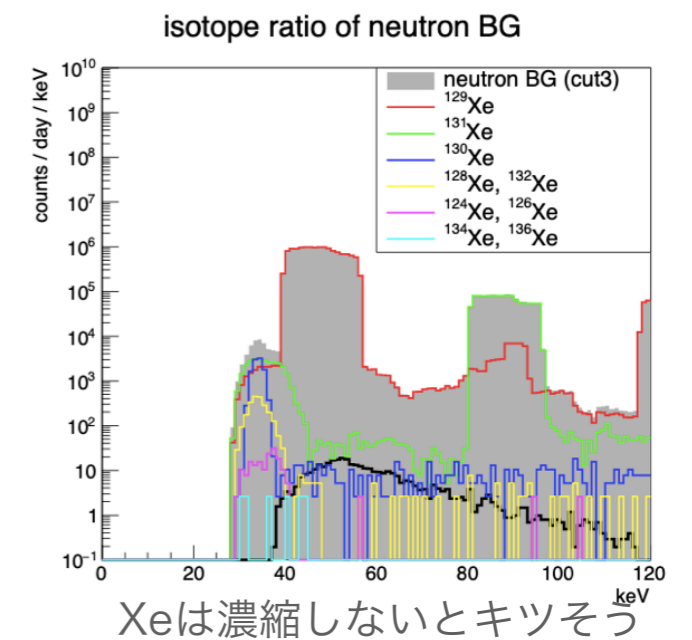
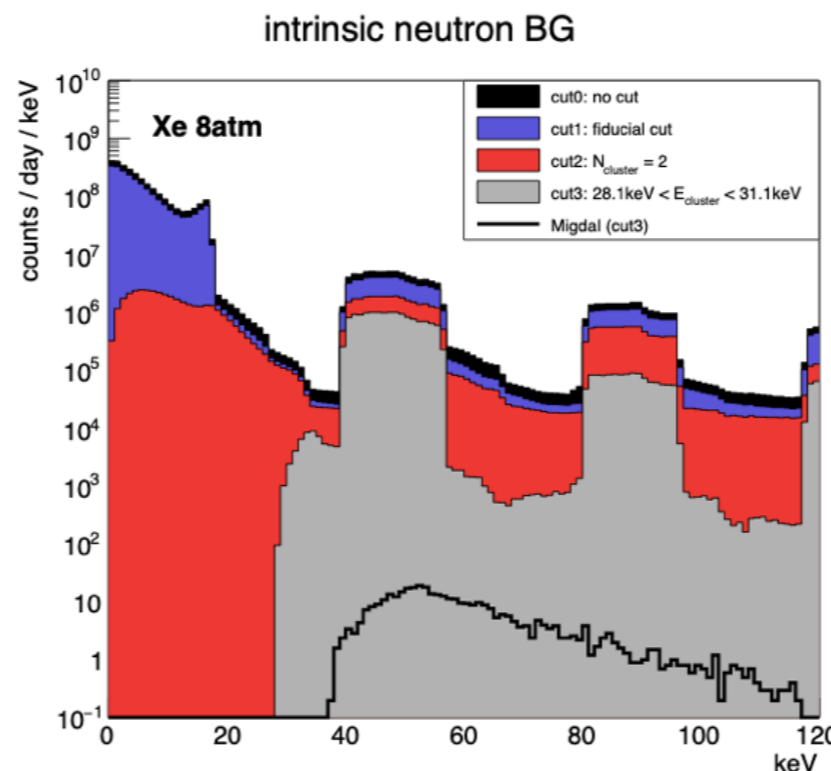
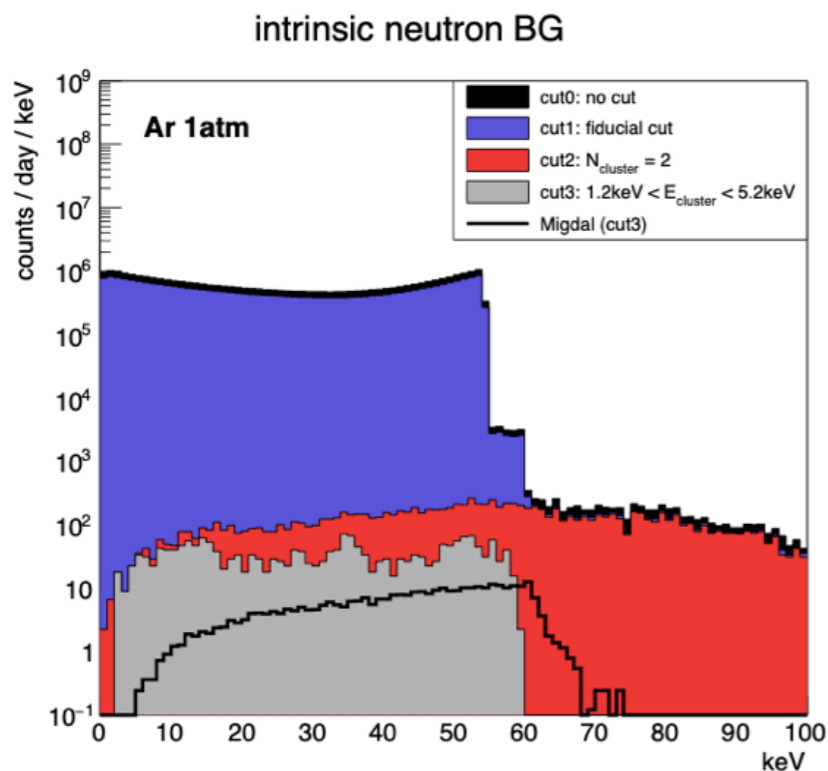
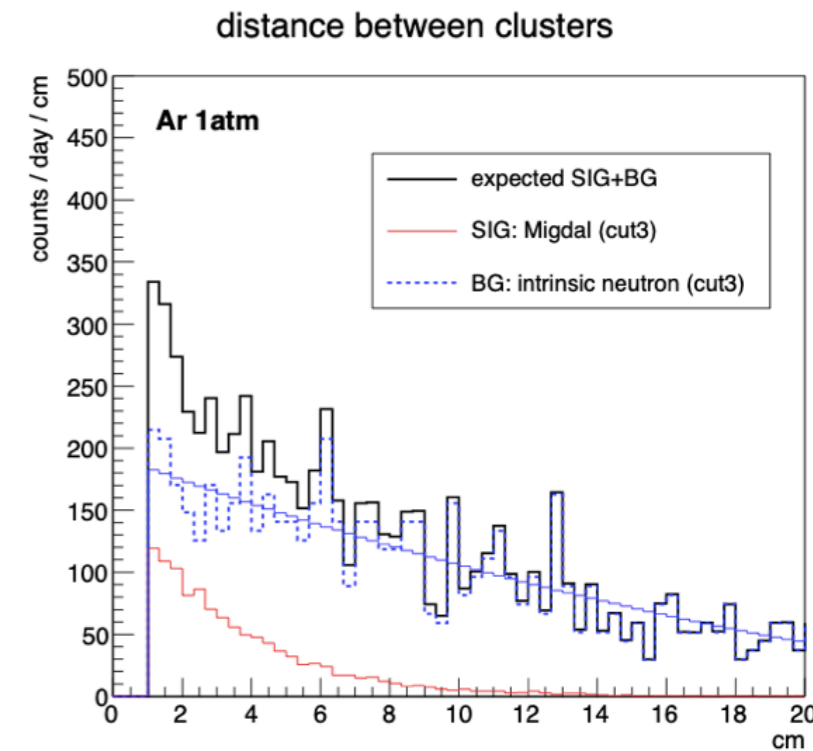
- Xe 5~8atm
- ELCC + MPPC
- 16cm ϕ × 10cm
- 東北大で開発中 → 次講演 (内山)



2. MIRACLUE

シミュレーションによる見積もり

- 565keVの中性子ビームを使う方針
- 特性X線の吸収長が 2~3cm
 - MigdalとBGで**cluster間の距離分布が異なる**
- 純粋にAr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**

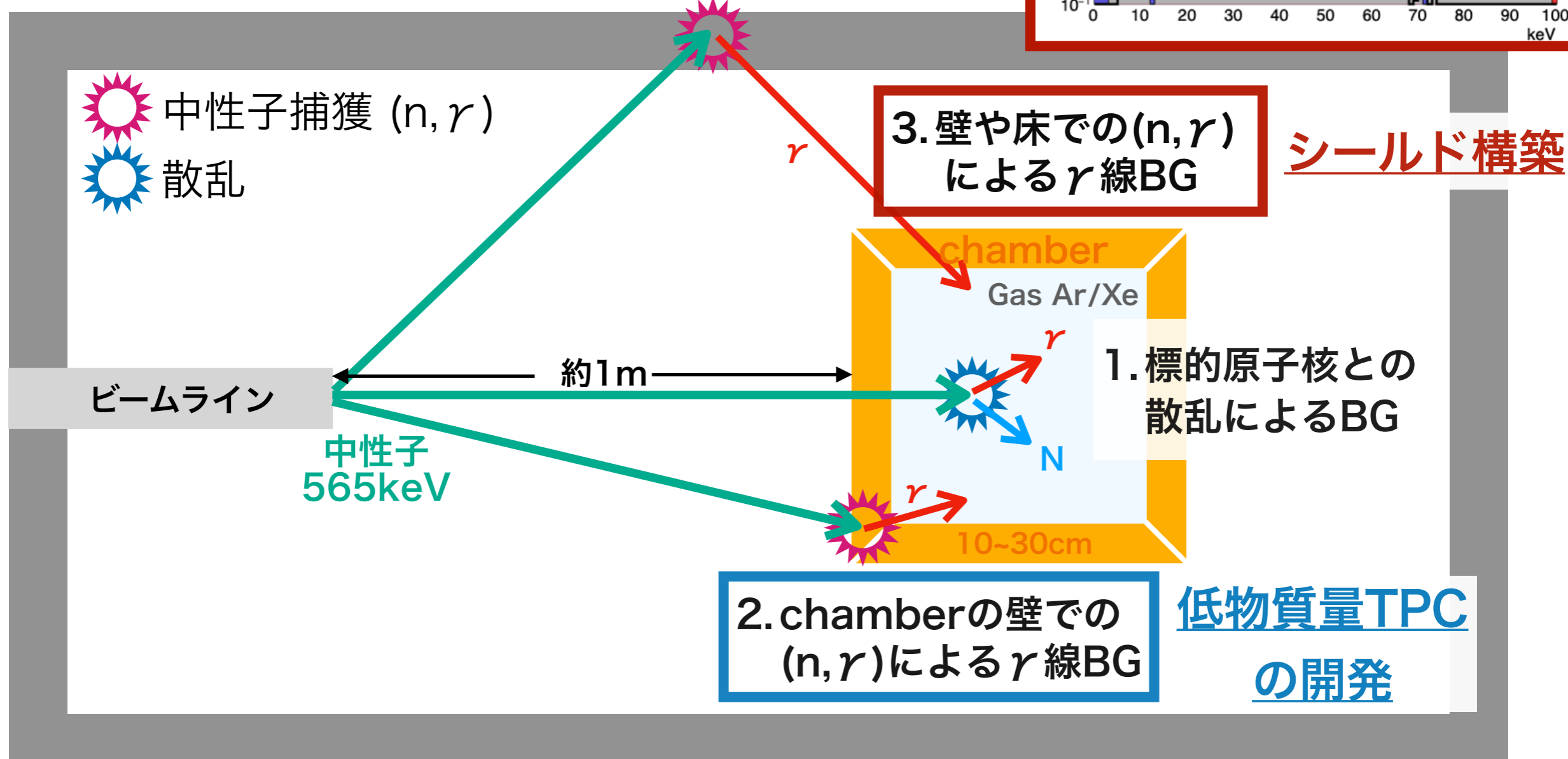
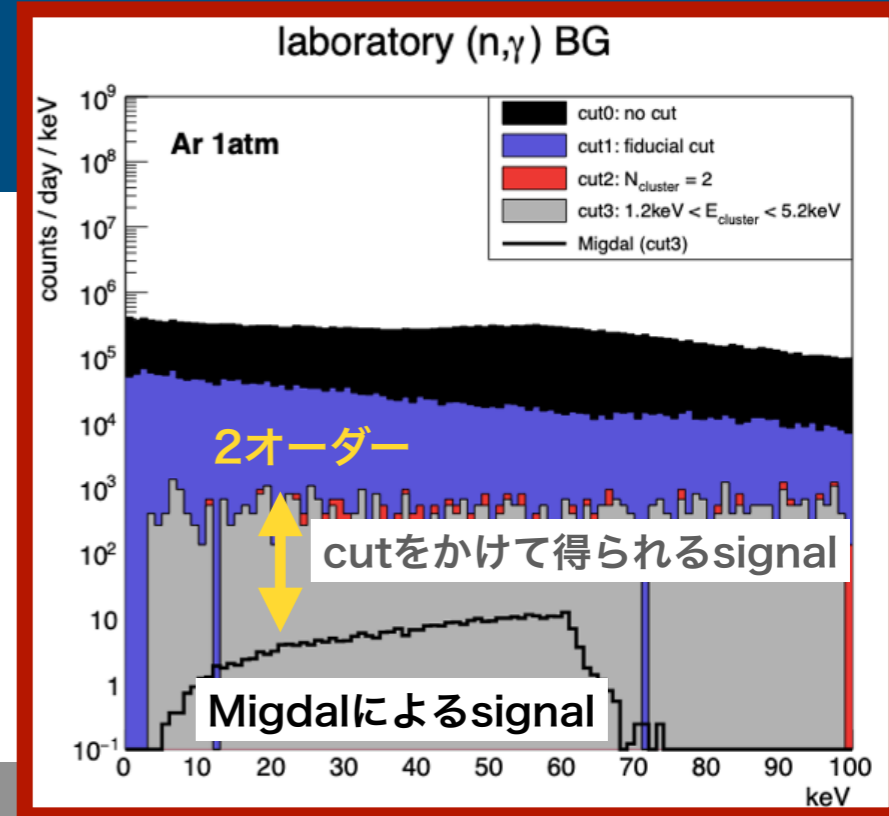


Kiseki D. Nakamura et al, PTEP(2021), 013C01
“Detection capability of Migdal effect for argon and xenon nuclei with position sensitive gaseous detectors”

3. BG削減


想定しているBG

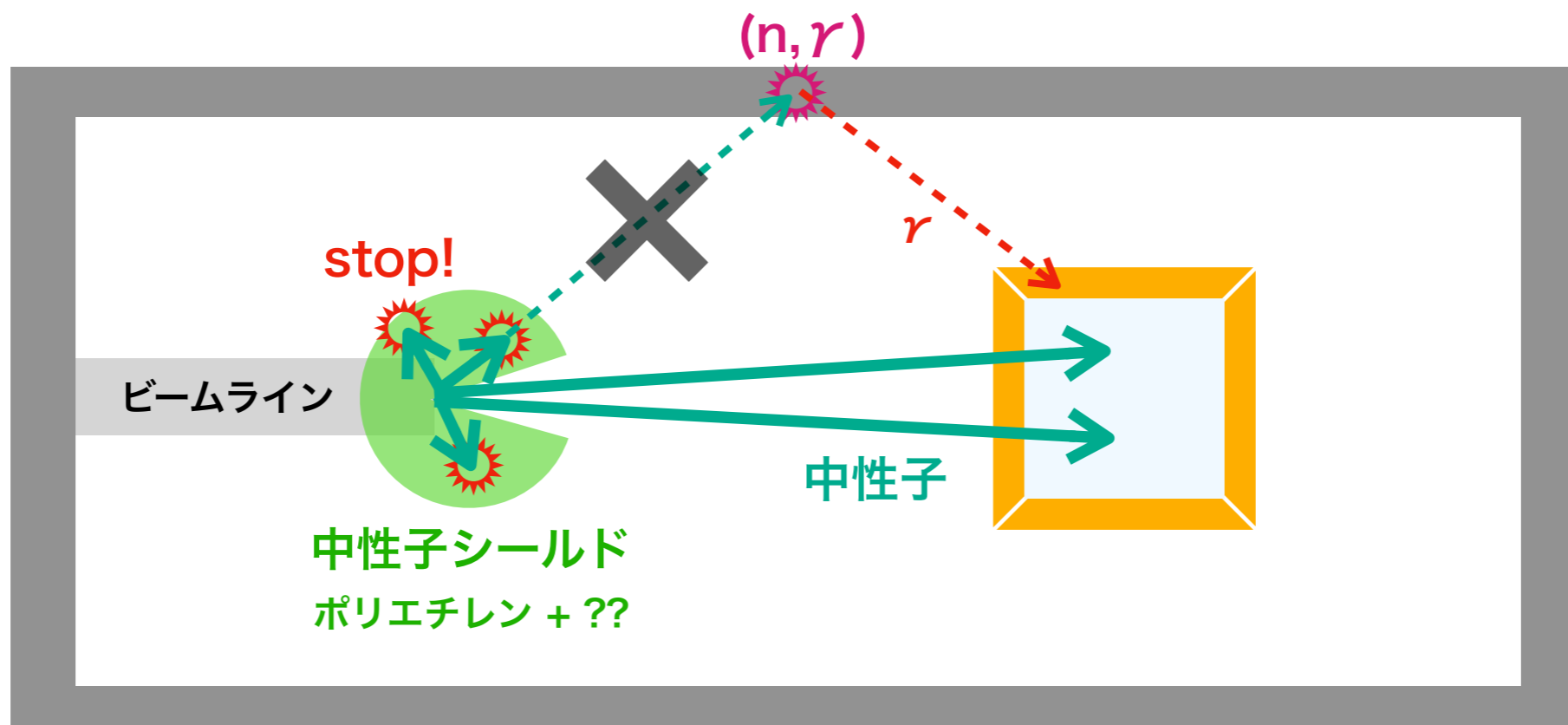
- 実験室からの γ 線BGが支配的になりそう
→ **2オーダーは落としたい**



3. BG削減

中性子シールドの構築

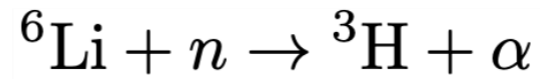
- 基本的なアイデアとしては、検出器方向以外の中性子を **壁や床に到達する前に遮蔽**して実験室からの (n, γ) を削減したい
- 高速中性子のシールドとしてよく用いられる**ポリエチレン(PE)**をベースに  **GEANT4**で遮蔽性能の評価、BGの見積もりを行なった



3. BG削減

中性子吸収体の検討

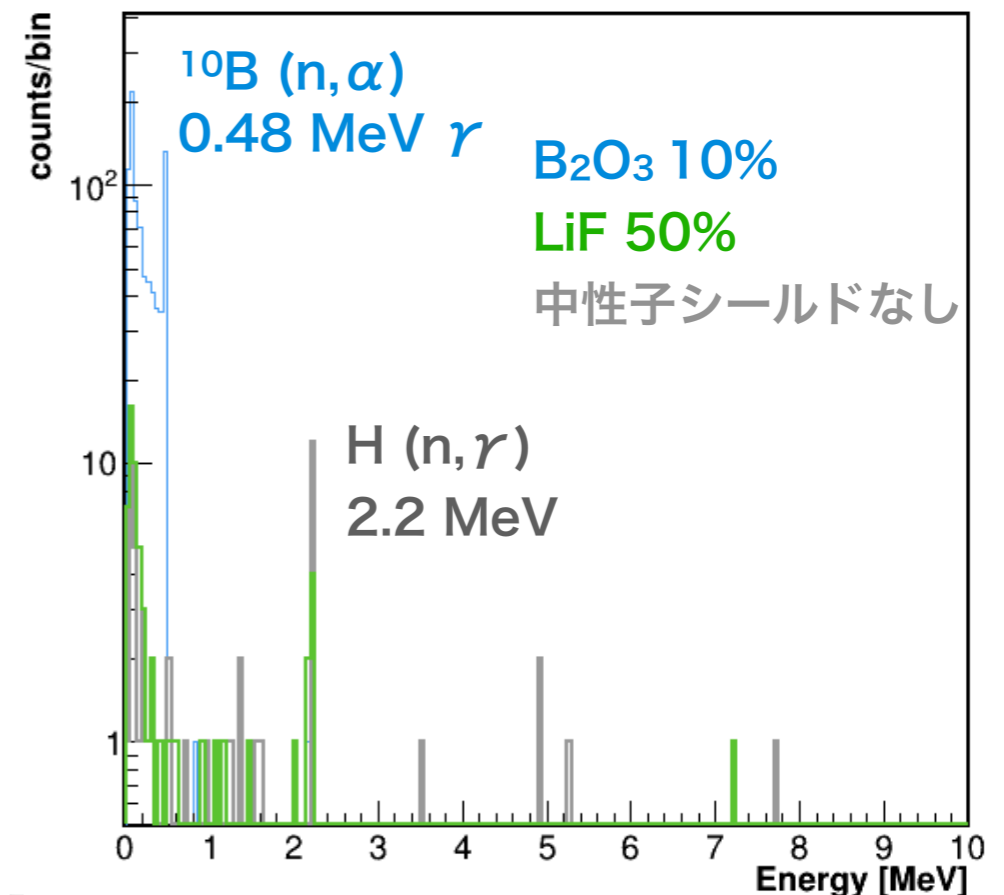
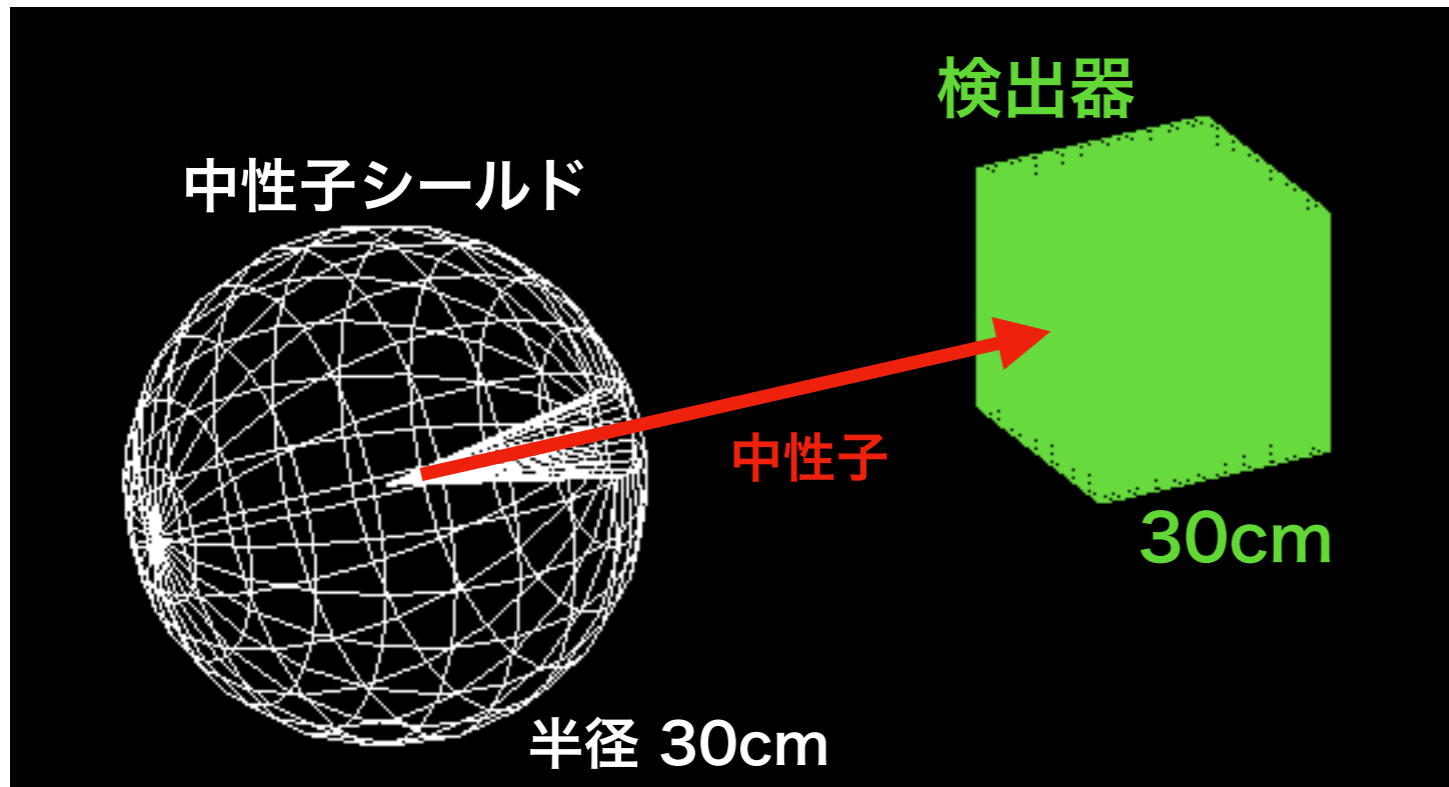
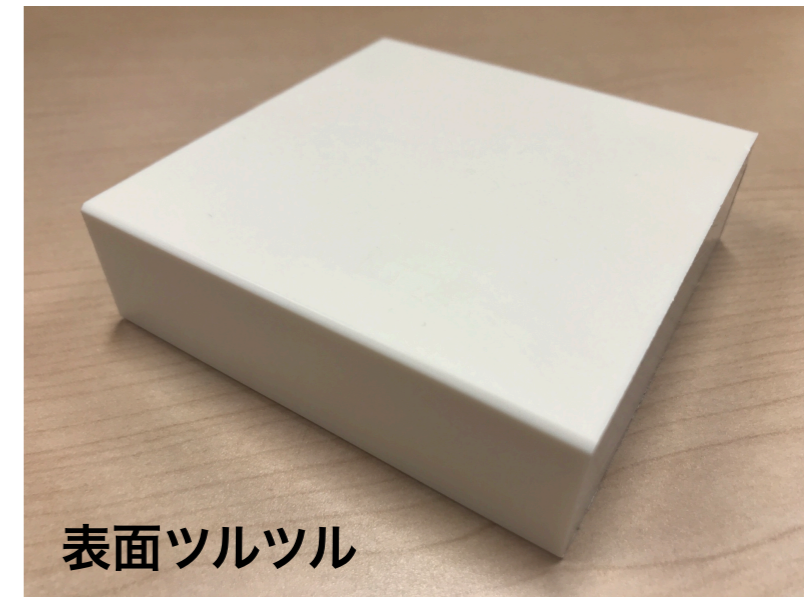
○ 遮蔽材にはLiF添加PEを採用



- ・ 中性子捕獲の過程で γ が出ない
→ ボロン添加PEと比べて低BG化が可能
- ・ ちょっと高い

○ 悪くないが PEを使う以上 $\text{H}(n, \gamma)$ 2.2MeV γ は出てしまう

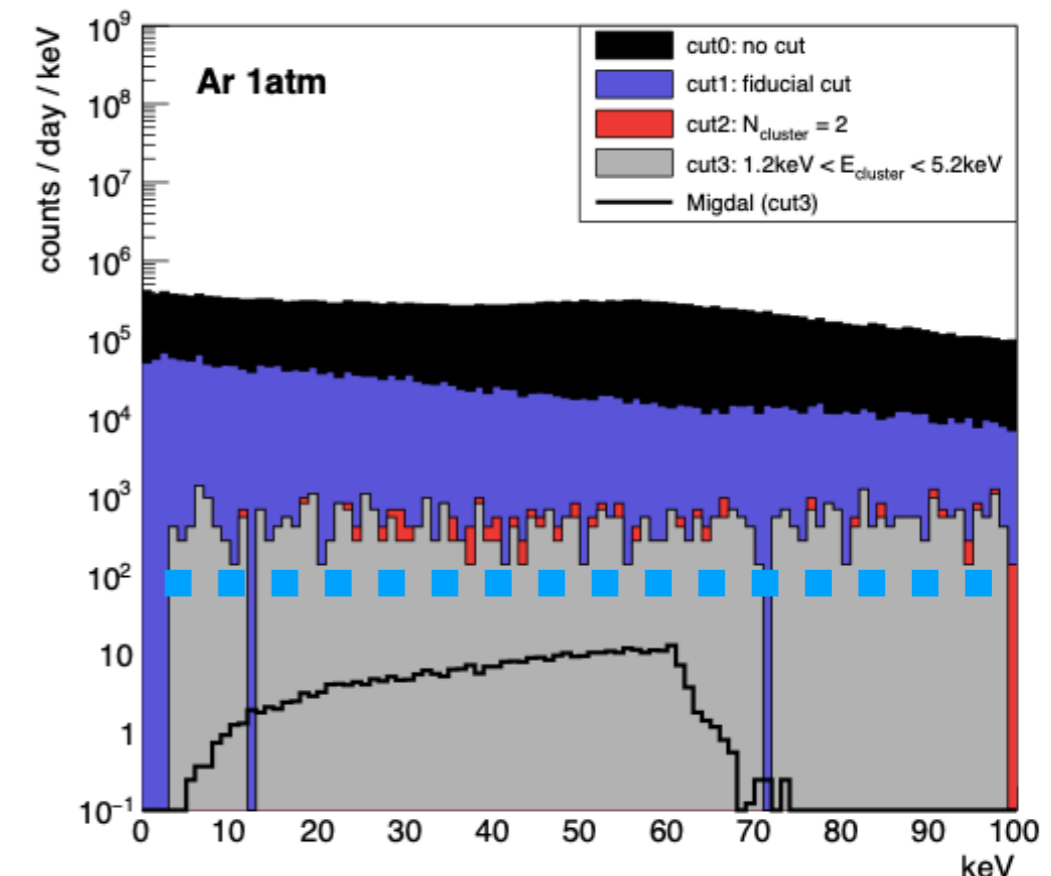
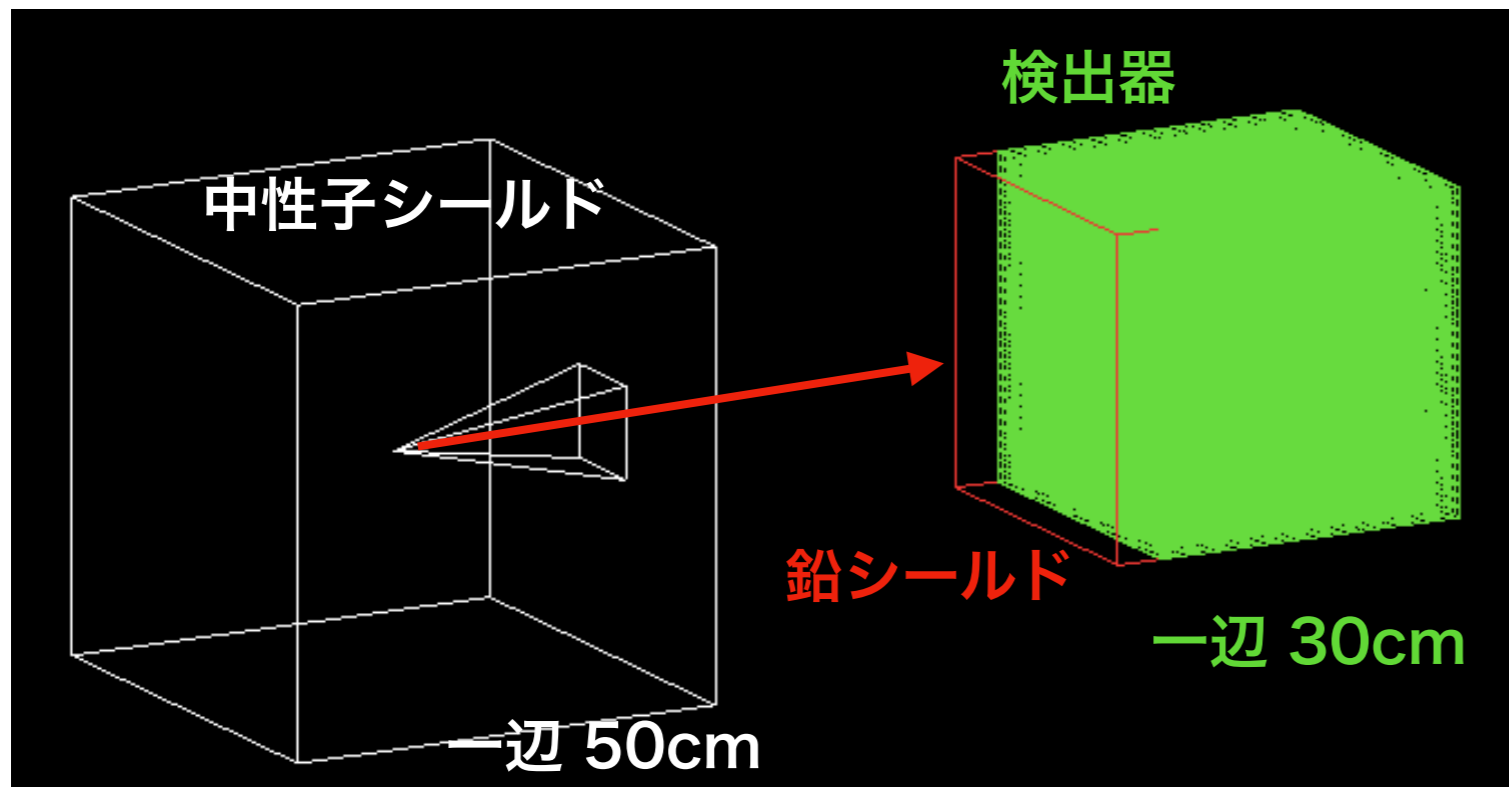
LiF 50%添加 PE



3. BG削減

γ 線シールド

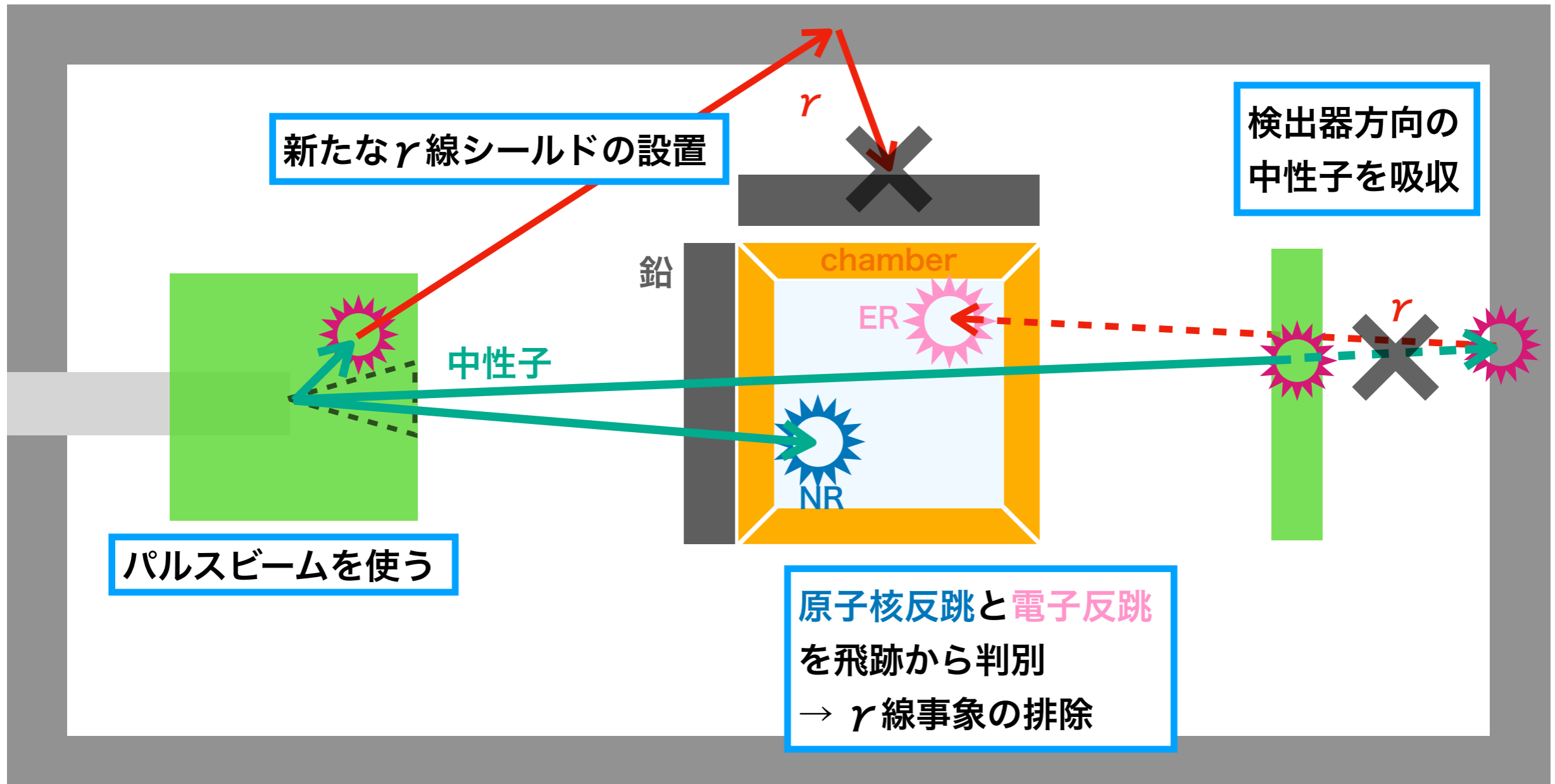
- シールド内で発生した γ は鉛で遮蔽する方針
- LiF添加PE + 鉛5cm を使うとBGとしては1オーダー弱減少
- Migdal効果観測のためにはもう少し落としたい
→ 打つ手はある



3. BG削減

更なるBG削減

- やれることはたくさんある

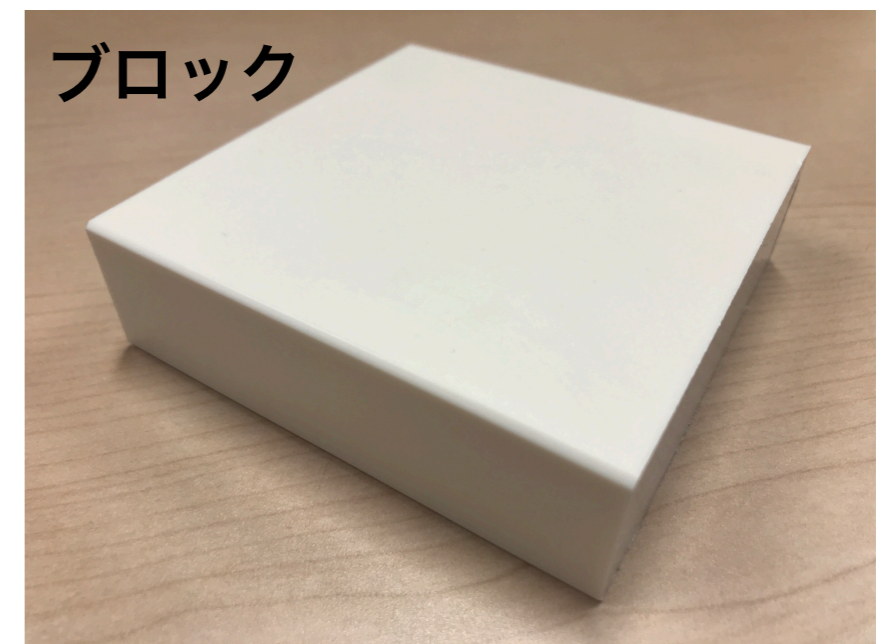
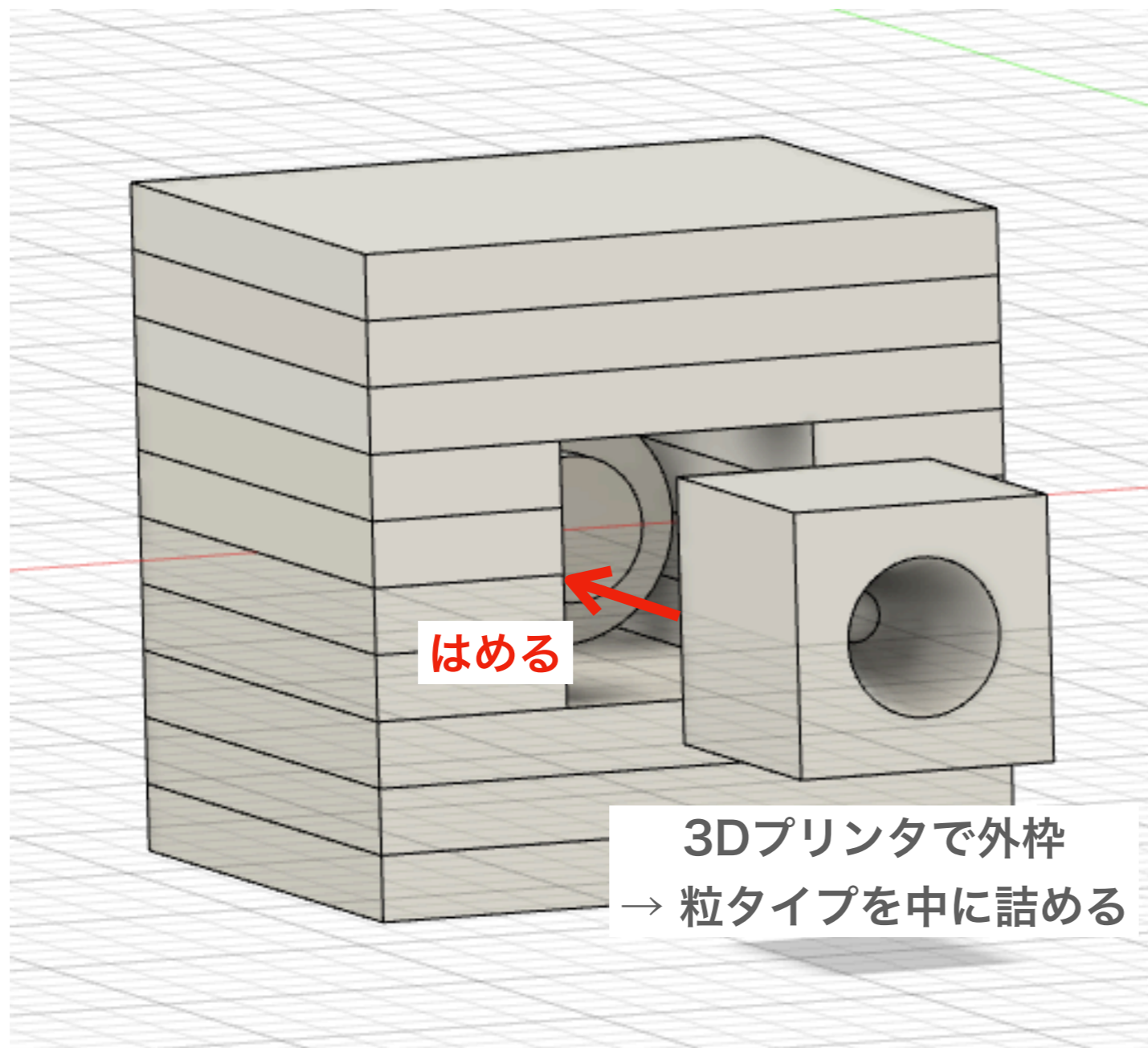


and more ...

3. BG削減

シールドのデザイン

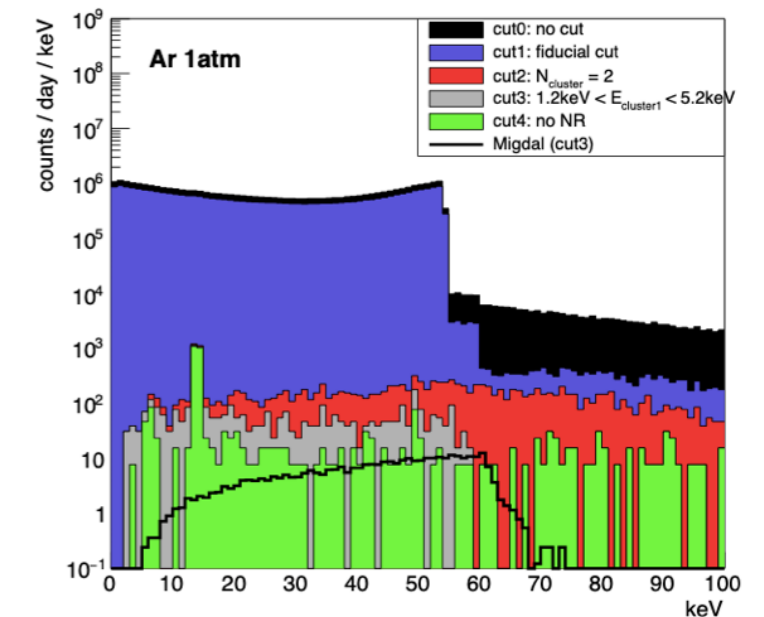
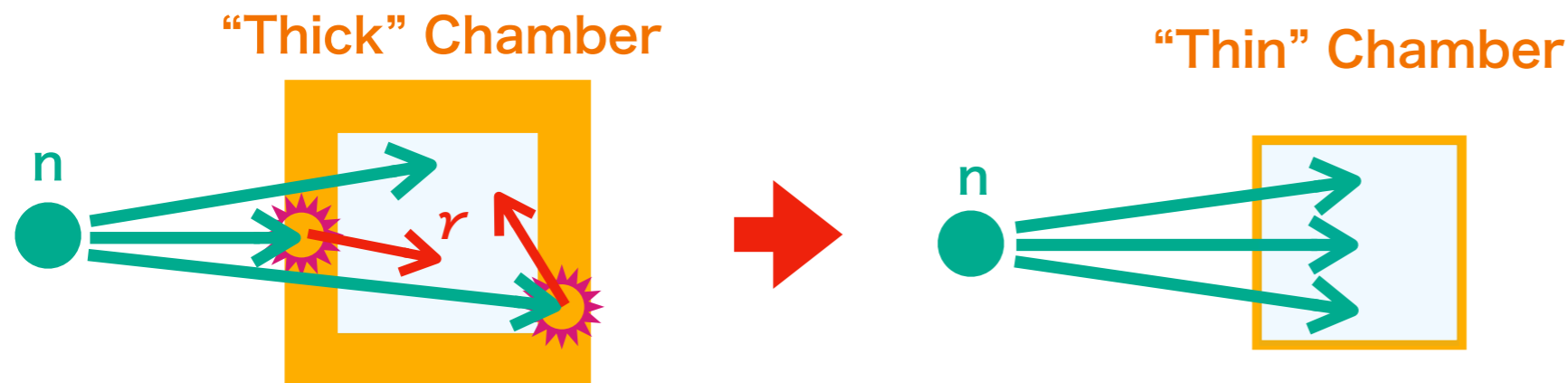
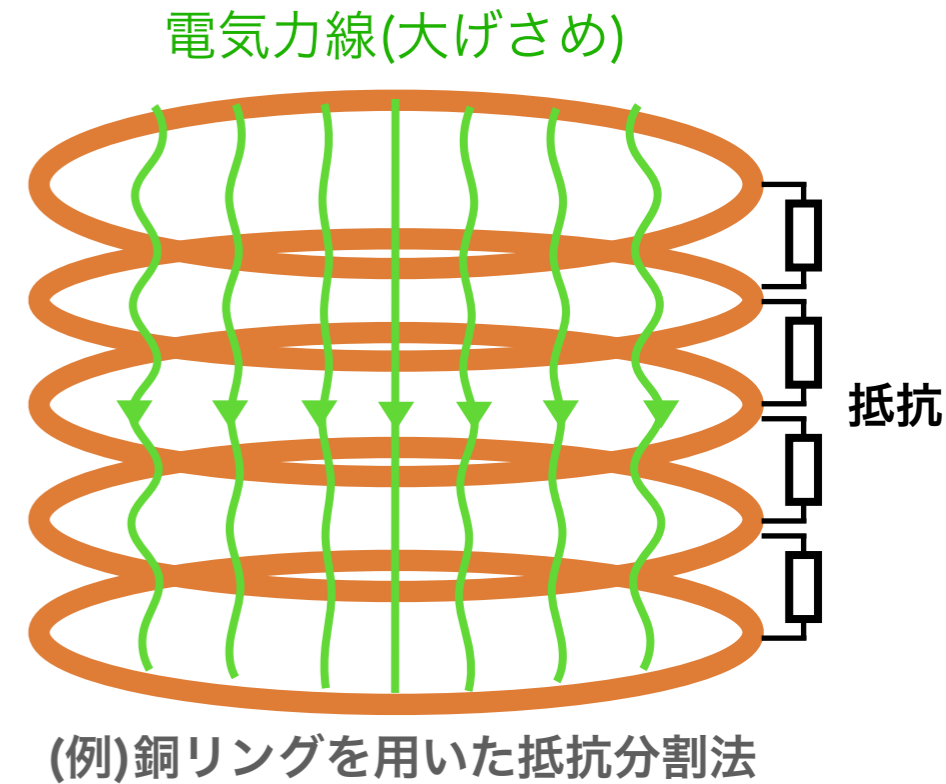
- LiF添加PE の ブロックタイプと粒タイプを組み合わせる予定



4. 低物質質量TPC開発

開発のモチベーション

1. 正確なイベント位置再構成が必要
→ 抵抗分割法を用いたフィールドケージでは**電場の非一様性**が少なからず存在
また(欲を言えば)**お手軽に作りたい**
2. 低BG環境で測定を行いたい
→ **TPCの物質量を削減**して
(n, r)反応によるBGを減らしたい

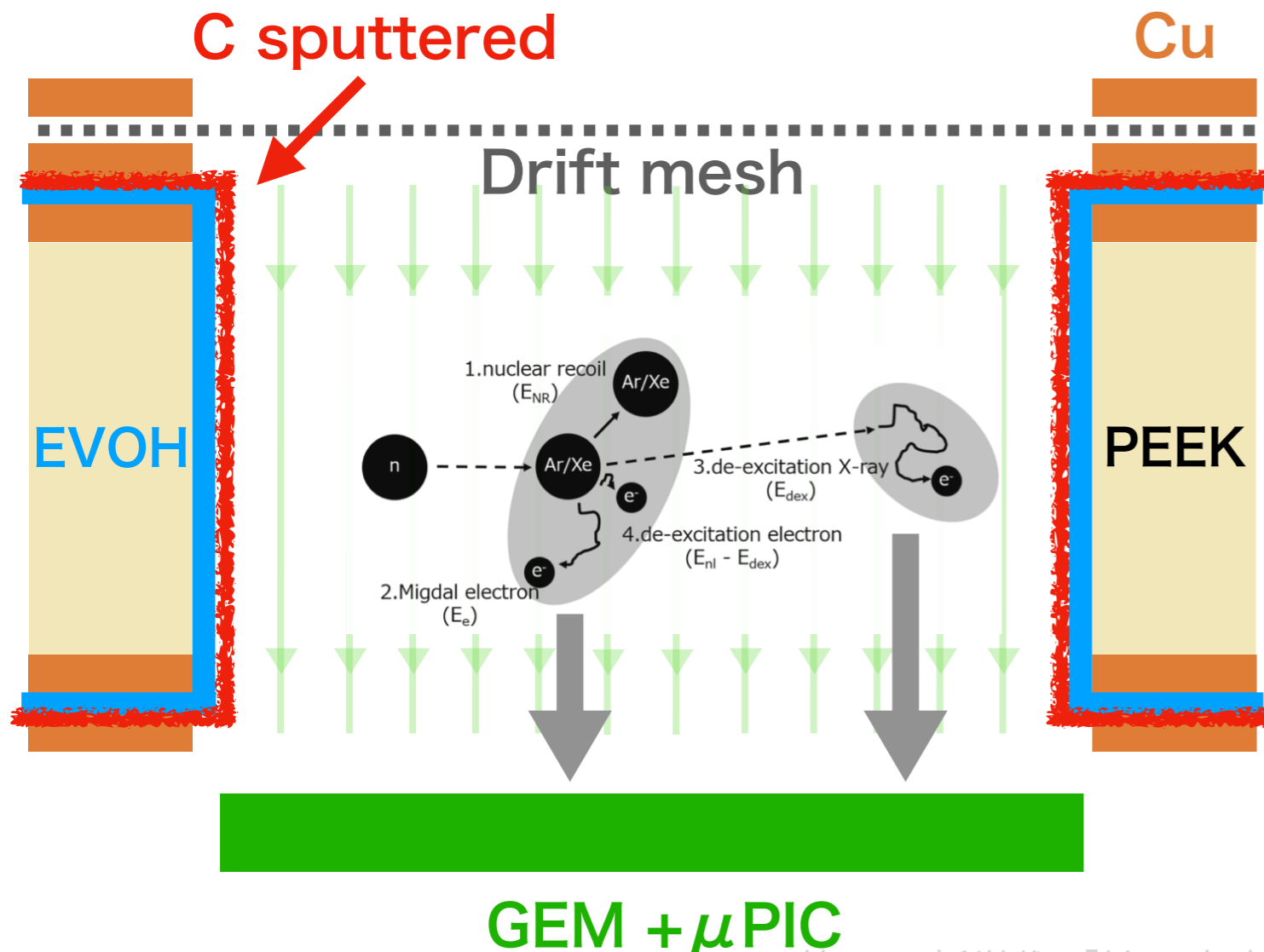
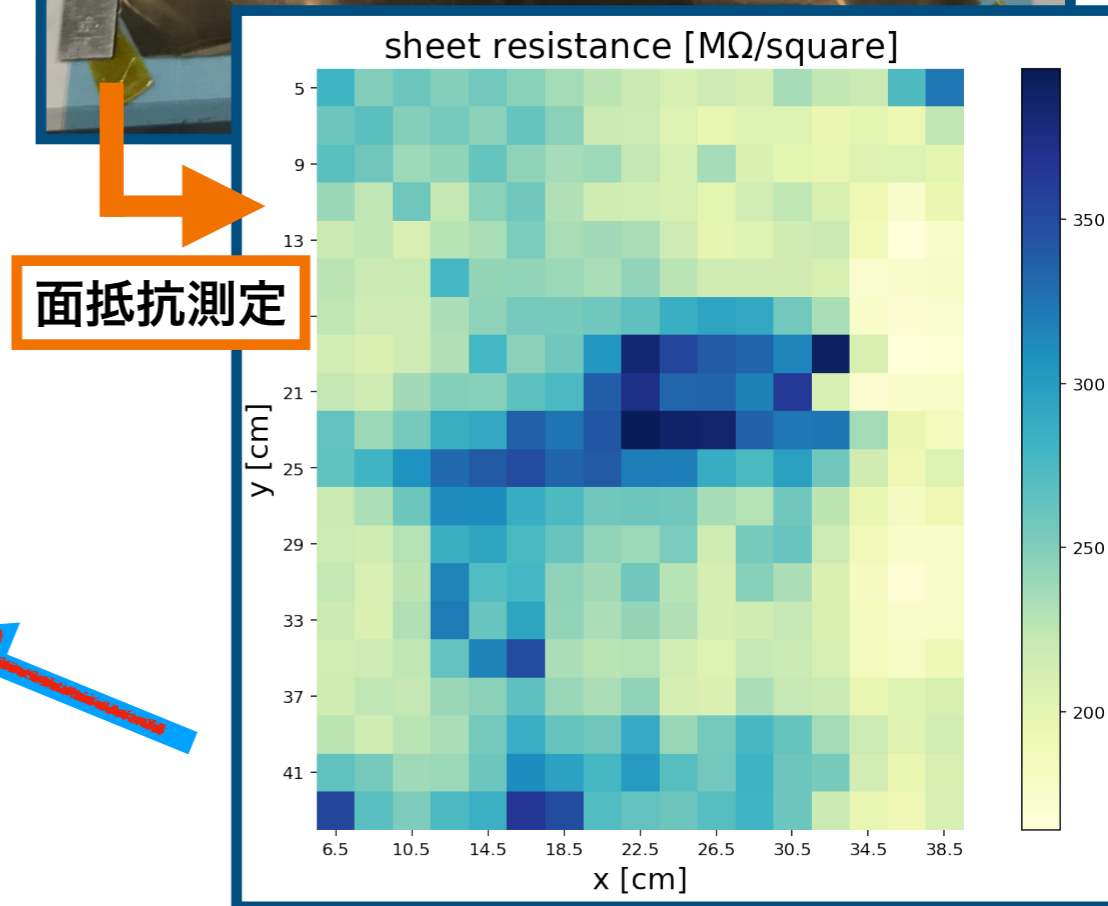


→ 高抵抗シートによる電場形成 / Thin Chamber

4. 低物質質量TPC開発

フィールドケージ

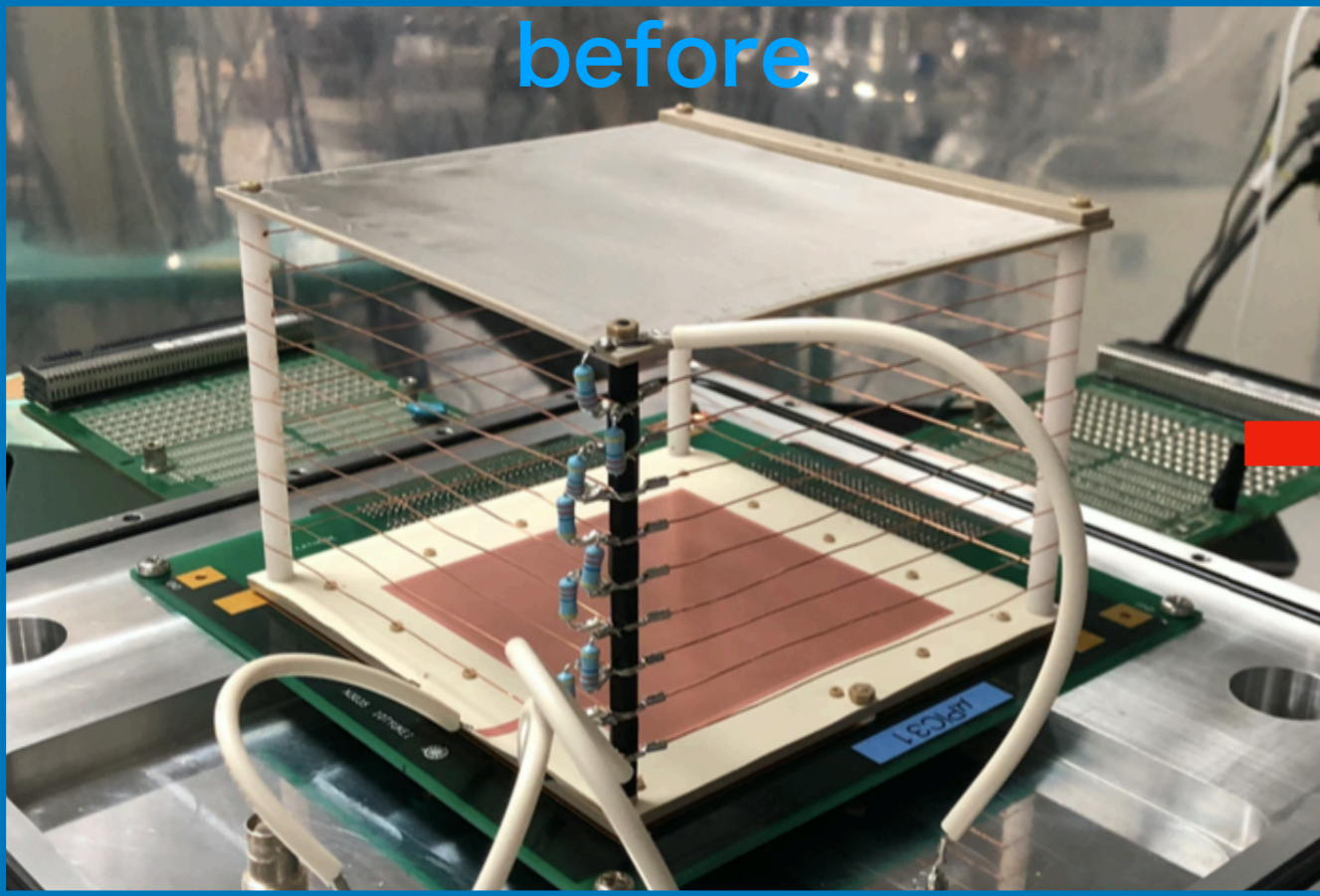
- 電場形成には**炭素スパッタリング**したEVOH (エチレン-ビニルアルコール共重合樹脂)
- 面抵抗の**一様性**を確認しながら実装



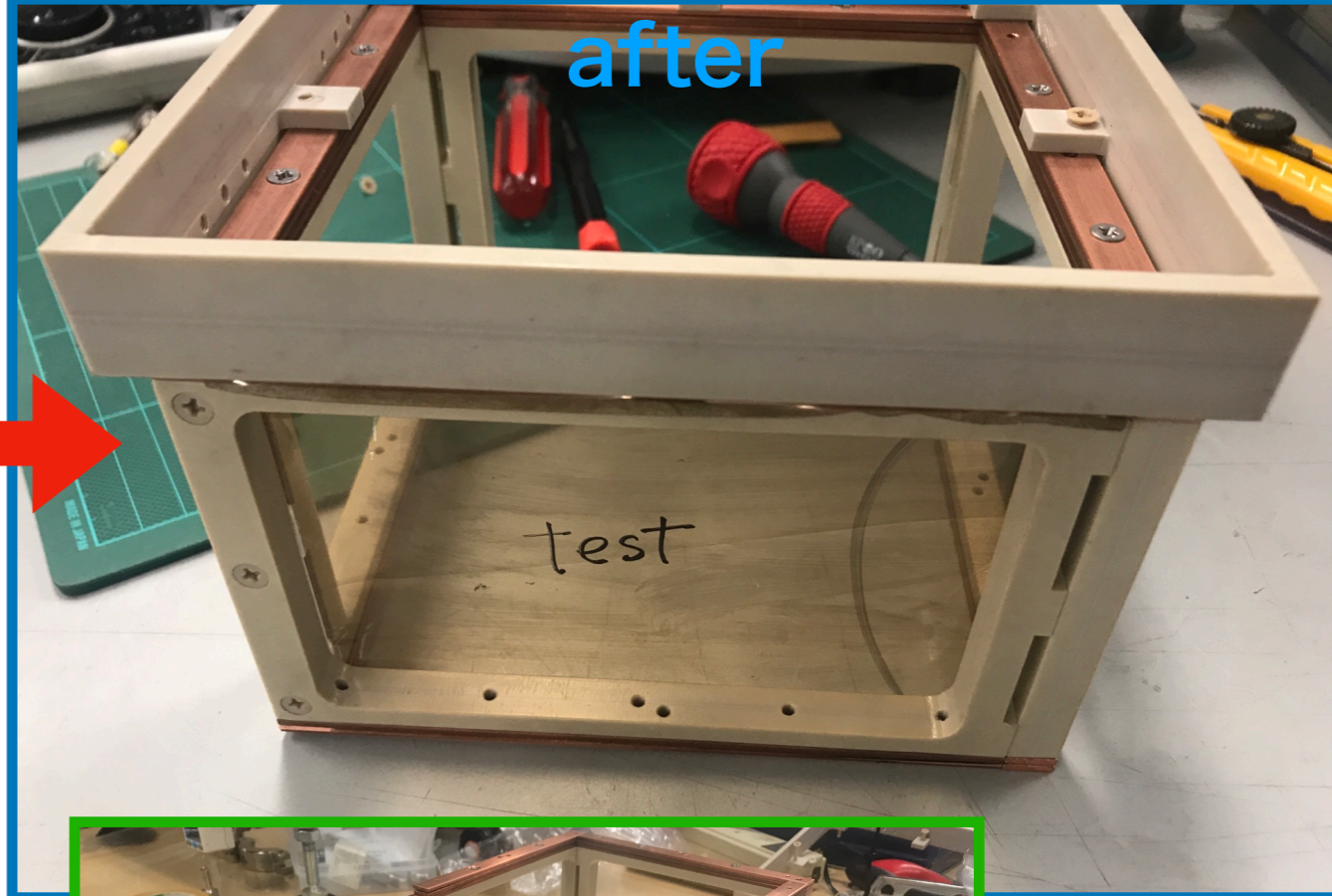
4. 低物質質量TPC開発

フィールドドケージ

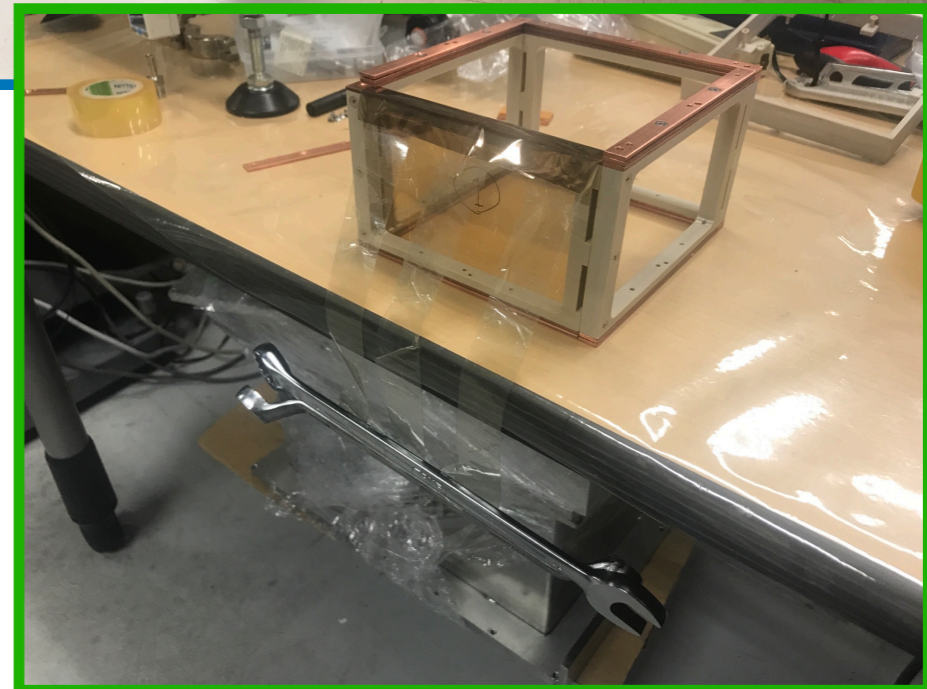
before



after



EVOHの張り方を模索中

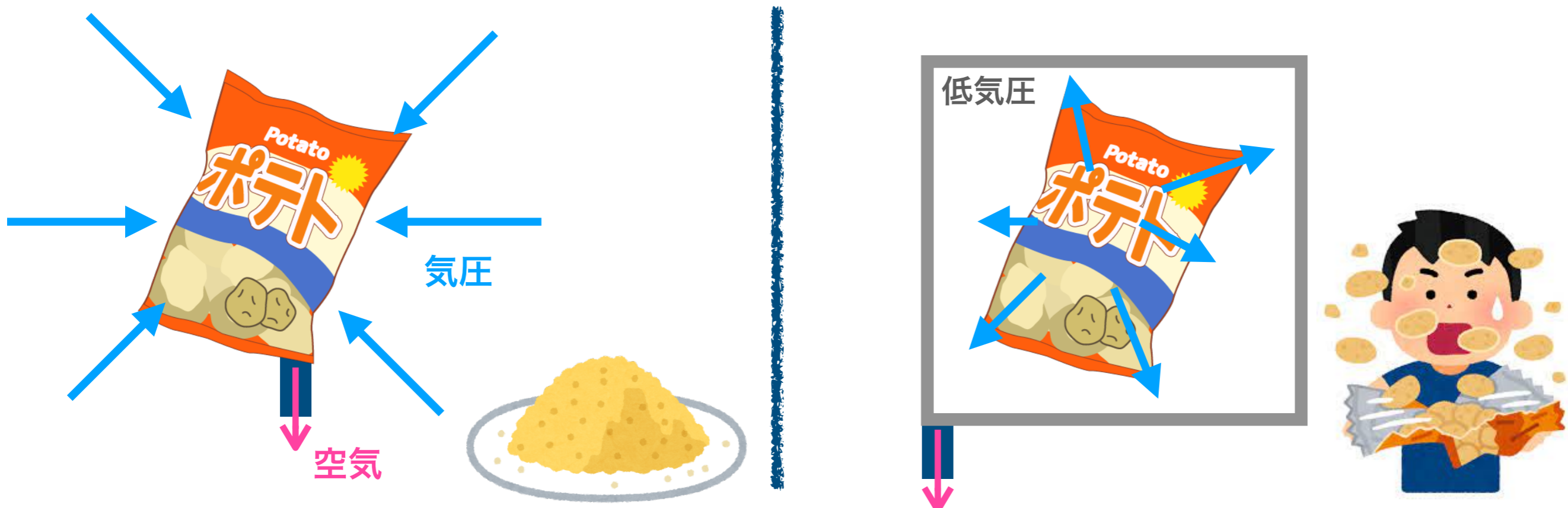


4. 低物質量TPC開発

Thin Chamber

- Ar TPCは1気圧
→ 機密性さえ保てるならどれだけ薄くてもOK！
- こちらも **EVOH** (優れたガスバリア性を持つ) を採用
- ガスを入れるのが難しい

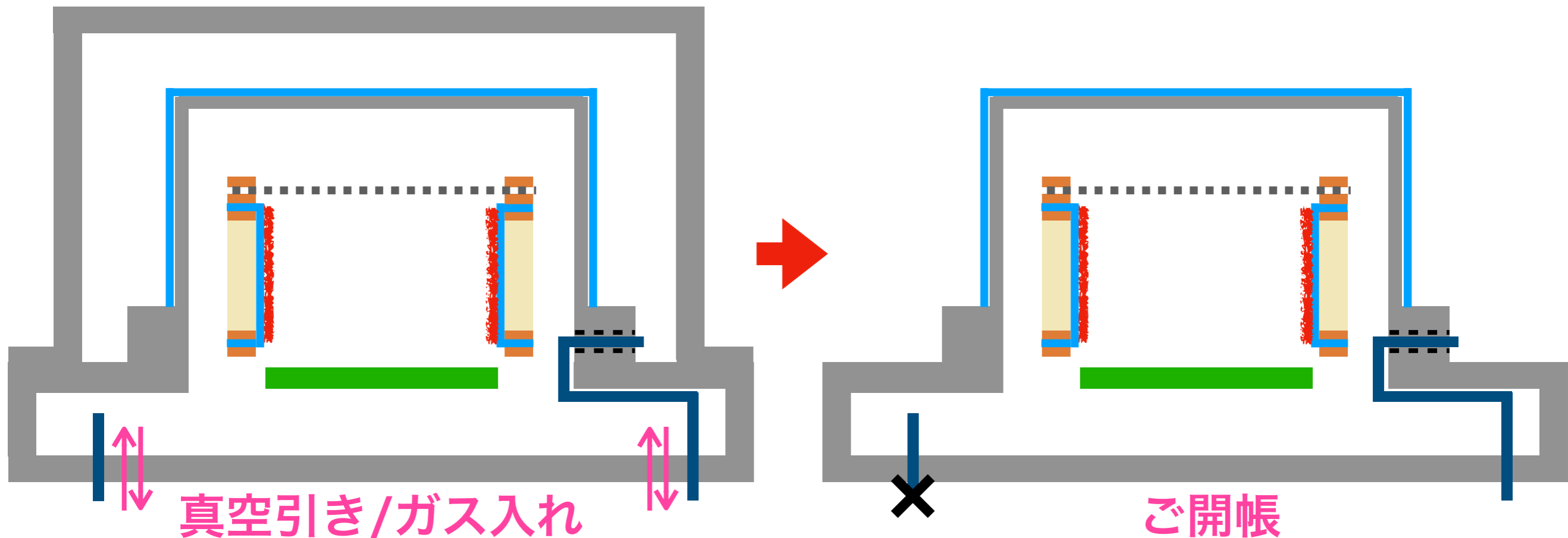
ポテトチップスの袋にArを1 atm入れることを考える



4. 低物質質量TPC開発

Thin Chamber

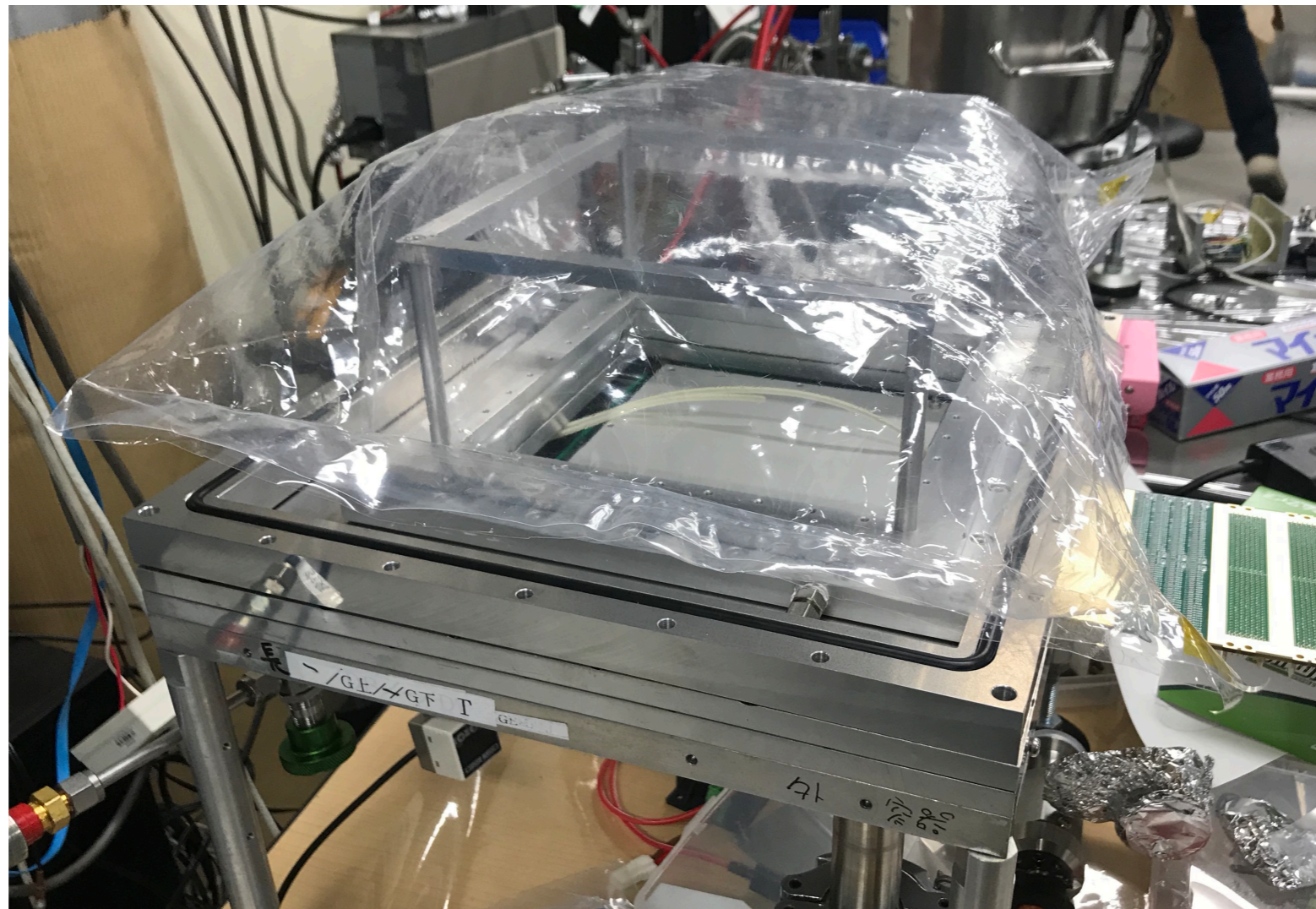
1. 内外の気圧を同程度に保ちながら同時に真空引き
2. 同時にガス入れ
3. 外容器を外すとできあがり



4. 低物質質量TPC開発

開発状況

- 密閉性を確認している様子
- 次は同時真空引き、動作確認へ



5. まとめ

- Migdal効果は **低質量WIMPs** 探索にとって非常に嬉しい存在
- **Ar/Xe ガスTPC**を使って観測を目指している
- **MIRACLUE**という名前で活動中
- **BGの削減が重要**
- 低物質量ガスTPCを開発中、動作確認へ
- 2-3月ごろに第1回ビーム試験を計画中 @AIST
→ まずは BG study・検出器応答の確認から
結果をお楽しみに！！
- 次の講演は Xe検出器のお話です