



NEWAGE実験77: 地下実験のための低BG検出器性能評価

2024/3/20 JPS2024春 20aV1-1

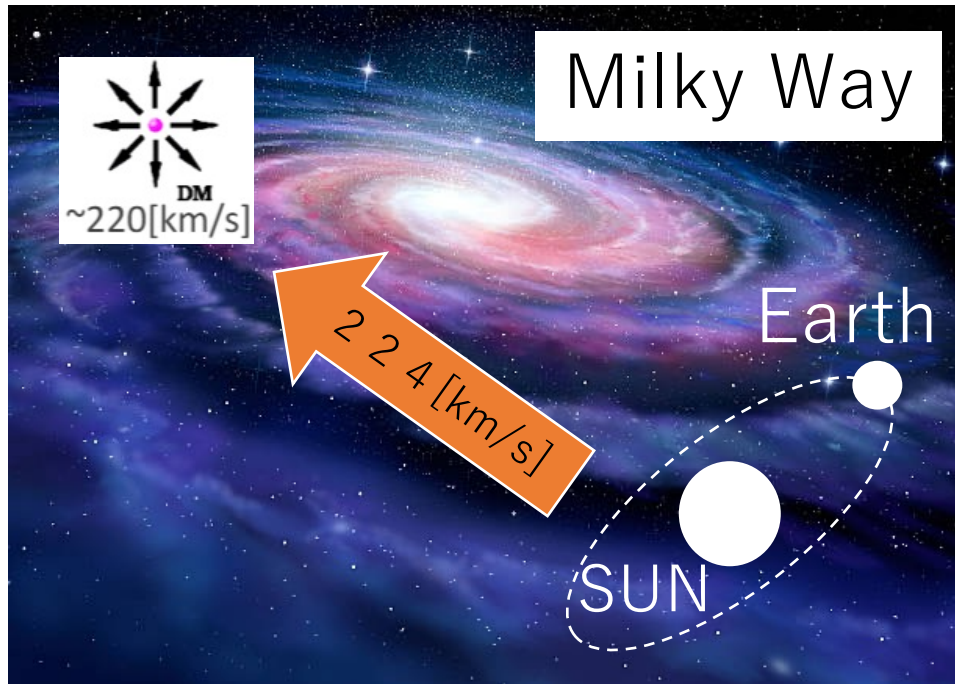
神戸大学 生井凌太

身内賢太郎, 東野聡, 大藤瑞乃

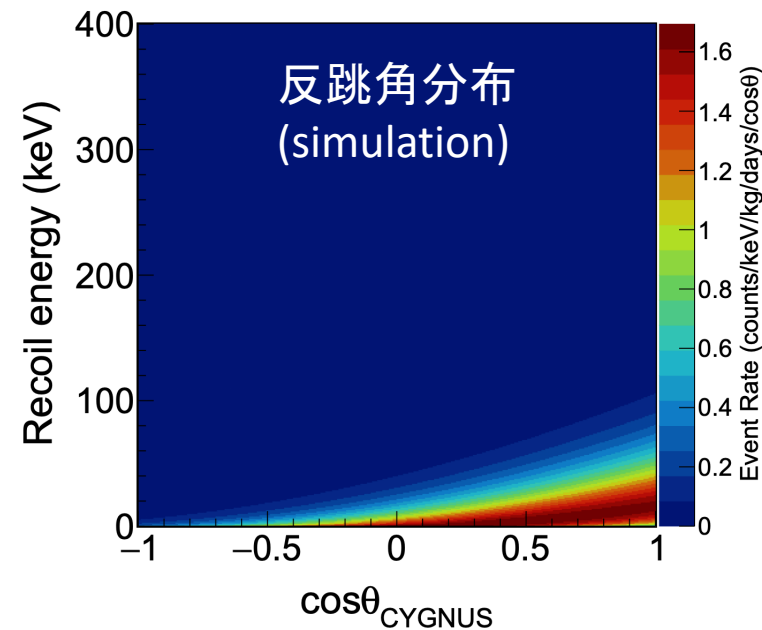
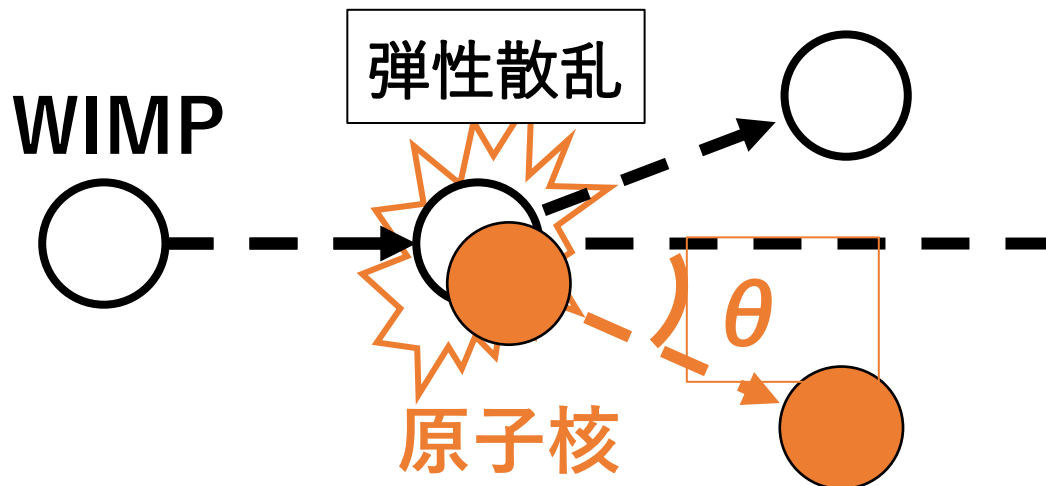
[arXiv:2403.11736](https://arxiv.org/abs/2403.11736)

submitted to NIM A

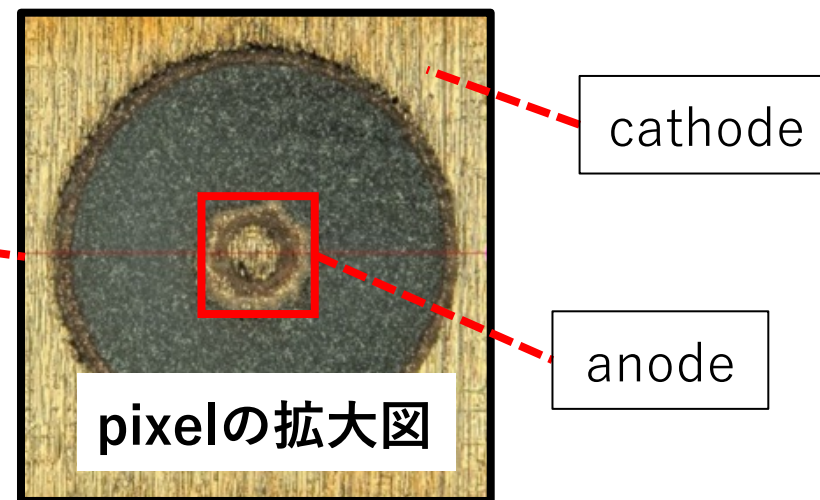
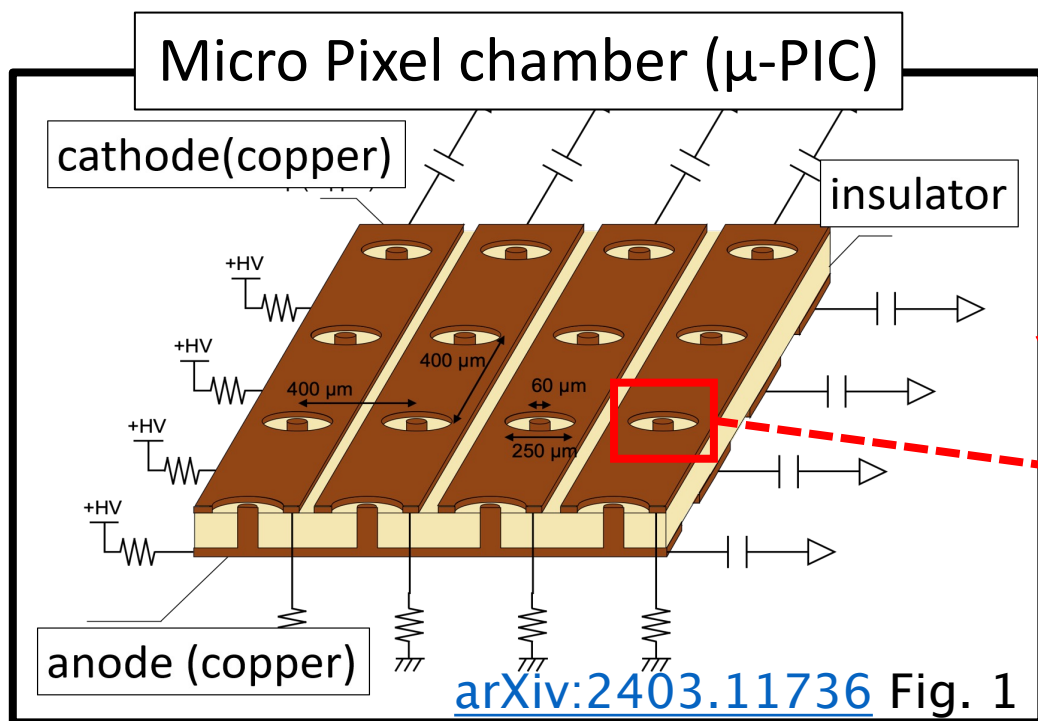
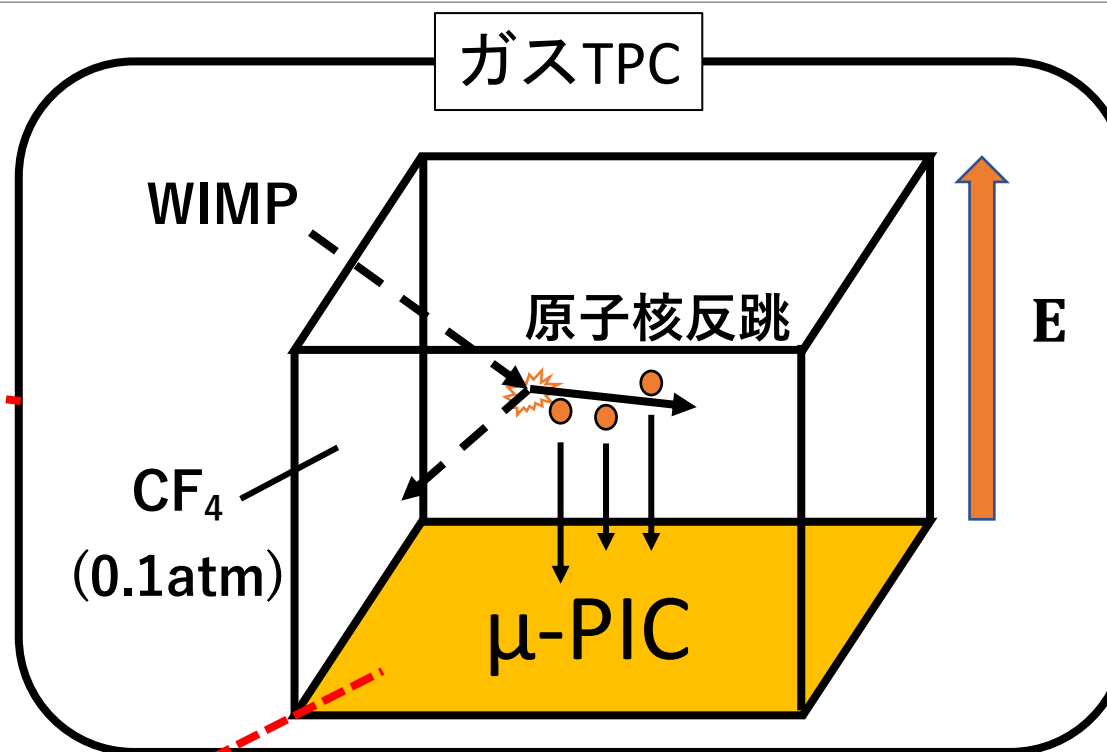
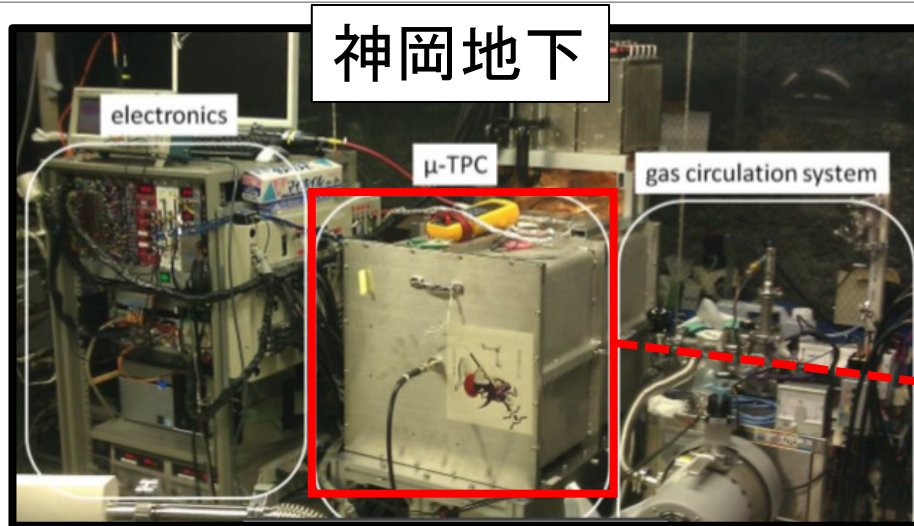
方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索



- WIMP (Weakly Interacting Massive Particles)
: 暗黒物質の候補粒子
- 太陽系の進行方向からのWIMPの到来量が多くなる
→この方向依存性を観測する
- どうやって?
→WIMPと原子核の**弾性散乱**での**反跳角分布**を見る



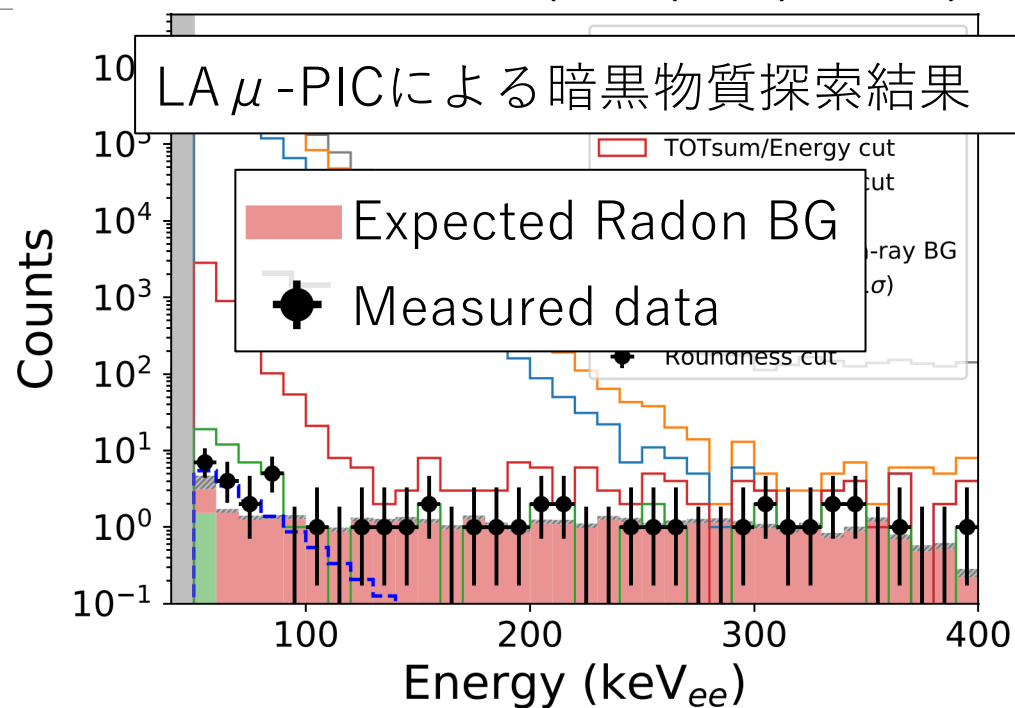
NEWAGE実験



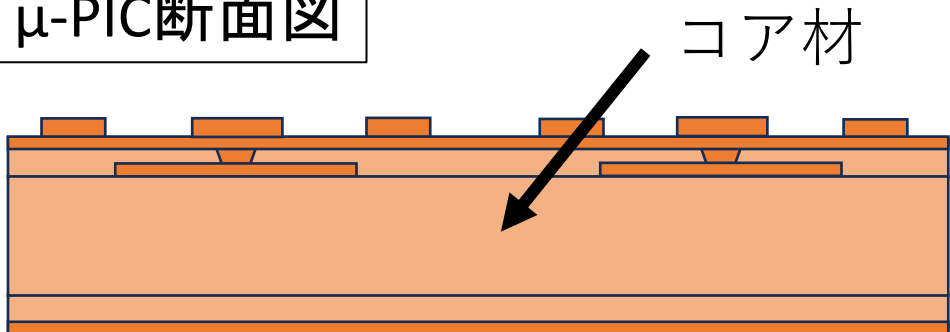
μ -PICの低放射能化

- μ -PIC低RI化の歴史
 - 検出器表面からの α 線を減らした**LA μ -PIC**を製作
→検出感度の向上 (*PTEP* (2023) 103F01)
 - 一方で**ラドンBG**が顕在化
- **Low Background μ -PICの製作**
 - ✓ コア材を低RIなものに変更

(*PTEP* (2023) 103F01)



μ -PIC断面図

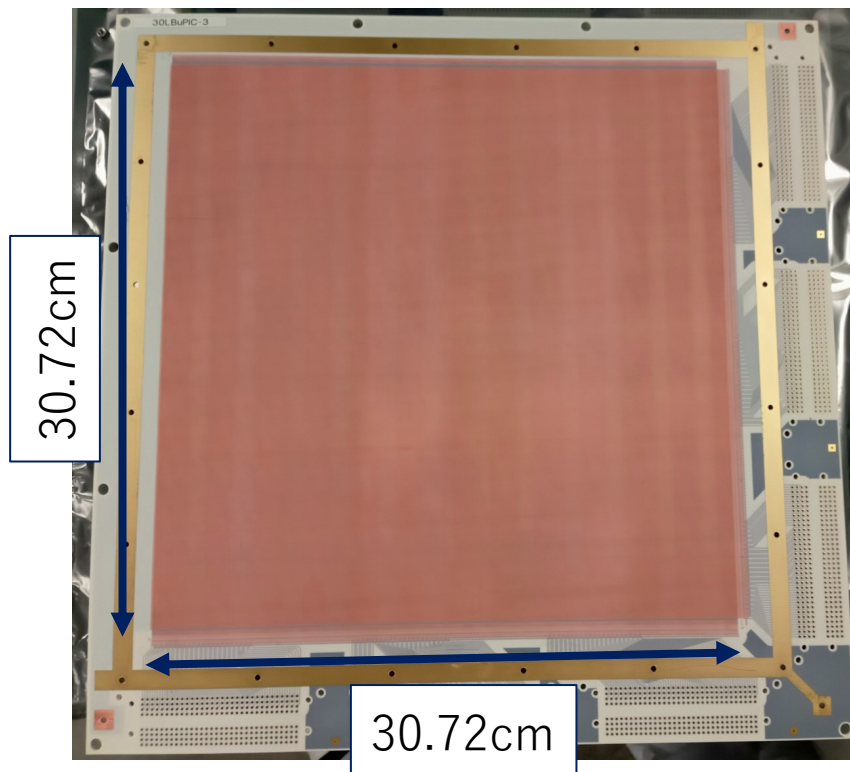


	コア材	^{238}U upper [ppm]	^{238}U middle [ppm]
旧	ポリイミド樹脂 (ガラスクロス入り)	$(7.8 \times 0.1) \times 10^{-1}$	$(7.6 \times 0.1) \times 10^{-1}$
新	Quartz (レジン入り)	$(5.6 \times 1.0) \times 10^{-3}$	$(5.1 \times 1.0) \times 10^{-3}$

↓ $\sim 10^{-2}$

LBG μ -PICの製作

[arXiv:2403.11736](https://arxiv.org/abs/2403.11736) Fig. 3(c)



- 400 μm pitch
- 768 \times 768 pixels

➤ 2023年完成

- 製作：大日本印刷
- 素材：信越化学

➤ 暗黒物質探索実験に使えるか性能評価する必要

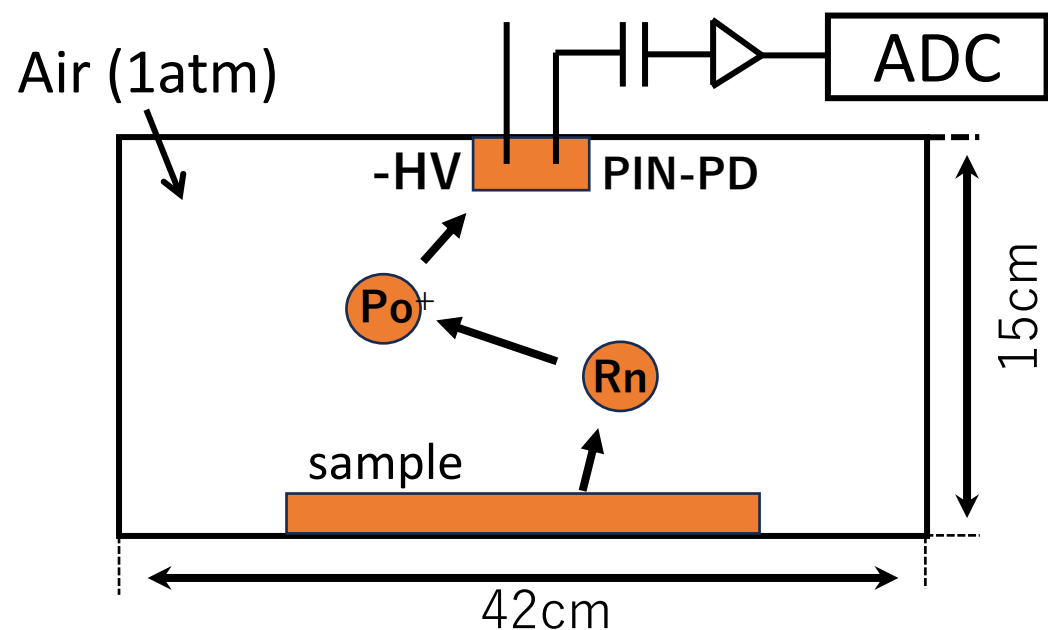
本研究の目的

Requirements

1. 放出ラドン量 : LA μ -PICの1/10以下
2. ゲイン : $\geq 10^3$ in CF_4 (76torr)
3. ゲイン一様性 : $\leq 20\%$ RMS

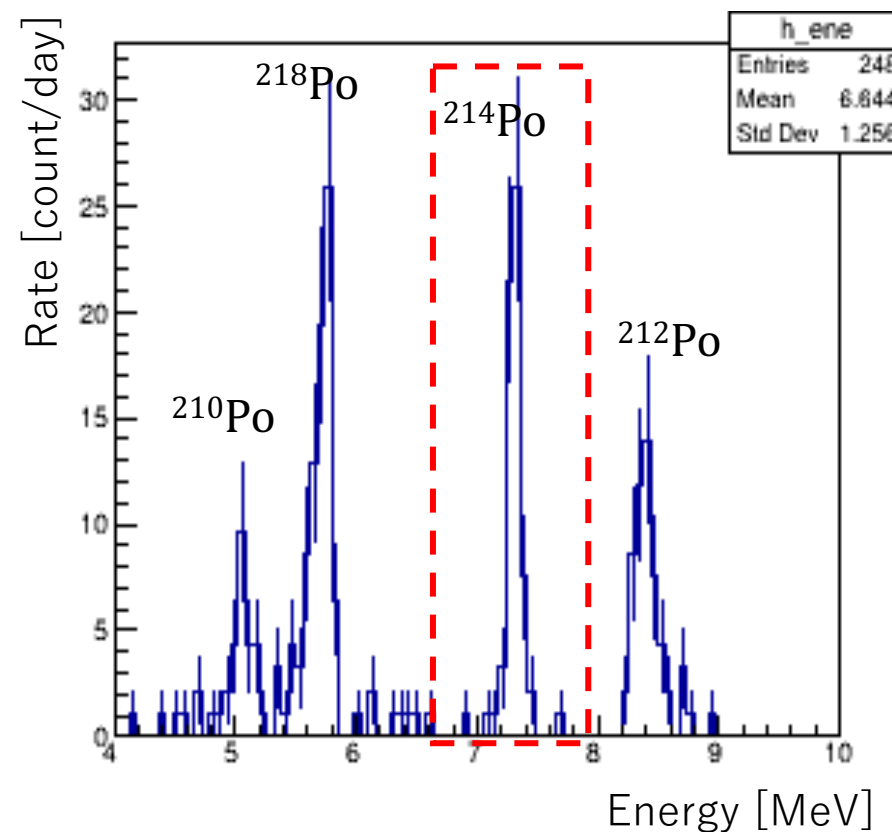
ラドン量測定

- 静電捕集法で湧き出しラドン娘核の ^{214}Po レートを測定、ラドンレートに変換



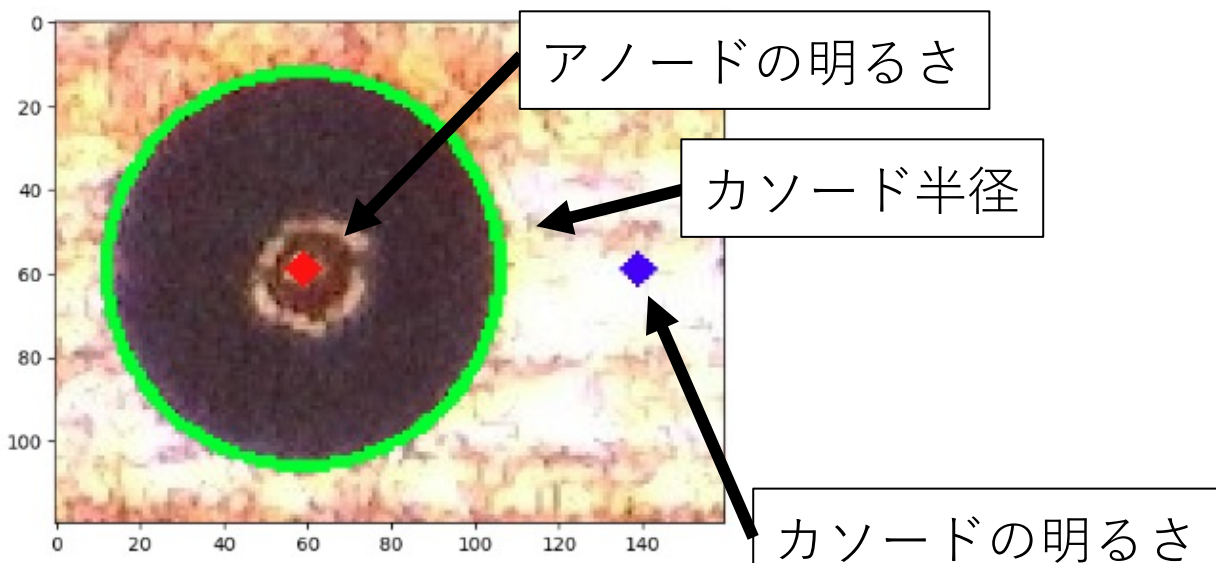
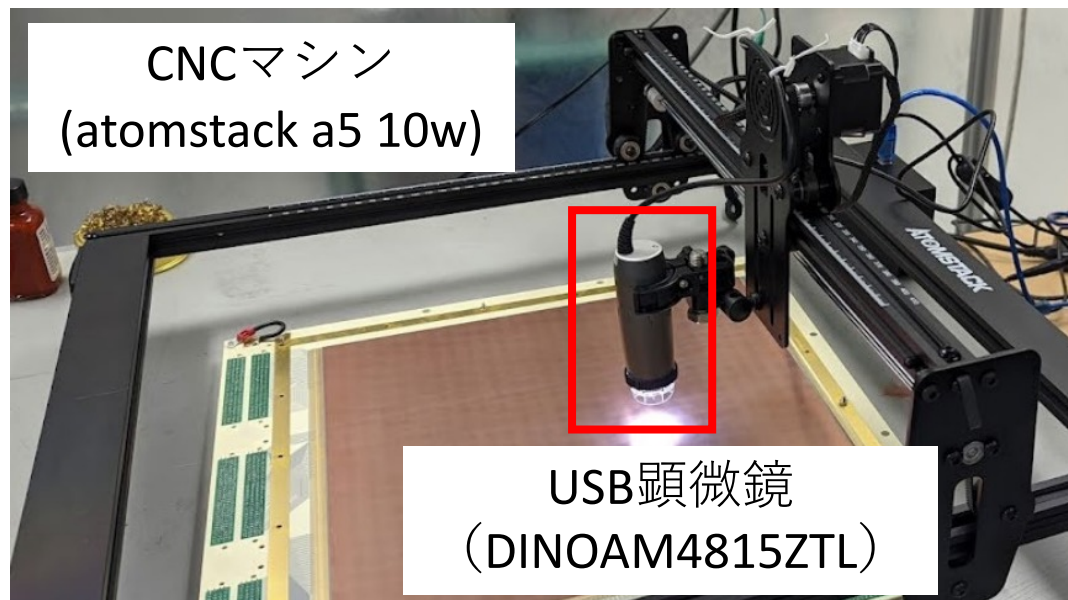
ラドンレート

Sample	Radon rate [mBq/chamber]
LA μ -PIC	2.3 ± 0.5
LBG μ -PIC	< 0.03 (90% C. L.)



- 従来と比較して $< 1/60$ のラドン量に減少
→要請値をクリア

pixel形成状態の確認



[arXiv:2403.11736](https://arxiv.org/abs/2403.11736) Fig. 5(b)

測定の動機

- pixelの形成状態の確認
- 神戸大学にある3D実態顕微鏡では大きすぎて測定不可

→ CNCマシン + USB顕微鏡で測定器を自作

- 撮影速度： $\sim 1000 \text{ cm}^2/\text{day}$
- 撮影枚数： 170×170

➤ 以下の情報を取得

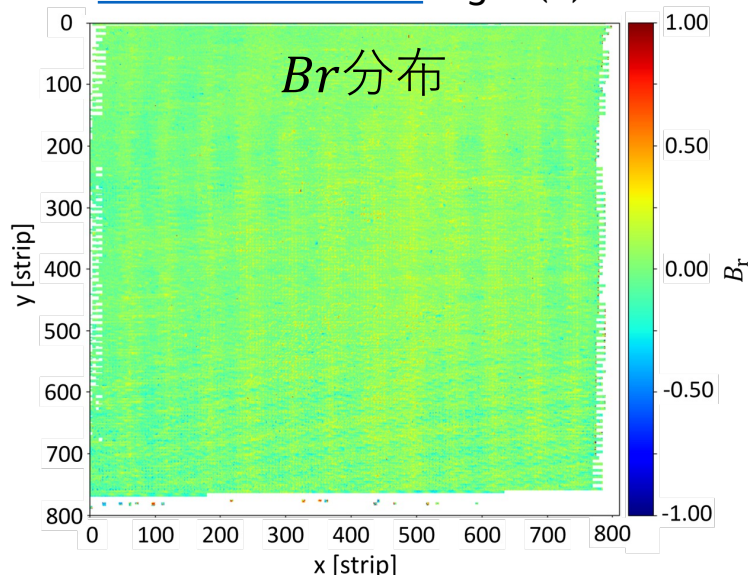
- カソード径(R_C)
 - アノードの明るさ
 - カソードの明るさ
- } 形成不良時暗く映る

- 基板の変色などの影響を排除するため、明るさ(Br)を以下のように定義

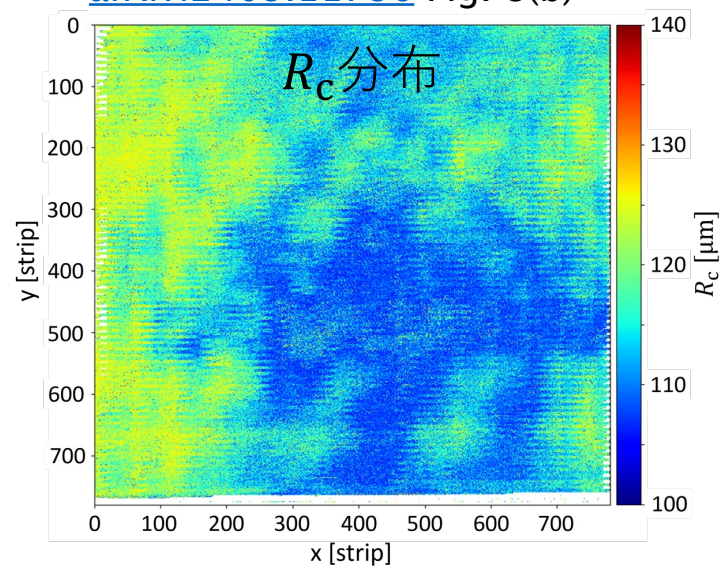
$$Br = \frac{\text{アノードの明るさ} - \text{カソードの明るさ}}{\text{カソードの明るさ}}$$

pixel形成状態の確認

[arXiv:2403.11736](https://arxiv.org/abs/2403.11736) Fig. 6(b)



[arXiv:2403.11736](https://arxiv.org/abs/2403.11736) Fig. 8(b)

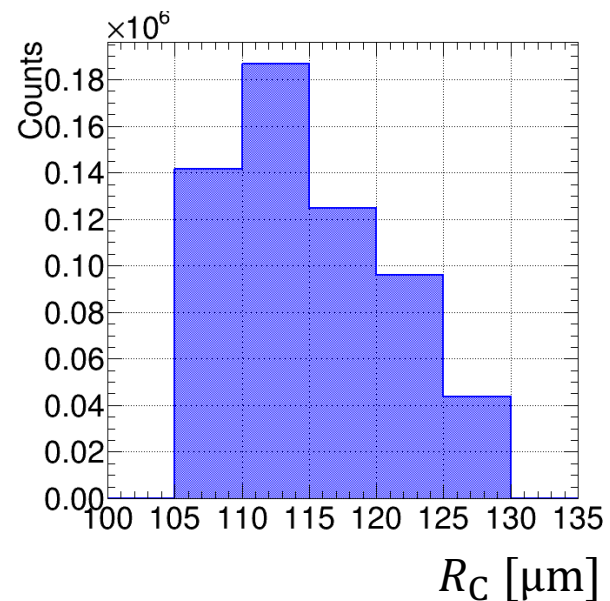
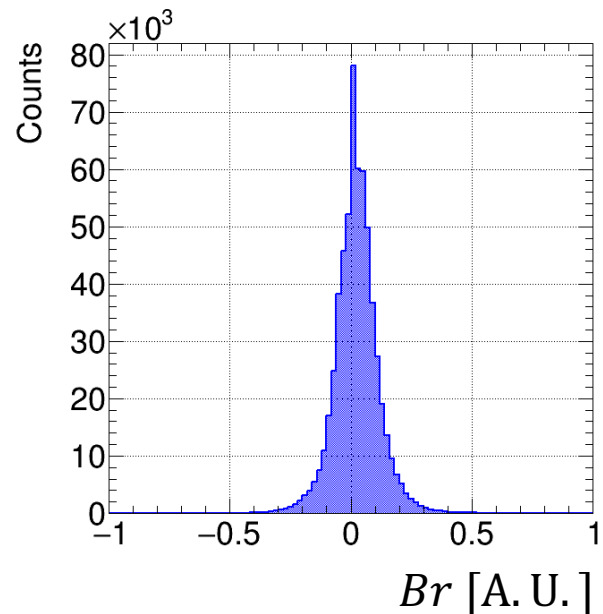


➤ Br 分布

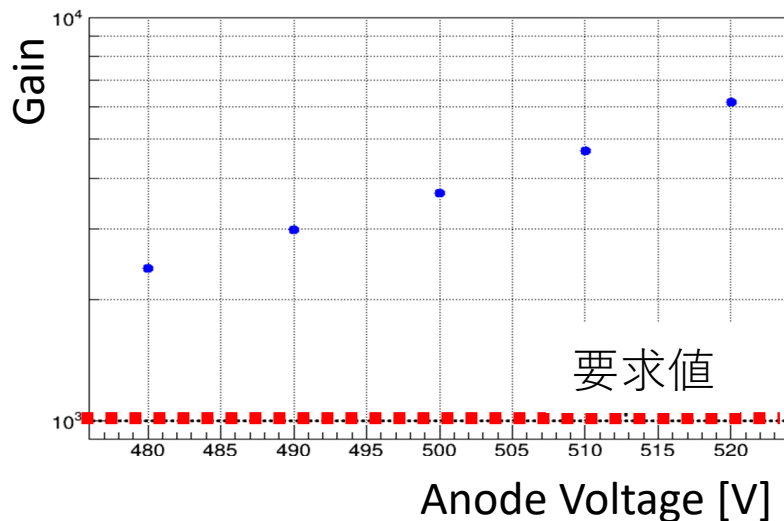
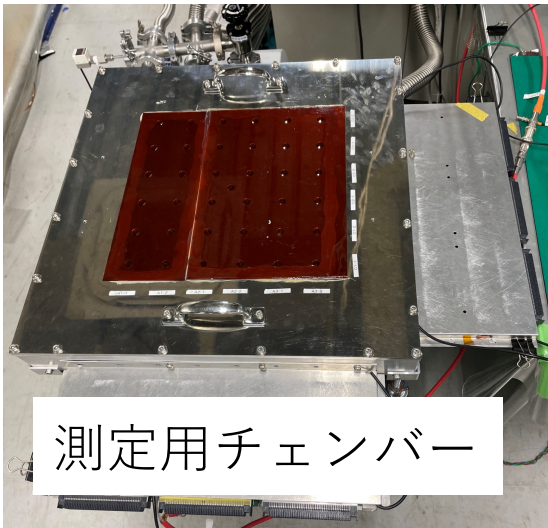
- 一様性が高い

➤ R_c 分布

- 最大25 μm の差
- ゲインへの影響を確認する
→ゲイン測定へ

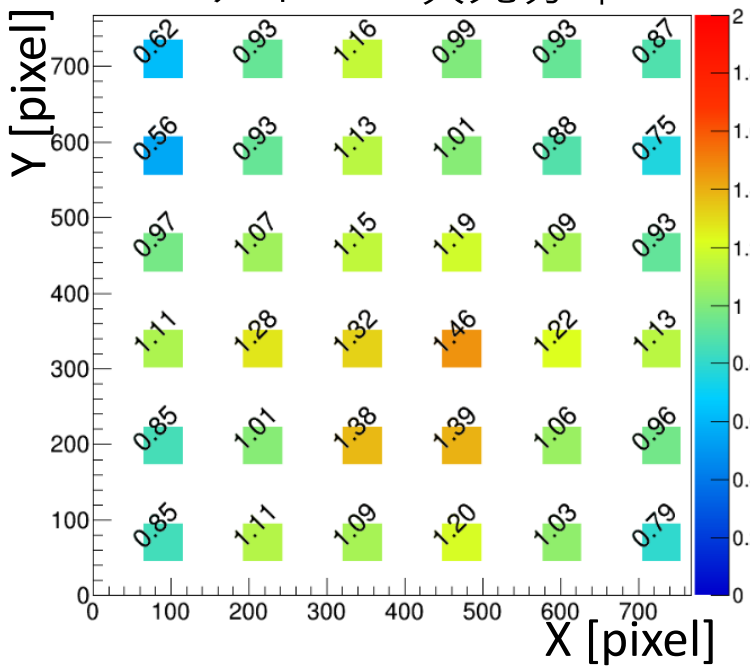


ゲイン測定

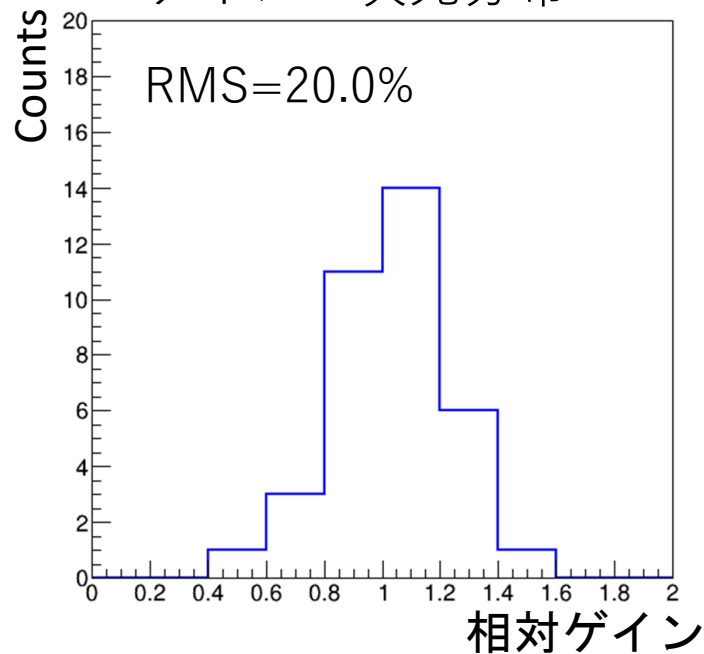


- 6×6箇所ゲインを測定
- 平均化したgain vs voltageを確認
- ≥ 480 Vで要求値を満たすことを確認。

ゲイン二次元分布



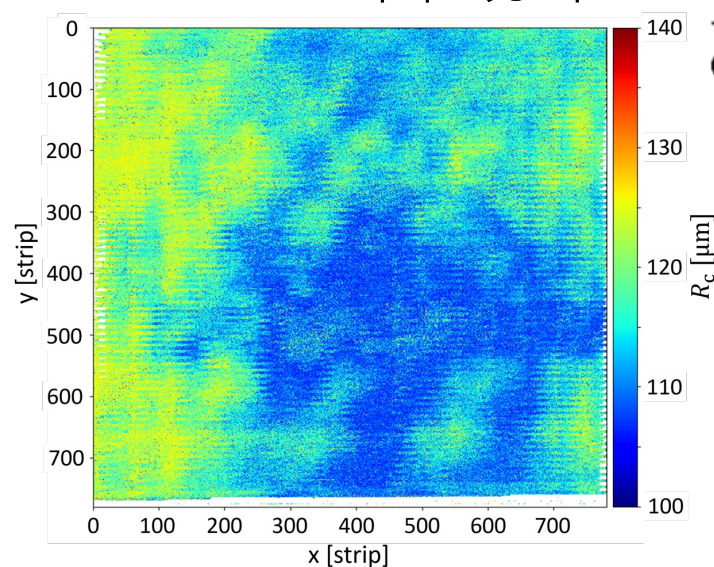
ゲイン一次元分布



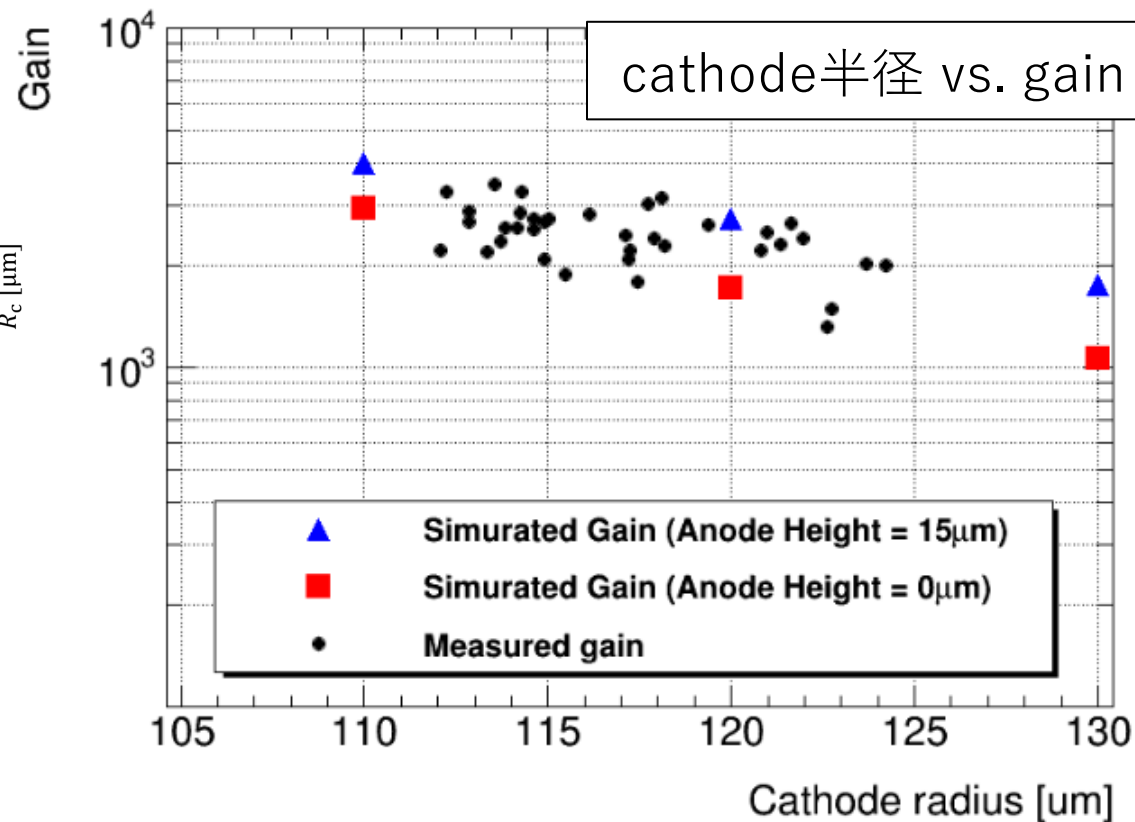
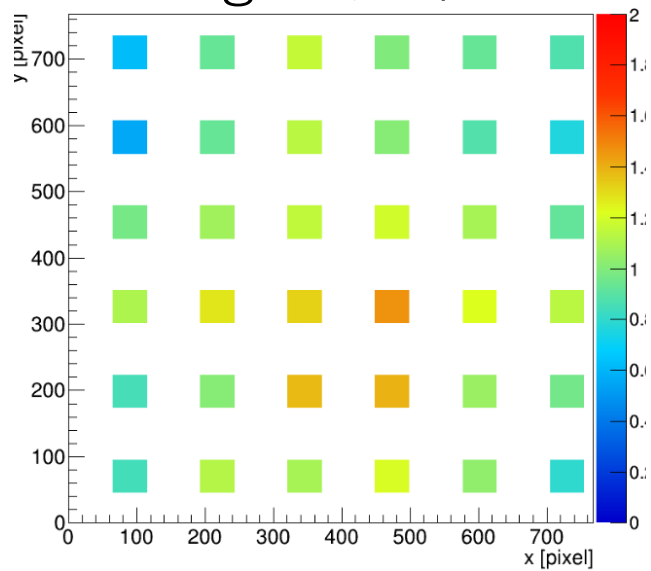
- 各測定位置でのゲインを確認
- 一様性がRMS 20%であることを確認

ゲインとcathode半径の関係

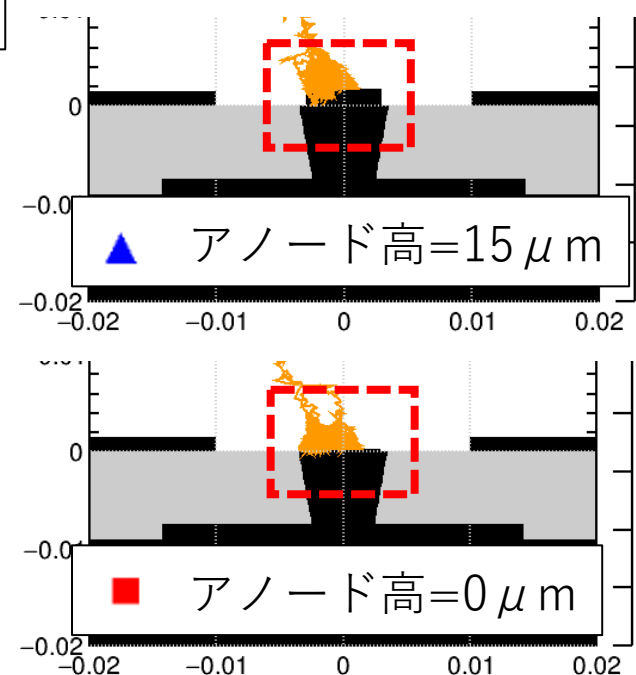
cathode半径分布



gain分布



Garfield++によるsimulation



- ゲインとカソード径の関係がsimulationを再現
- カソード径からゲインを見積もれる
- 全てのpixelでのゲイン推測が可能になる
- チャンネルごとのゲイン補正ができる

Conclusion

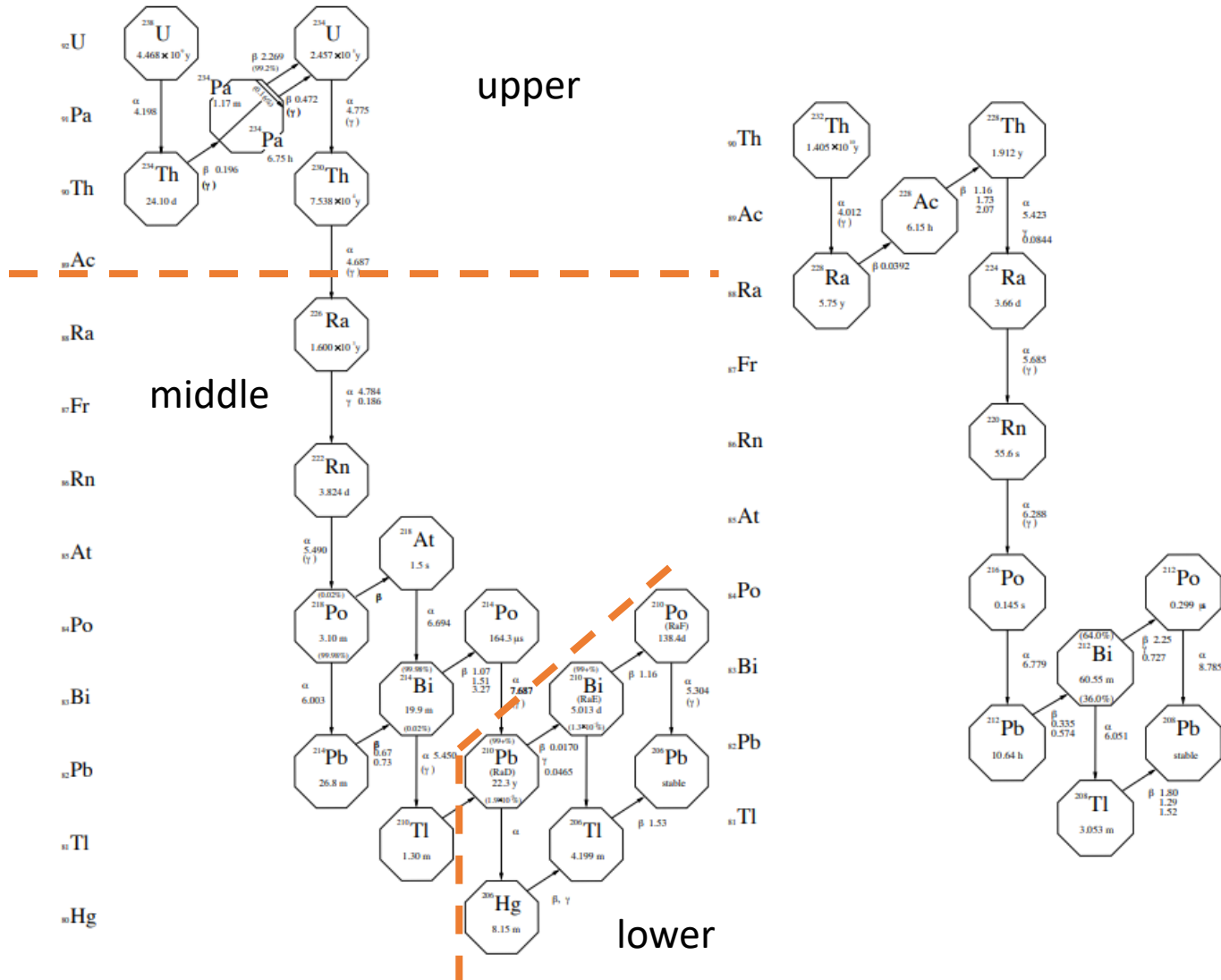
- 低ラドン放出量の μ -PIC を新しく製造した。
- 性能評価の結果、暗黒物質探索実験に使用可能であることを確認した。
 - ラドンレートが従来の1/60未満
 - Anode voltage 480V以上でゲインの要請値を満たす
 - ゲインの一様性がRMS 20.0%以下

→以上の結果について論文投稿済み ([arXiv:2403.11736](https://arxiv.org/abs/2403.11736), submitted to NIM A)

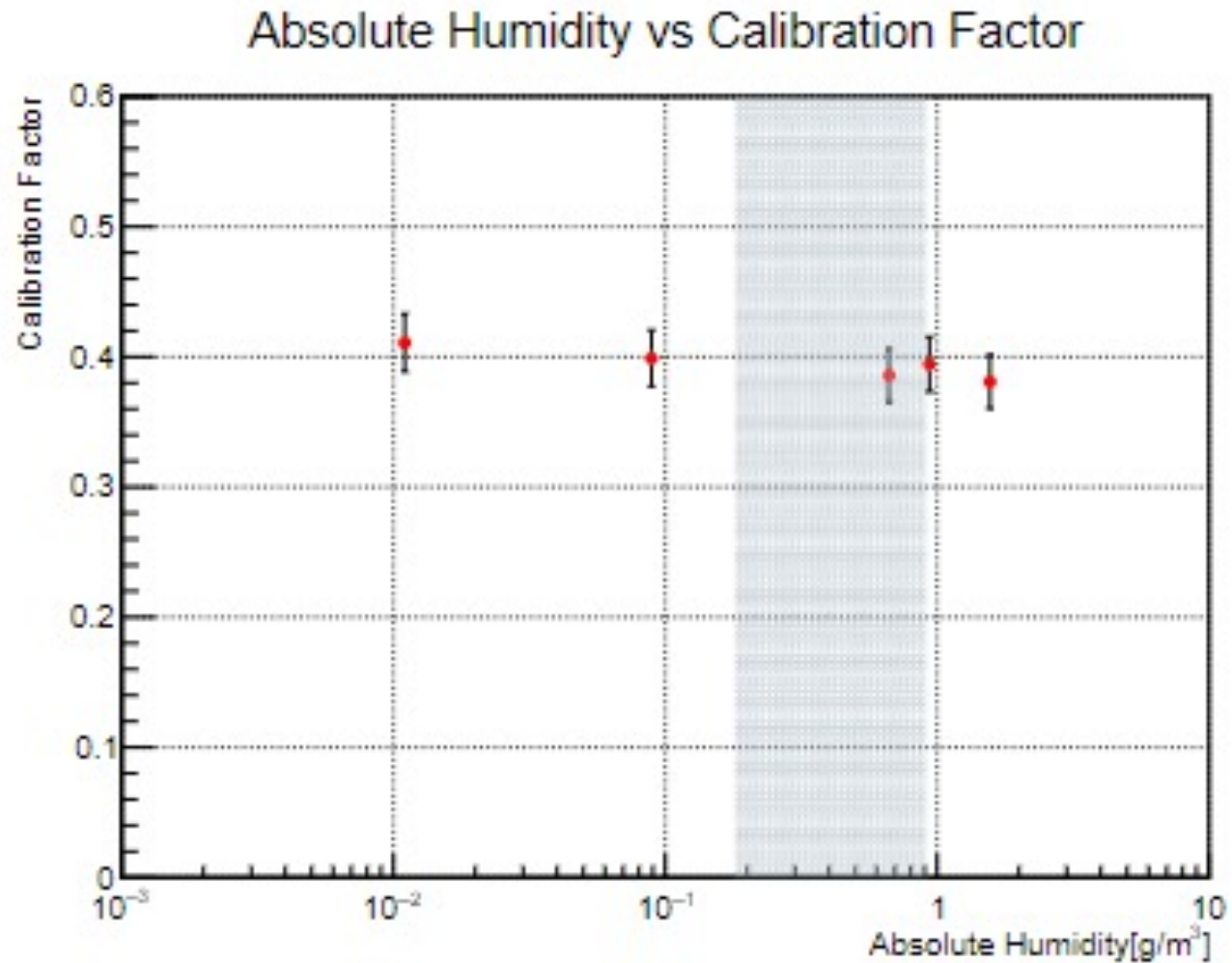
- NEXT presentation : 暗黒物質探索実験へのinstallation

Radon Decay Chain

9.1 Uranium / Thorium decay chain



Radon emanation rate



calibration factor $Cf = 0.403 \pm 0.024$ [(count/day)/(mBq/m³)]

Quartz cloth

1) 石英クロス(商品名：SQXシリーズ)

誘電率 3.7 以下、誘電正接 0.001 以下、線膨張係数 1ppm/°C 以下など、伝送損失(電気信号の劣化の度合い)に関わる特性が極めて優れている。5Gのキーワードである超高速通信を支える配線基板のコア材として最適であり、アンテナやレーダードームの繊維強化プラスチック部材としてもその特性を発揮する。

石英クロスは、非常に細い石英の糸を素材とし、厚さを 20 μm 以下とすることも可能で、積層基板の薄膜化に対応可能である。また、石英は α 線の発生が極めて少ない特長を有し、放射線によるデバイスの誤動作を防止できる。 需要に応じ逐次生産能力を上げていく計画である。

<https://www.shinetsu.co.jp/jp/news>