



新学術「地下宇宙」領域研究会

Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics

μ-TPCを用いたアルファ線イメージ分析 装置の開発

伊藤博士
(神戸大 → 東大宇宙線研)

目次

1. 背景と目的
2. アルファ線イメージ分析装置
3. 最近のサンプル測定の実例
4. 今後の計画
5. まとめ

共同開発者＋協力者: 身内賢太郎^a、石浦宏尚^a、竹内康雄^a、小林兼好^b
^a神戸大、^b東大宇宙線研

1. 背景と目的

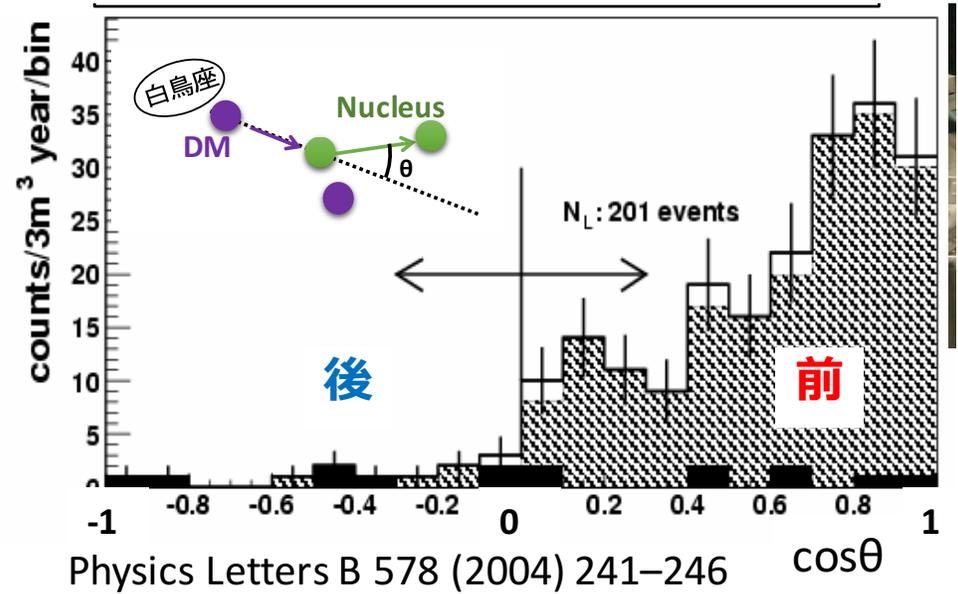
Dark matter search

- NEWAGE: 3D方向感度DM直接探索, Cygnus方向からの飛来は強い証拠になる.
- 主なBGは μ -PICなど検出器素材からの α 線

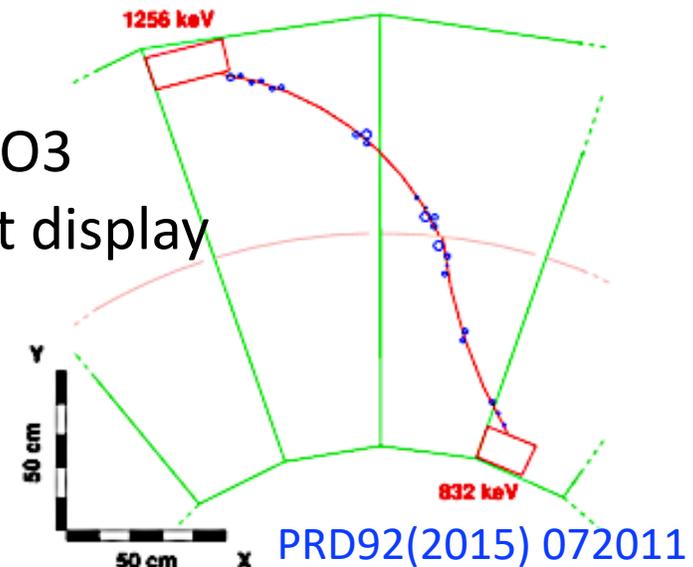
$0\nu\beta\beta$ decay search

- NEMO3, superNEMO: $2e^-$ の飛跡取得は $0\nu\beta\beta$ decayの強い証拠になる.
- 主なBGは RI線源ホイル中のU/Th由来の α 線

- 検出器素材のU/Thなどの汚染分布情報はバックグラウンドを強く抑制する.
- 表面汚染分布を得るために、**極低BG**のアルファ線イメージ分析装置が必要。

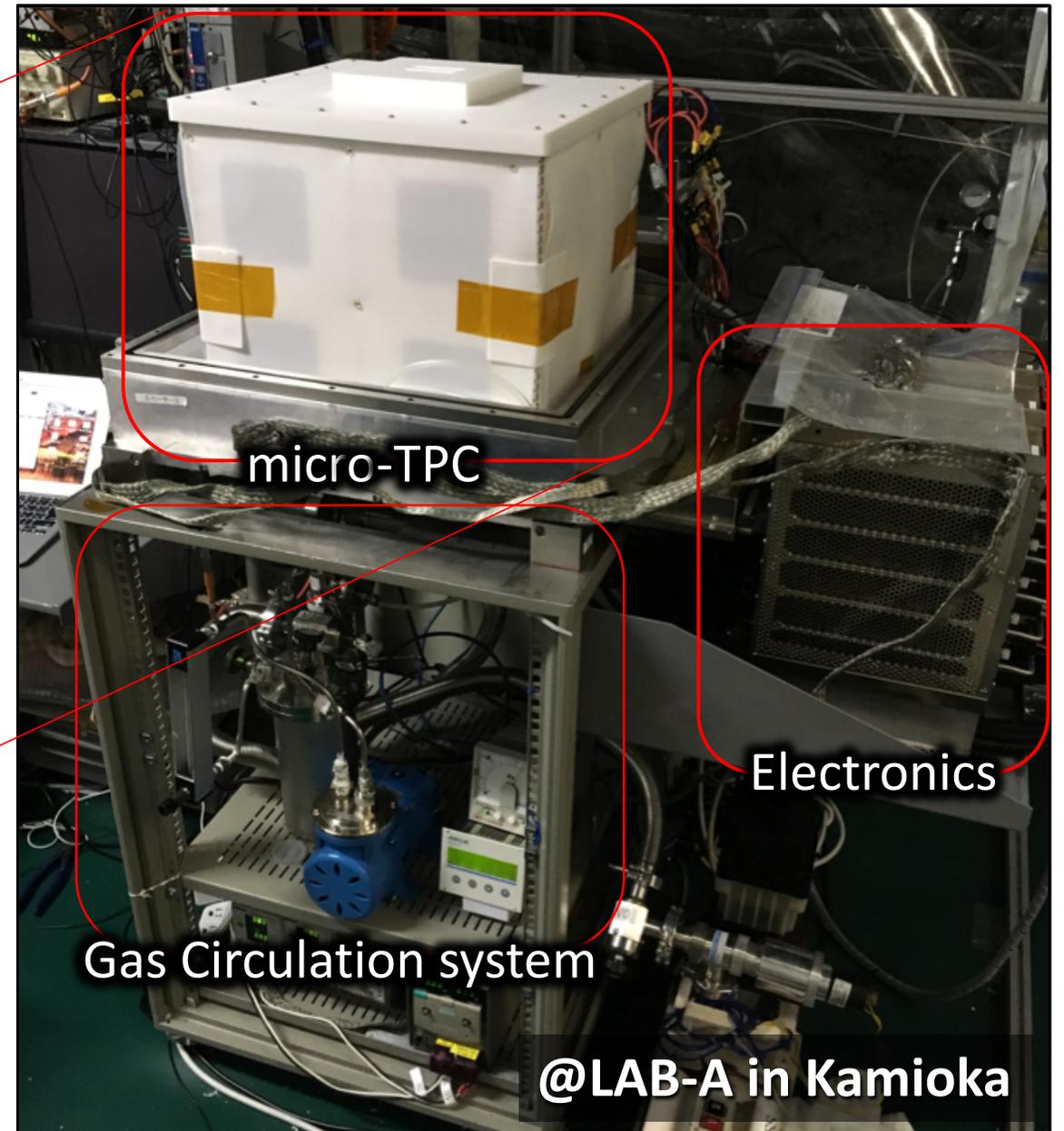
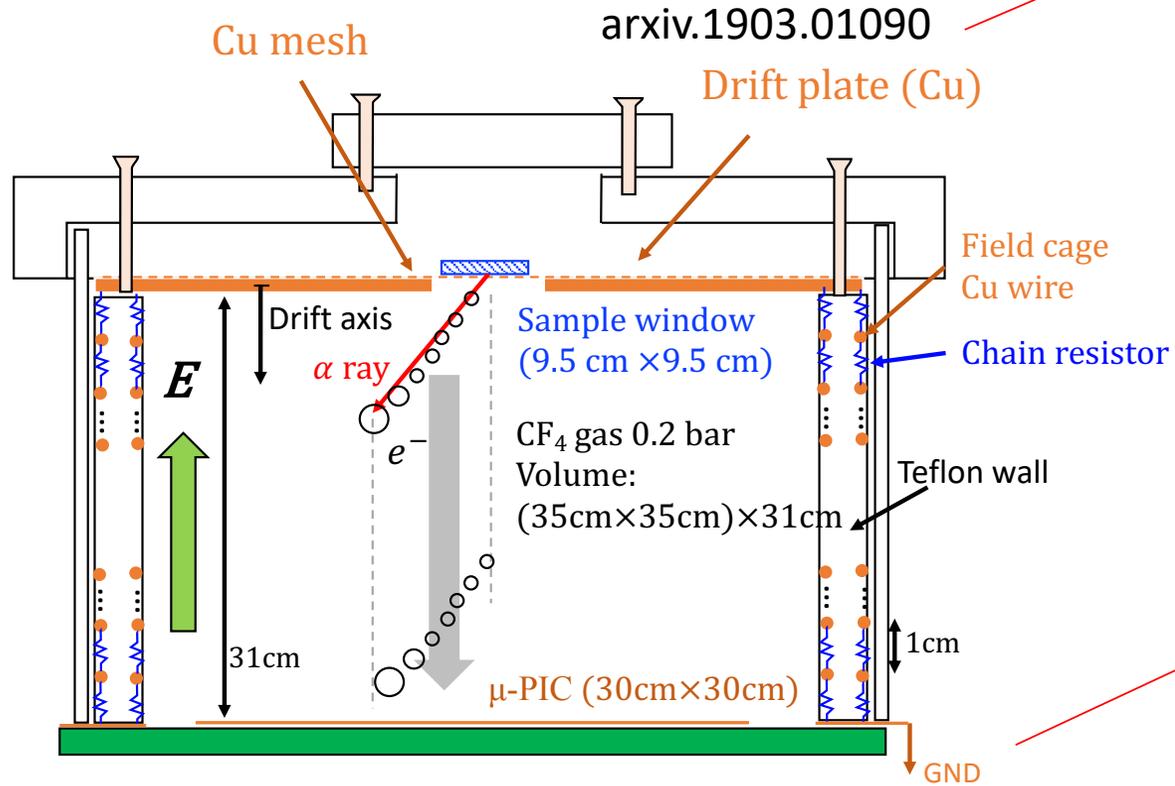


NEMO3 Event display



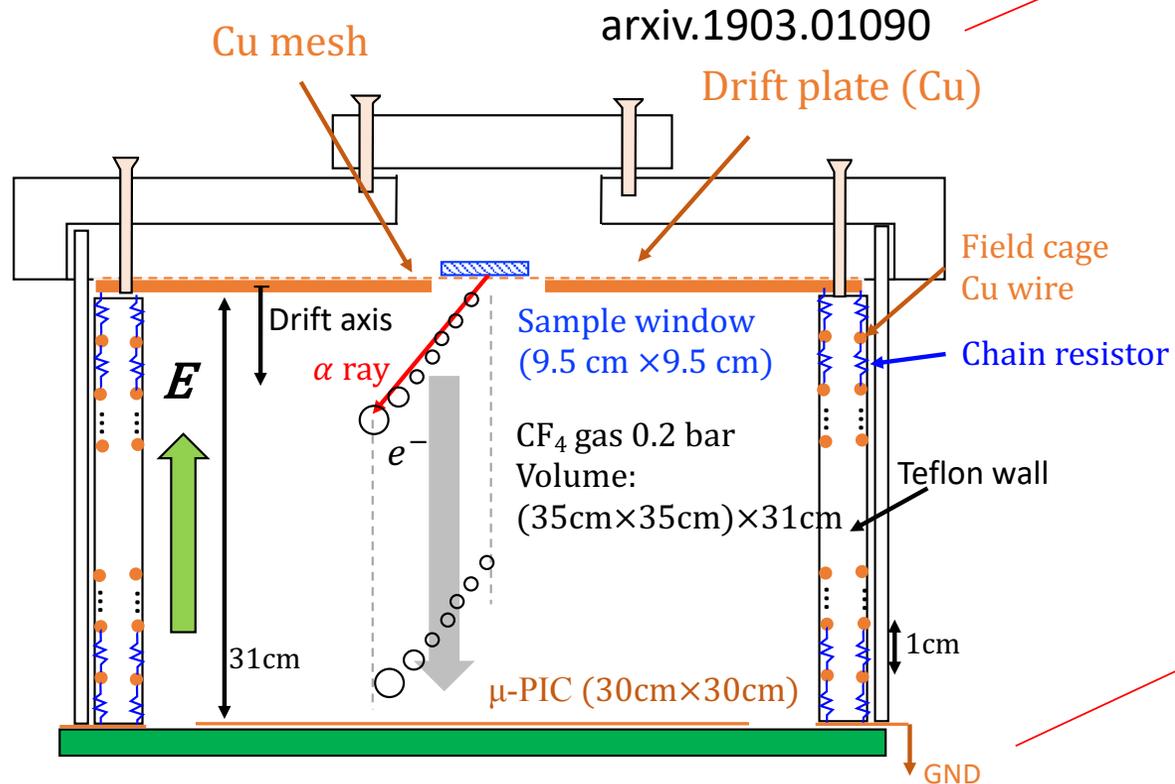
2. アルファ線イメージ分析装置

Alpha-ray imaging chamber (AICHAM)



2. アルファ線イメージ分析装置

Alpha-ray imaging chamber (AICHAM)



- NEWAGE-0.3aをα線測定に特化
- Low-α μ-PICを用いたTPCを採用
- 仕様
 - 位置解像度を持つ (分解能~6 mm)
 - BG事象を同時に測定する
 - 同時にCalibrationもできる
- 達成感度~ 10^{-3} α/cm²/hr (O(0.1~1) ppm U/Th相当)
@目安2週間測定
 - 目標感度 10^{-4} α/cm²/hr (Ultra-Lo 相当)
- Ge測定とは異なり少ないサンプル量でppmレベルで測定できる.

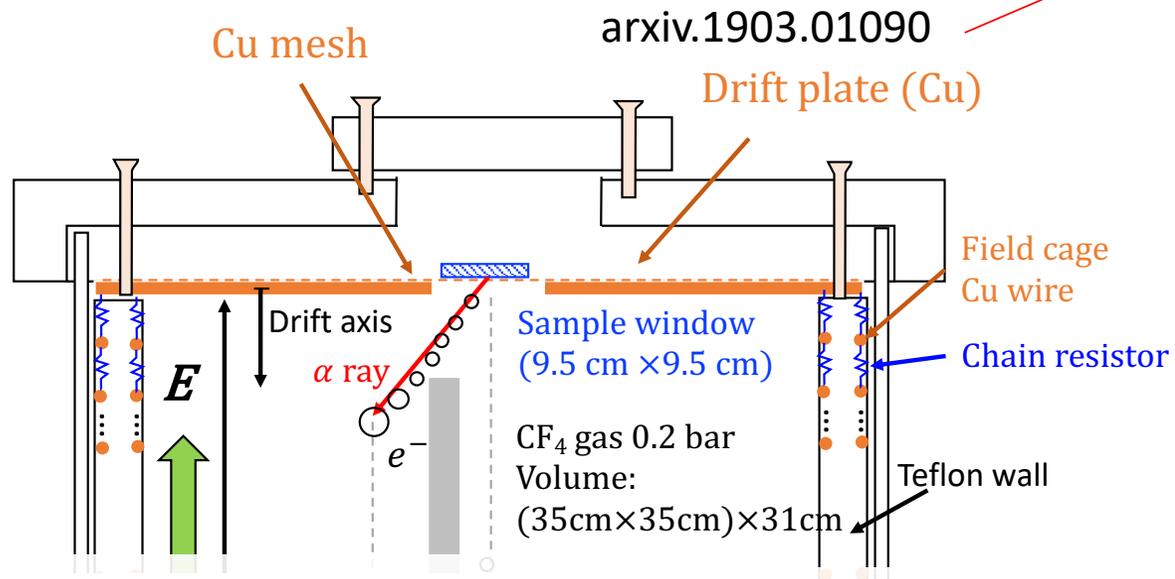
Gas Circulation system

Electronics

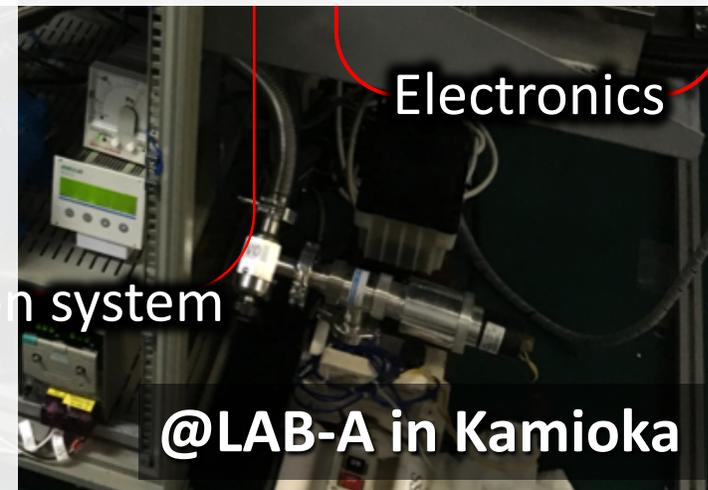
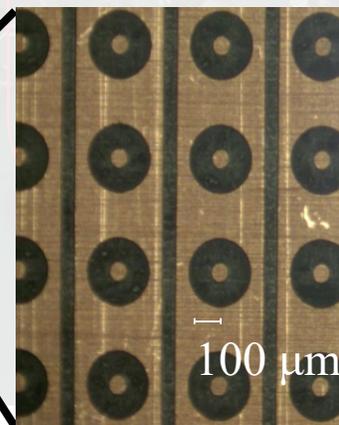
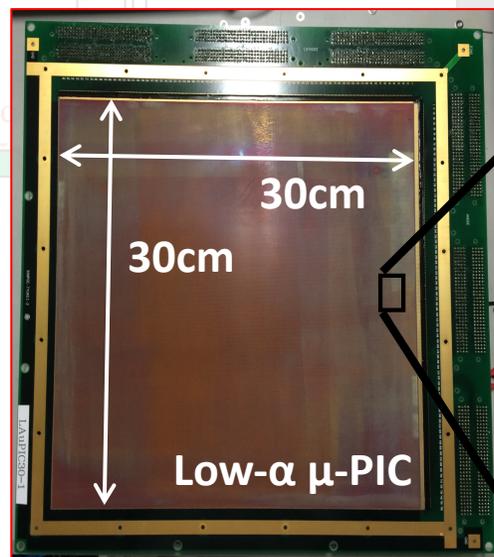
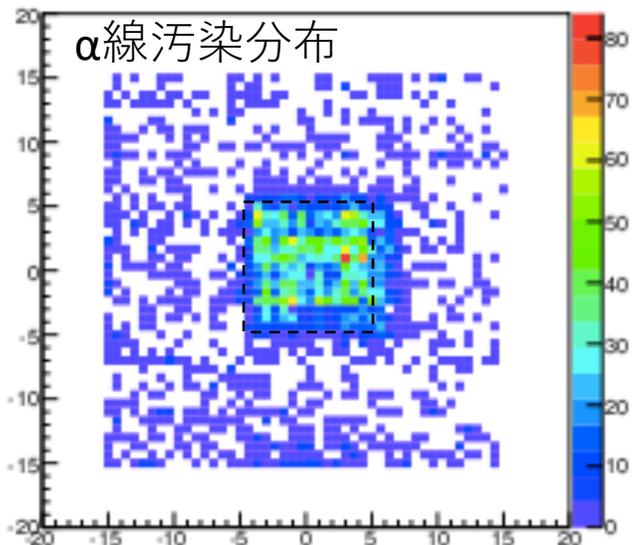
@LAB-A in Kamioka

2. アルファ線イメージ分析装置

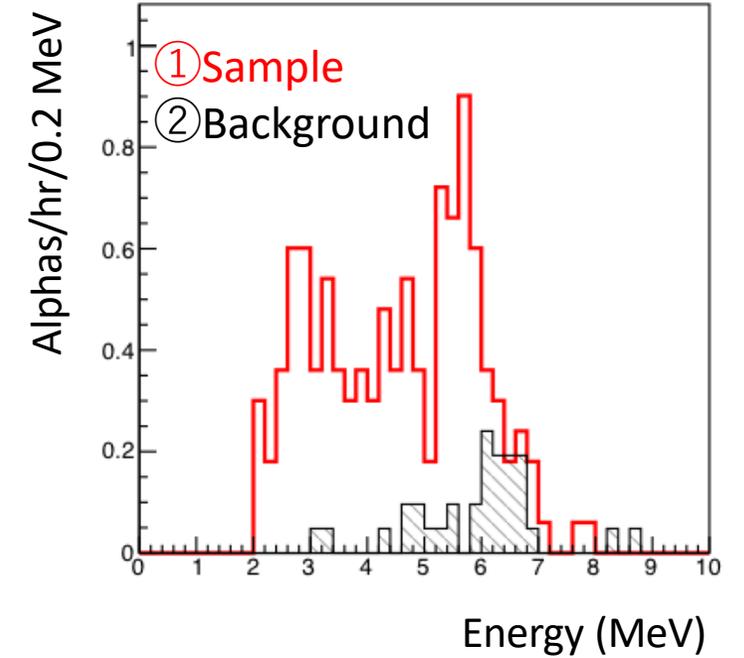
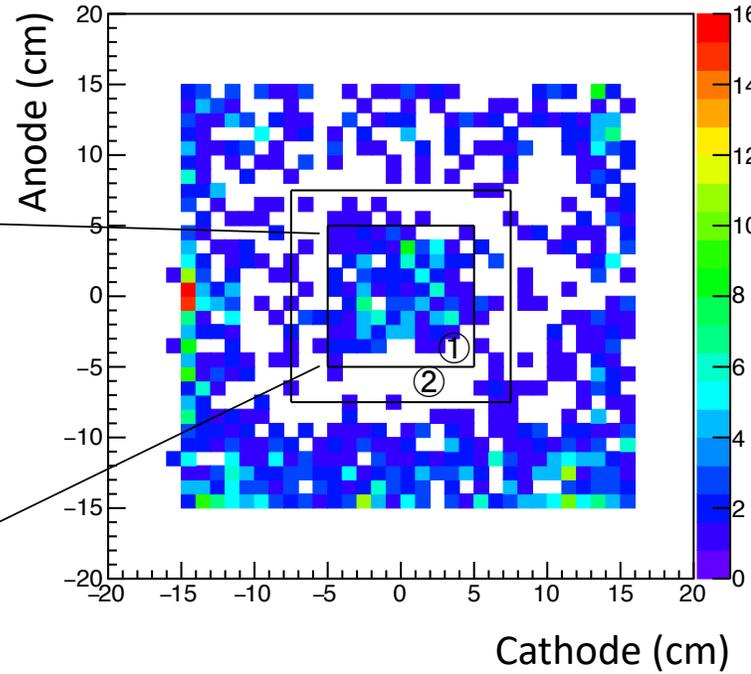
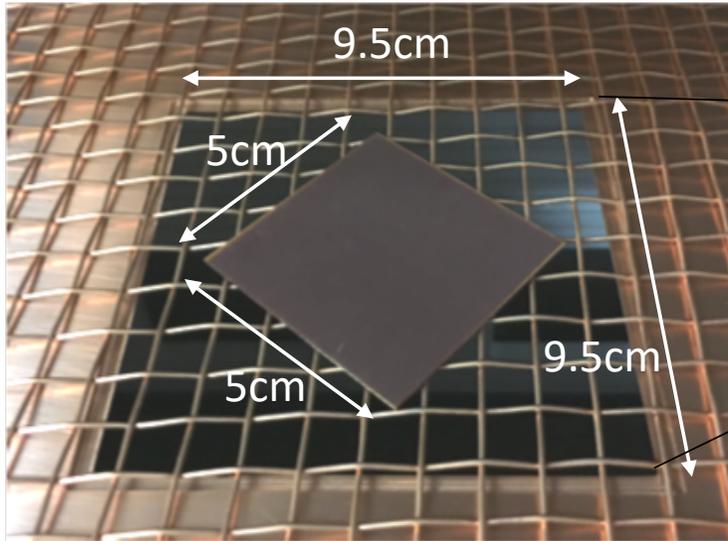
Alpha-ray imaging chamber (AICHAM)



- NEWAGE-0.3aを α 線測定に特化
- Low- α μ -PICを用いたTPCを採用
- 仕様
 - 位置解像度を持つ (分解能 ~ 6 mm)
 - BG事象を同時に測定する
 - 同時にCalibrationもできる
- 達成感度 $\sim 10^{-3}$ $\alpha/cm^2/hr$ ($O(0.1\sim 1)$ ppm U/Th相当)
@目安2週間測定
 - 目標感度 10^{-4} $\alpha/cm^2/hr$ (Ultra-Lo 相当)
- Ge測定とは異なり少ないサンプル量でppmレベルで測定できる。



3. 最近のサンプル測定の実例

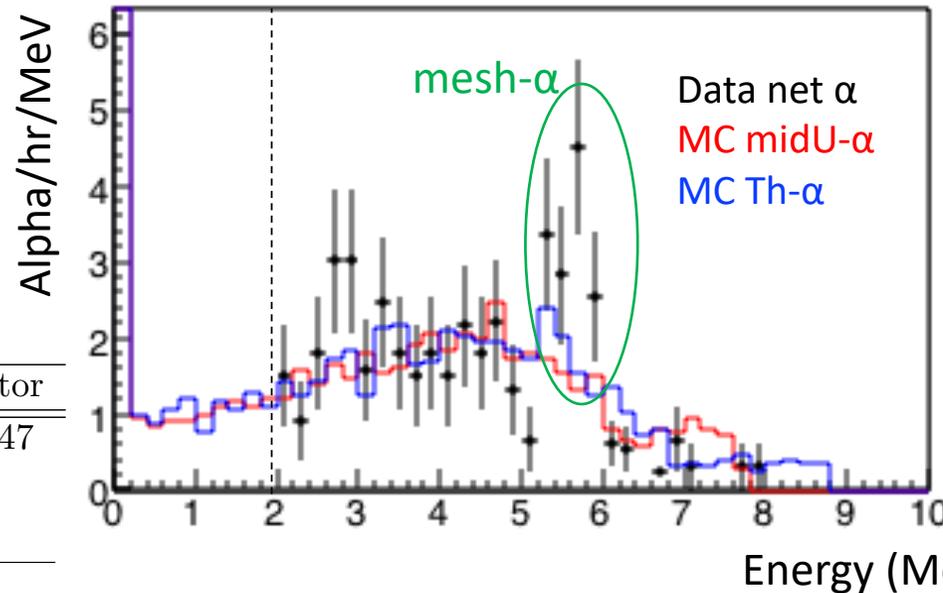


Standard μ -PIC

従来のU/Thを多く含んだ素材

Live time 75.85 hr

$$\Delta\alpha \text{ rate} = (3.57^{+0.35}_{-0.33}) \times 10^{-1} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$$



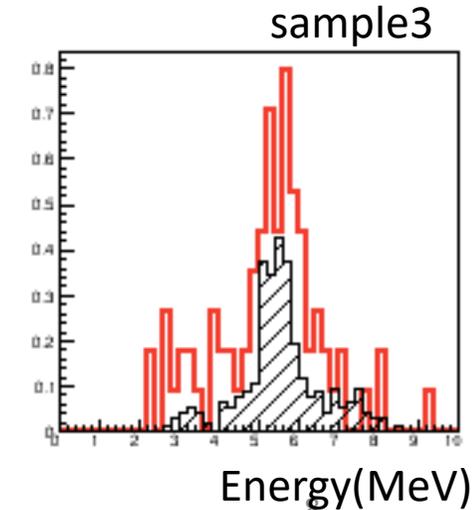
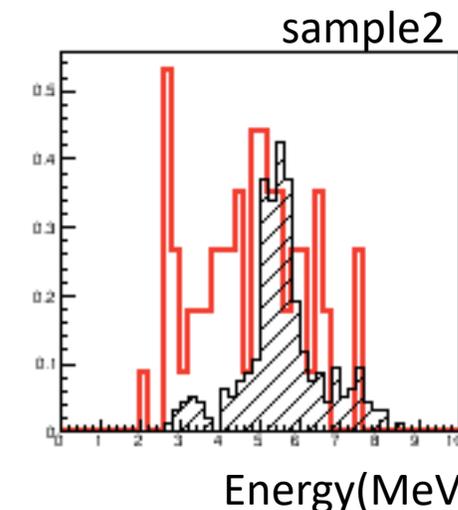
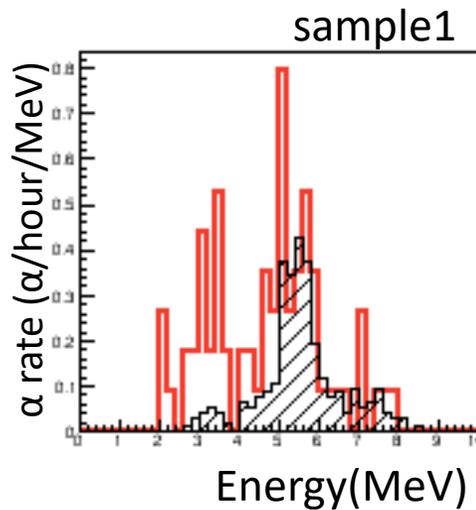
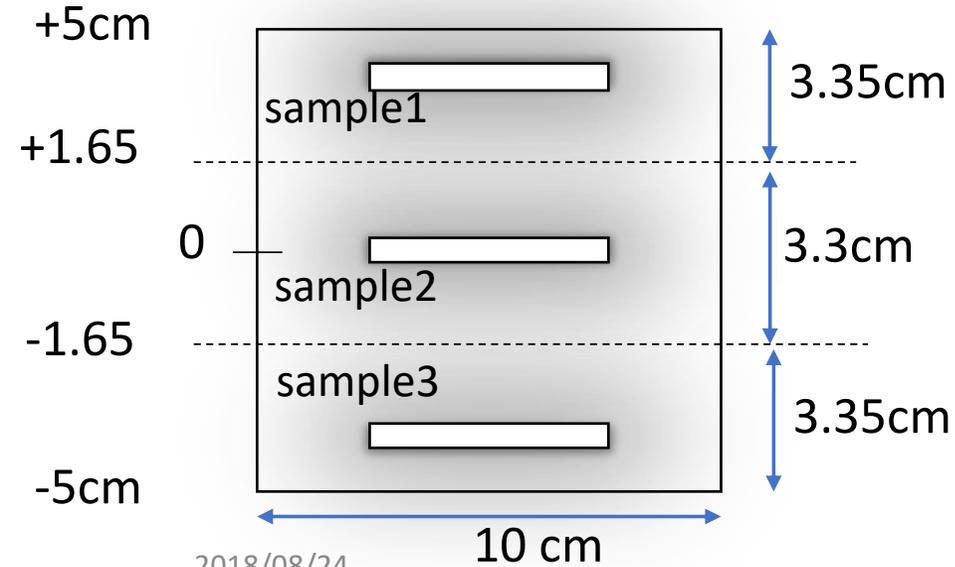
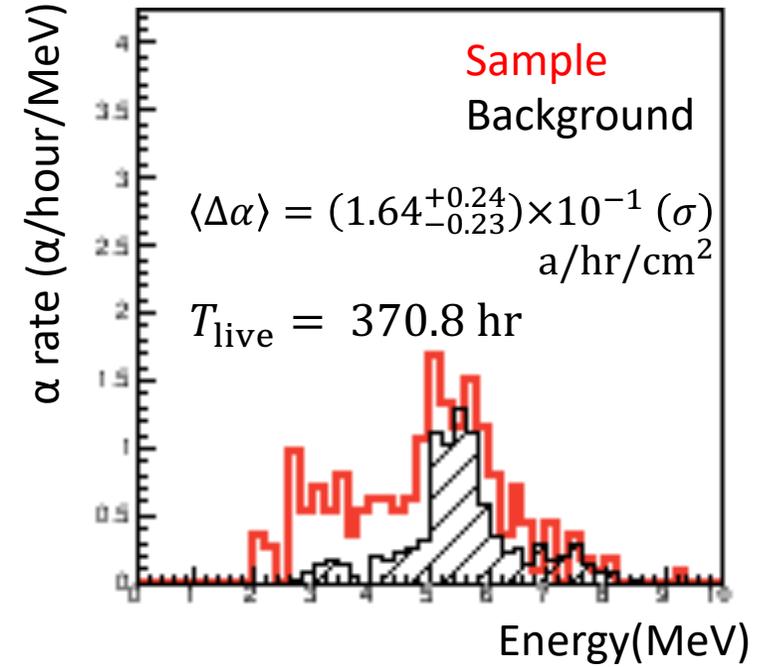
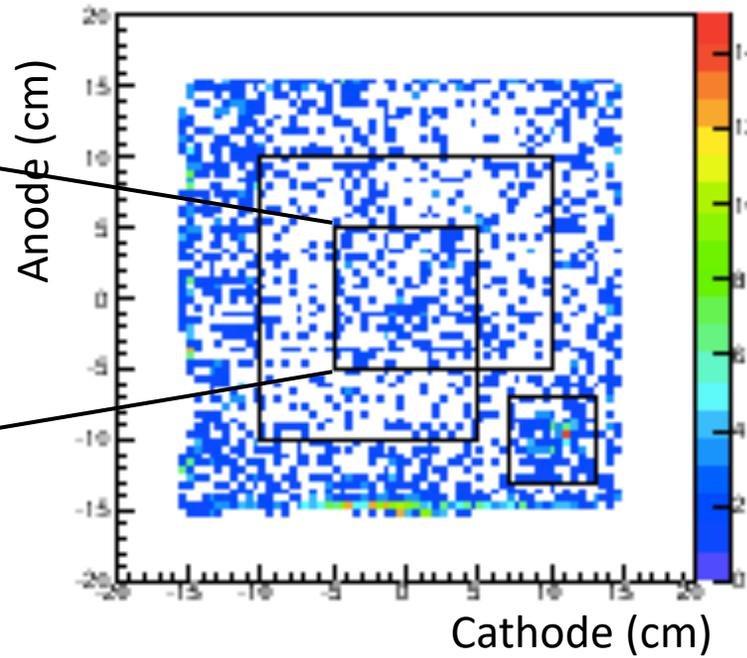
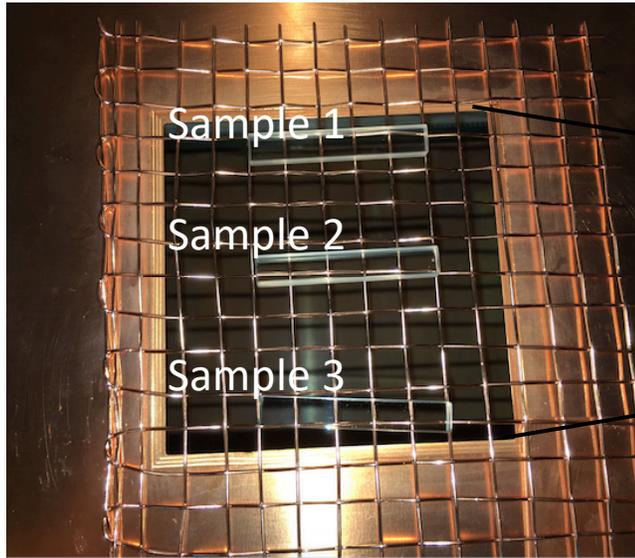
Estimate from α rate
 U ... 3.2 ± 0.3 ppm
 Th... 6.7 ± 0.7 ppm

HPGe measurement
 U: 2.31 ± 0.02 ppm
 Th: 5.84 ± 0.03 ppm

	This work	HPGe detector
Sample volume (cm)	$(5 \times 5) \times 0.098$	$(5 \times 5) \times 2.47$
Sample weight (g)	6.8	169.5
Measuring time (hr)	75.85	308

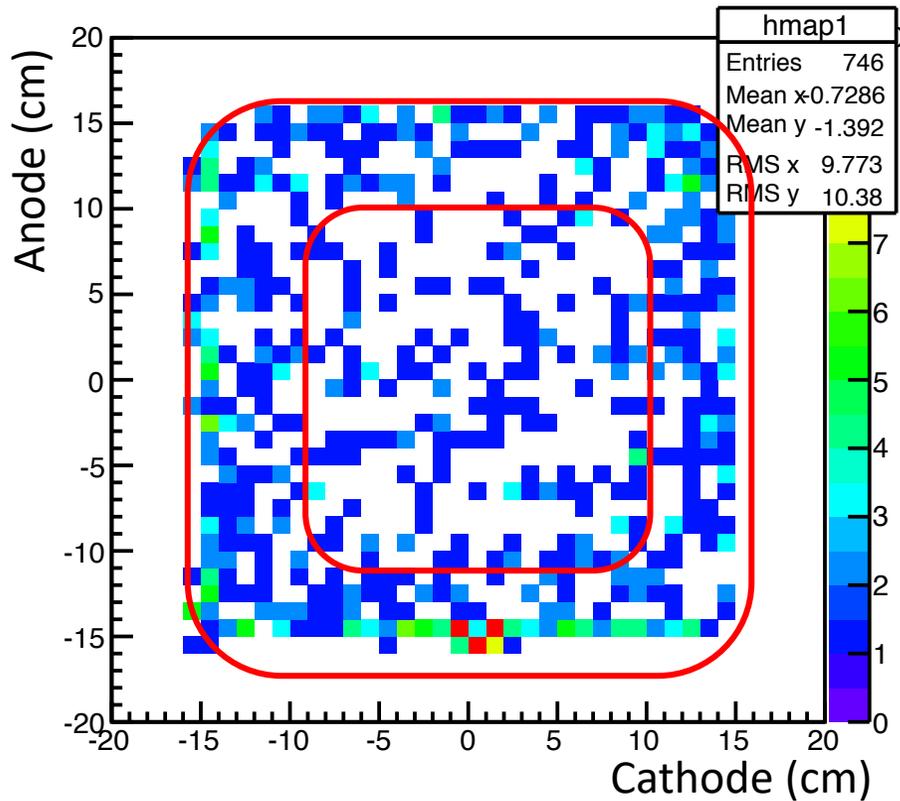
3. 最近のサンプル測定の実例

PMTガラスサンプル3種類同時測定



$\Delta\alpha = (1.60^{+0.67}_{-0.65}) \times 10^{-1} \alpha/\text{hr}/\text{cm}^2$
 $(1.45^{+0.67}_{-0.65}) \times 10^{-1} \alpha/\text{hr}/\text{cm}^2$
 $(1.87^{+0.68}_{-0.65}) \times 10^{-1} \alpha/\text{hr}/\text{cm}^2$

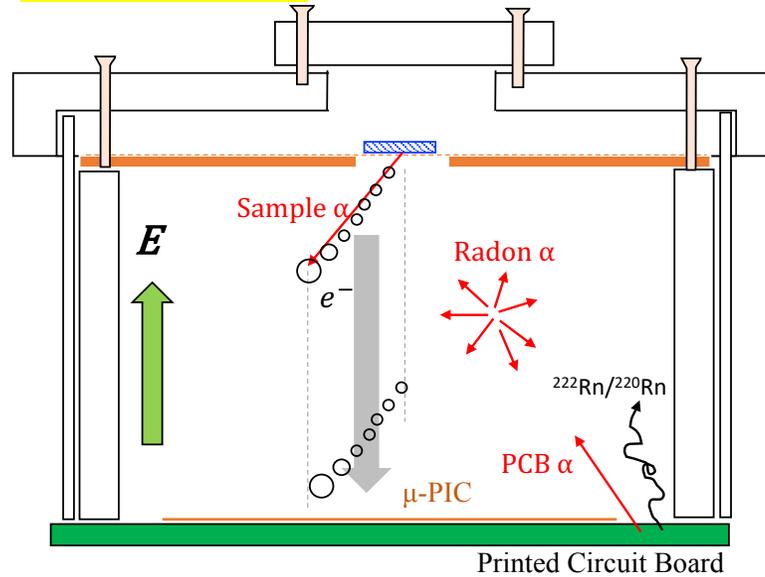
3. 最近のサンプル測定の実例



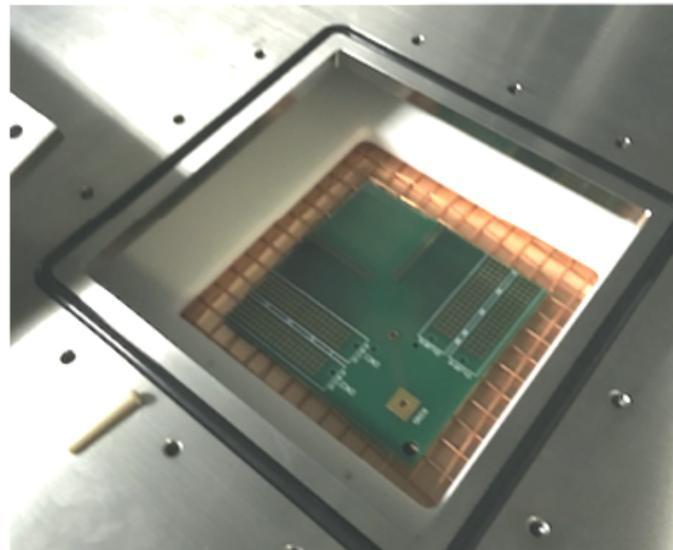
- 端からうへむきに α 線が出ている.
- プリント基盤(PCB)がU/Thを含み α 線を出している.
- NEWAGE検出器でも同じPCBを使ってる.
- 綺麗なPCBに変える必要がある.

2018/08/24

プリント基盤

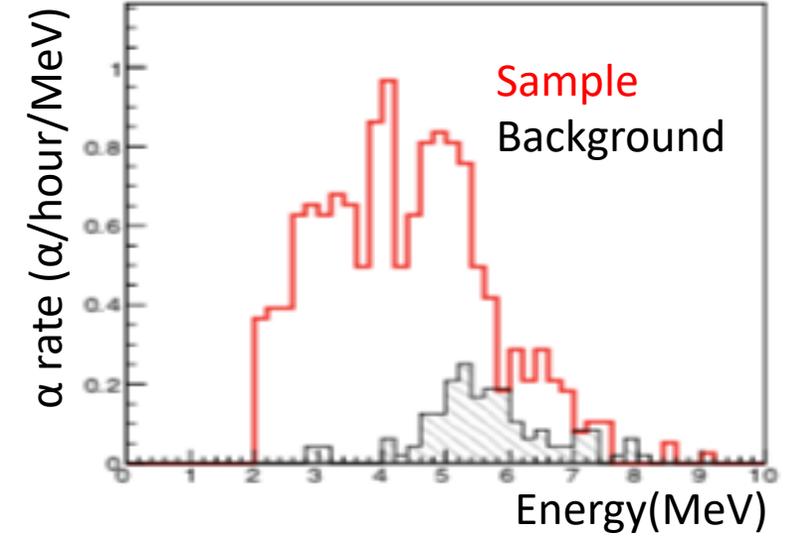


プリント基盤



Live time = 176.76hr

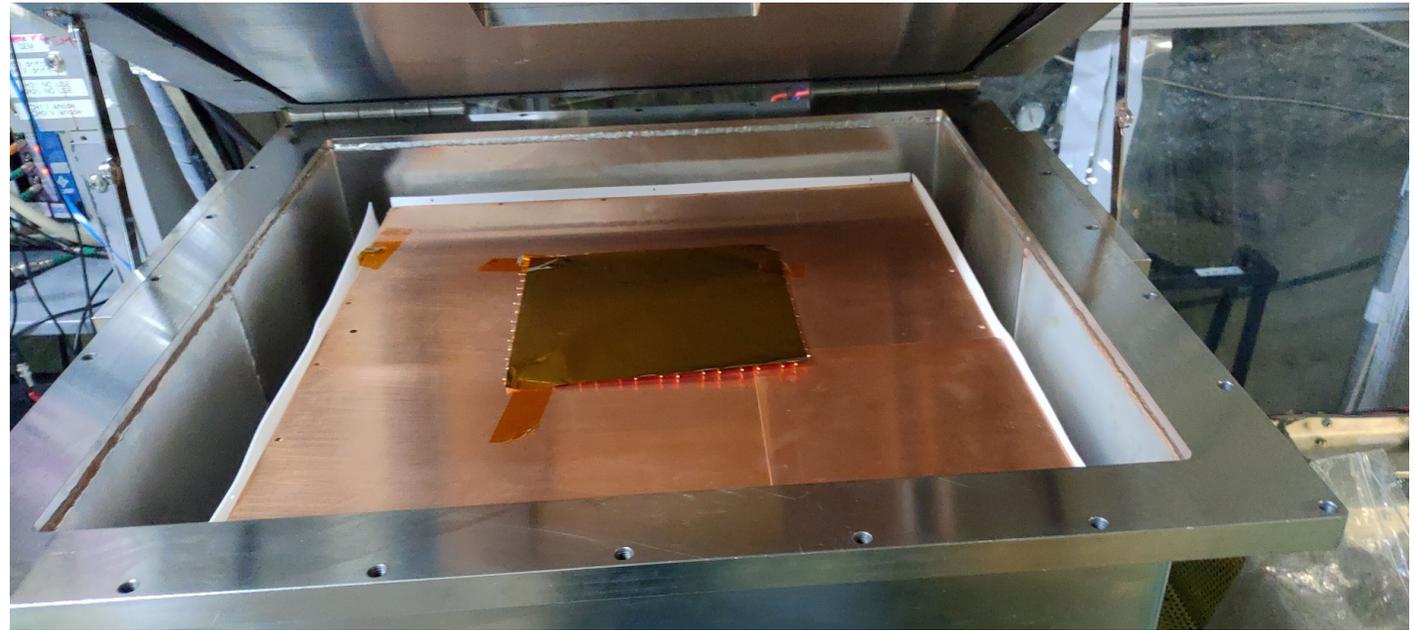
α rate = $(1.16_{-0.10}^{+0.11}) \times 10^{-1}$ a/hr/cm²



3. 最近のサンプル測定の実例

Cu+Kaptonシート サンプル

For PCB in Next NEWAGE detector



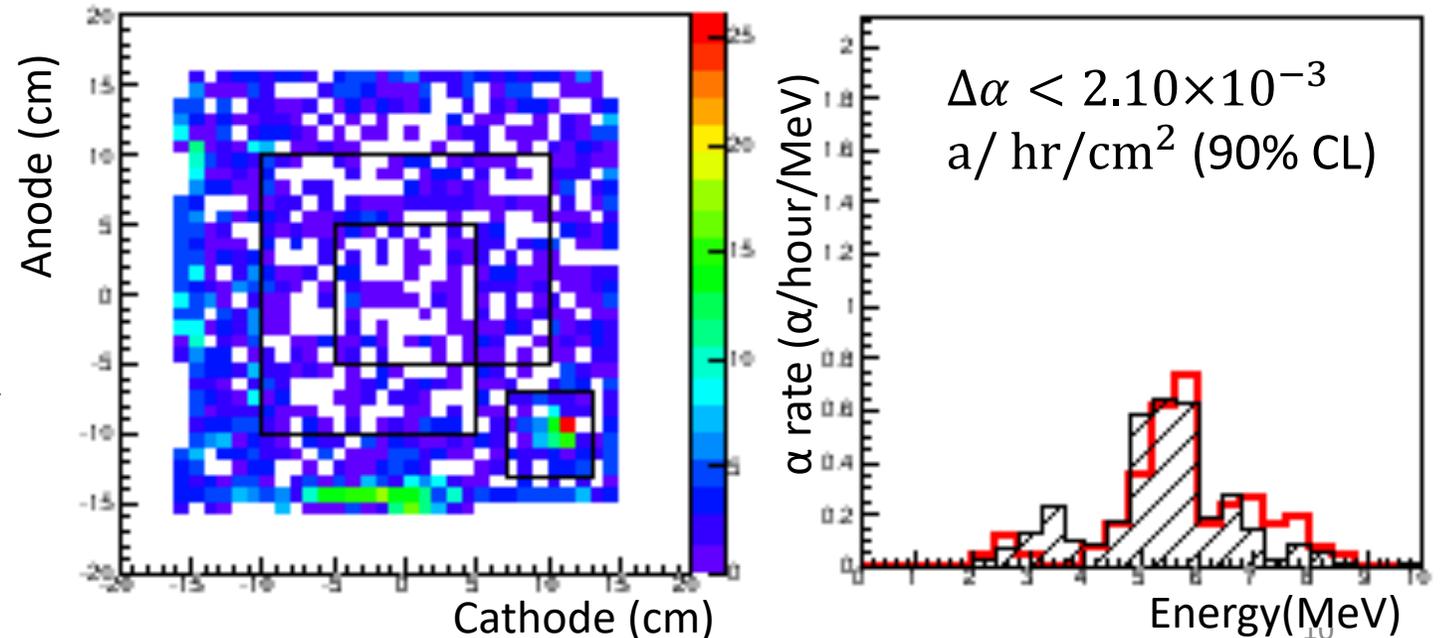
2019/07/19 16:34~2019/08/01 10:57

Eff time = 297.9 hr,

Sample size = 100cm²

- $\Delta\alpha < 2.10 \times 10^{-3}$ a/ hr/cm² (90% CL)なので新PCBの候補として有力
- まだCu側だけ測って、反対側は近日中に実施予定

2018/08/24



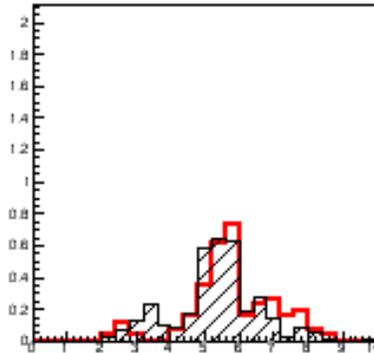
4. 今後の計画

AICHAMはUltra-Loの感度限界と同等以上のポテンシャルを持っている!?

Ultra-Lo: 感度限界 10^{-4} alpha/cm²/hr @ eff area ~707cm²
 AICHAM: 感度限界 10^{-3} alpha/cm²/hr @ eff area ~100cm²

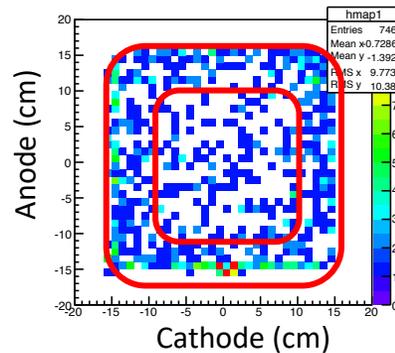
冷却活性炭の実装

- 主にRadon- α が支配的なBG
- ²²²Rnは冷却活性炭の実装で99%は落とせる。



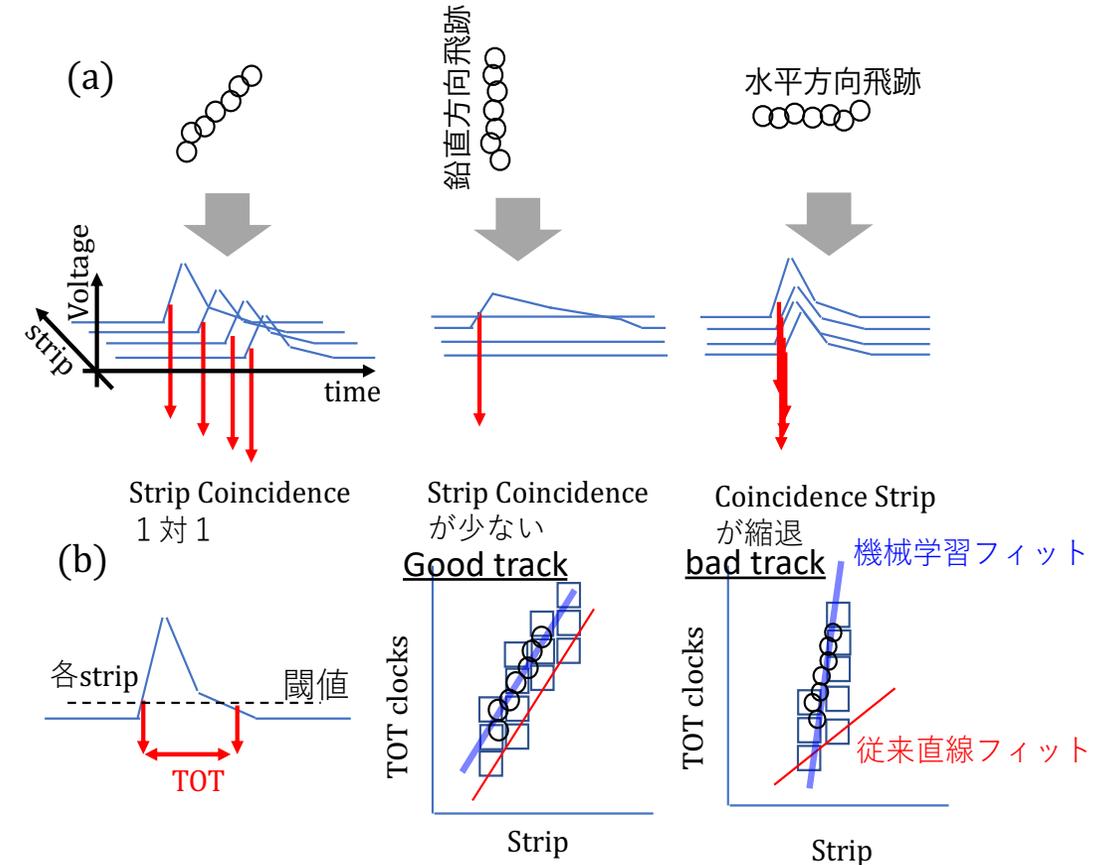
New μ -PIC & PCBの実装

- 端のPCB- α が消えればsample領域を拡張できる。
- 素材中の不純物を減らすことで²²⁰RnのBGをも抑制できる。
- 新素材候補のスクリーニングはすでに初めている。



飛跡再構成のアルゴリズム改良

- 今の検出効率 $\sim 20\%$... Good trackを選択しているから
- TPCは軸に沿った飛跡再構成が弱い。垂直 α はそのまま救えるが、水平 α のために改良が必要。機械学習が使えないか。Factor 2~3改善する。



5. まとめ

- NEWAGE-0.3aを改良してアルファ線イメージ分析装置AICHAMを開発している。arxiv.1903.01090
- いくつかサンプルを測定してきた。
 - 連続エネルギースペクトラムなのでRI同定はこんなのだが、Ge測定の結果と矛盾しない。
 - 3種類のサンプルを同時に測定できた。
 - 端からの α 線がプリント基板由来であることも発見し、次検出器開発へフィードバックした。
 - 新素材候補のスクリーニングも始めている。
- 新 μ -PIC + PCBの実装、冷却活性炭の実装、飛跡再構成アルゴリズムの改良により目標感度 10^{-4} alpha/cm²/hr以下に達成する。