

神岡宇宙素粒子研究施設 談話会
2019年6月10日

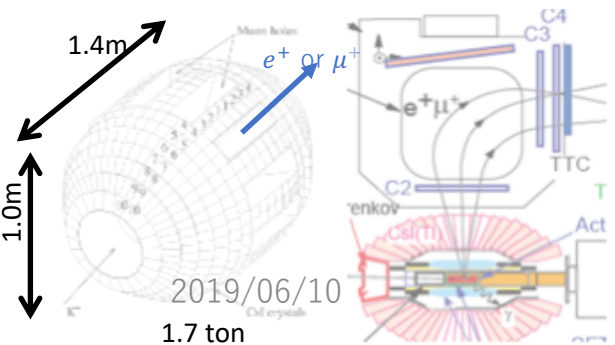
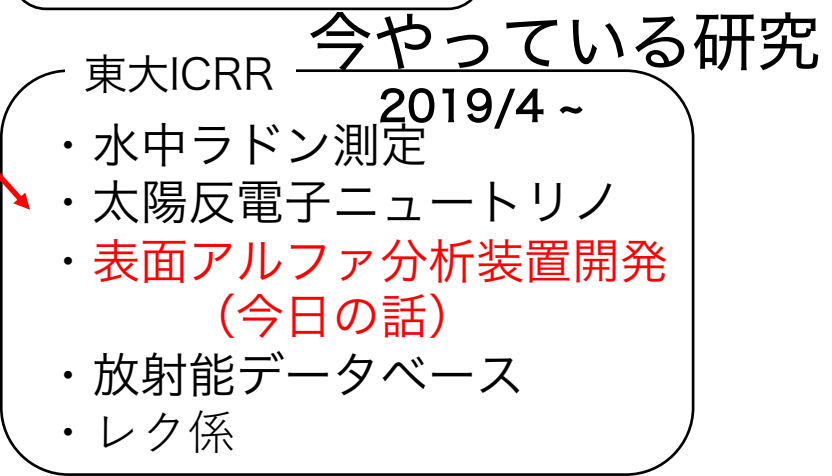
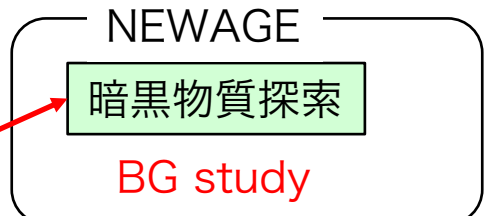
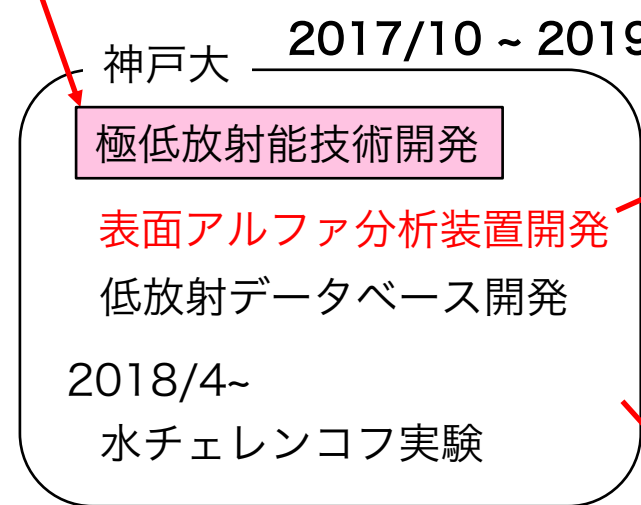
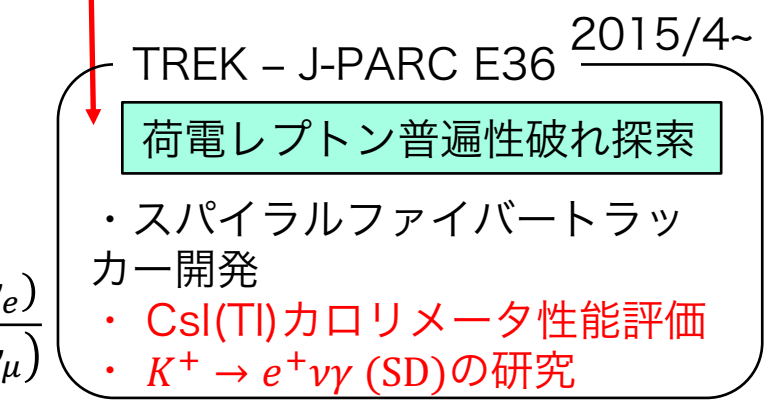
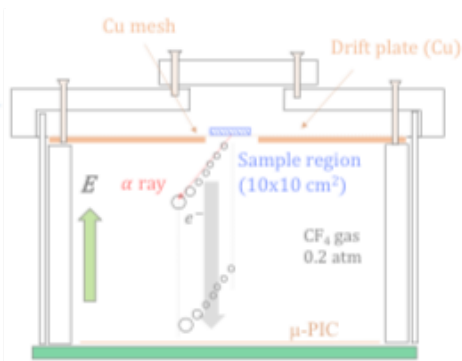
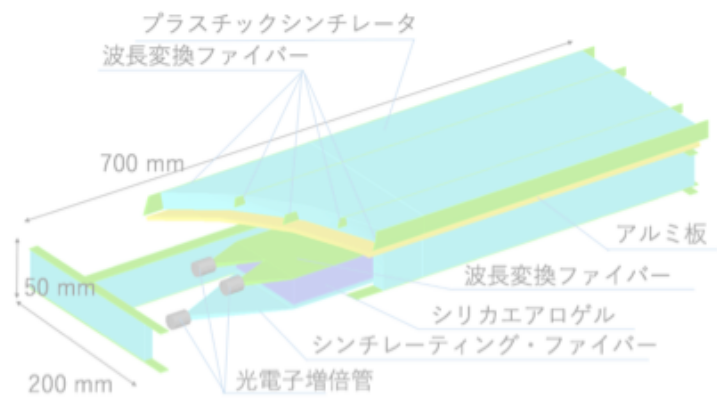
表面 α 線分析装置の開発 Development of an Alpha-ray Imaging Chamber

伊藤 博士

内容

- これまでの研究(今やっていること)
- 表面 α 線分析装置
- 今やっている課題と対策

これまでの研究



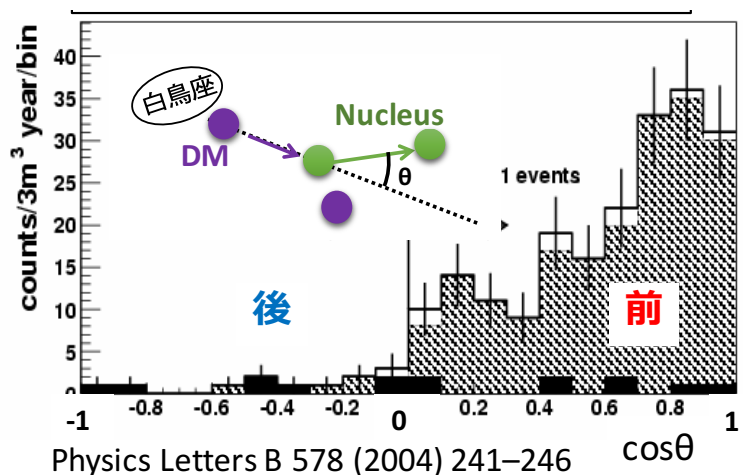
Persephone
Material Assay Database

Grouping	Name	Isotope	Amount	Isotope	Amount
XMASS	PMT holder spacer	Th-232	-0.08 mBq/kg	U-238	0.34 mBq/kg

表面α線分析装置

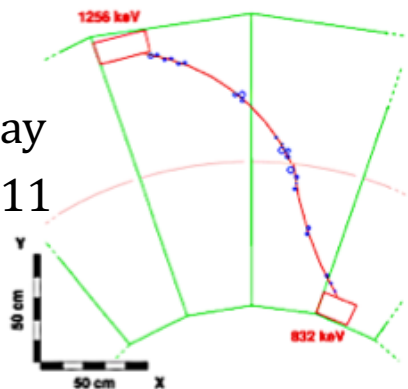
α線汚染画像の必要性

方向感度を持つ暗黒物質探索



飛跡検出による二重ベータ崩壊探索

NEMO3 Event display
PRD92(2015)072011



他に使い道は？

- 半導体メモリ業界では、感度 $<10^{-3}$ alpha/hr/cm²の需要がある. はんだなどの素材がまだ汚いらしい.
- 感度 10^{-3} alpha/hr/cm²はU/Thでいうとppmレベル.
- Y野さんからガラス試料測定を請け負っている.
 - Fiducialを分割すれば一度に3個測定可能.

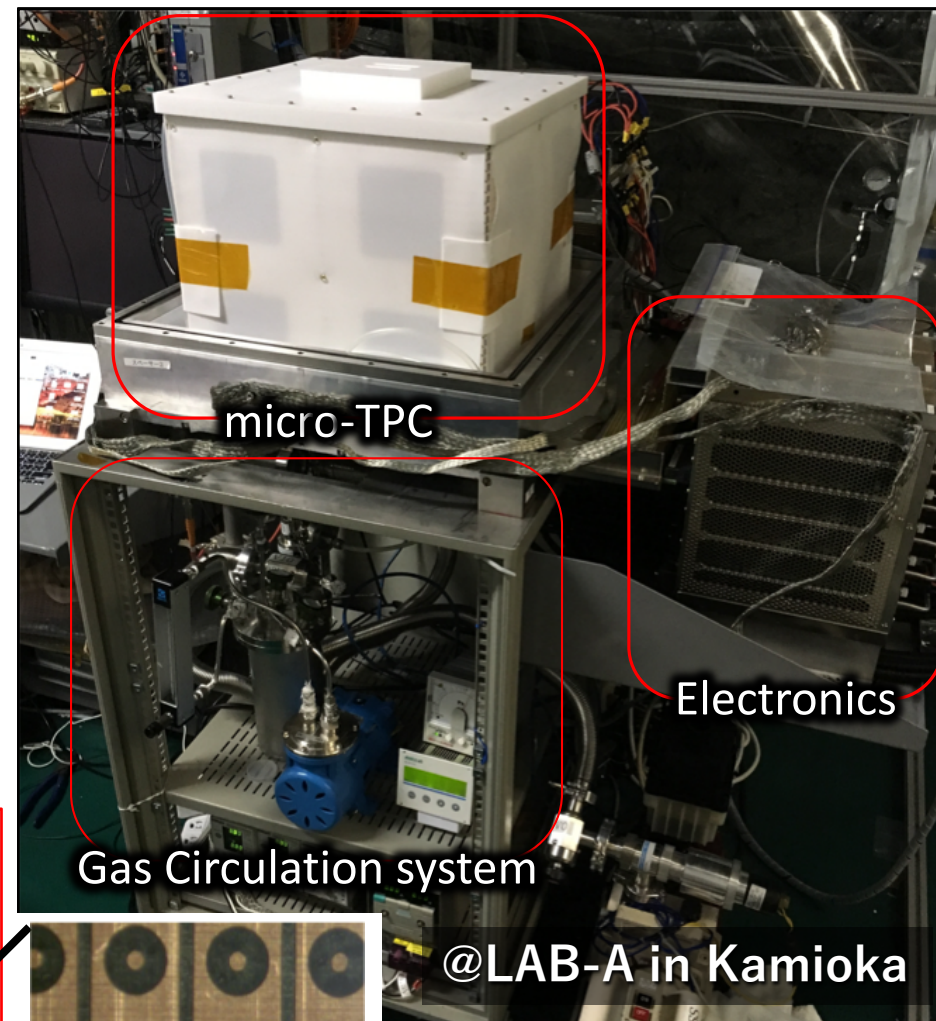
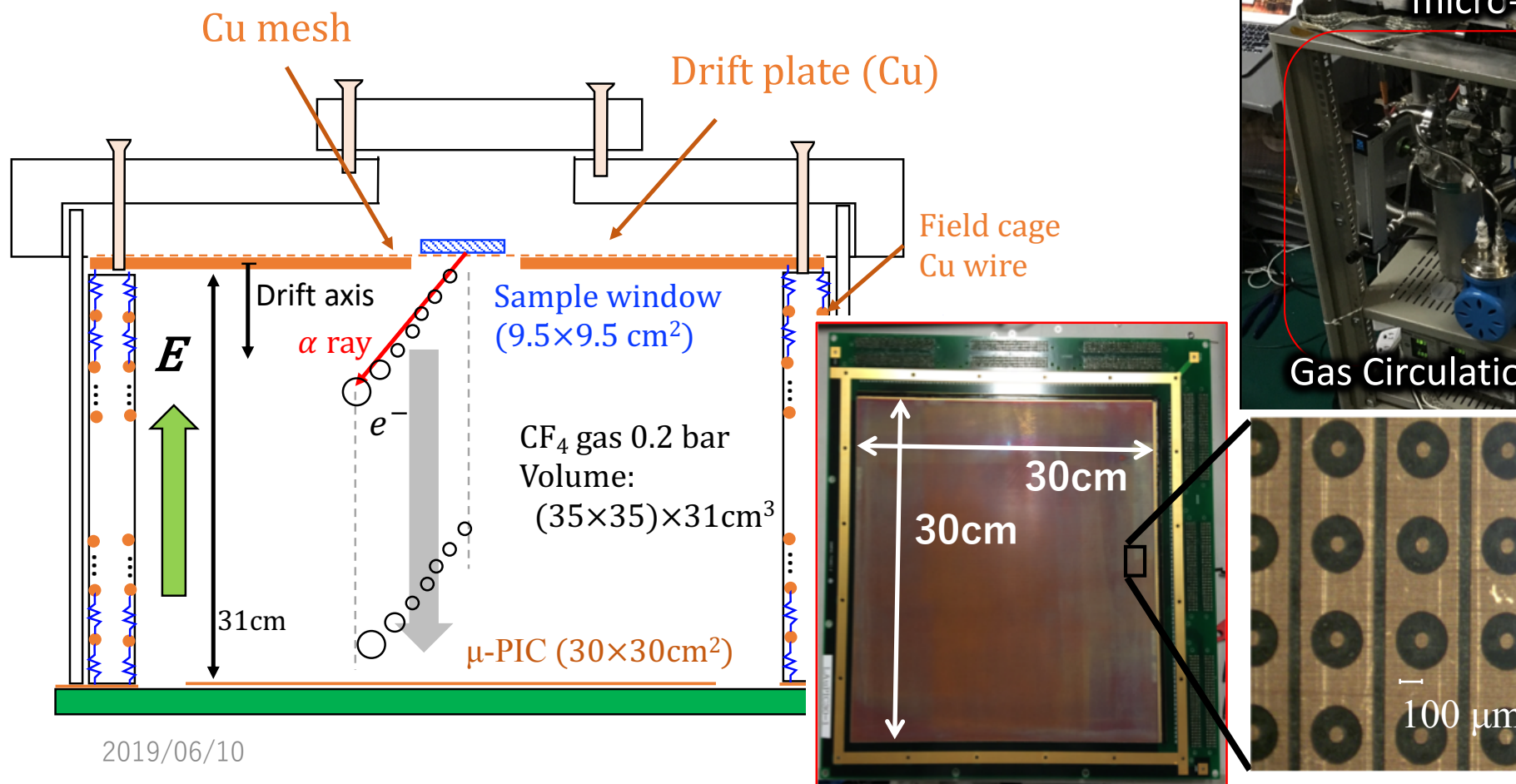
表1. α線装置の仕様比較

	現在の本装置	ZnS(Ag)+Si-PM	Ultra-Lo 1800
検出原理	ガスTPC	シンチレーション光	ガス電離箱
有効面積	10 cm × 10 cm	8 mm × 8 mm	2,600 cm ²
位置分解能	7 mm(σ)	0.2 mm(FWHM)	—
エネルギー分解能	7%(σ)@5.3MeV	74%(FWHM)@5MeV	4.7%(σ)@5.3MeV
感度限界	10^{-3} a/cm ² /hr	0.06 counts/min	10^{-4} a/cm ² /hr
検出効率	21%	0.3%	99.75%

表面 α 線分析装置

愛称：AI-cham (α -ray imaging chamber)
NEWAGE-0.3a装置を α 線測定に特化改良している。

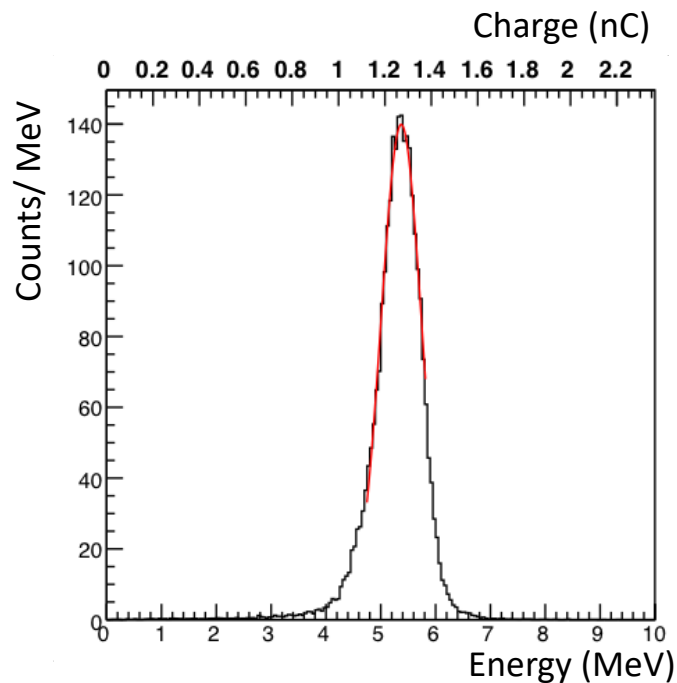
[arXiv:1903.01090](https://arxiv.org/abs/1903.01090)



AIP Conf. Proc. **1921**,
070001 (2018).

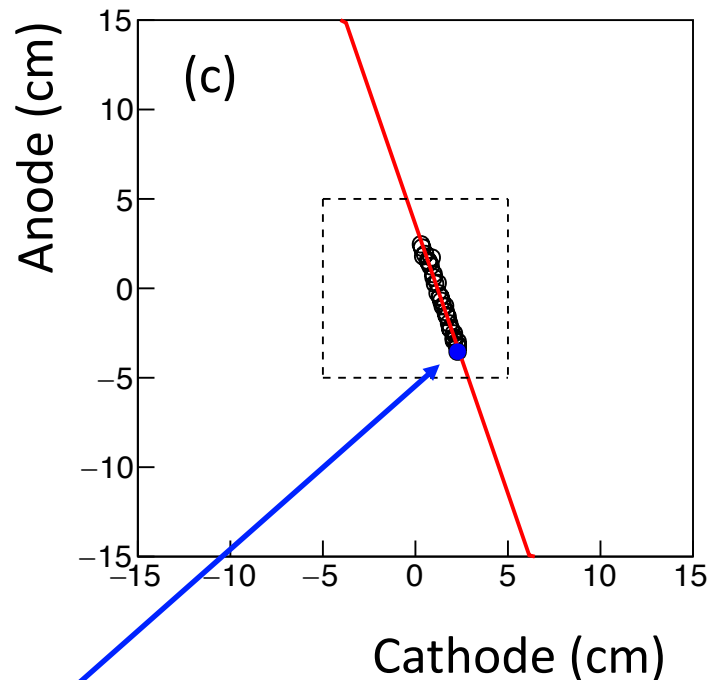
表面 α 線分析装置

性能評価測定

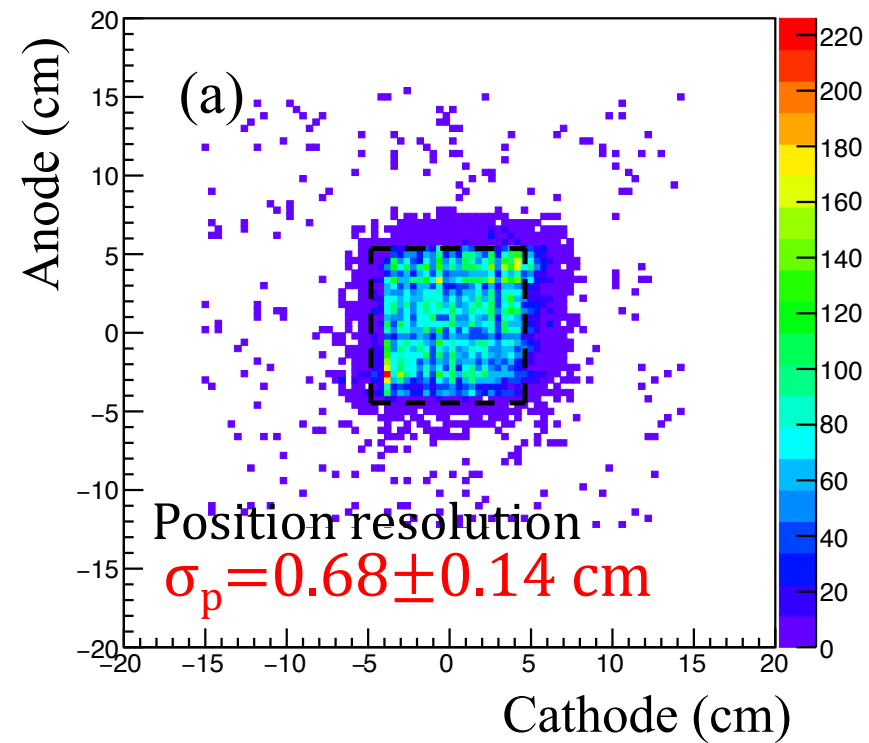
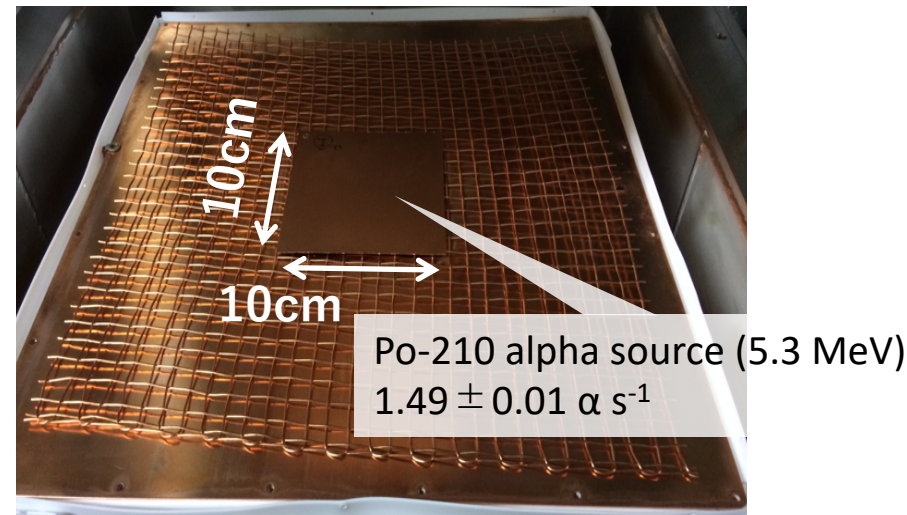
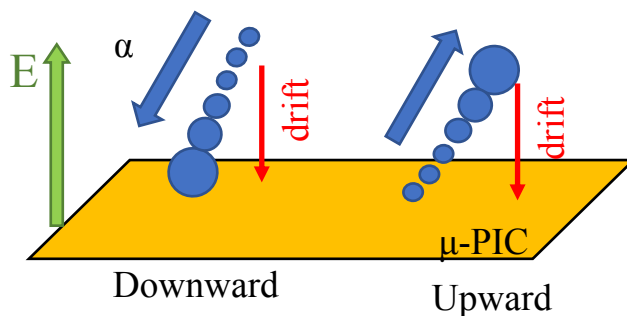


Energy calibration
& resolution estimate

$$\sigma_E = 6.7\% (5.3 \text{ MeV})$$

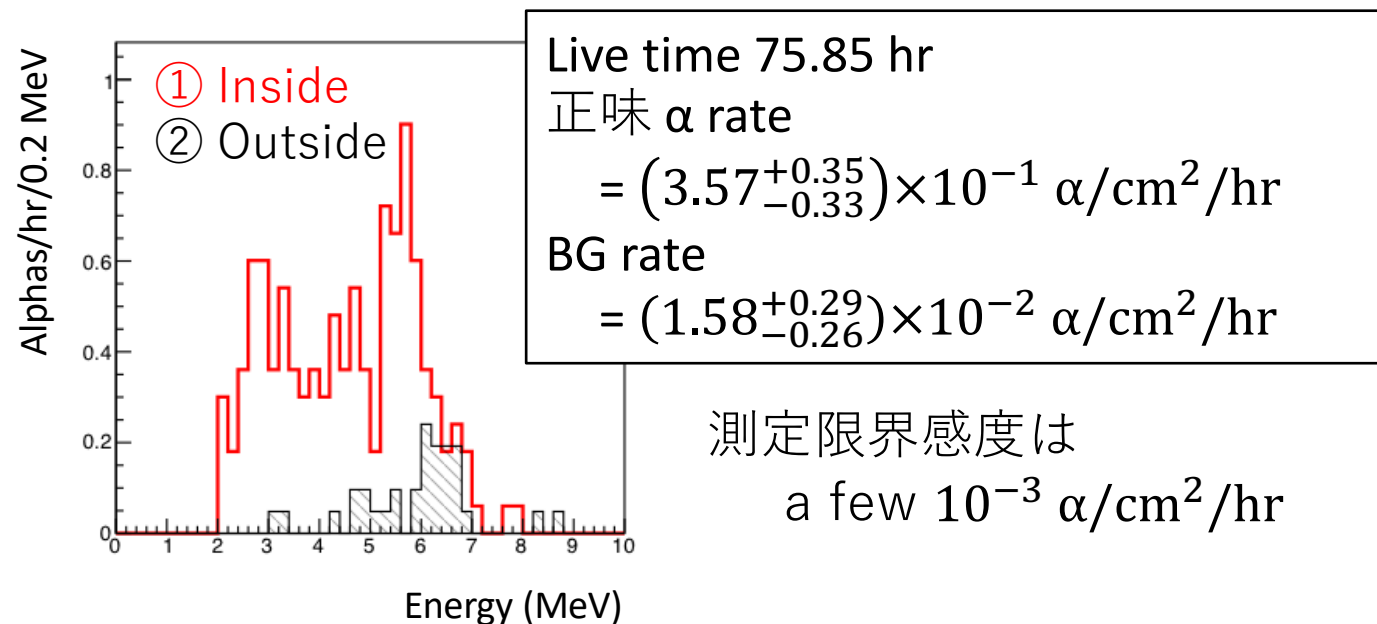
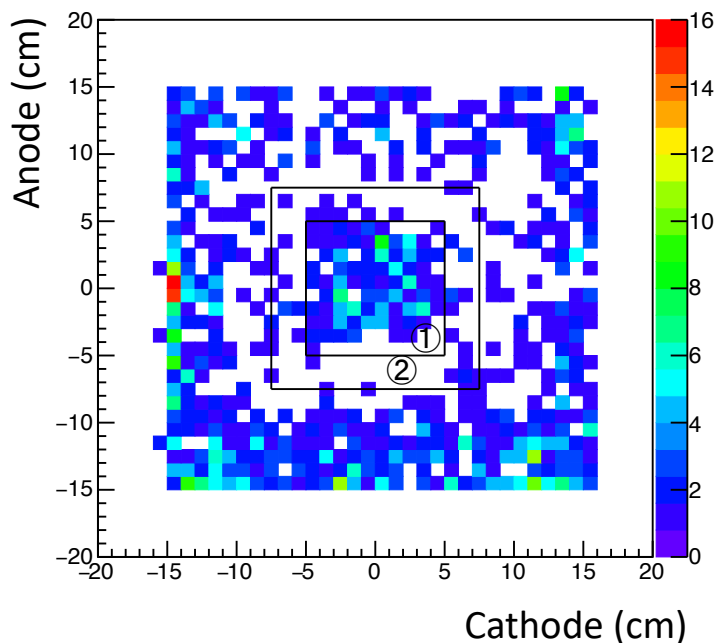
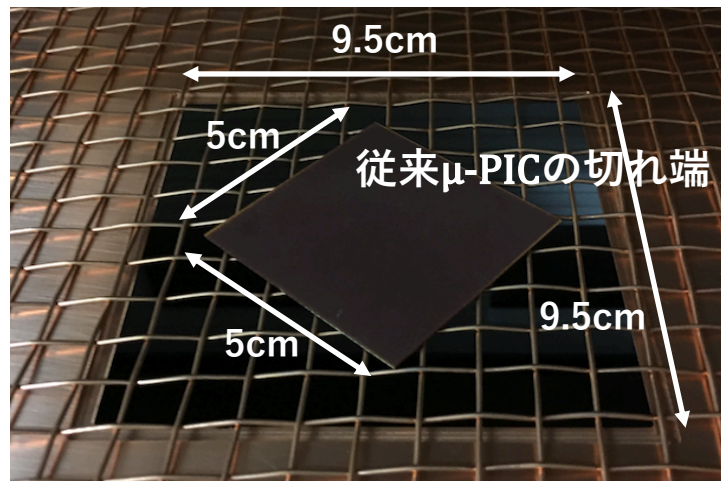


Track-sense determination

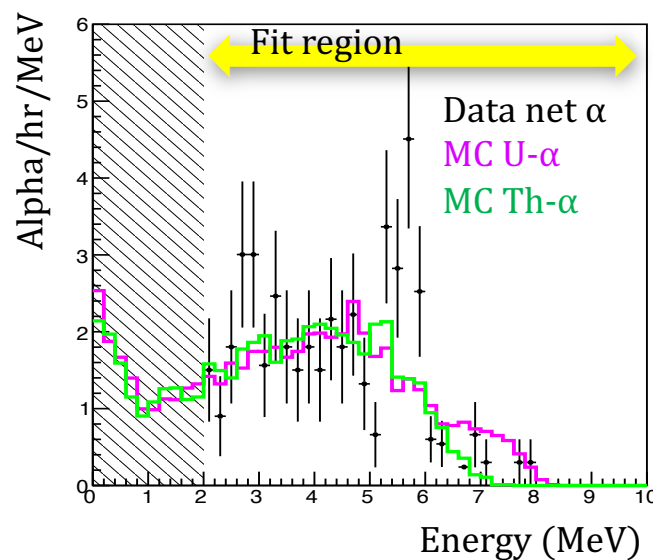


表面α線分析装置

サンプル検査



測定限界感度は
a few $10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$



MCを用いて濃度見積もり

U $\cdots 3.0 \pm 0.7 \text{ ppm}$

Th $\cdots 6.0 \pm 1.4 \text{ ppm}$

HPGe測定結果

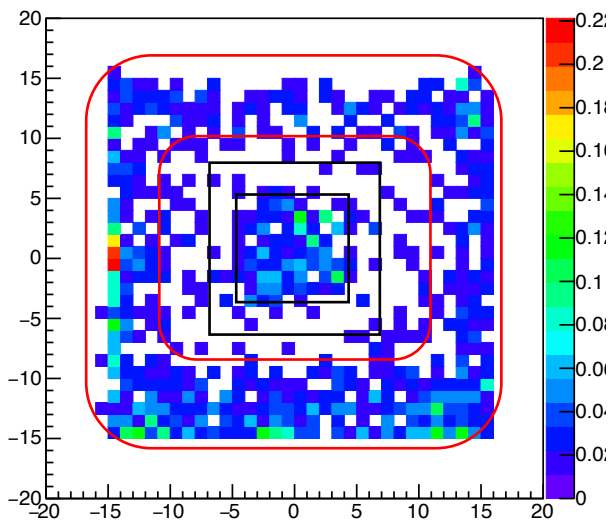
U: $2.31 \pm 0.02 \text{ ppm}$

Th: $5.84 \pm 0.03 \text{ ppm}$

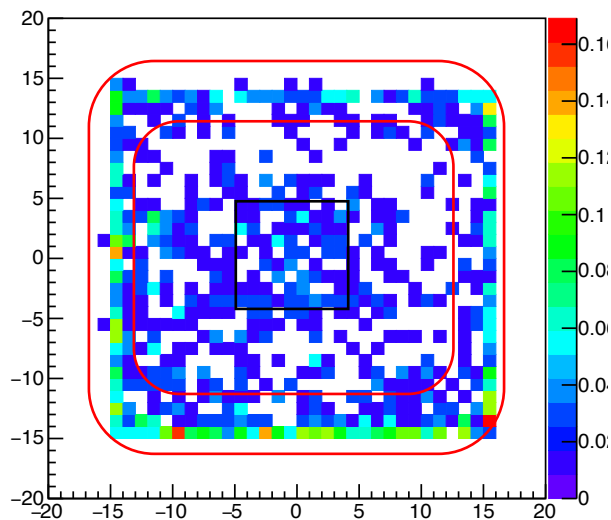
今やっている課題と対策(1/4)

PCB- α バックグラウンド

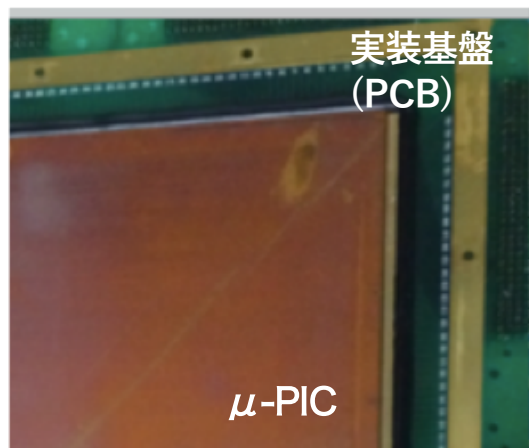
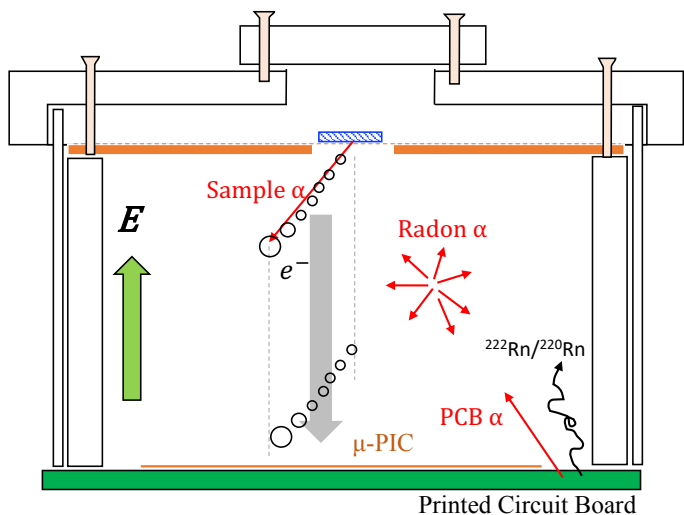
Top of alpha track



Bottom of alpha track



PCB基盤の上4辺にアキレスビニラスを貼った。



PCB基盤：綺麗な素材を使用

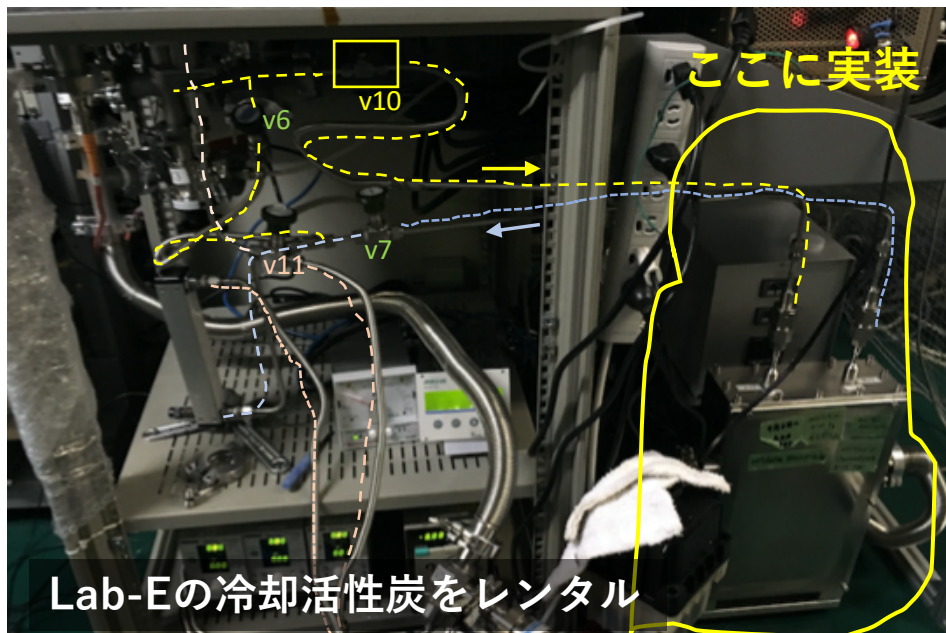
DNP社、他社と製作打ち合わせ中

今やっている課題と対策(2/4)

Radon- α バックグラウンド

- 主なBGはラドン
 - ラドン源1：実装プリント基盤
 - ラドン源2： μ -PIC下層の絶縁体
 - アウトガス？
- => 冷却活性炭の導入が近道

冷却機電源雑音問題 症状



原因可能性

- 配管から導通してGNDを揺らす？
- 電源を介してGNDを揺らす？
- 電波の影響？

配管を外して電源ON

=> 雑音消えず、でもレートは軽減した。



冷却機電源オペレータは10Aも使うみたい

=> TPCへ繋がる電源にノイズカットフィルターを通す

=> 雑音消えず。FADC波形は綺麗に、eff改善

冷却機にアルミホイルを巻いたが、雑音は減らず、

Lab-A 配線の遠い箇所

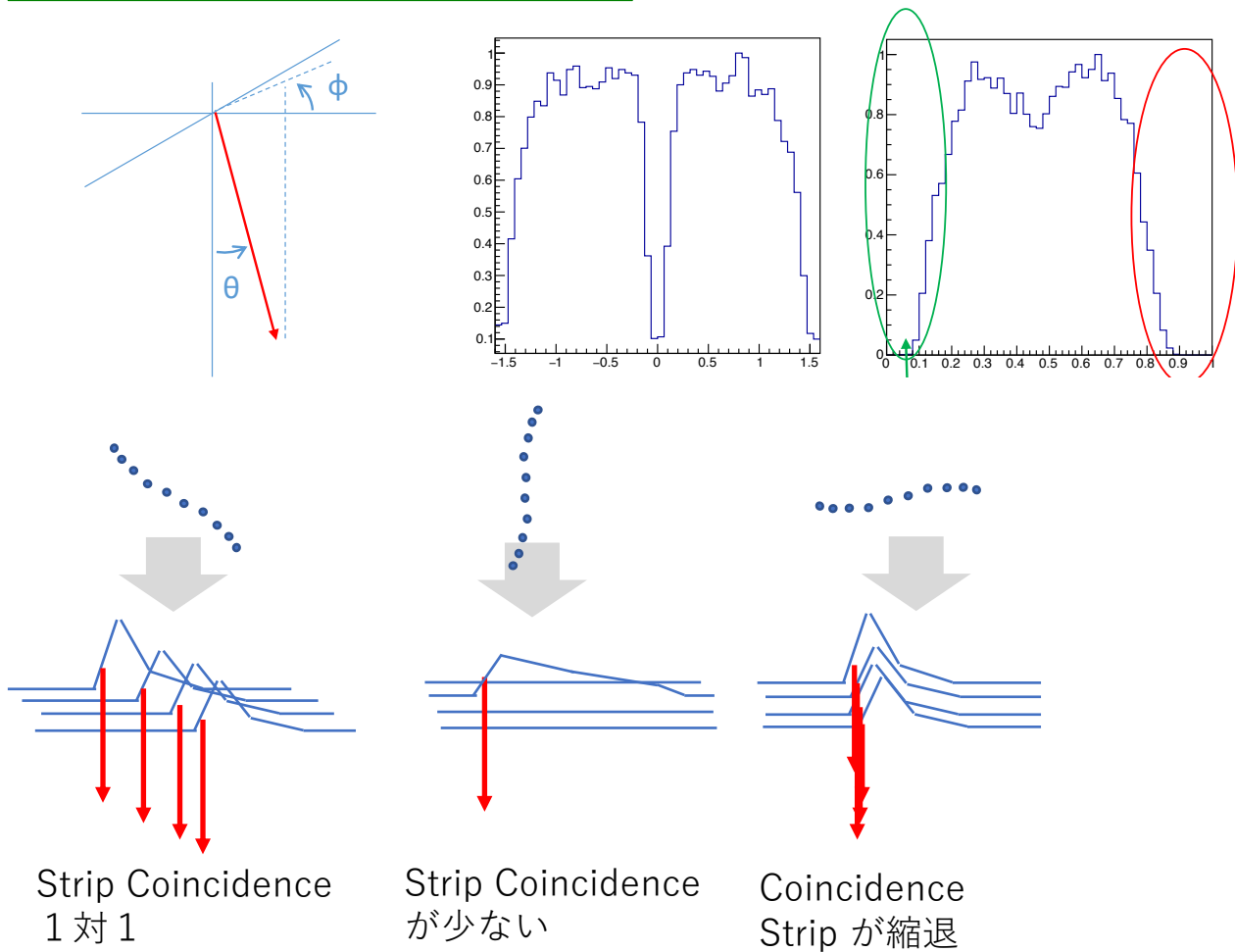
冷却機電源をoutlet1, 2, 3に繋いでみたが解決せず。

冷却機電源アースは電源を入れると300mV GNDから沈む。
… リターン電流が起きて雑音になっている？

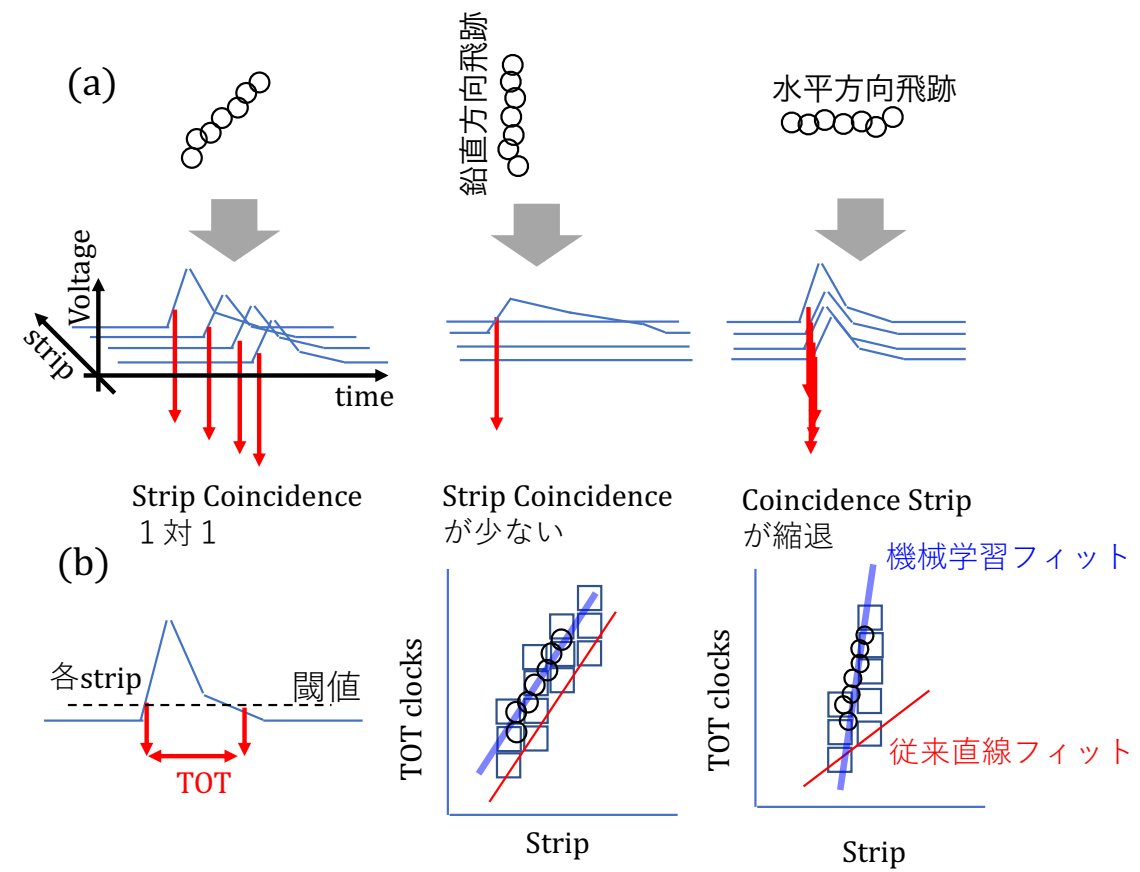
Lab-Eでは問題なかった？

今やっている課題と対策(3/4)

仰角0度と90度付近の感度悪い



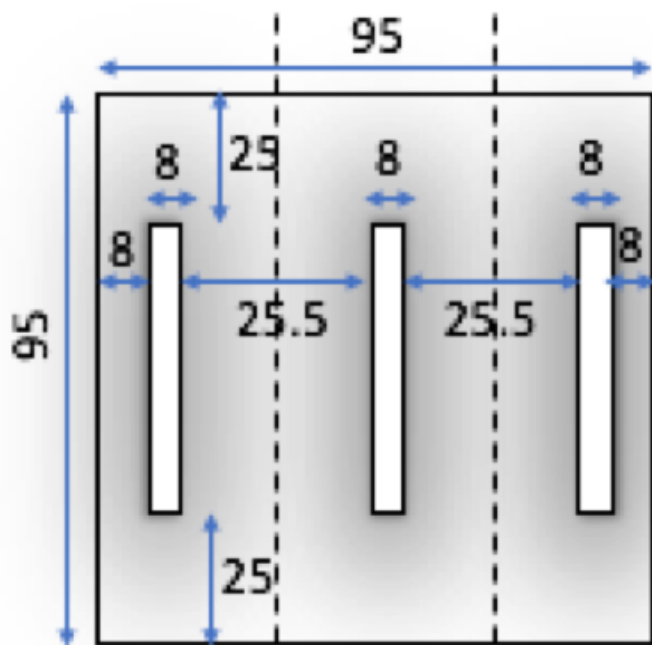
トラッキング解析アルゴリズムの改良



今やっている課題と対策(4/4)

PMTガラスサンプル

- 並べて計れば、時短になると思う。
例えば以下, resoが7mmだからfiducial
で切って測定できるはず。



小さい複数サンプルを同時
時にで測れるのも売り！



まとめ

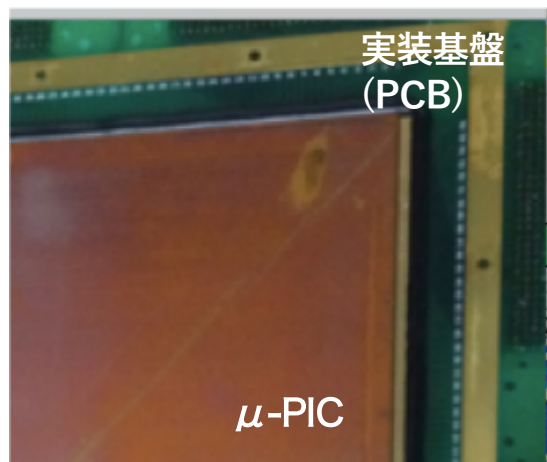
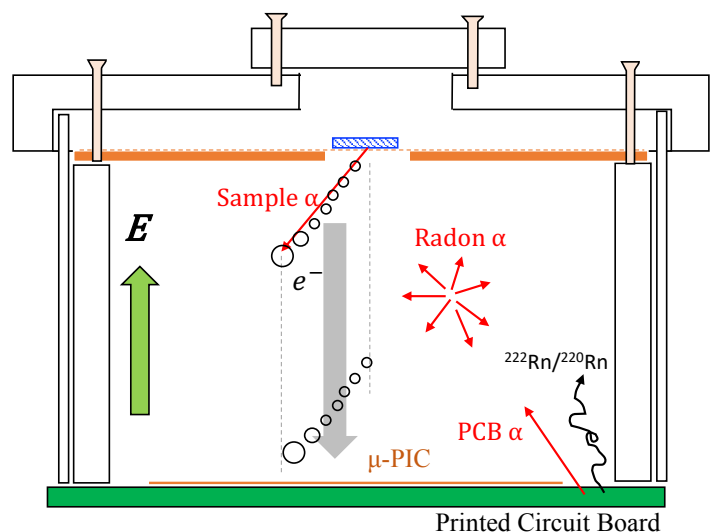
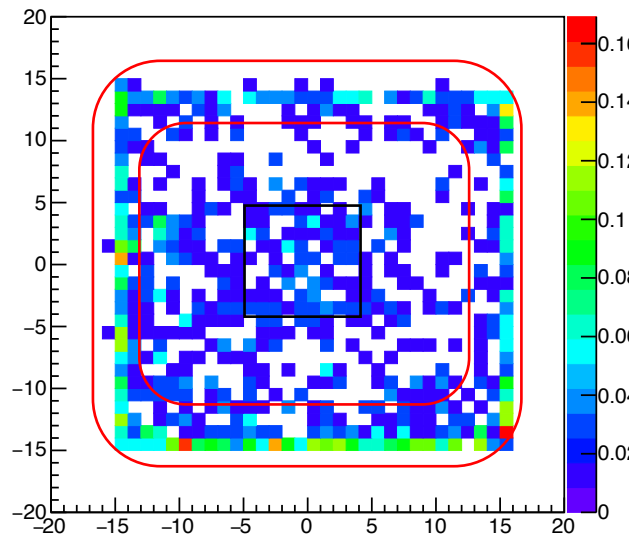
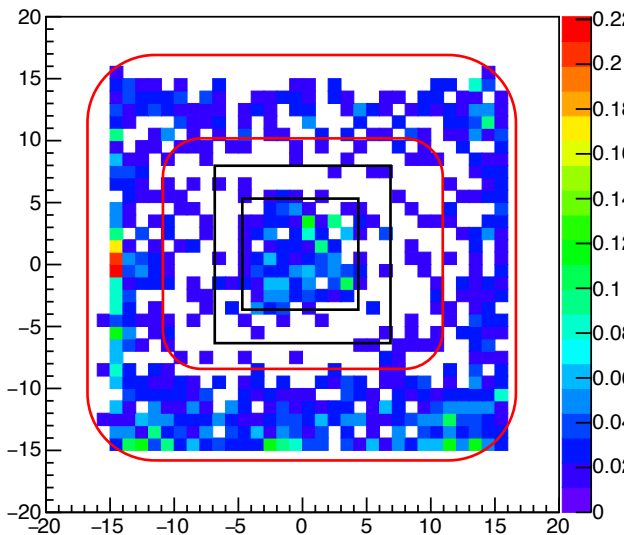
- 暗黒物質探索検出器を改良して α 線イメージ分析装置 (AI-cham)を開発した.
 - 素材スクリーニング(宇宙・素粒子・半導体)
 - PMTガラスも測れるよ
- U/Th ppm汚染レベルの α 線イメージは十分検査可能. ($>10^{-3}$ alpha/cm²/hr)
- 感度改善の対策として、いくつか進めている.
 - PCB問題...シートで遮蔽は応急措置, 新素材を使う.
 - 冷却活性炭の導入... 機電源起動時の雑音問題
 - Trackingアルゴリズム改良

Buckup

今やっている課題と対策

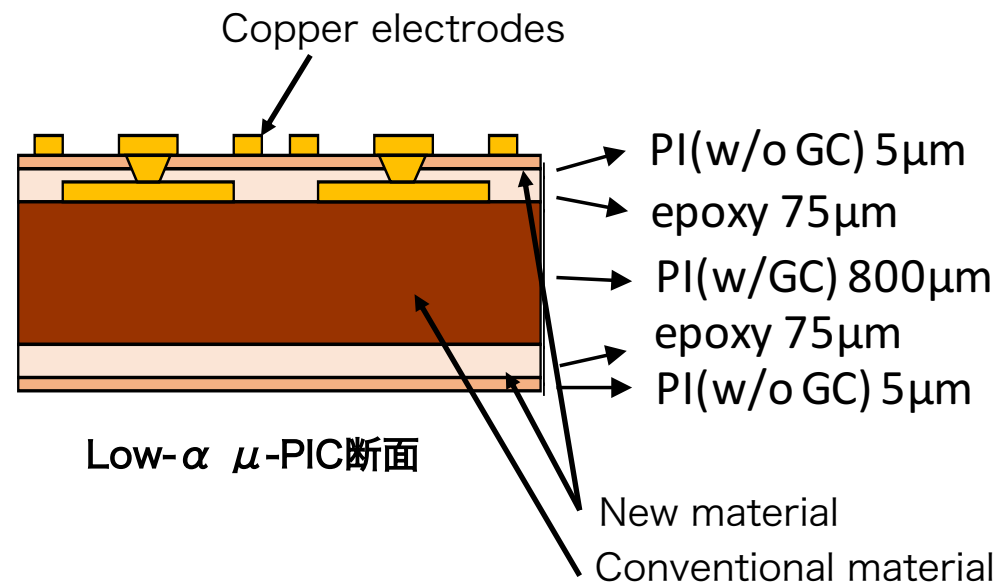
Top of alpha track

Bottom of alpha track



現在の性能と課題

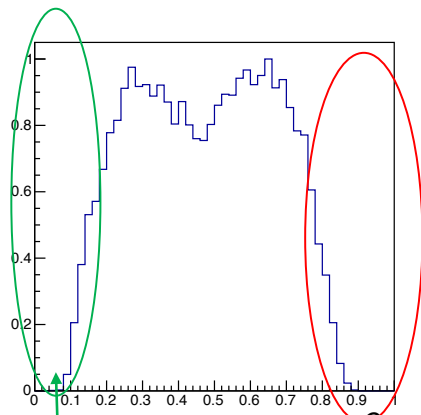
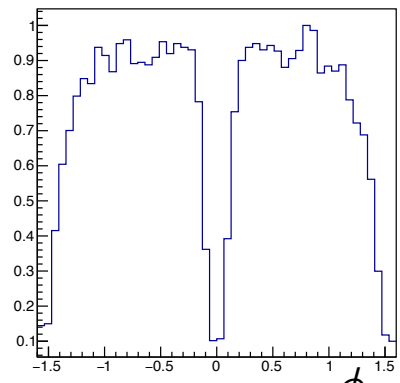
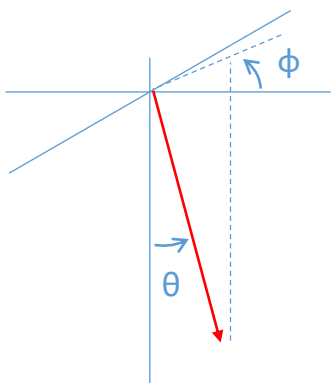
- 現在の性能
 - 限界感度 a few 10^{-3} a/cm²/hr
 - 目標値 : 10^{-4} a/cm²/hr
- 壁際のアムファはPCB由来は確認済み
=> PCBの表面にシートを敷いて α を遮蔽
- 主なBGはラドン
 - ラドン源1 : 実装プリント基盤
 - ラドン源2 : μ -PIC下層の絶縁体
=> 冷却活性炭の導入が近道



今やっている課題と対策

※神戸大 身内、石浦、池田と共同で進めている

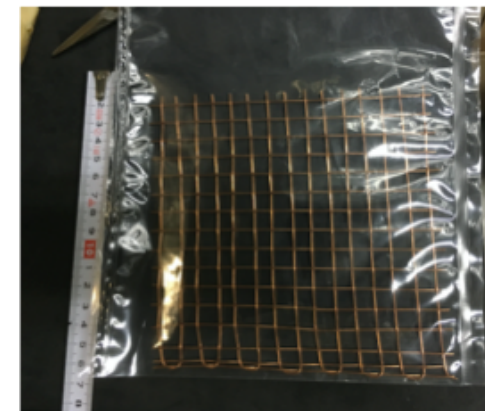
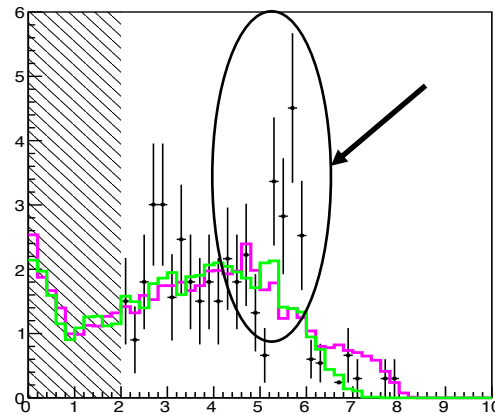
仰角0度と90度付近の感度悪い



解析アルゴリズムによって解決できないか?

今困っている

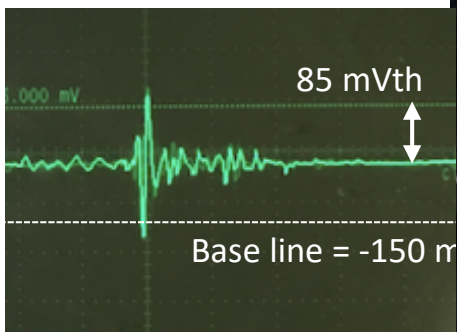
メッシュが汚い問題



電解研磨して、表面アルファを落として、綺麗になったか確認しようか

冷却機電源雑音問題

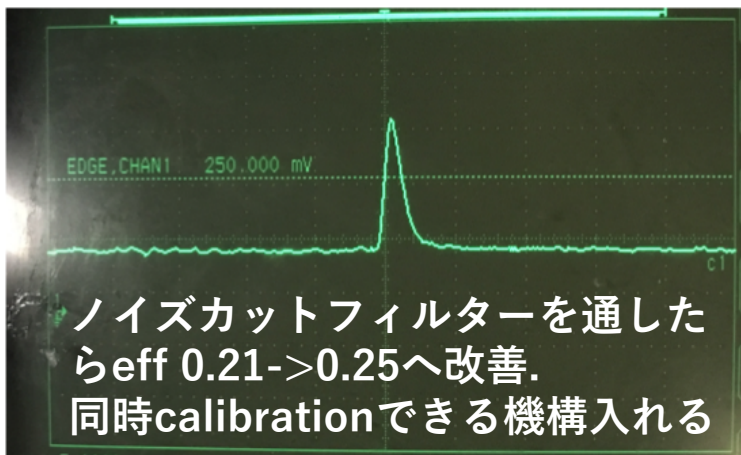
電源入ると雑音が...



Lab-E 冷却活性炭をレンタル

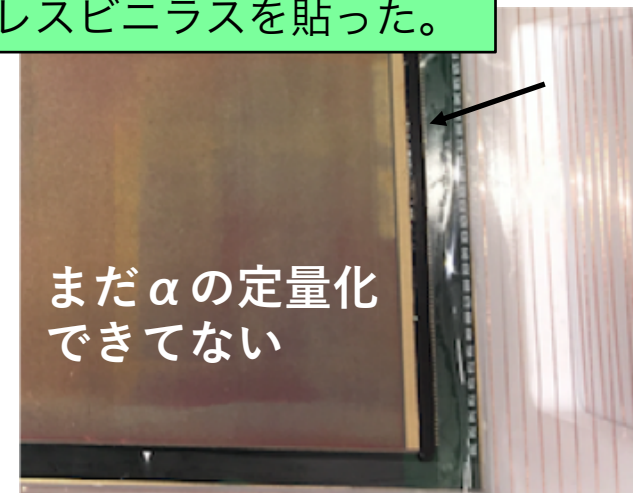


検出効率が雑音レベルによって変わる。



ノイズカットフィルターを通したら
eff 0.21->0.25へ改善。
同時calibrationできる機構入れる

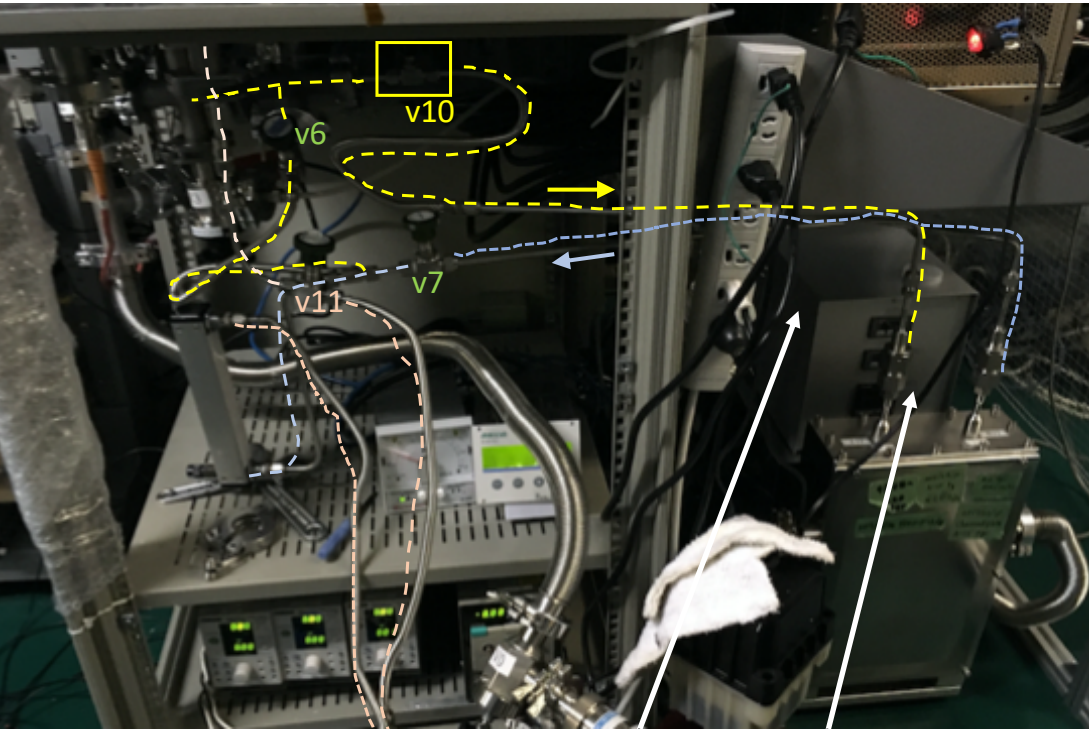
PCB基盤の上4辺にアキレスビニラスを貼った。



まだalphaの定量化
できてない

今やっている課題と対策

冷却機電源雑音問題 症状



おおもと電源
オペレータ電源スイッチ

原因可能性

- 配管から導通してGNDを揺らす？
- 電源を介してGNDを揺らす？
- 電波の影響？

配管を外して電源ON

=> 雑音消えず、でもレートは軽減した。

冷却機電源オペレータは10Aも使うみたい

=> TPCへ繋がる電源にノイズカットフィルターを通す
=> 雑音消えず。FADC波形は綺麗に、eff改善

冷却機にアルミホイルを巻いたが、雑音は減らず、

Lab-A 配線の遠い箇所

冷却機電源をoutlet1, 2, 3に繋いでみたが解決せず。

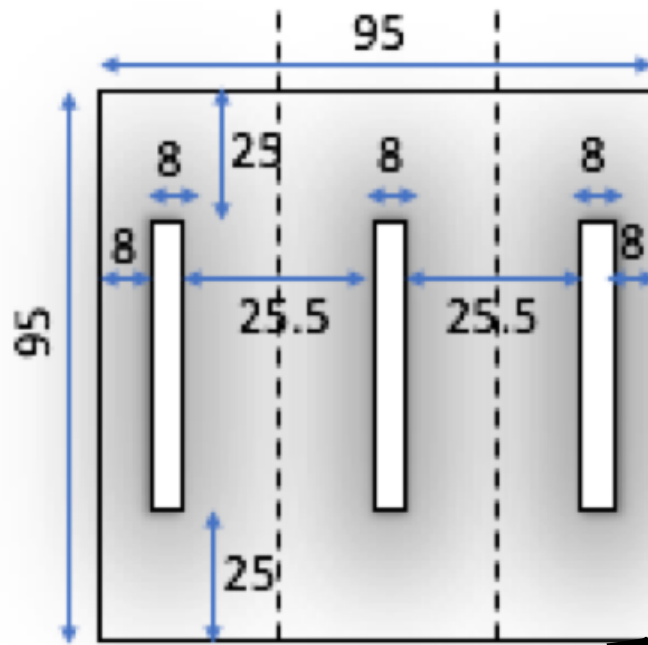
冷却機電源アースは電源を入れると300mV GNDから沈む。
… リターン電流が起きて雑音になっている？

Lab-Eでは問題なかった？



PMTガラスサンプル

- 並べて計れば、時短になると思う。
例えば以下, resoが7mmだからfiducial
で切って測定できるはず。

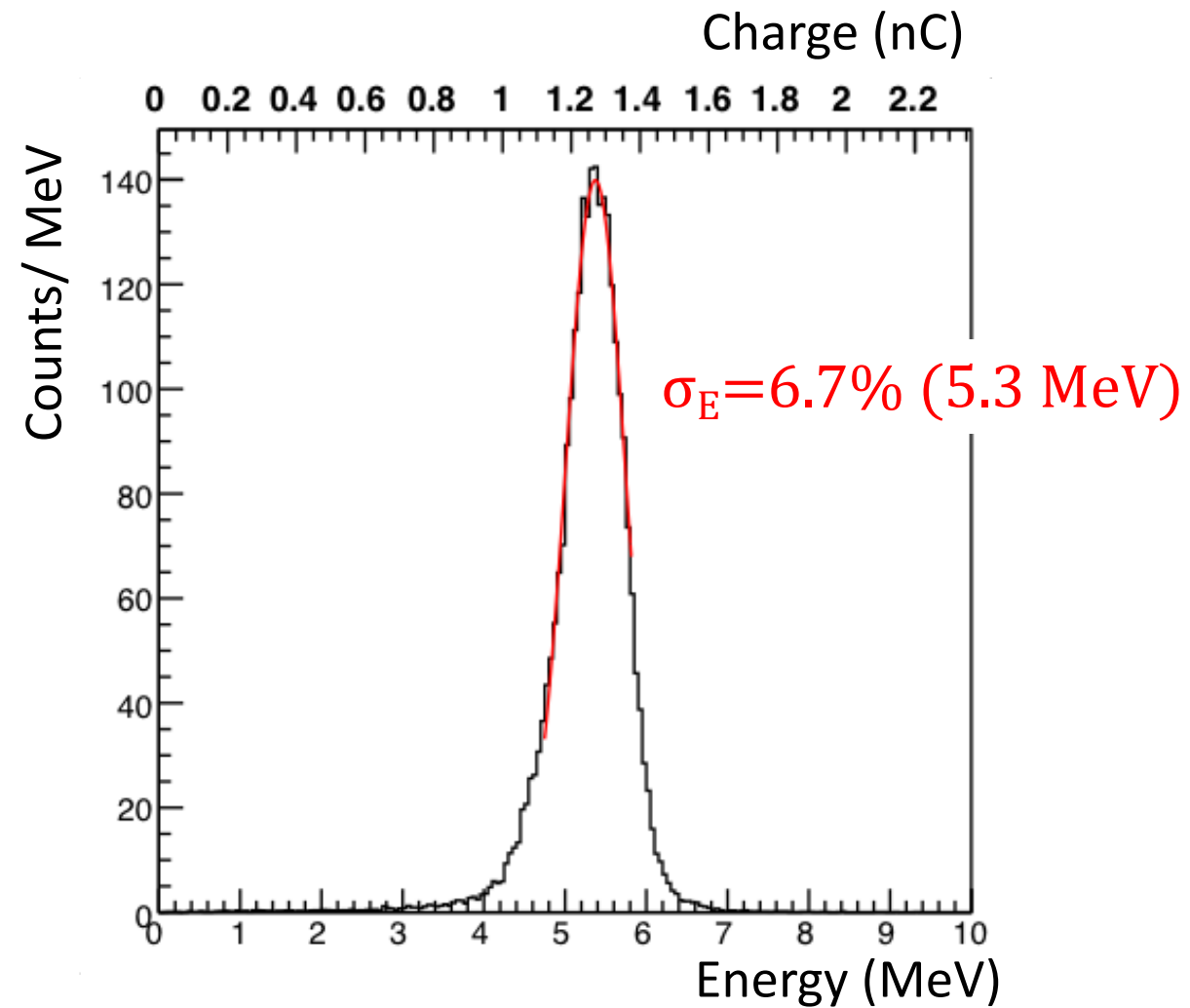
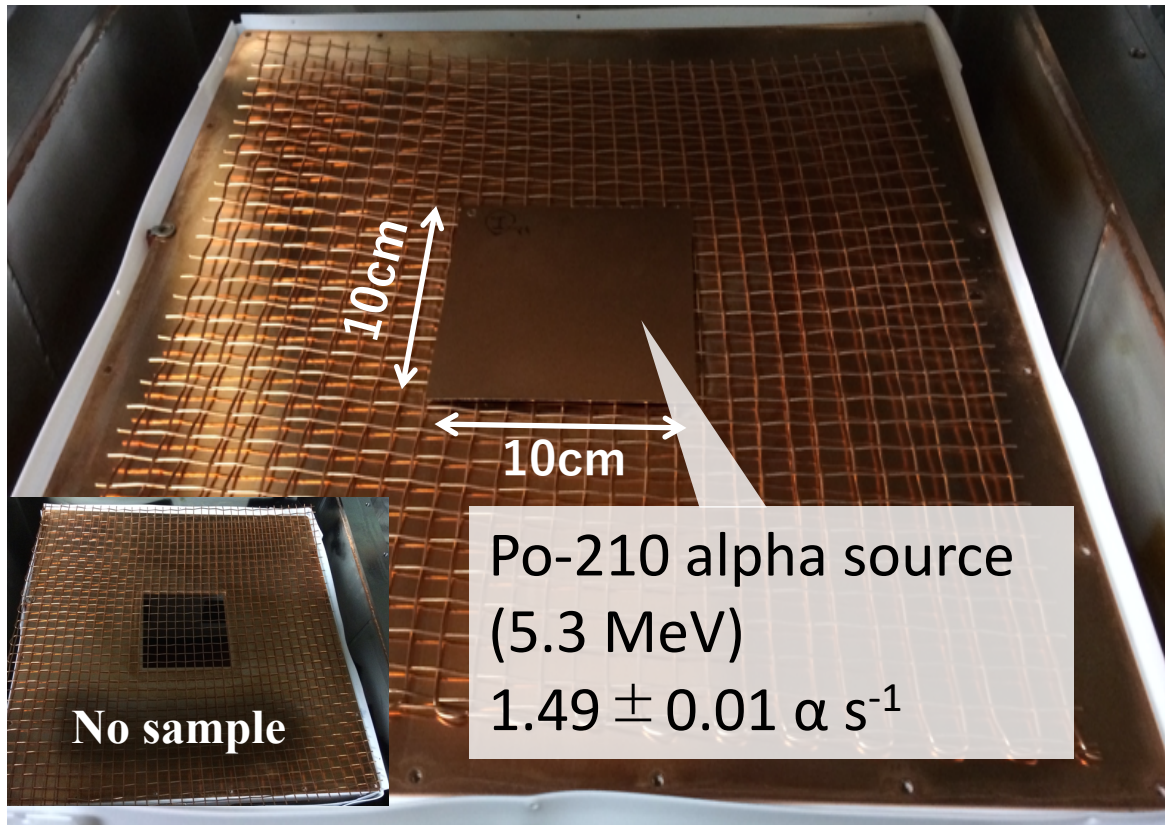


小さい複数サンプルを同
時にで測れるのも売り！



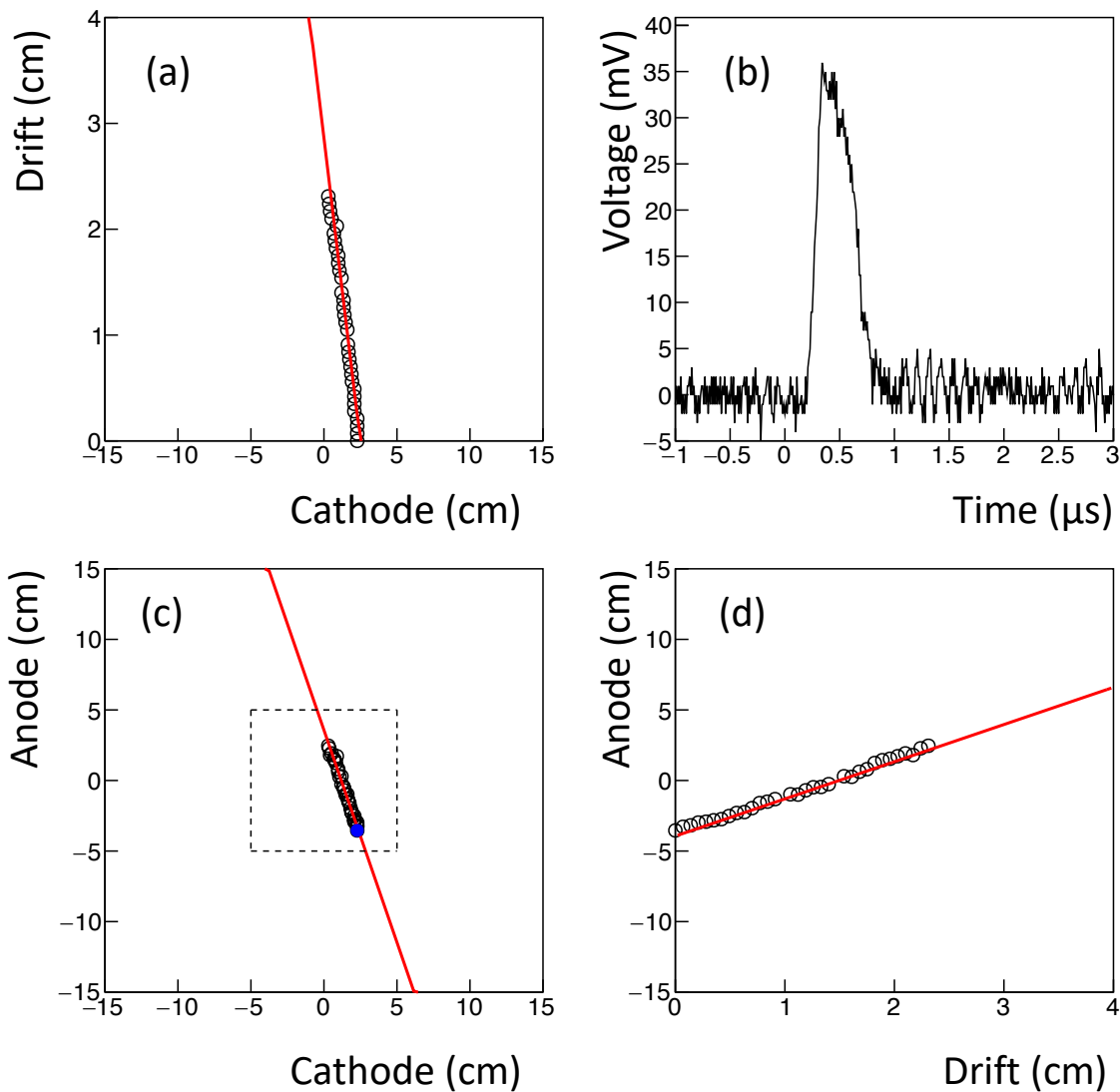
表面 α 線分析装置

Energy calibration

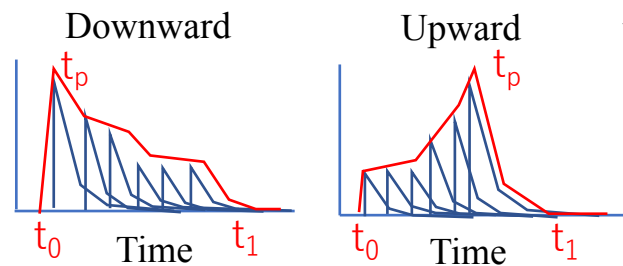
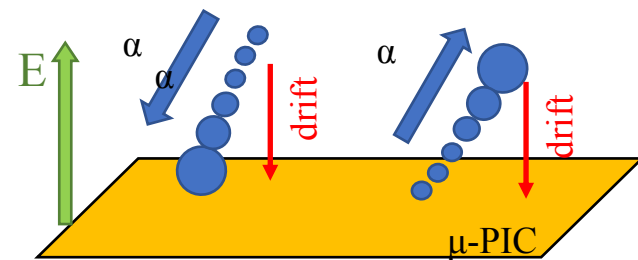


表面 α 線分析装置

Event display of good tracks



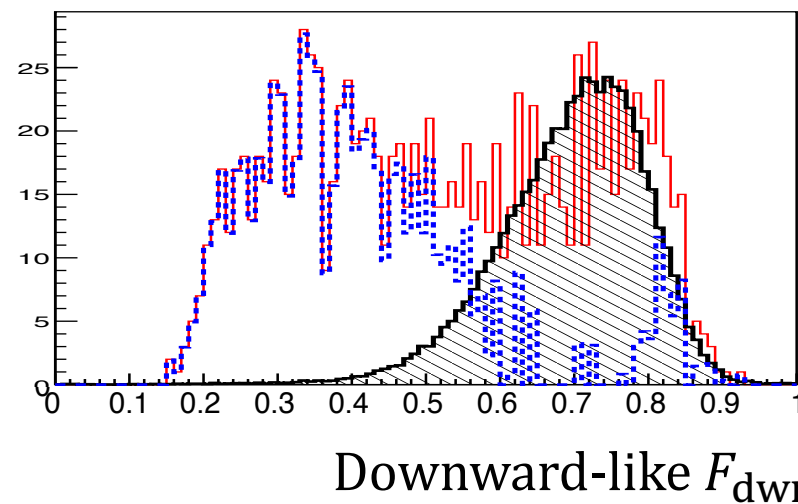
Track-sense determination



$$F_{\text{down}} = S_2 / (S_1 + S_2),$$

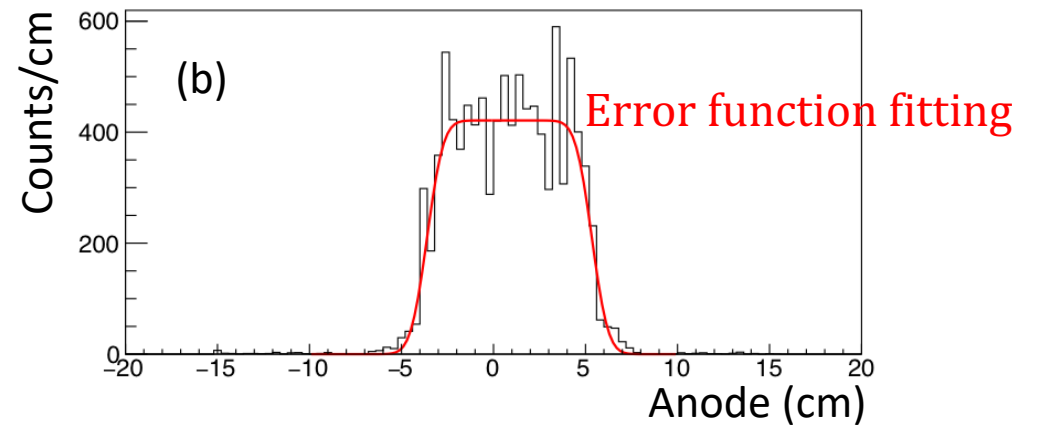
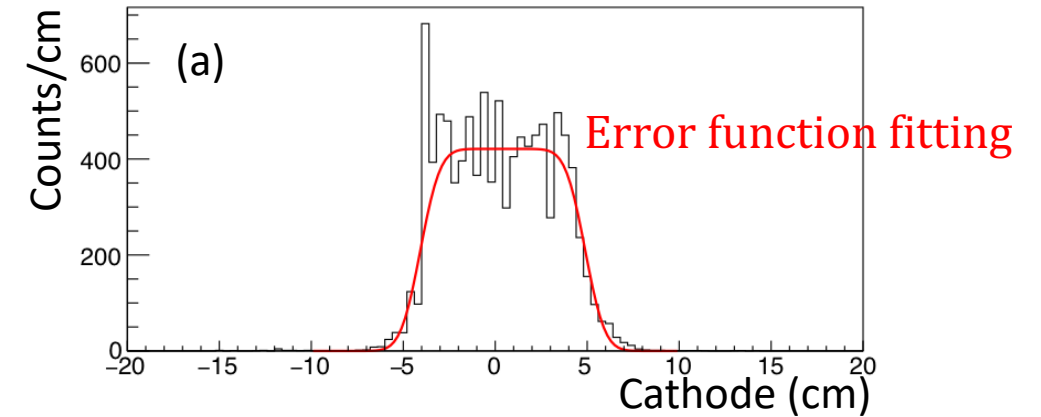
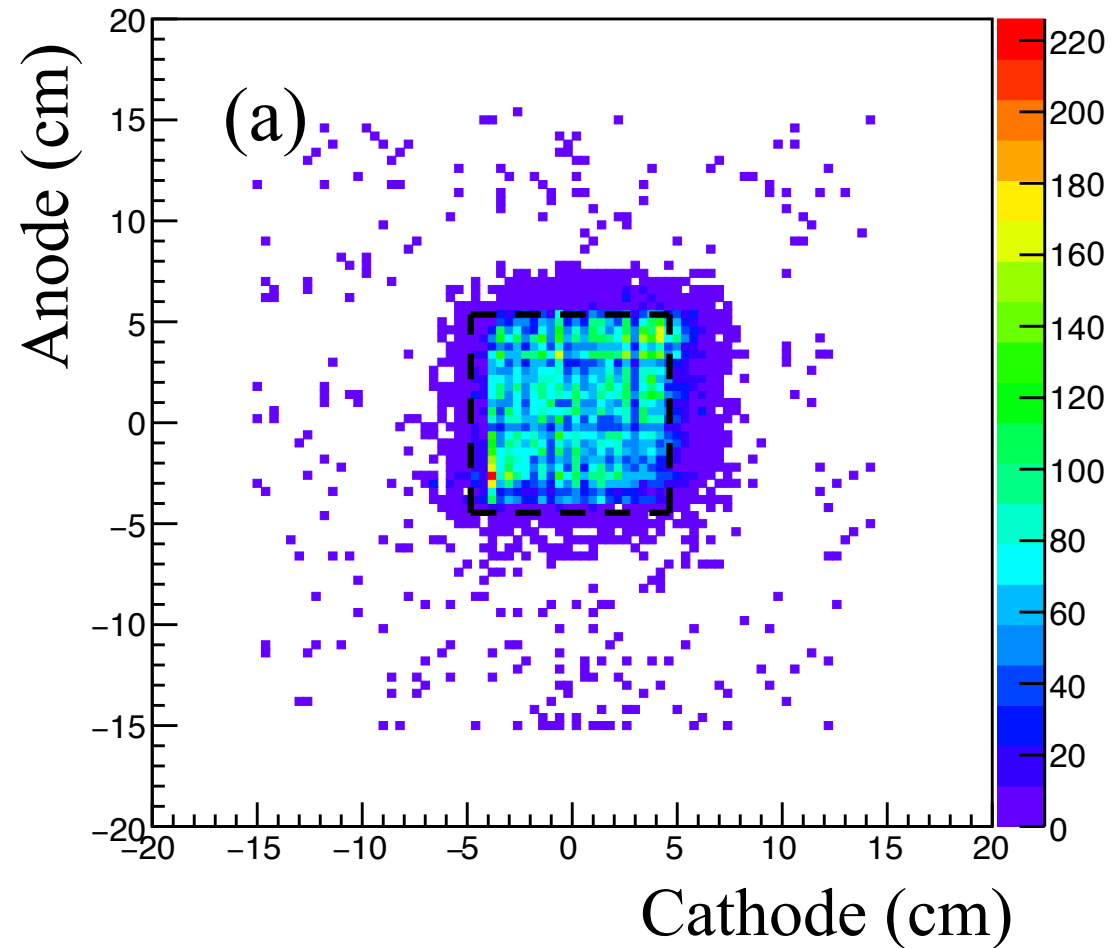
$$S_1 = \int_{t_0}^{t_p} v(t) dt,$$

$$S_2 = \int_{t_p}^{t_1} v(t) dt.$$



表面 α 線分析装置

Alpha-ray Imaging and position resolution



$$\sigma_p = 0.68 \pm 0.14 \text{ cm}$$

表面 α 線分析装置

Detection and selection efficiency

Source was calibrated to $1.49 \pm 0.01 \text{ } \alpha/\text{s}$
in 4.8-5.8 MeV

Event selection criteria

(C1) Select of good fit tracks

(C2) Cut upward-like alpha ray

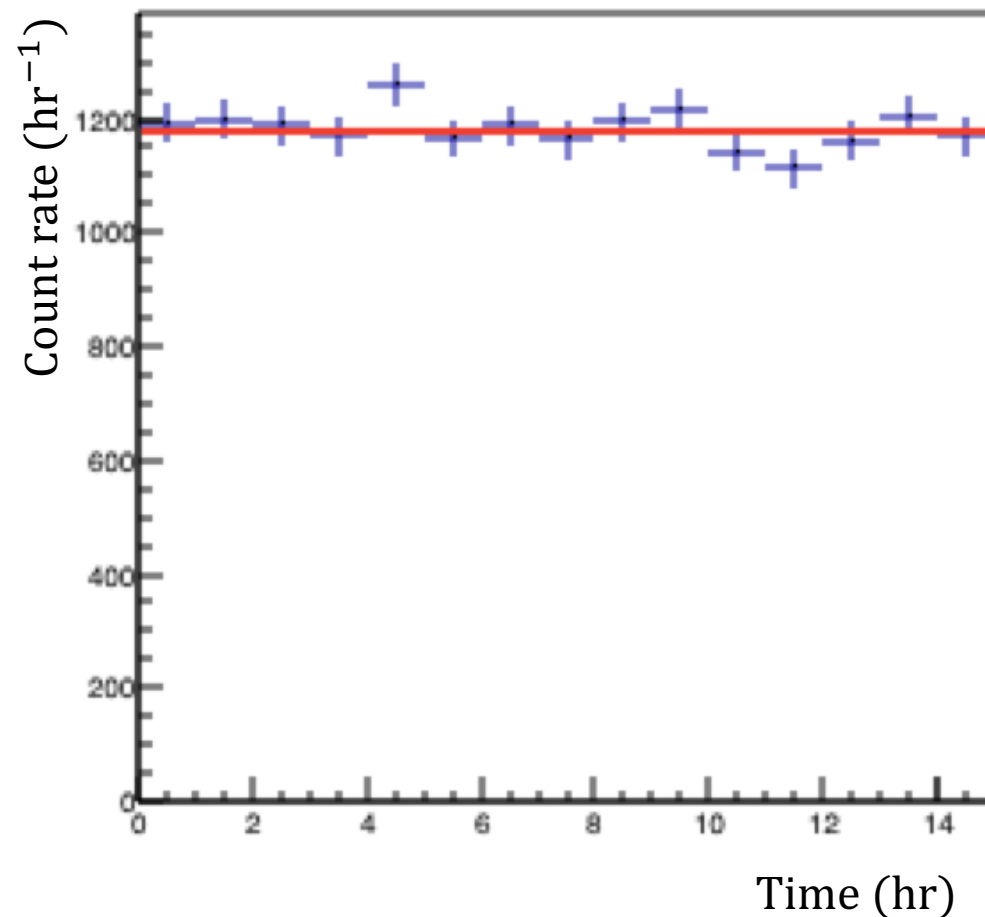
(C3) Select alpha ray in fiducial area
inside (8x8 cm)

Count rate is $(1.18 \pm 0.01) \times 10^3 \text{ hr}^{-1}$

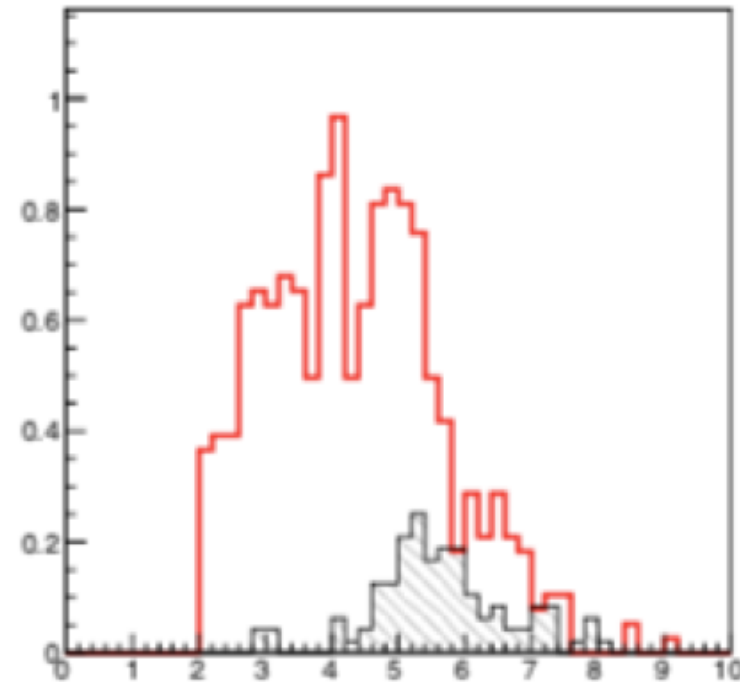
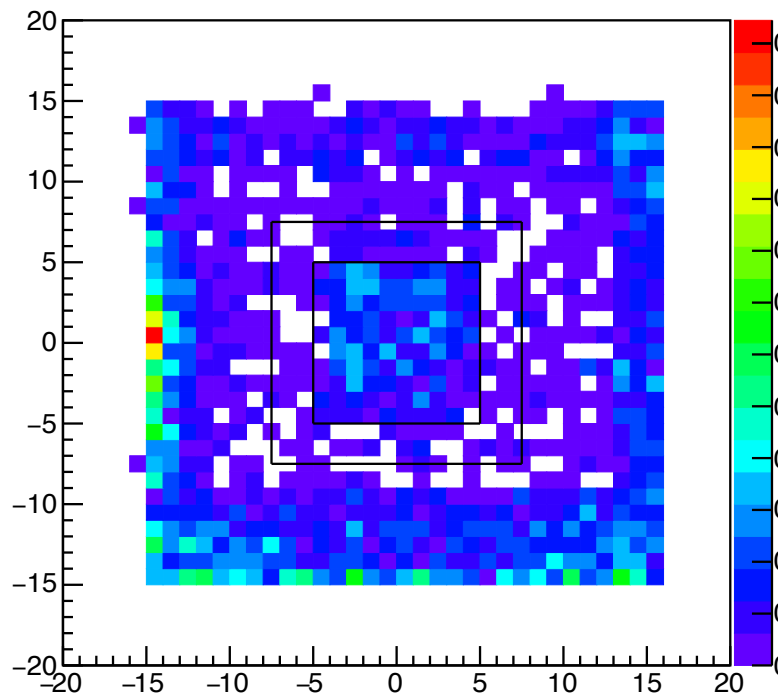
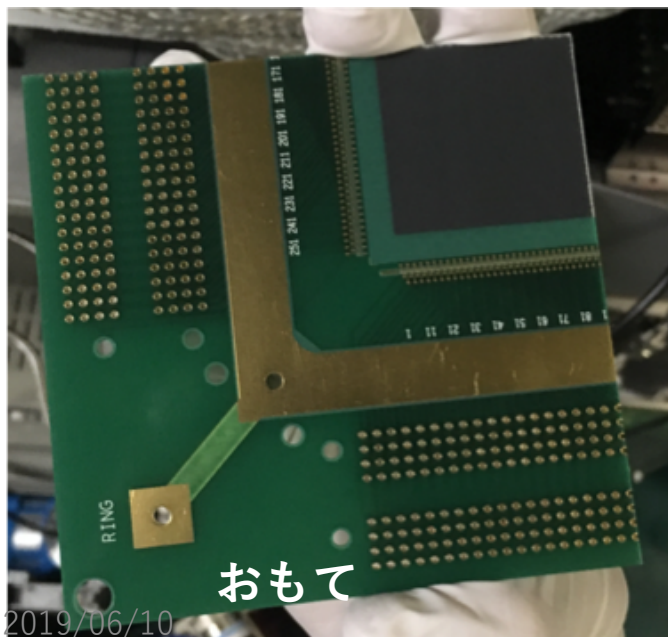
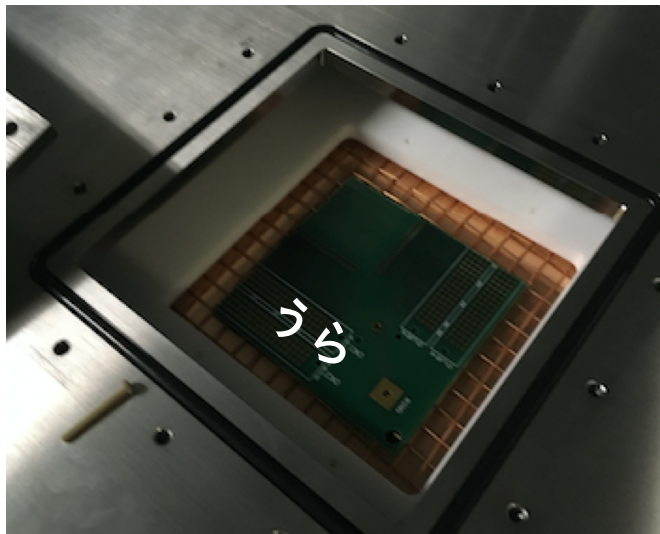
(Efficiency)

$$= (\text{count rate}) / (\text{source } \alpha \text{ rate})$$

$$= \mathbf{0.217 \pm 0.029 \text{ counts}/\alpha}$$



プリント基板測定結果



2018/12/26 - 2019/01/11

Live time = 176.76 hr

Raw data:

/nadb23/NA_anal/30LAuPIC_1/20181226

$\alpha(\text{smpl}) = 3.07^{+0.22}_{-0.21}$ a/hr

$\alpha(\text{bg}) = 0.453^{+0.079}_{-0.071}$ a/hr

$\alpha \text{ rate} = (2.61^{+0.24}_{-0.22}) \times 10^{-2}$ a/hr/cm²

BG rate = $(4.53^{+0.79}_{-0.71}) \times 10^{-3}$ a/hr/cm²