

一般社団法人 日本物理学会 2018年秋季大会

2018年9月14日(金)～17日(月)

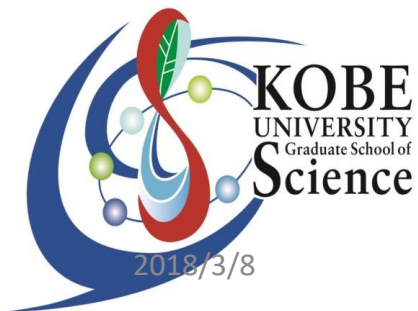
会場: 信州大学(松本キャンパス)

17aS13-11

# low- $\alpha$ $\mu$ -PICを用いた 表面アルファ線分析器の開発

神戸大

伊藤博士, 橋本隆, 池田智法, 石浦宏尚,  
身内賢太郎, 中村輝石, 竹内康雄



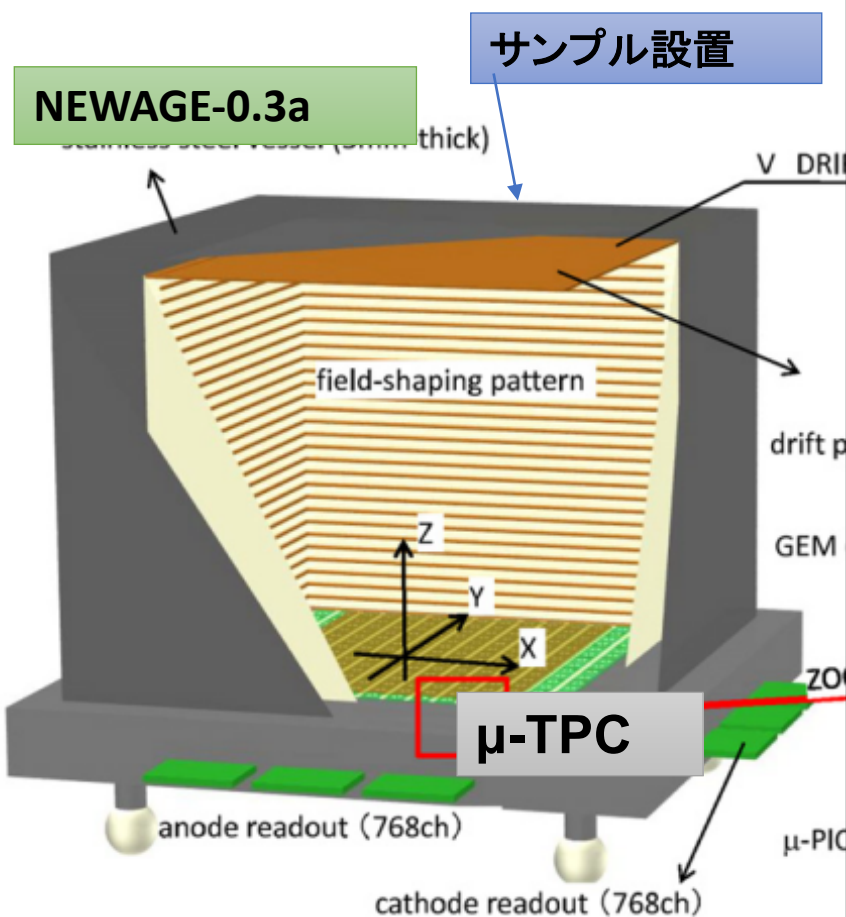
# 目次

1. 背景
2. 表面 $\alpha$ 線分析器
3. 現状の開発状況
4. 今後の展望
5. まとめ

# 1. 背景

- 神岡地下におけるDark Matter/  $0\nu\beta\beta$ -decay探索研究は大質量・低放射能の検出器によってアプローチしている。  
(XMASS, KamLand-Zen, NEWAGE, Candles, ...)
- 検出器部材選定のために、神岡地下実験のグループの枠を超えて放射能分析装置開発を進めている。  
(結晶内部不純物、**表面 $\alpha$ 線**、ラドン薄膜透過)
- NEWAGE-0.3a検出器を改造して材質表面から放射される $\alpha$ 線(表面 $\alpha$ 線)を測定し、材質内U/Th放射能濃度を評価する。

## 2. 表面 $\alpha$ 線分析器



Fid. Vol. = 20 x 28 x 31 cm<sup>3</sup>  
CF<sub>4</sub> gas 150 torr (0.2 atm)  
Eff. mass = 0.0115 kg

### 目的

- 試料表面から放射される $\alpha$ 線を測定して不純物濃度を評価する。

### $\mu$ -TPCを用いる利点

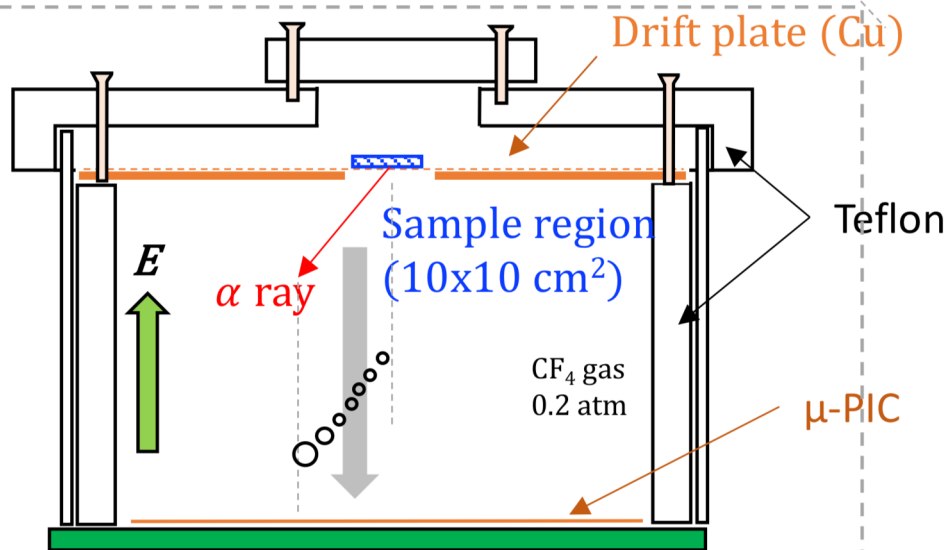
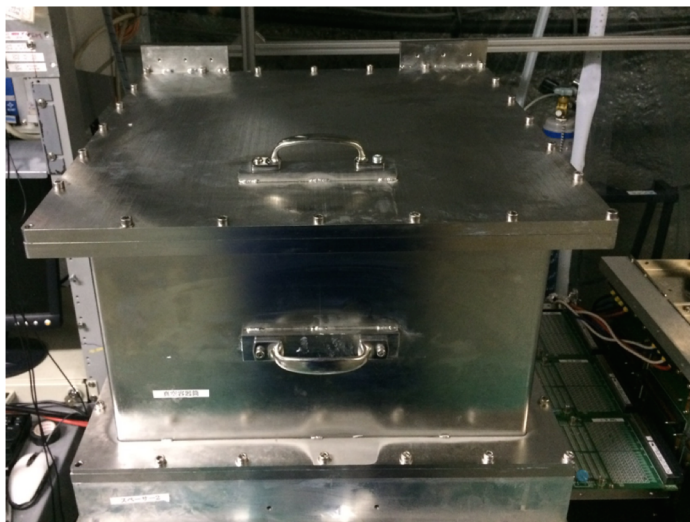
- 試料の $\alpha$ 線汚染分布取得可
- 絶縁体・粉末測定可能

### これまでの開発状況

- NEWAGE-0.3aを改造
- ドリフト面中央に $\alpha$ 通過用窓設置
- サンプル交換用に容器改良
- DAQデバッグ
- 目標: Ultralo-1800,  $10^{-4}$  as/cm<sup>2</sup>/hr  
(<sup>238</sup>U  $10^{-2}$  ppm level)

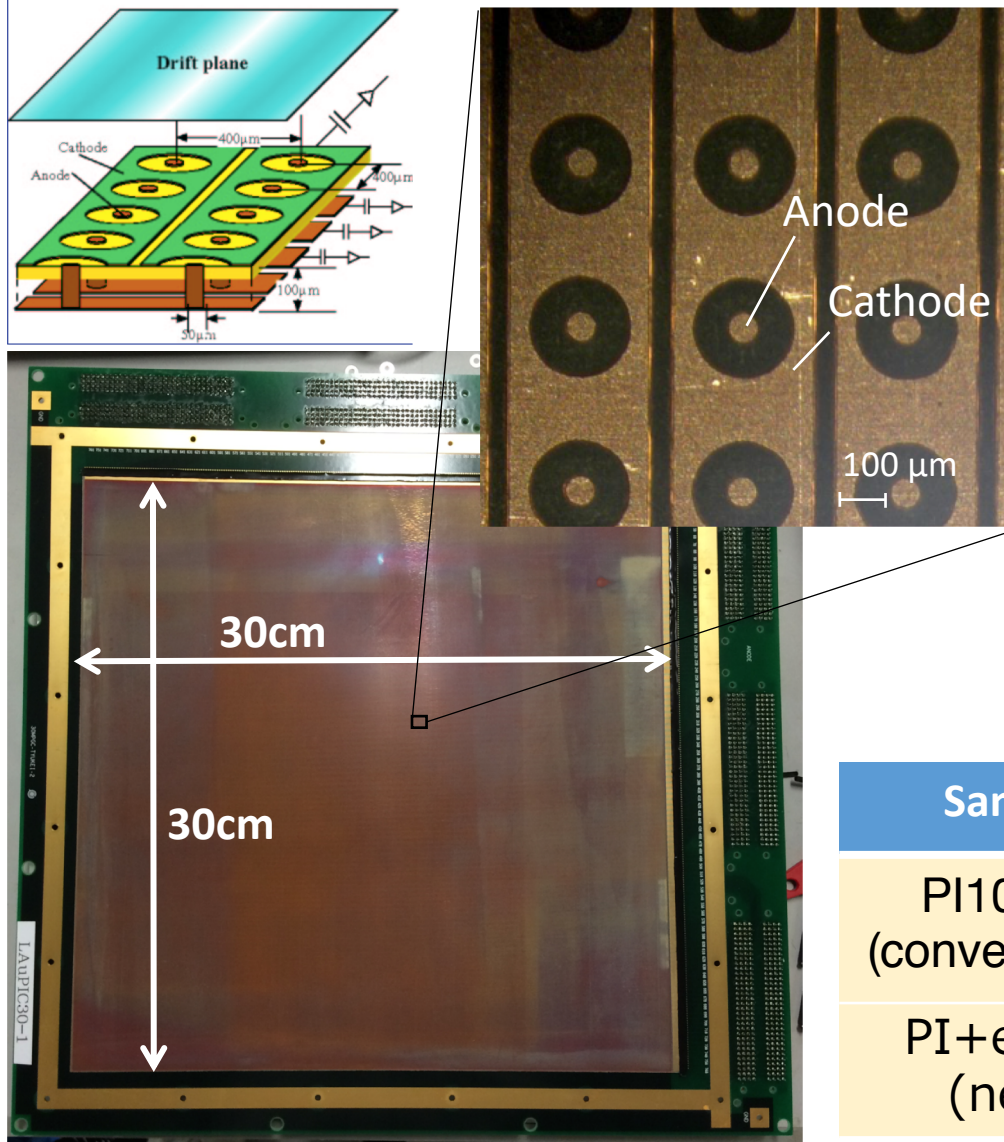
## 2. 表面 $\alpha$ 線分析器

@神岡Lab-A



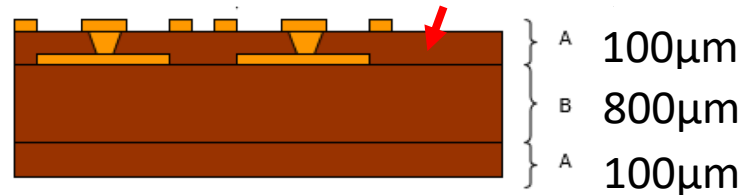
## 2. 表面α線分析器 low-alpha μ-PIC

μ-PIC : Micro Pixel Chamber



Replace with low radioactive materials

これがTh・Uを持っている



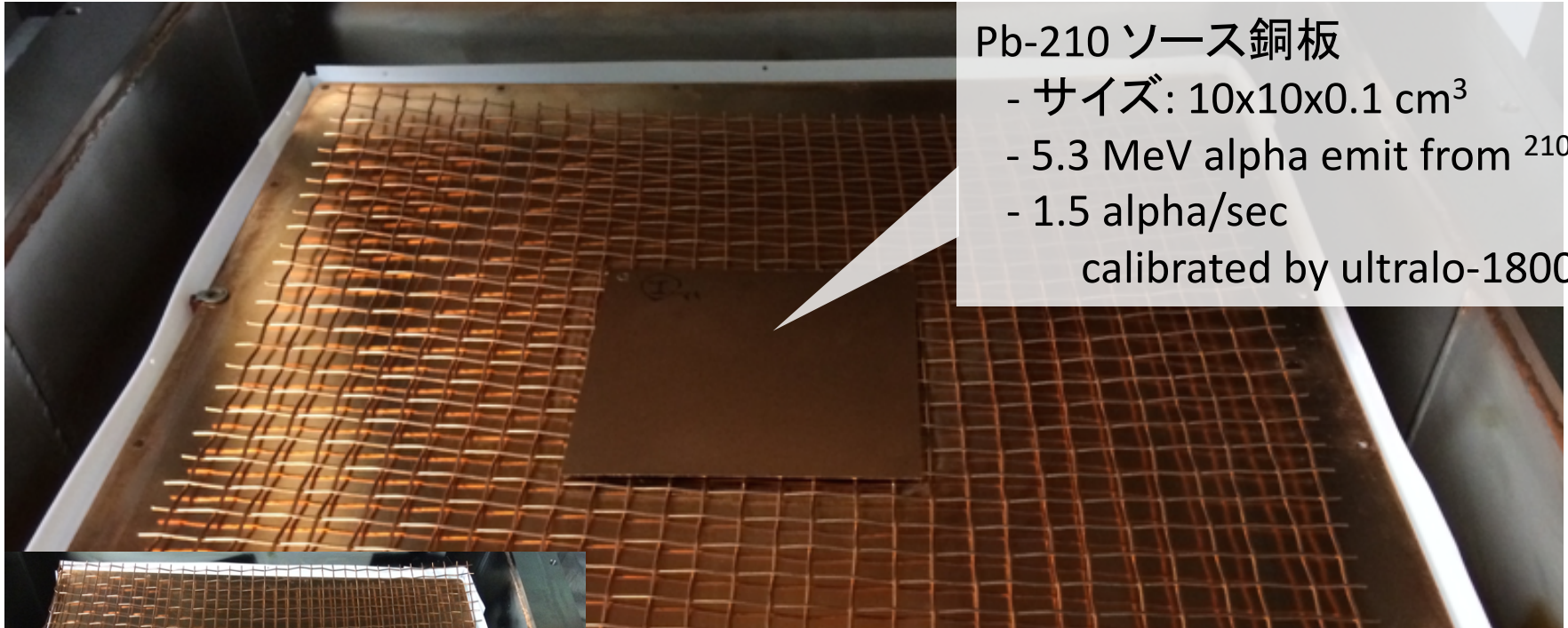
**New material**



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

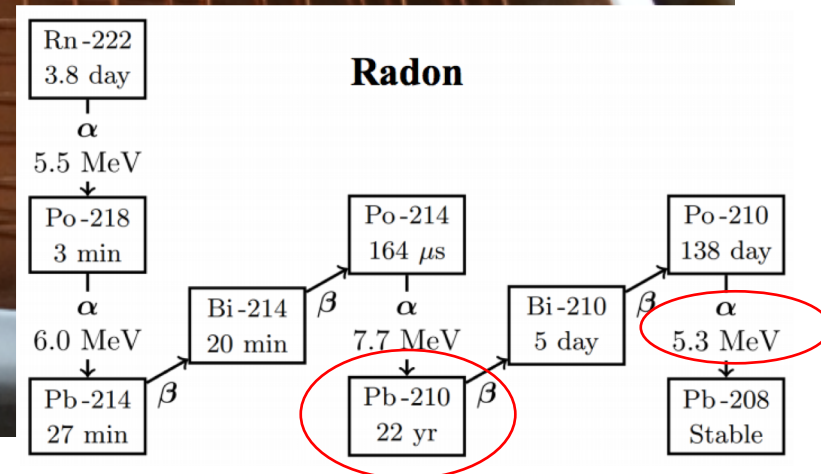
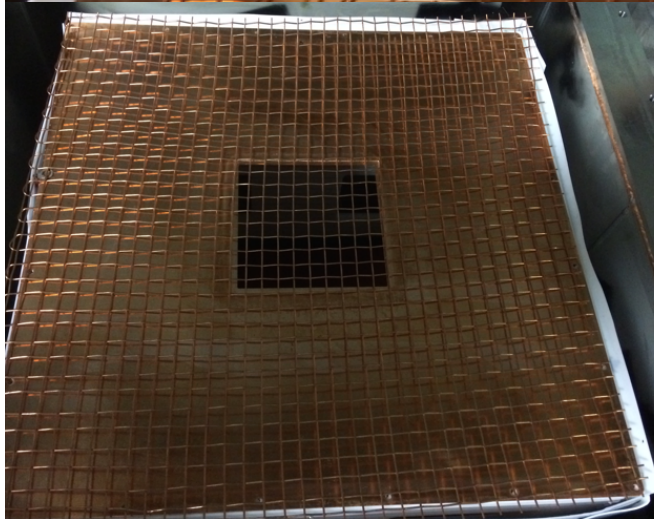
Sample	$^{238}\text{U}$ [ppm]	$^{232}\text{Th}$ [ppm]
PI100μm (conventional)	0.39±0.01	1.81±0.04
PI+epoxy (new)	<b>&lt; 2.98×10<sup>-3</sup></b>	<b>&lt; 6.77×10<sup>-3</sup></b>

### 3. 現在の開発状況 Calibration run setup

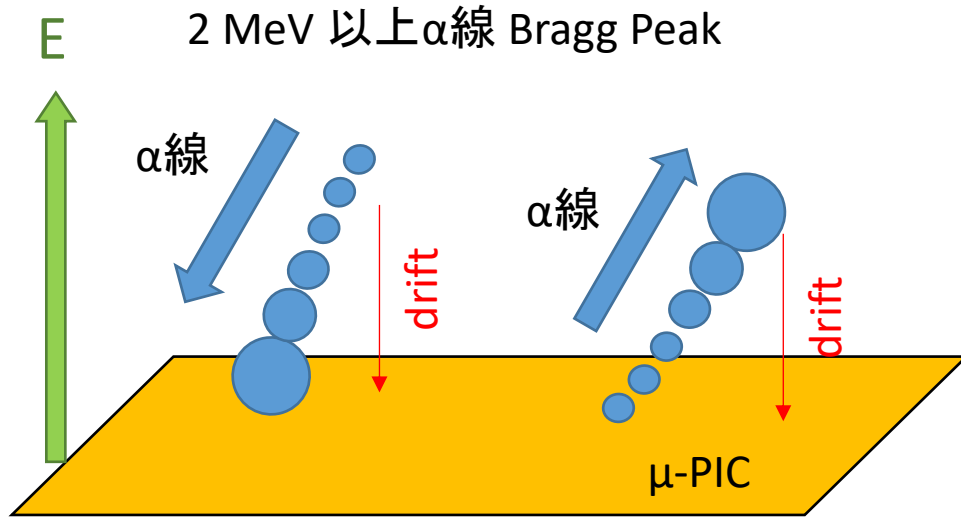


Pb-210 ソース銅板

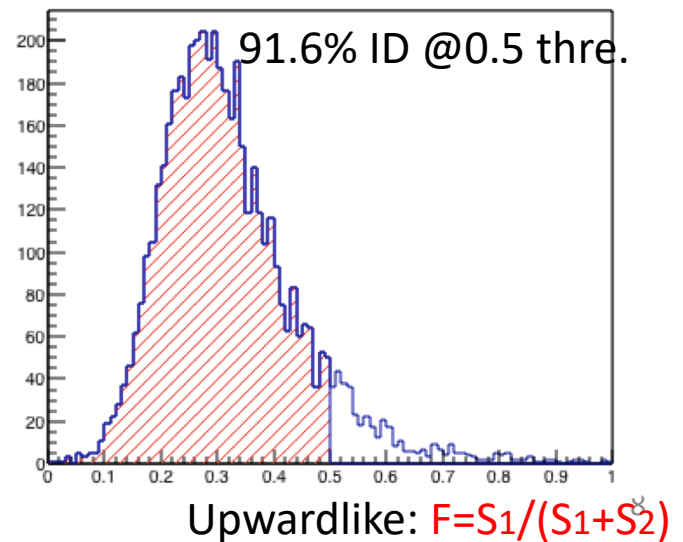
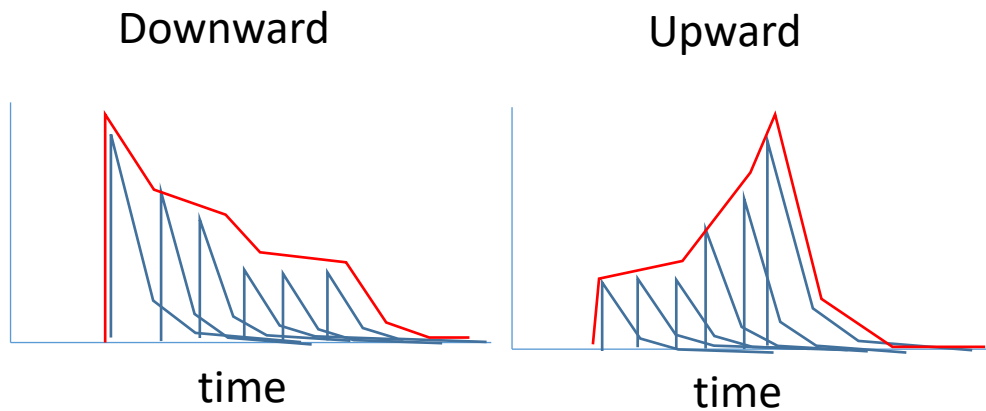
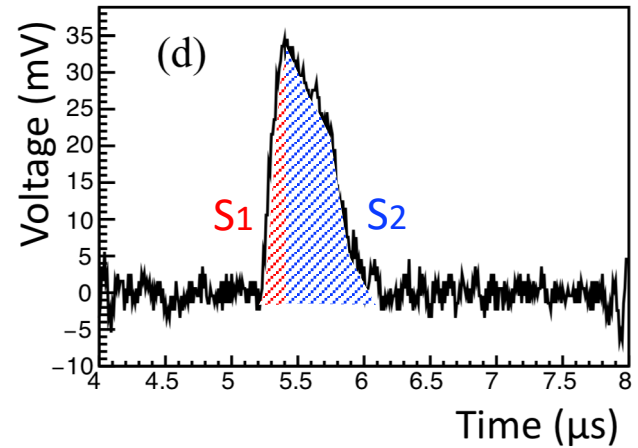
- サイズ: 10x10x0.1 cm<sup>3</sup>
- 5.3 MeV alpha emit from <sup>210</sup>Po
- 1.5 alpha/sec  
calibrated by ultralo-1800



### 3. 現在の開発状況 Calibration run



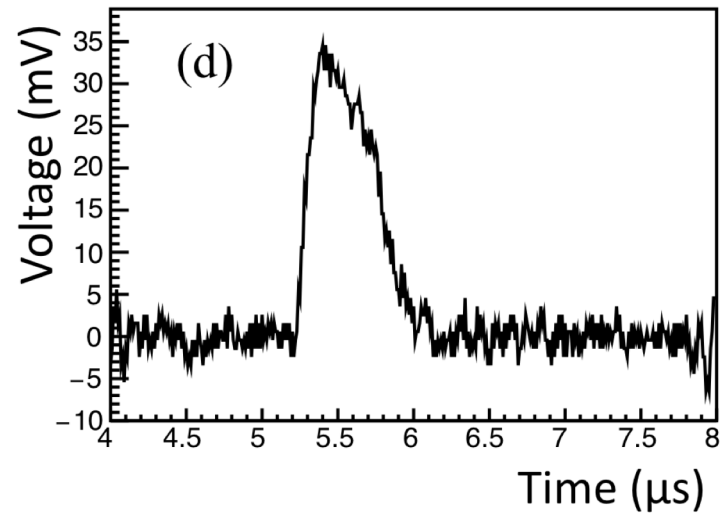
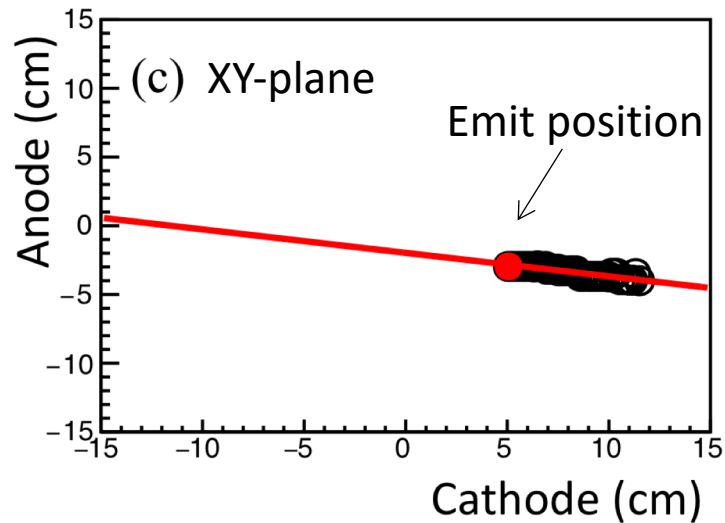
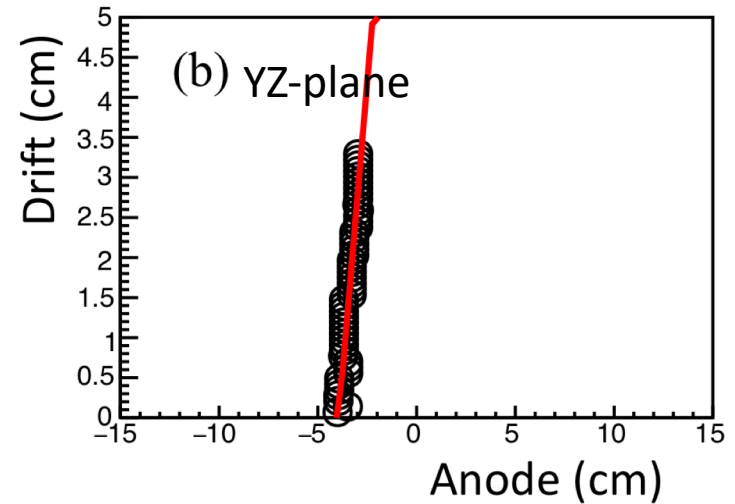
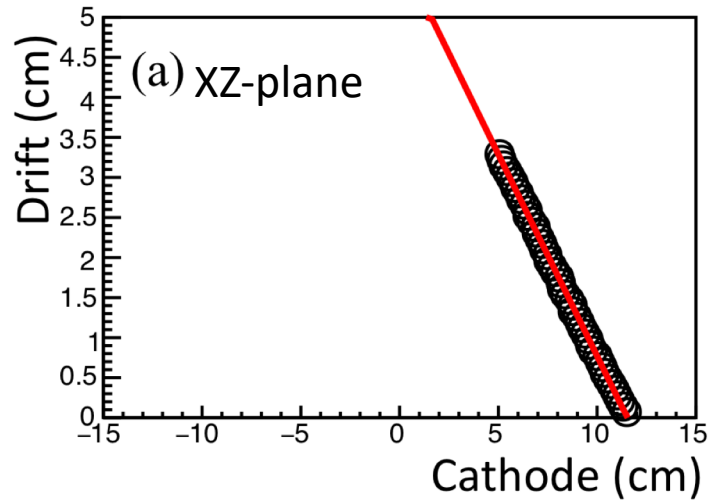
Direction upwardlike with waveform analysis





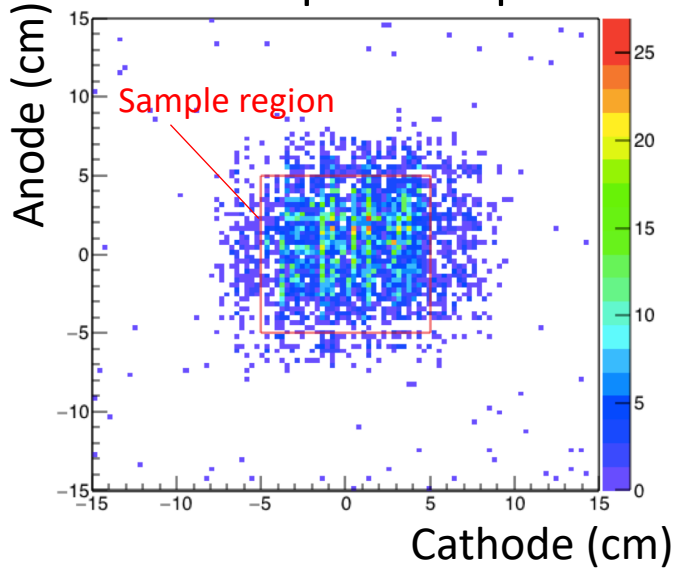
### 3. 現在の開発状況 Calibration run

#### Event reconstruction

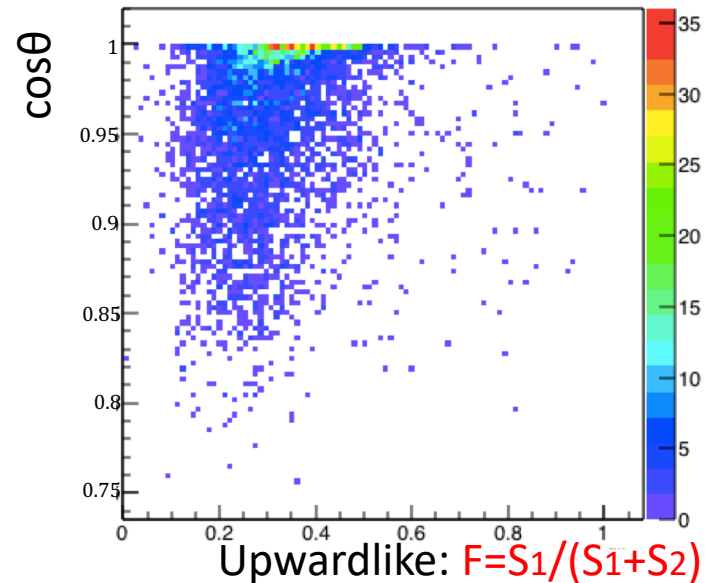
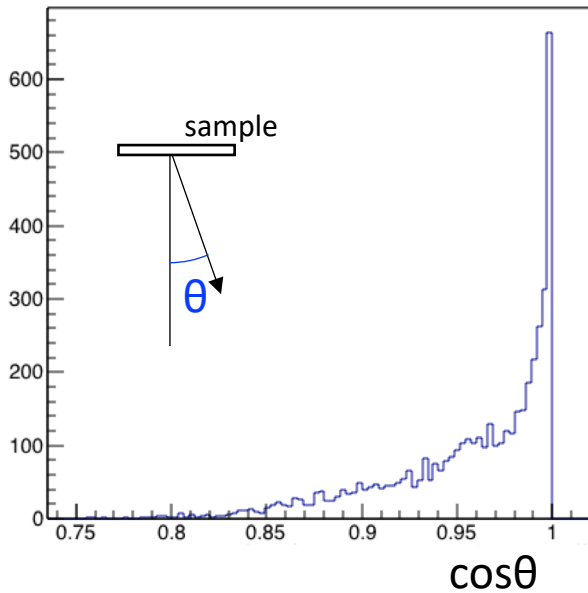
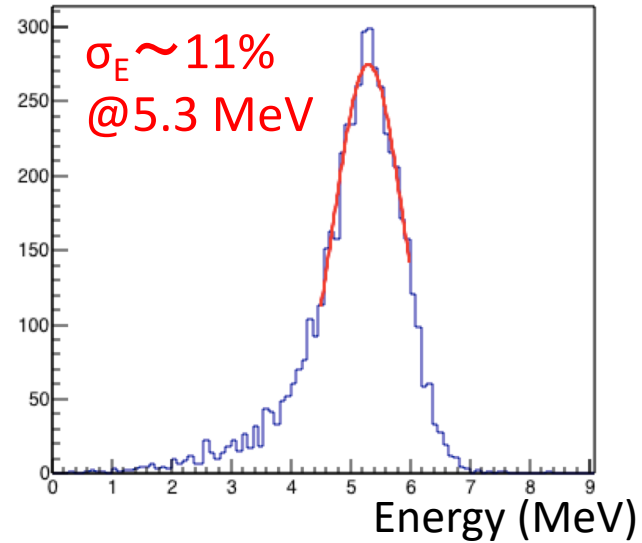


### 3. 現在の開発状況 Calibration run

Emit point map

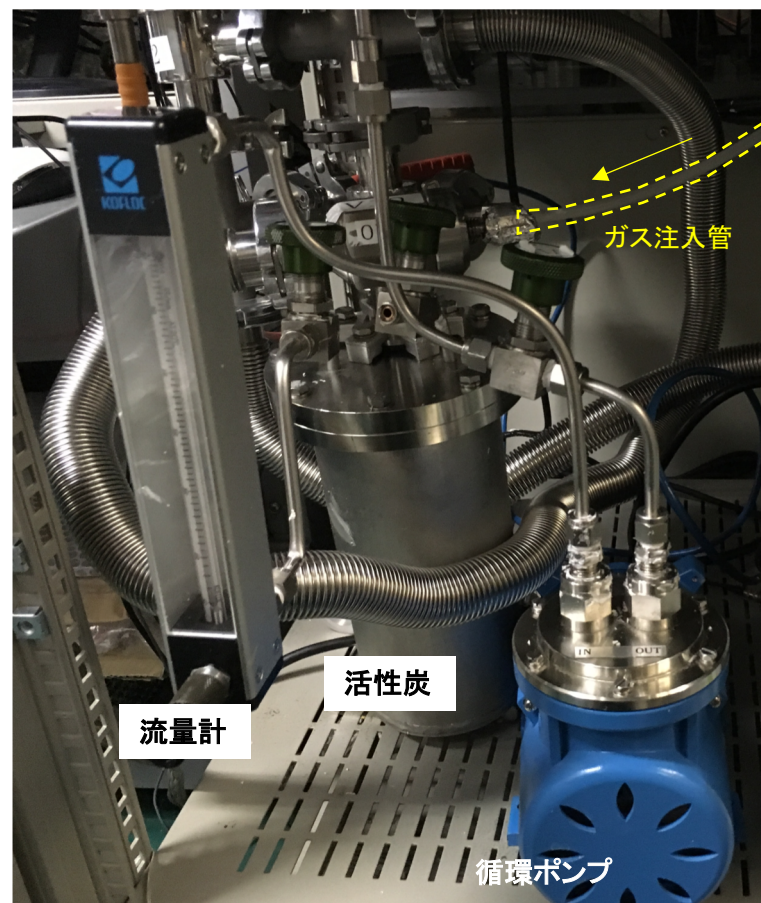
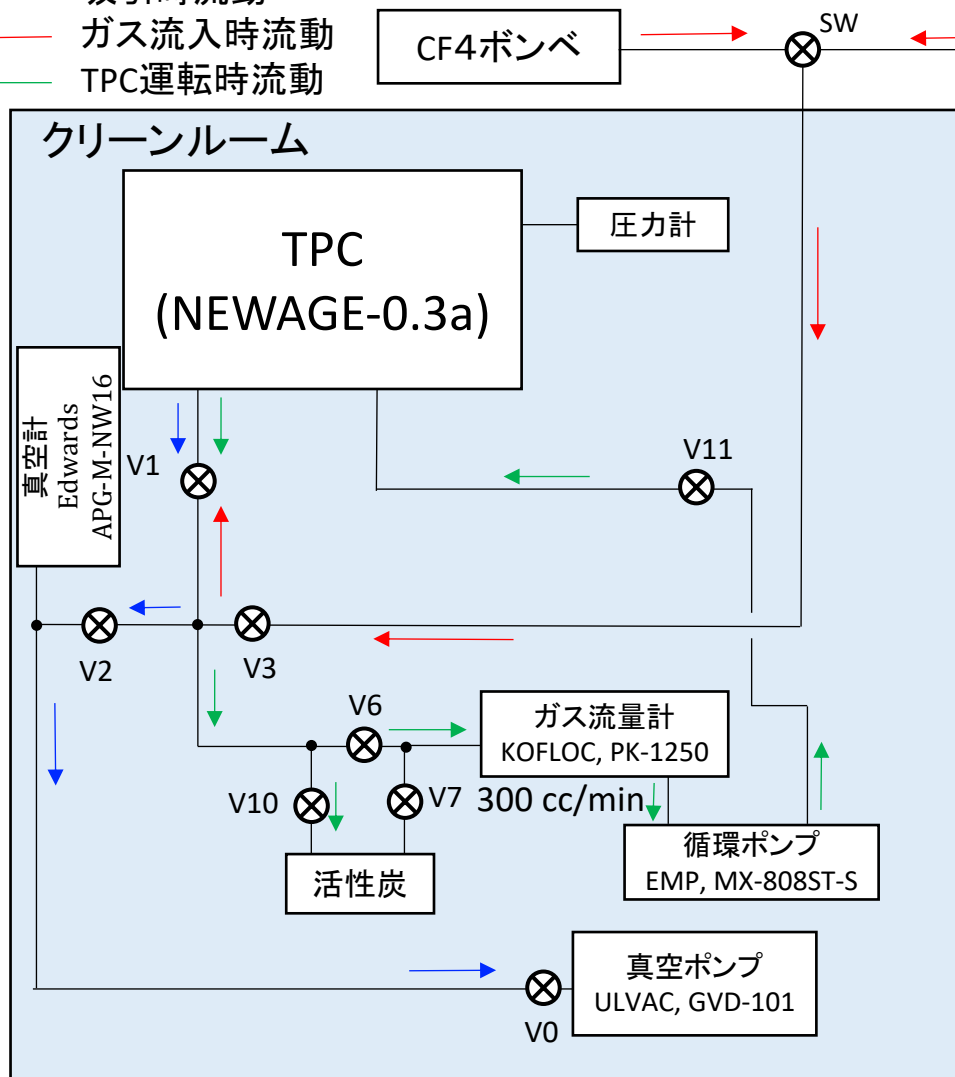


Energy spectrum



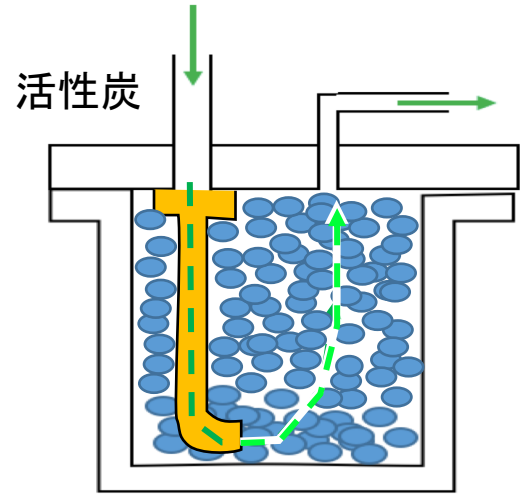
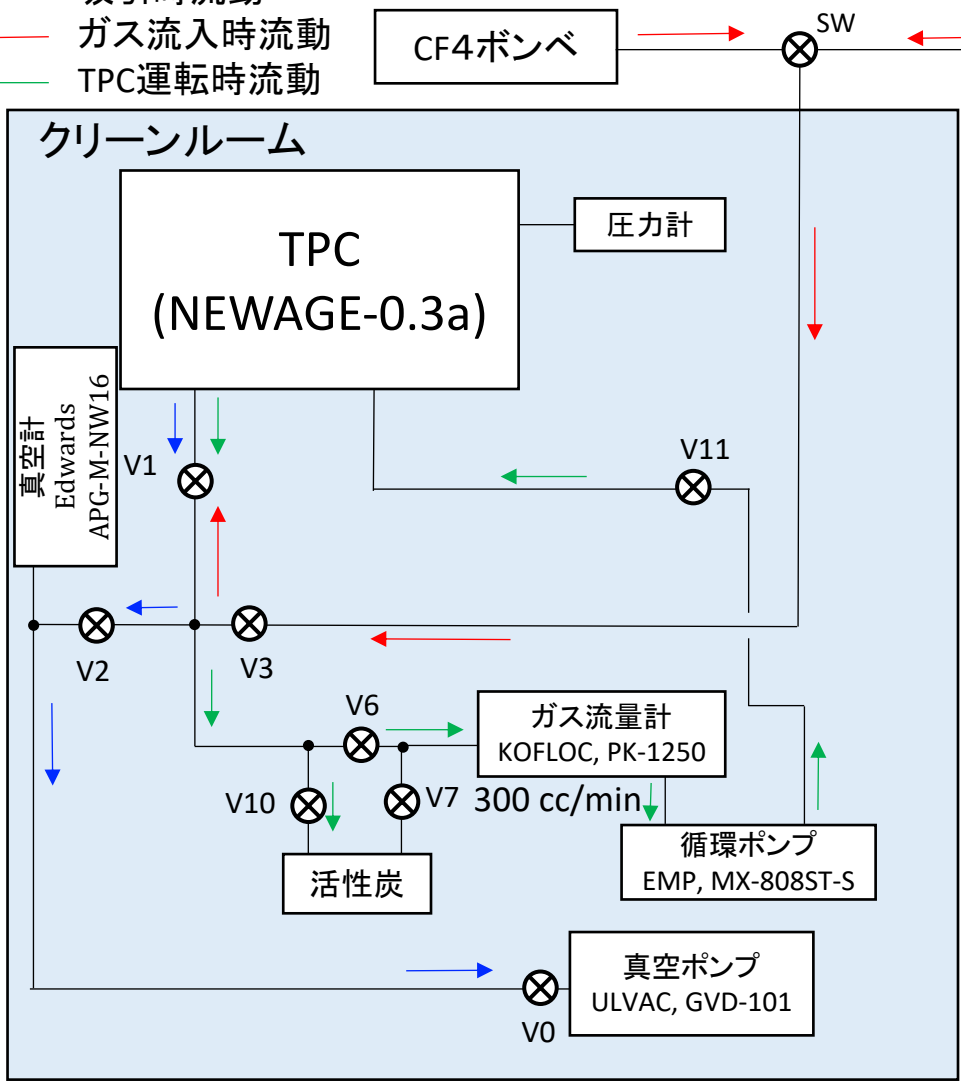
### 3. 現在の開発状況    ガス循環システムの改良

- ← 吸引時流動
- ← ガス流入時流動
- ← TPC運転時流動

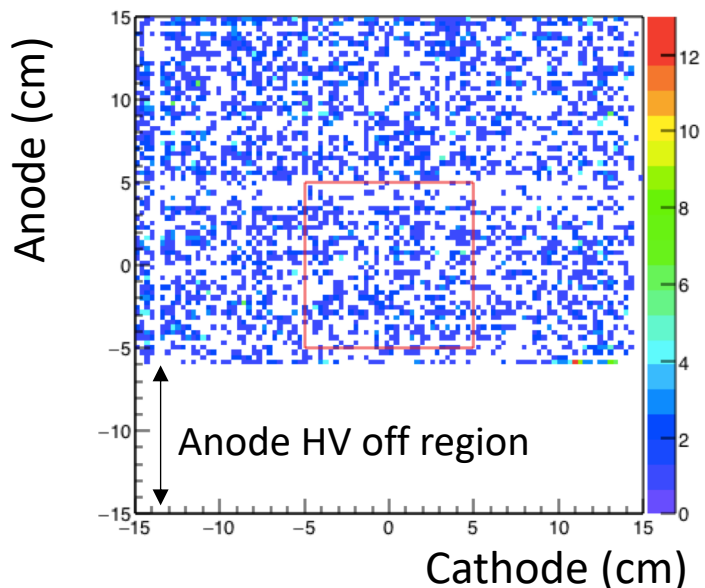


### 3. 現在の開発状況 ガス循環システムの改良

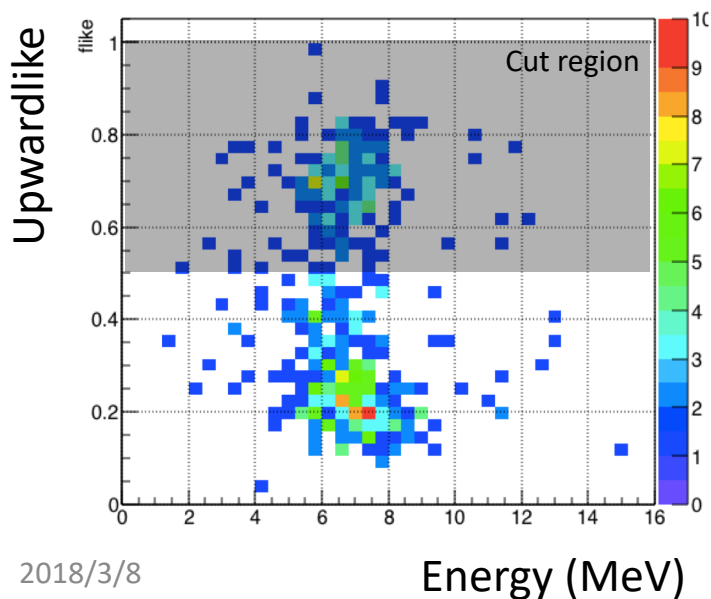
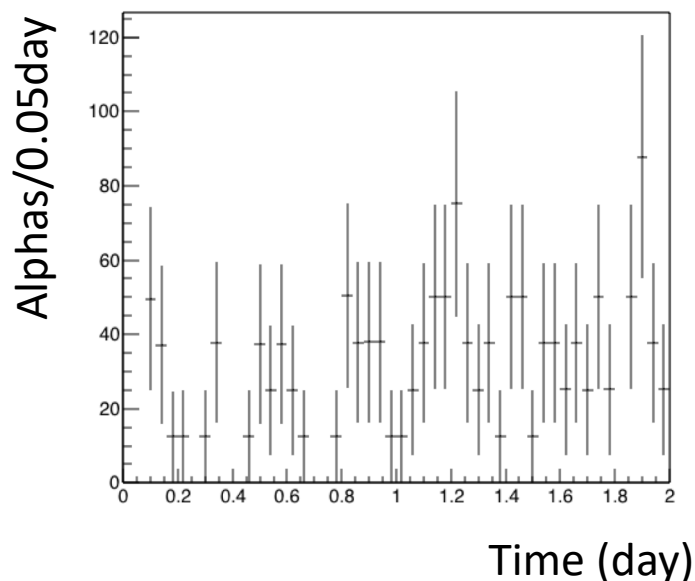
- ← 吸引時流動
- ← ガス流入時流動
- ← TPC運転時流動



### 3. 現在の開発状況



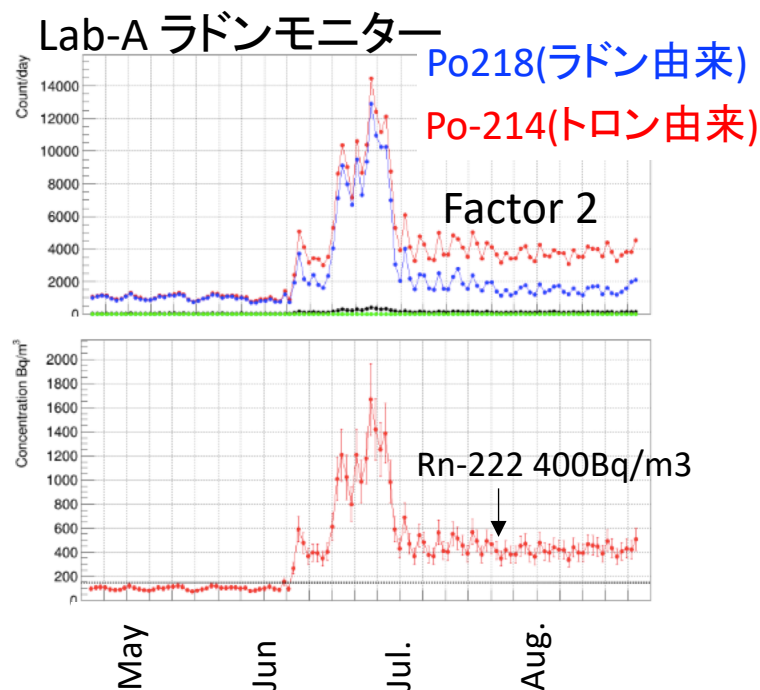
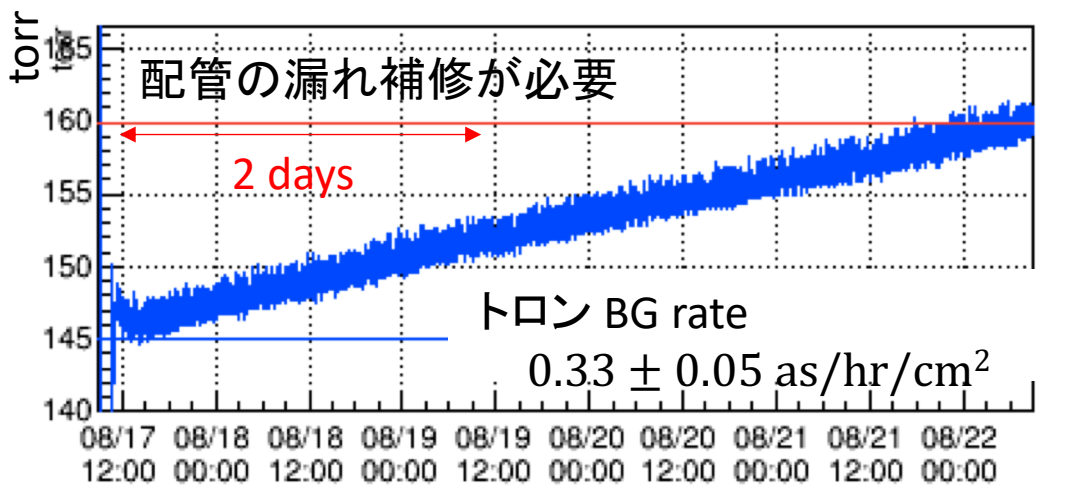
### BG run (no sample)



- ・アルファ線発生位置は一樣
- ・カウントレートに3.8dayの飽和曲線はなく一定
- ・エネルギーは約7 MeVに分布
- ・アルファの向きは上下等方的
- ・トロン(Rn-220)が見えている
  - Rn-220  $T_{1/2} = 55.5\text{sec}$ , 6.29 MeV
  - Po-216  $T_{1/2} = 0.145\text{sec}$ , 6.78 MeV
- ・トロン BG rate:  $0.33 \pm 0.05 \text{ as/hr/cm}^2$

### 3. 現在の開発状況 BG run (no sample)

- ・トロン(Rn220)は寿命55.5 secのため、活性炭への循環流量300 cc/minでは殺しきれない。
- ・配管もれによって外気Rn混入が原因？
- ・Lab-AのRnモニターから外気混入したトロン・アルファは  
~ 0.3 as/cm<sup>2</sup>/hr で説明できそう



## 4. 今後の展望

- BG level  $10^{-4}$  as/hr/cm<sup>2</sup>へ改善を目標
- 配管のガス漏れ補修
  - 外気トロンを抑制し、BG <  $10^{-2}$  alpha/cm<sup>2</sup>/hrを見込.
  - 長期測定可能 (14日間測定を想定)で、完全にradon BGを殺せたら測定誤差は $10^{-4}$  alpha/cm<sup>2</sup>/hr達成見込.
- 内部発生ラドン・トロンの抑制
  - 放射能不純物の少ない部材を使用  
Exp) アキレスビニラス材, PEEK材, ...
- その他
  - 活性炭によるラドン抑制効果を見ておこう
  - サンプル測定へ

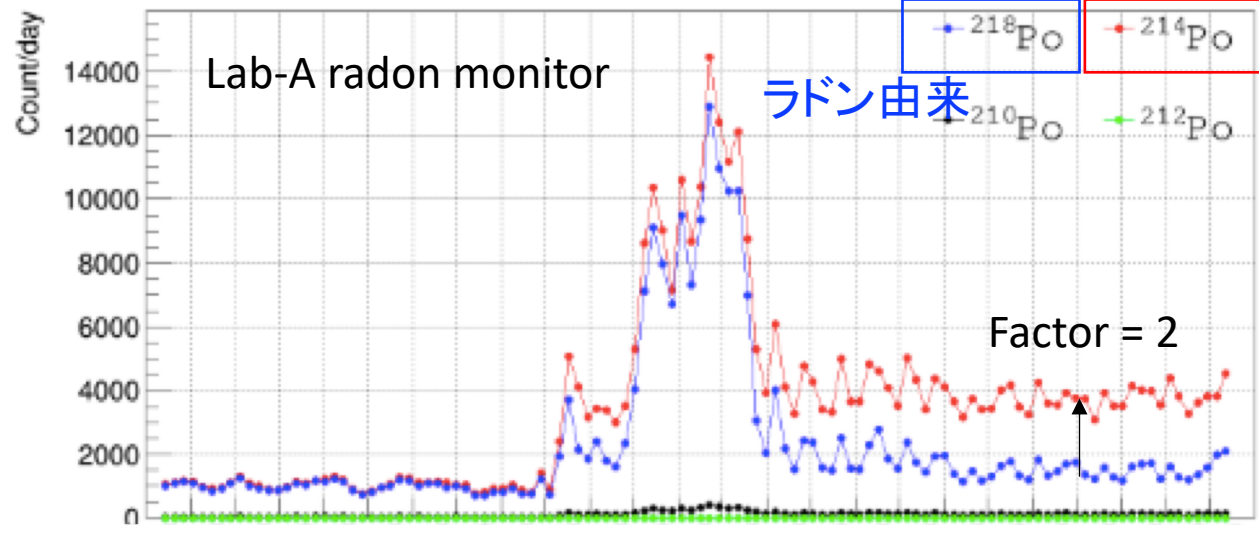
## 5. まとめ

- 表面alpha分析器は暗黒物質・二重β崩壊探索のための検出器部材サンプルのalpha線放射不純物を測定するために開発している。
- 5.3MeV α線を用いてエネルギー較正した。
  - 分解能~11%( $\sigma$ )と評価した。
  - Upwardlikeを波形解析で決定し、ソース由来アルファ線を91%下向きを同定。
- 試料なし: BG run実施
  - 今回、トロン(Rn-220)が支配的に見えた。
  - トロン BG level =  $0.331 \pm 0.05$  as/hr/cm<sup>2</sup>
  - 活性炭によるラドン(Rn-222)抑制能力は今後実施予定。
- 配管漏れ補修で外気由来トロンを抑制、長期測定を実施
  - BG level  $10^{-4}$  as/mc<sup>2</sup>/hr達成を目指す



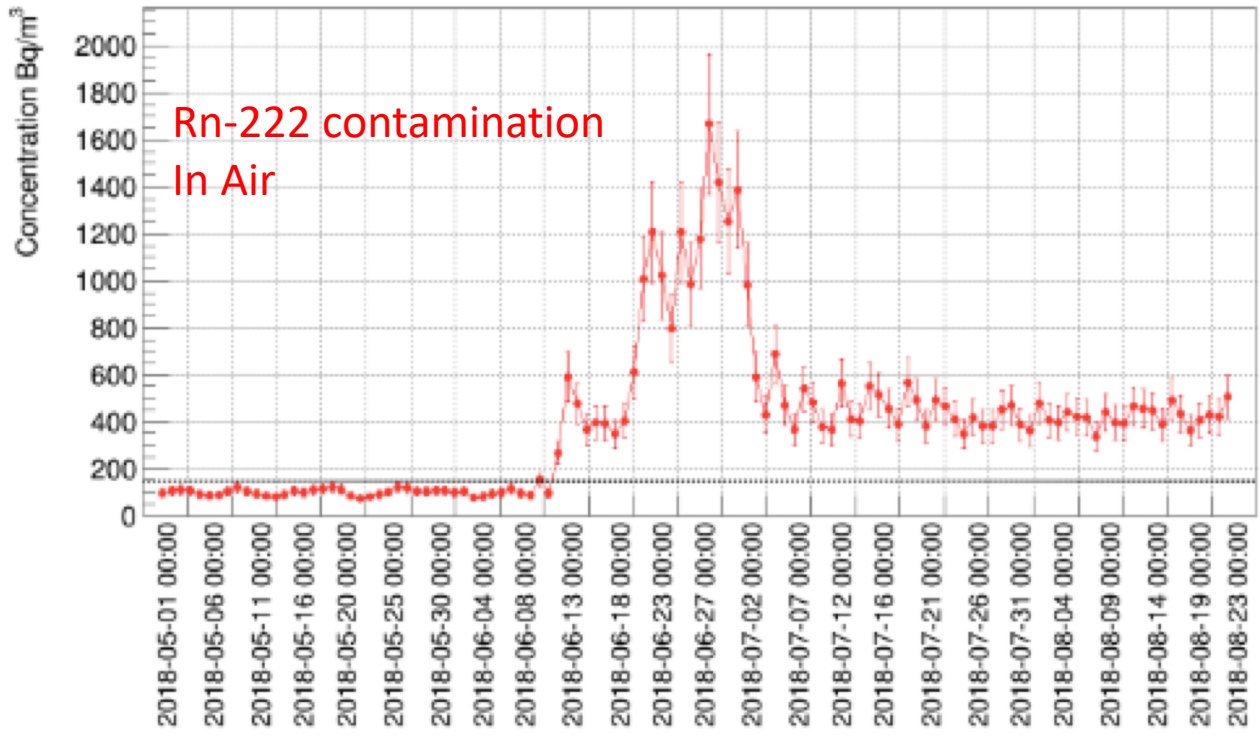
# Backup

# Lab-AのRnモニターから外気混入したトロン・アルファの見積もり



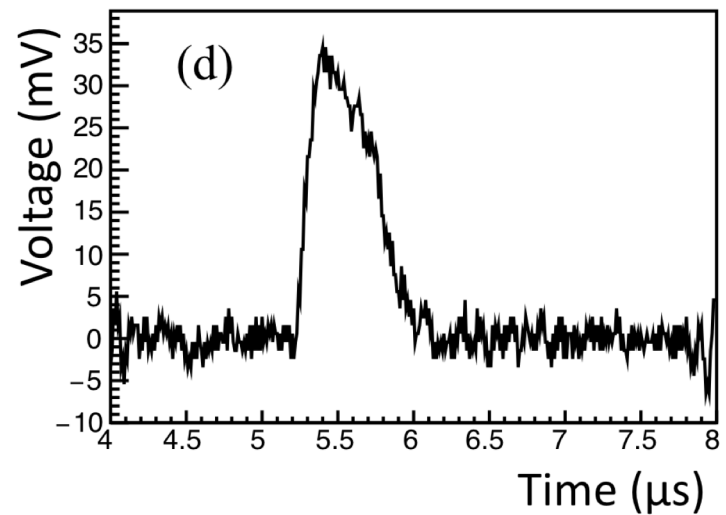
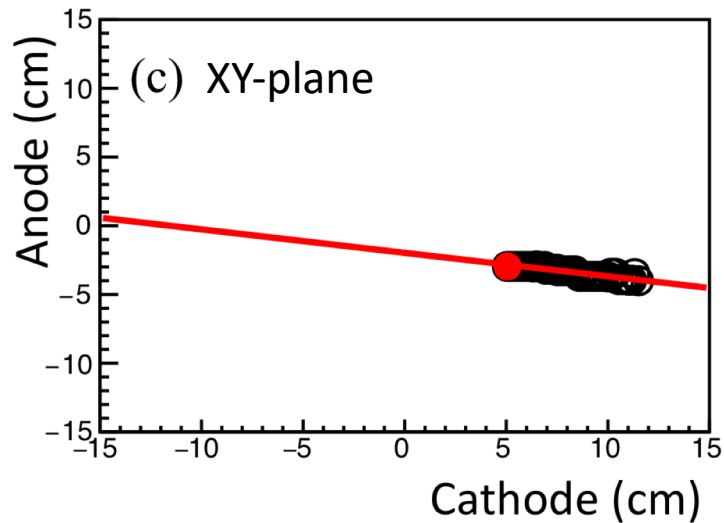
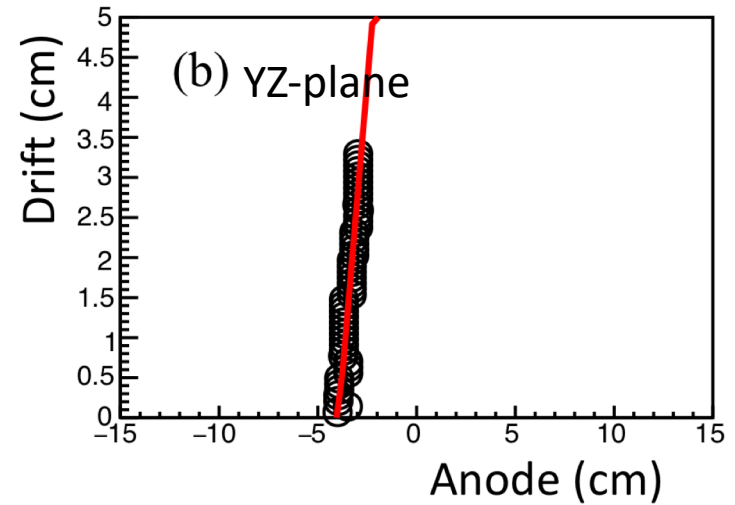
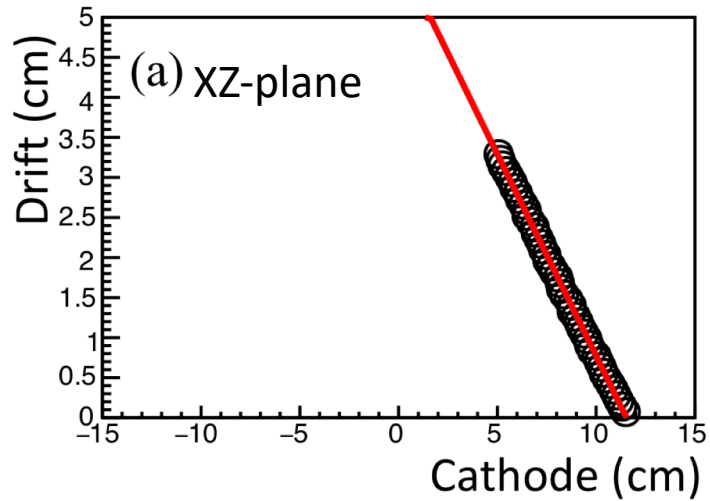
トロン由来

Rn濃度: 400 Bq/m<sup>3</sup> @1atm  
 容器サイズ: 0.0368 m<sup>3</sup> @0.2atm  
 pV=const.  
 もれ上昇量: 3-4 torr/day  
 サンプル領域割合:  
 100cm<sup>2</sup>/900cm<sup>2</sup> = 0.11  
 Po-218 Po-214 peak factor = 2

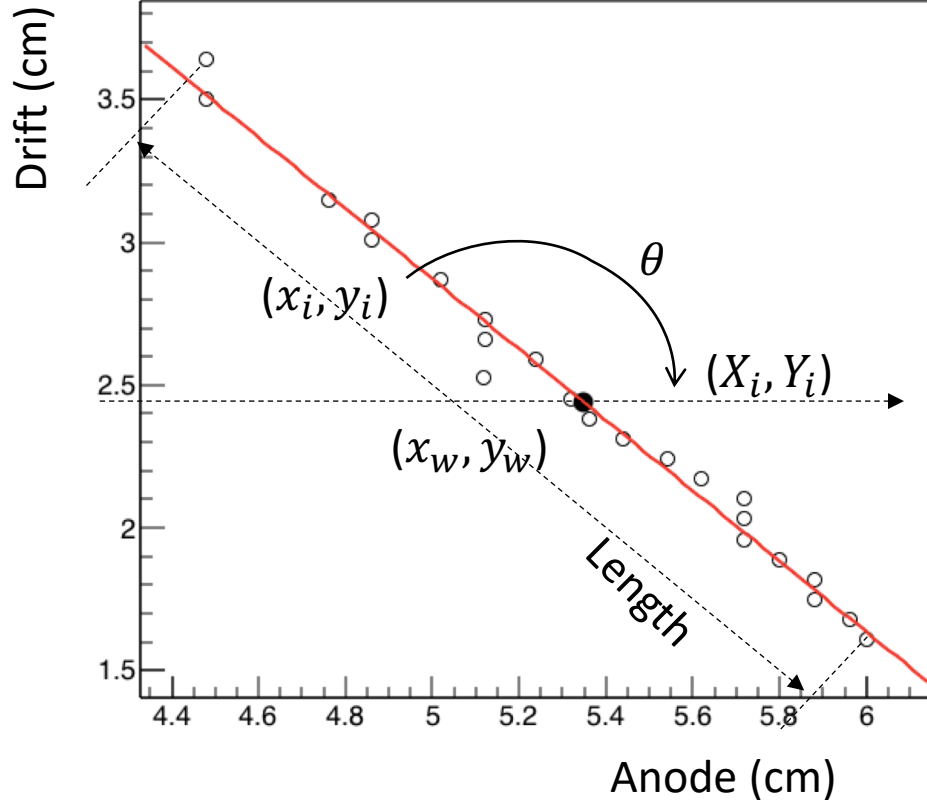


Rn-220 alpha = 400Bq/m<sup>3</sup> \*2  
 \* 0.2atm/1atm  
 \* (3-4torr/145-155torr)  
 \* 0.0368m<sup>3</sup>  
 \* 0.11  
 \* 3600 as/hr/Bq  
 / 100 cm<sup>2</sup>  
 = ~ 0.6 as/cm<sup>2</sup>/hr  
 {Upward like cut factor 1/2}  
**Rn-220 alpha ~ 0.3 as/cm<sup>2</sup>/hr**

# イベント再構成 : track linear fittings



# イベント再構成 : track linear fittings



## 直線フィットアルゴリズム

weight point  $(x_w, y_w)$

raw data point  $(x_i, y_i)$

rotated point  $(X_i, Y_i)$

$$x_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$y_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - x_w \\ y_i - y_w \end{pmatrix}$$

$y=0$ でフィットした時のbest  $\theta$ が飛跡(射影)の傾きを示す。

利点は $y=ax+b$ フィットで  $\theta=90$  deg ( $a=$ 無限)の極値がなくなる。

$\tan^{-1}\theta$ 領域( $-90 < \theta' < 90$  deg)で表示

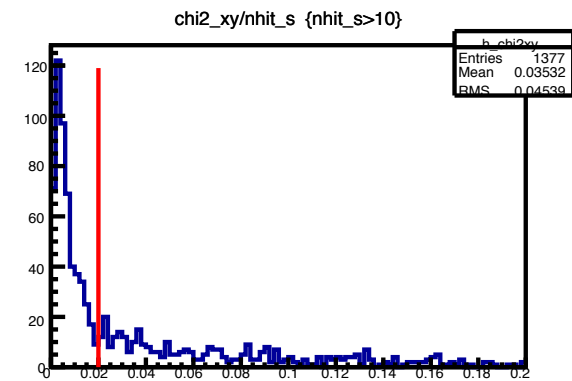
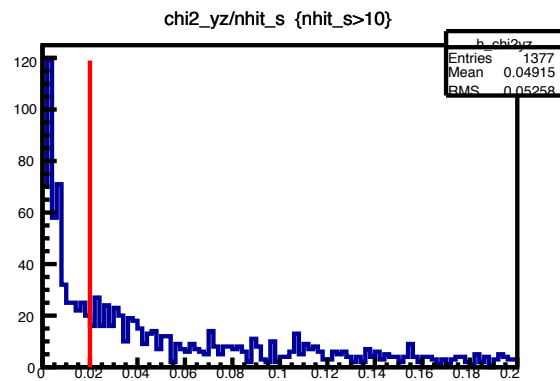
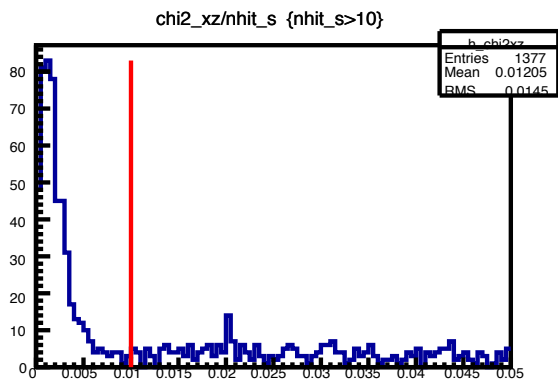
$$\chi_k^2 = \sum_i Y_i^2 = \sum_i -(x_i - x_w)\sin\theta + (y_i - y_w)\cos\theta$$

( $k = xz, yz, xy$ )

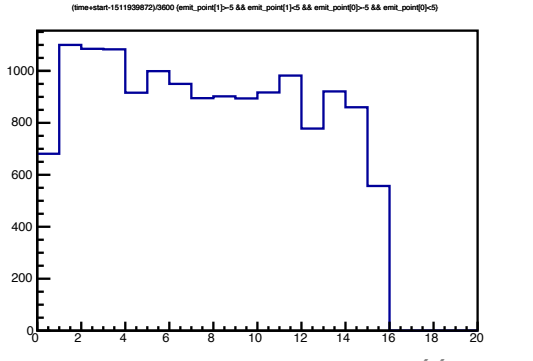
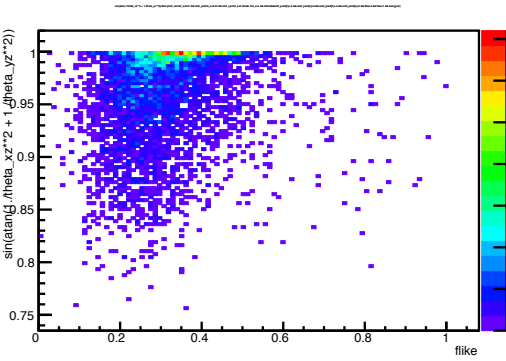
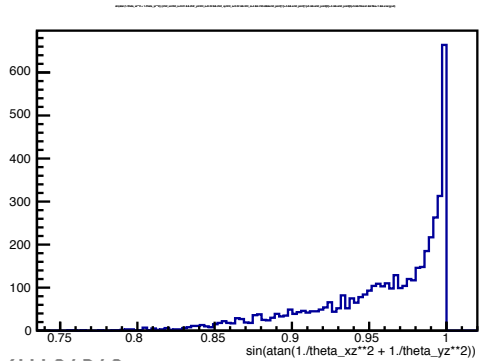
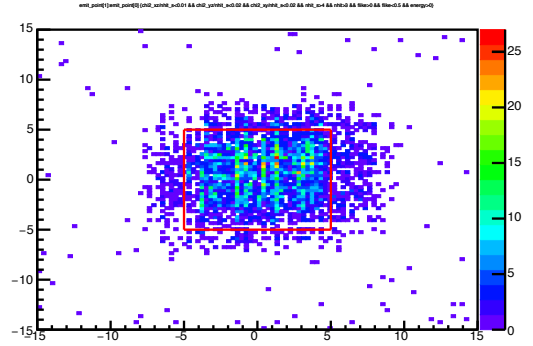
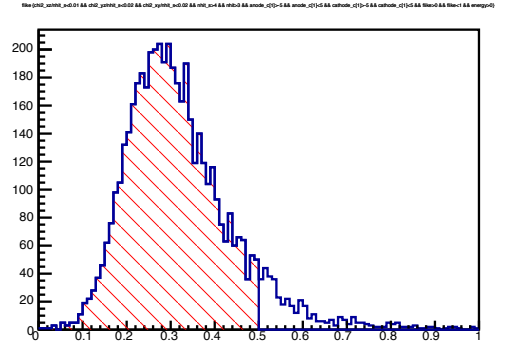
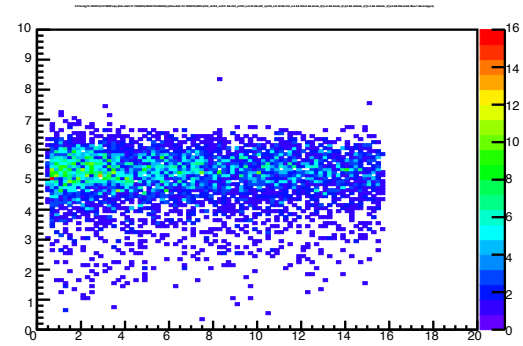
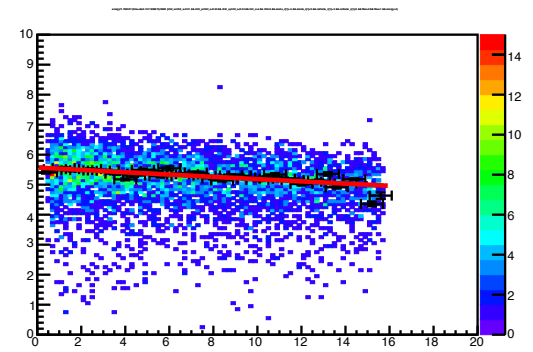
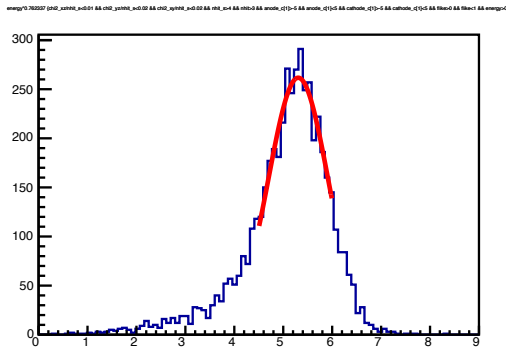
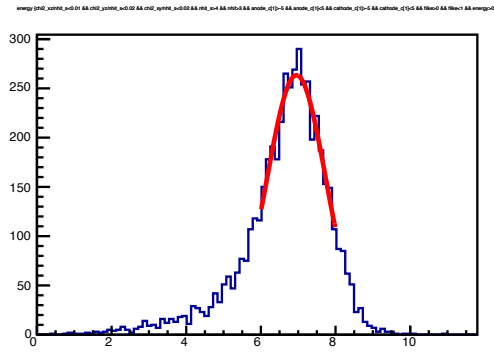
# イベント再構成 : track linear fittings

$$\chi_k^2 = \sum_i Y_i^2 = \sum_i -(x_i - x_w)\sin\theta + (y_i - y_w)\cos\theta$$

(k = xz, yz, xy)

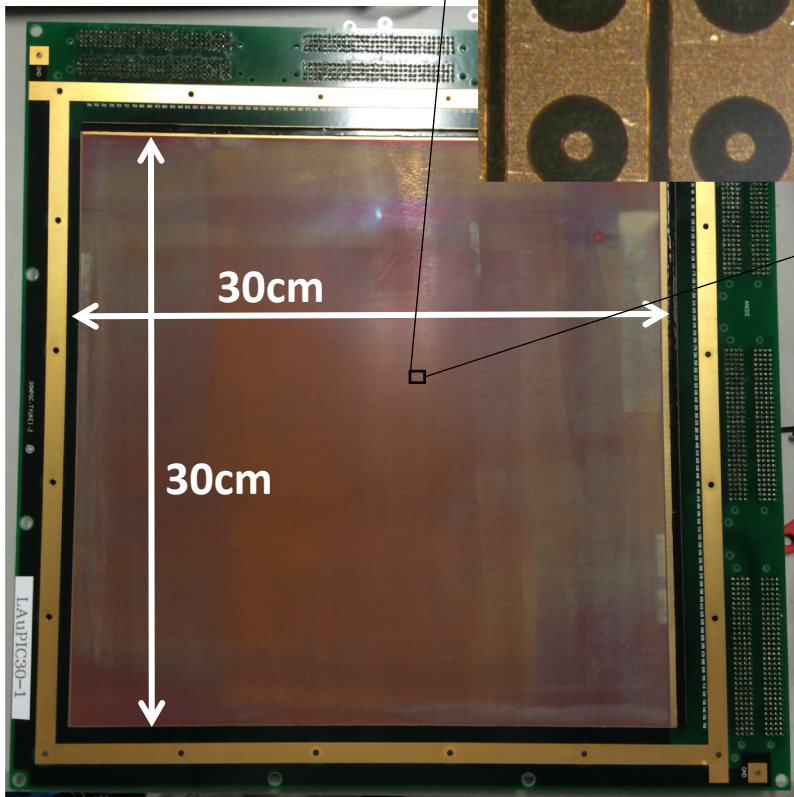
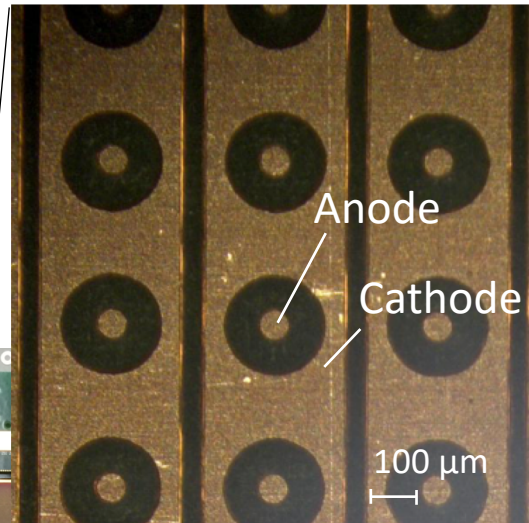
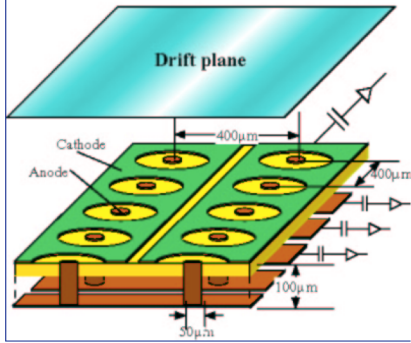


# Pb-210 source Calib. RUN monitor



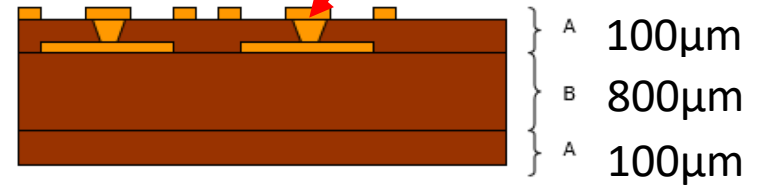
## 2. 表面α線分析器 low-alpha μ-PIC

μ-PIC : Micro Pixel Chamber



Replace with low radioactive materials

これがTh・Uを持つてる



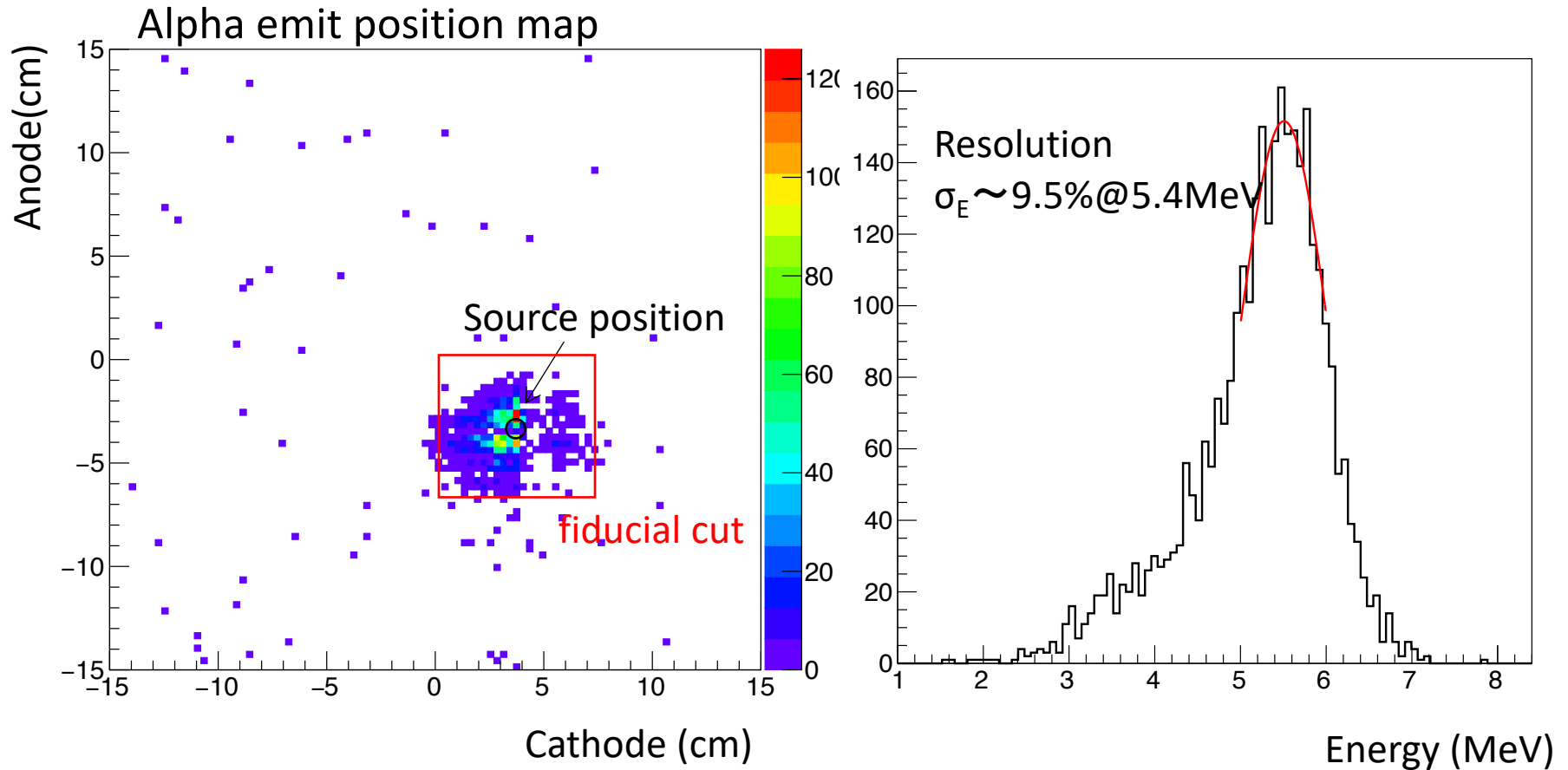
**New material**



Sample	$^{238}\text{U}$ [ppm]	$^{232}\text{Th}$ [ppm]
PI100μm (conventional)	0.39±0.01	1.81±0.04
PI+epoxy (new)	< $2.98 \times 10^{-3}$	< $6.77 \times 10^{-3}$

### 3. 現在の開発状況 Calibration run

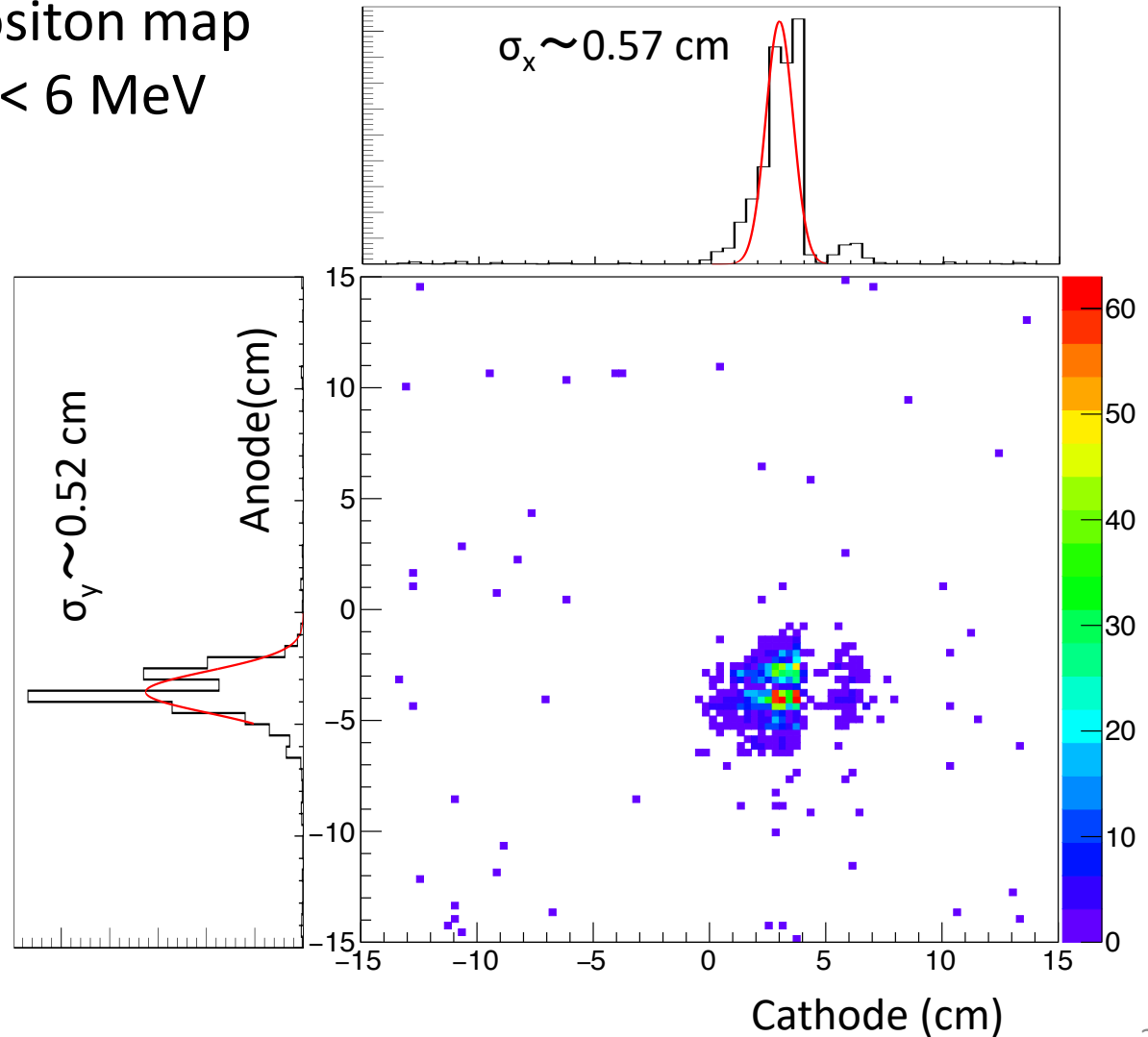
#### Energy calibration



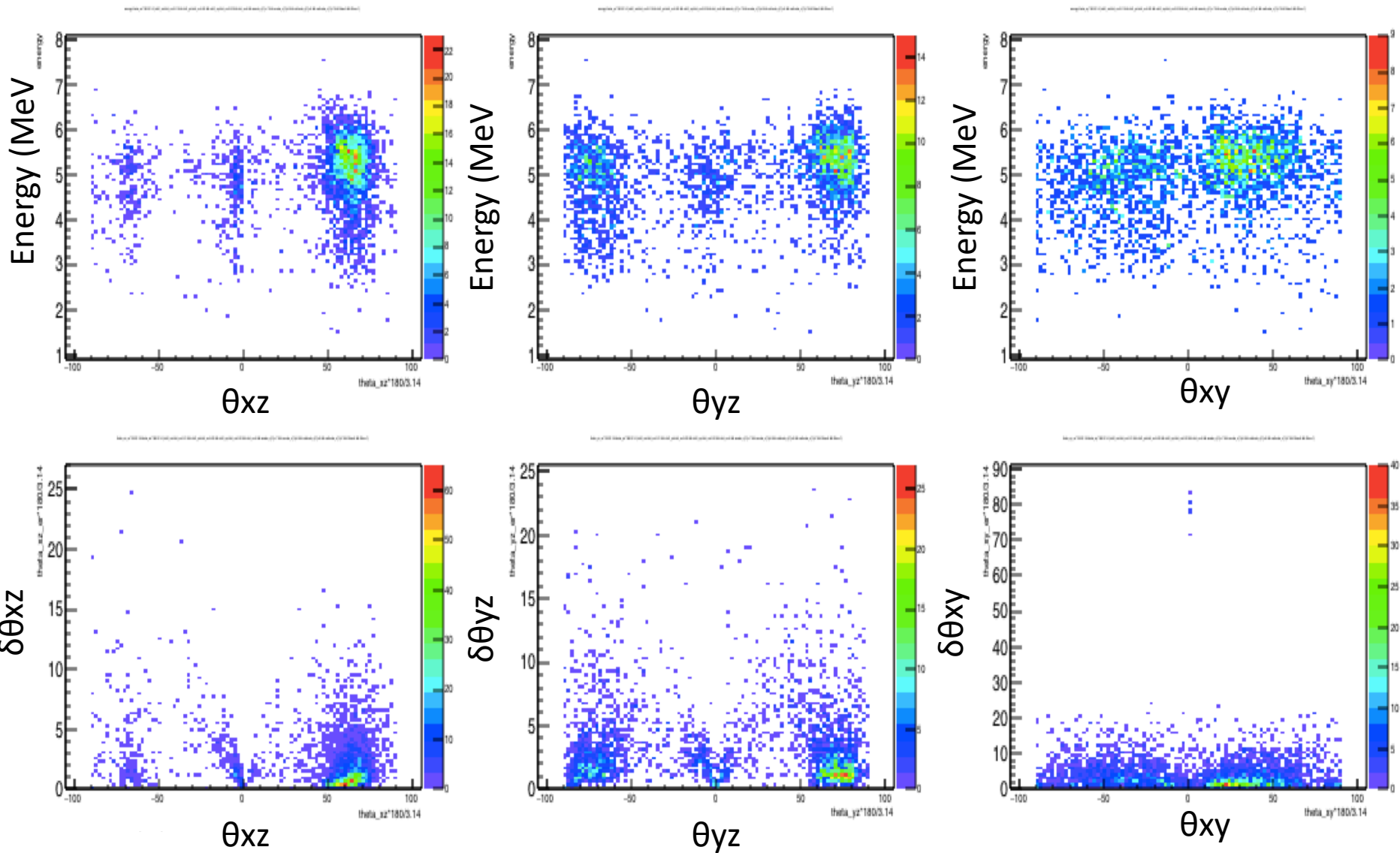


### 3. 現在の開発状況 Calibration run

Alpha emitting positron map  
Energy cut :  $5 < E < 6$  MeV

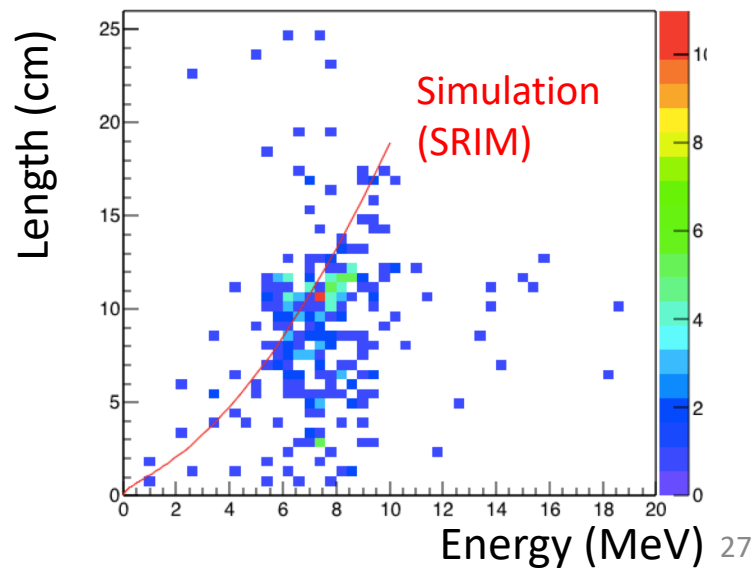
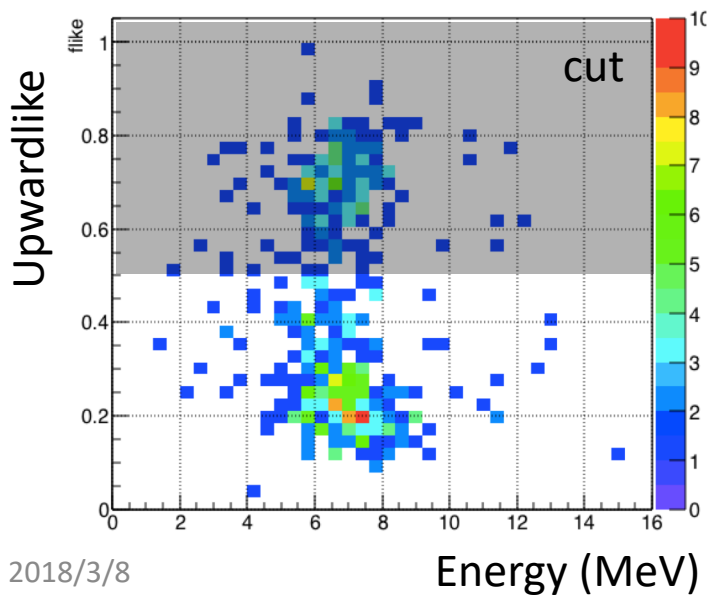
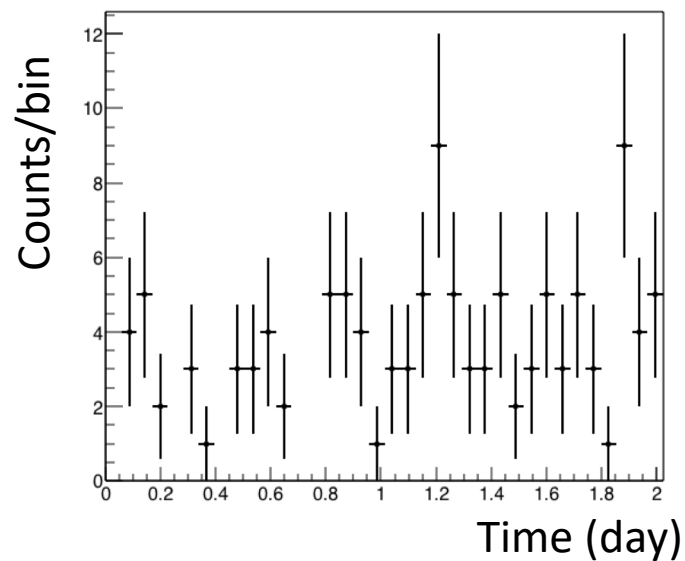
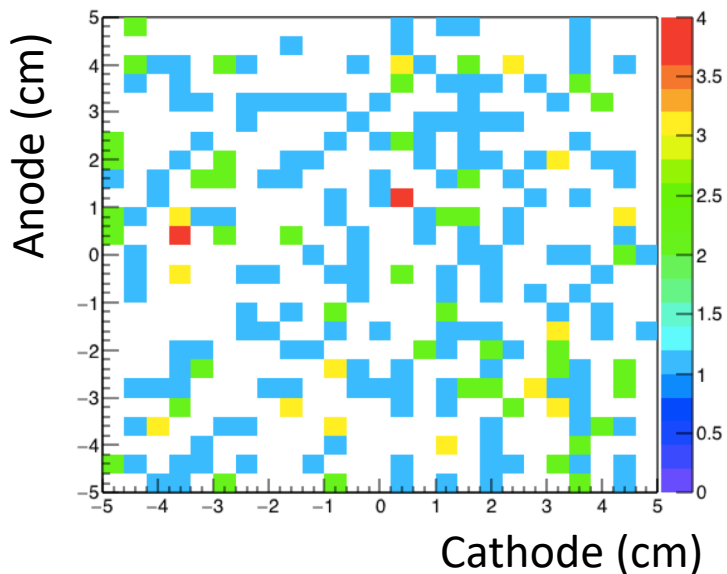


### 3. 現在の開発状況 (非スライド)



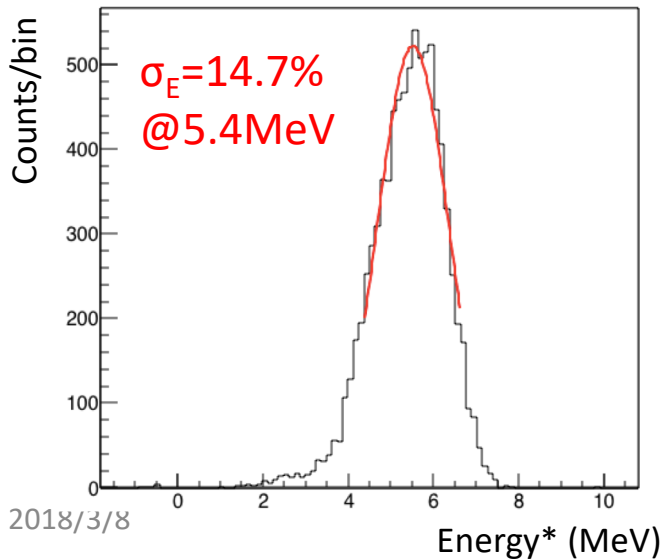
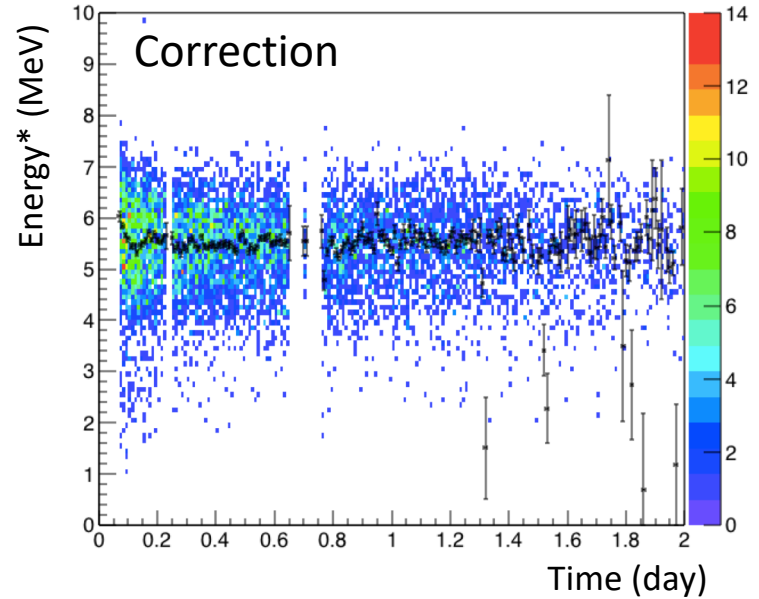
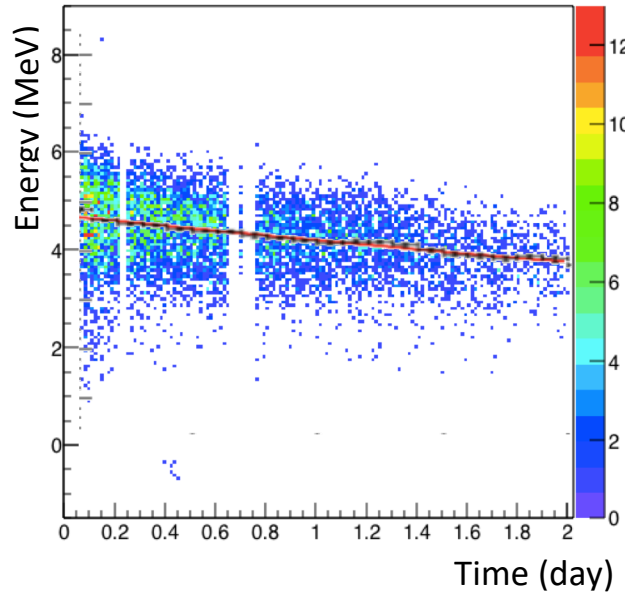
### 3. 現在の開発状況

### Radon background run



### 3. 現在の開発状況

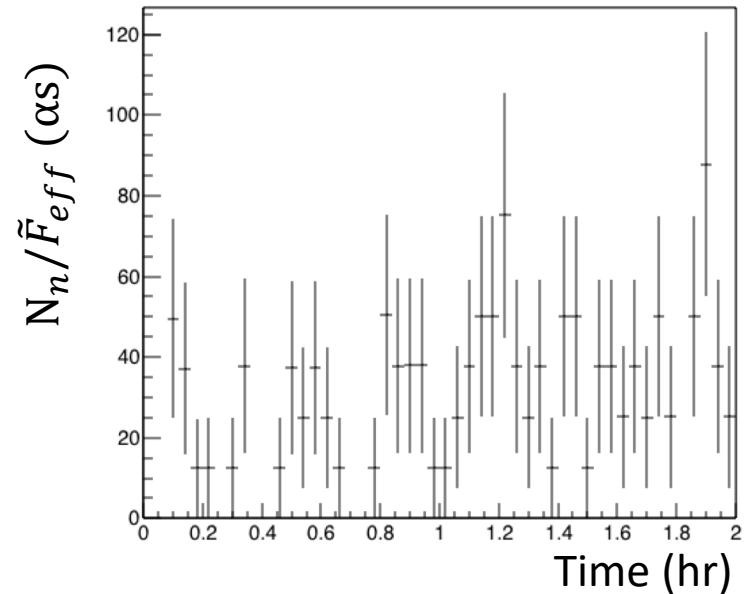
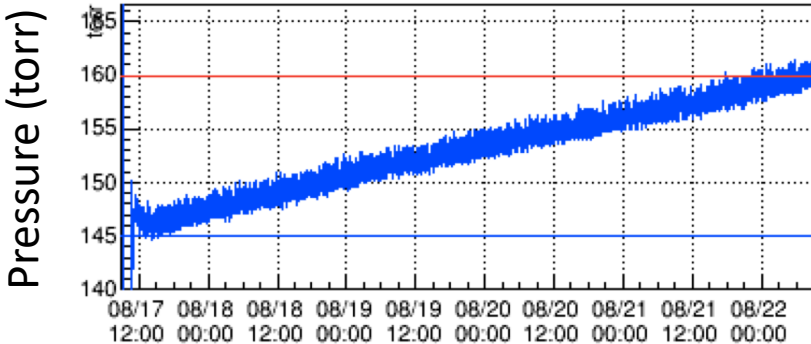
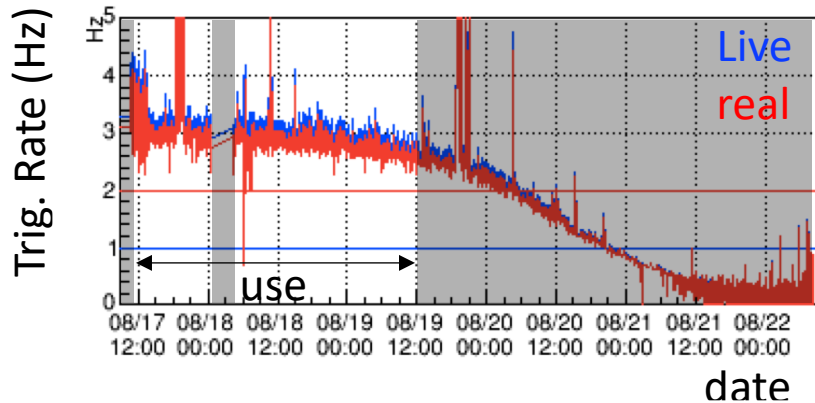
Calibration using alpha source (Am-241)



### 3. 現在の開発状況 Radon background run

BG rate

$$R_{BG} = \frac{1}{TS} \sum_n \frac{N_n}{\tilde{F}_{eff}(t_n)} \frac{1}{1 - t_{dead}(t_n)}$$



$$\tilde{F}_{eff}(t) = F_{eff}(t) / A_{alpha}$$

... Detection efficiency included with cut eff.

$T$  ... exposure time (hr)

$$T = 1.782 \text{ days}$$

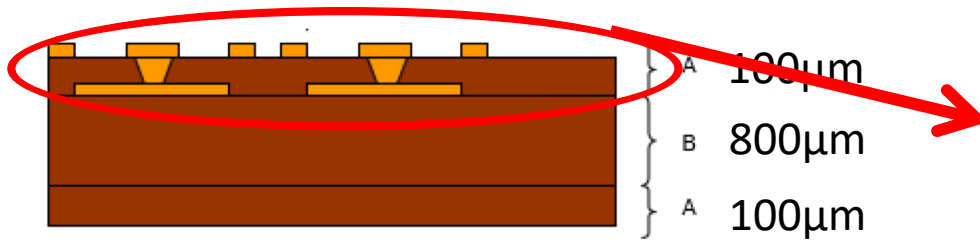
$S$  ... fiducial area ( $\text{cm}^2$ )

$$S = 100 \text{ cm}^2$$

$$R_{BG} = 0.331 \pm 0.052 \text{ (90\%CL)}$$

$$\alpha s / \text{hr} / \text{cm}^2$$

# Low $\alpha$ $\mu$ -TPCの開発



Replace with low radioactive materials

## New material

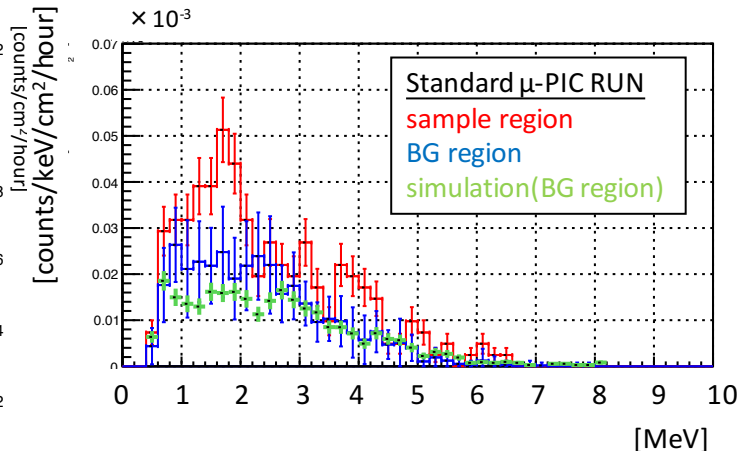
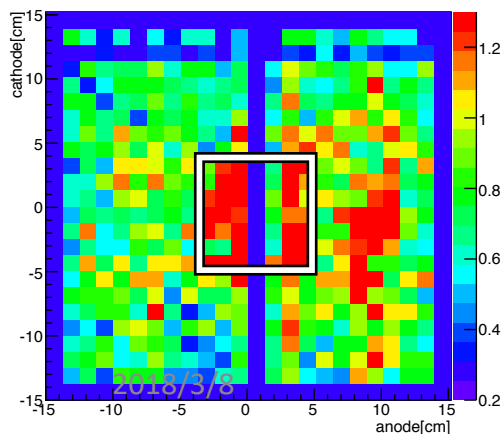
$^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  measurement results using the HPGe detector



PI + epoxy

Sample	$^{238}\text{U}$ [ppm]	$^{232}\text{Th}$ [ppm]	備考
PI100 $\mu\text{m}$	$0.39 \pm 0.01$	$1.81 \pm 0.04$	Current $\mu$ -PIC material
PI+epoxy	$< 2.98 \times 10^{-3}$	$< 6.77 \times 10^{-3}$	New material

arXiv:1707.09744



sample	$\alpha/\text{cm}^2/\text{h}$
standard $\mu$ -PIC	$0.28 \pm 0.12$
Low $\alpha$ $\mu$ -PIC	$< 7.55 \times 10^{-2}$

# $\mu$ -TPCを用いた表面 $\alpha$ 分析測定

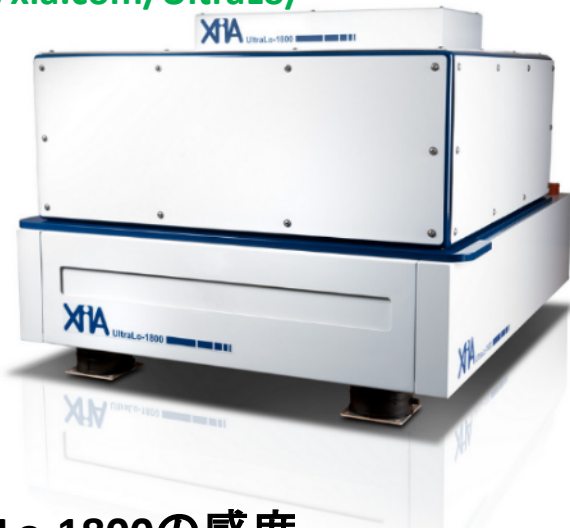
B02+D01

伊藤、橋本、  
身内

- 表面からの $\alpha$ 線：暗黒物質・ $\beta\beta$ 実験などで問題
- NEWAGEのマイクロTPCで感度よく測定する
  - c.f.既成品「UltraLo」

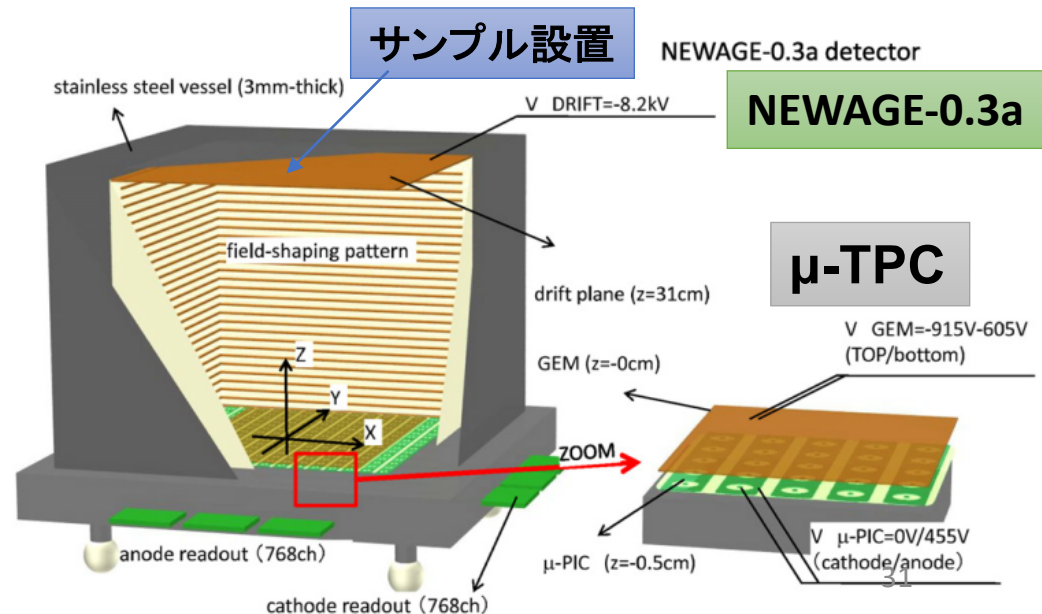
UltraLo-1800	Overview	Theory	Features	Specs	Resources
--------------	----------	--------	----------	-------	-----------

■ Next Generation Alpha Particle Counter  
<http://xia.com/UltraLo/>



UltraLo-1800の感度  
( $10^{-4}$  alpha/cm<sup>2</sup>/hr、カタログ値)  
2018/9/8

- メリット：position sensitive  
⇒ サンプル以外の場所をBGエリアとして引くことが可能
- 懸案事項：バックグラウンド



# 表面 $\alpha$ : ドリフトプレーン研磨について

研磨前

研磨後

日造精密研磨で  
ドリフトプレーンを研磨

表面の粗さ  
5段階のグレード

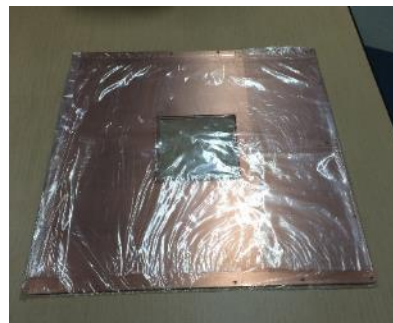
MA 0.1 $\mu$ m

MB 0.2 $\mu$ m

MC 0.4 $\mu$ m

MD 0.6 $\mu$ m

ME 0.8 $\mu$ m



MC保証

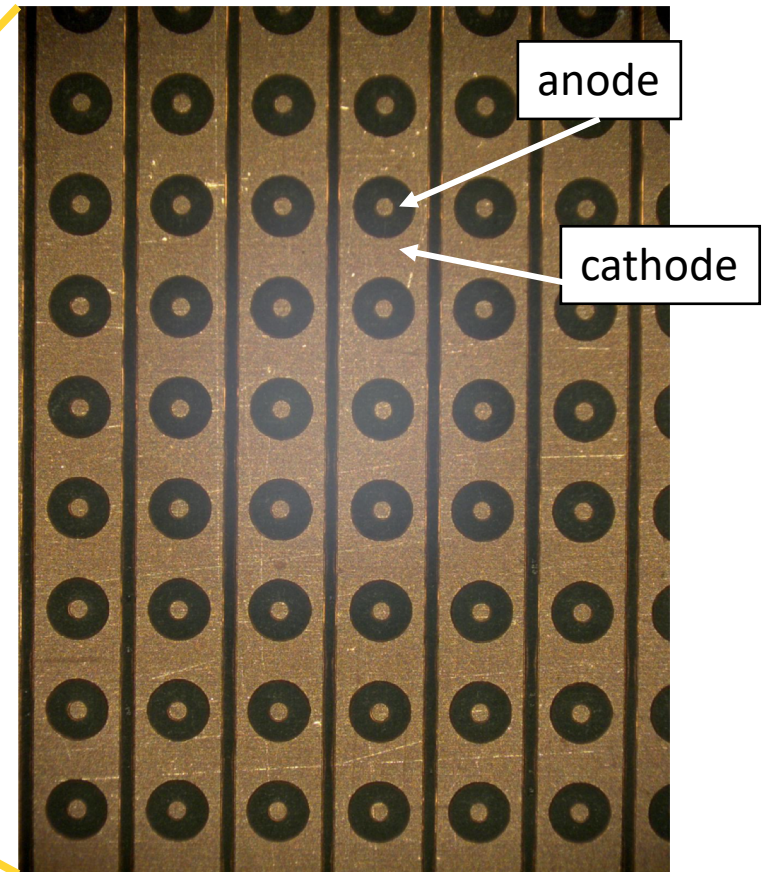
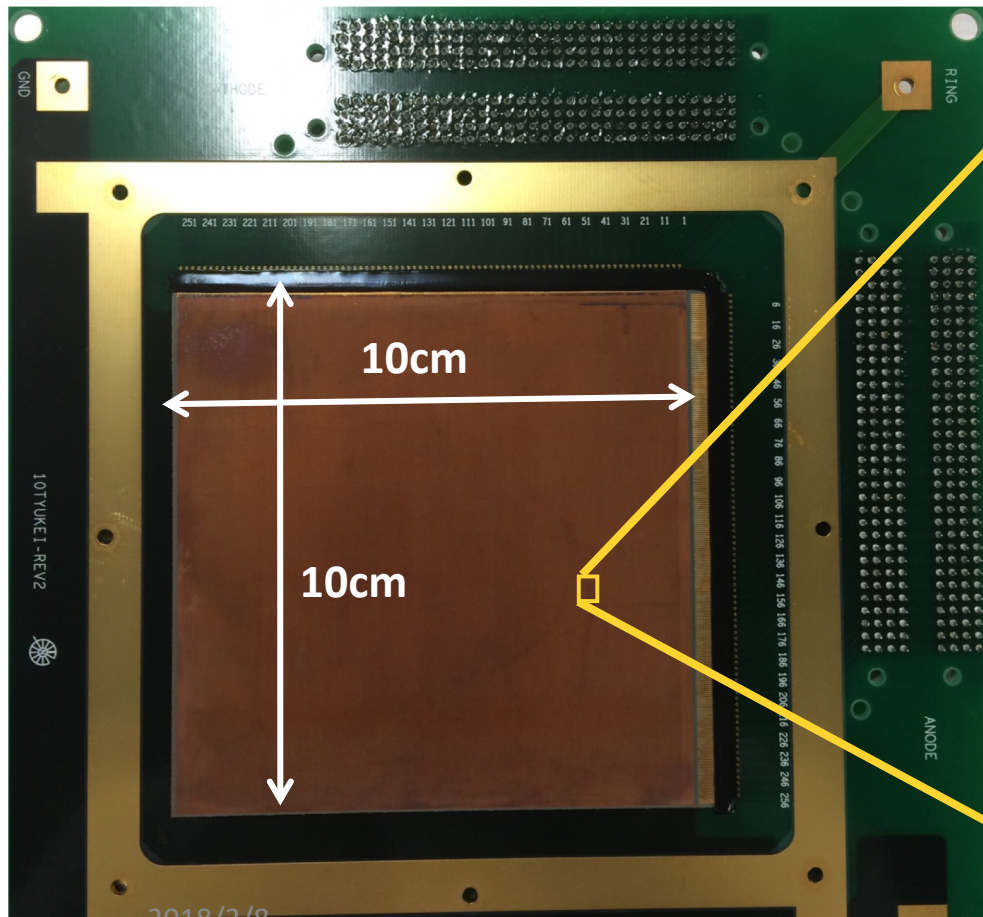


表面を電解研磨し凹凸を小さくすることで表面から出てくるBGを小さくすることができる



# A prototype of Low $\alpha$ $\mu$ -PIC production in 2016

- A new type  $\mu$ -PIC, by replacing top layer of PI with a new material
- A prototype(10×10cm<sup>2</sup>) was successfully created
  - The anode electrodes are placed in the cathode electrodes

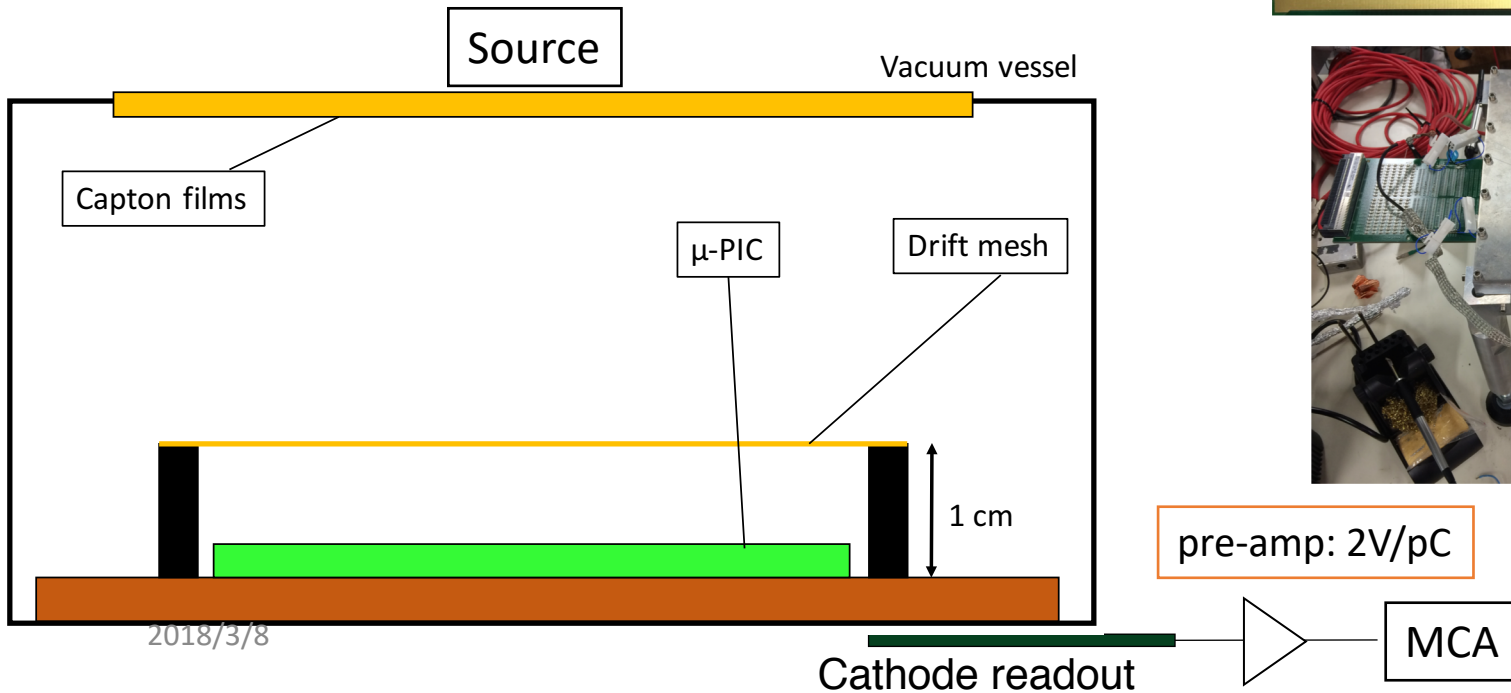
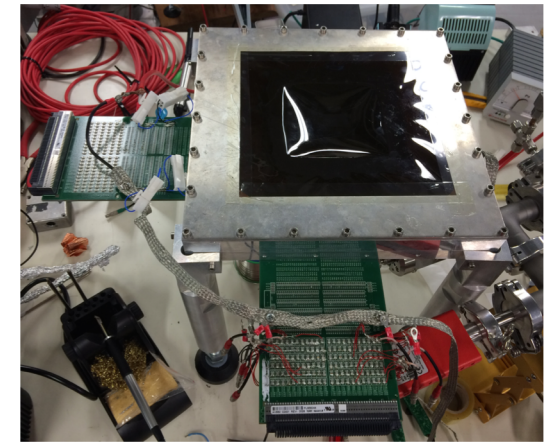
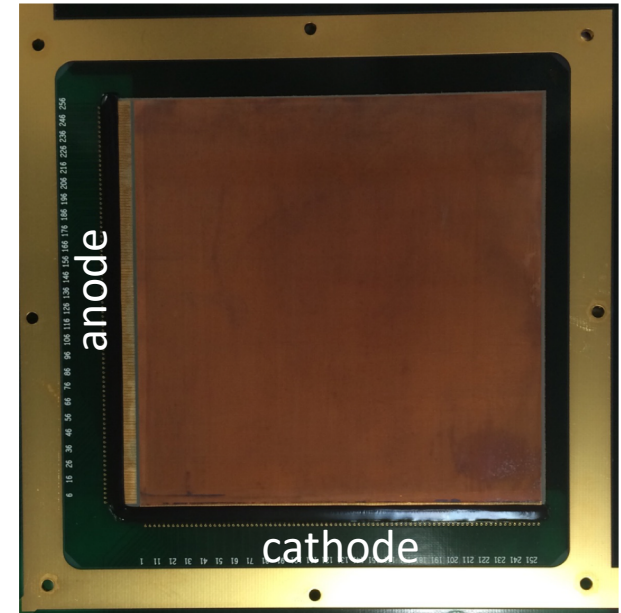


# Performance check of the Low $\alpha$ $\mu$ -PIC

Requirement : The same level with gas gain of standard  $\mu$ -PICs

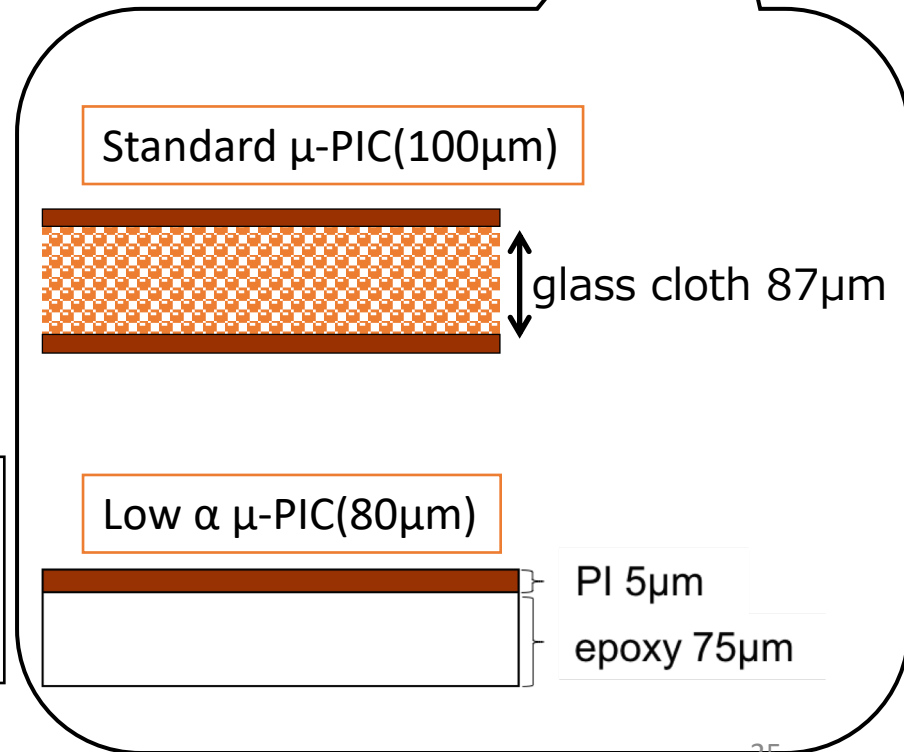
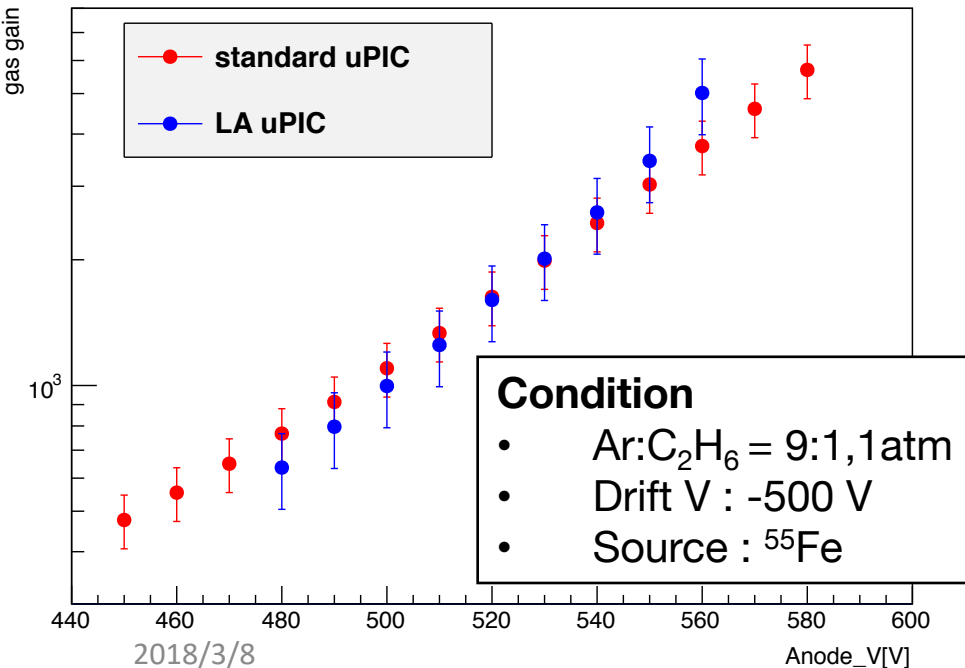
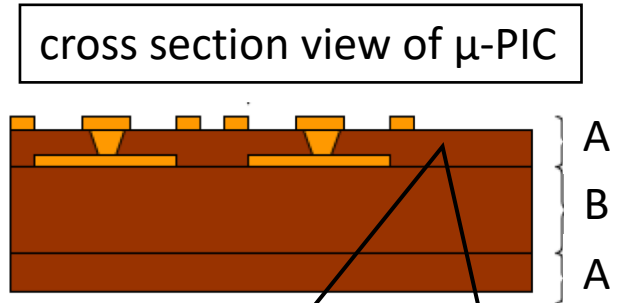
## Detector

- Anode 256ch $\times$ cathode 256ch
- Cathode readout
- Recorded pulse height using MCA



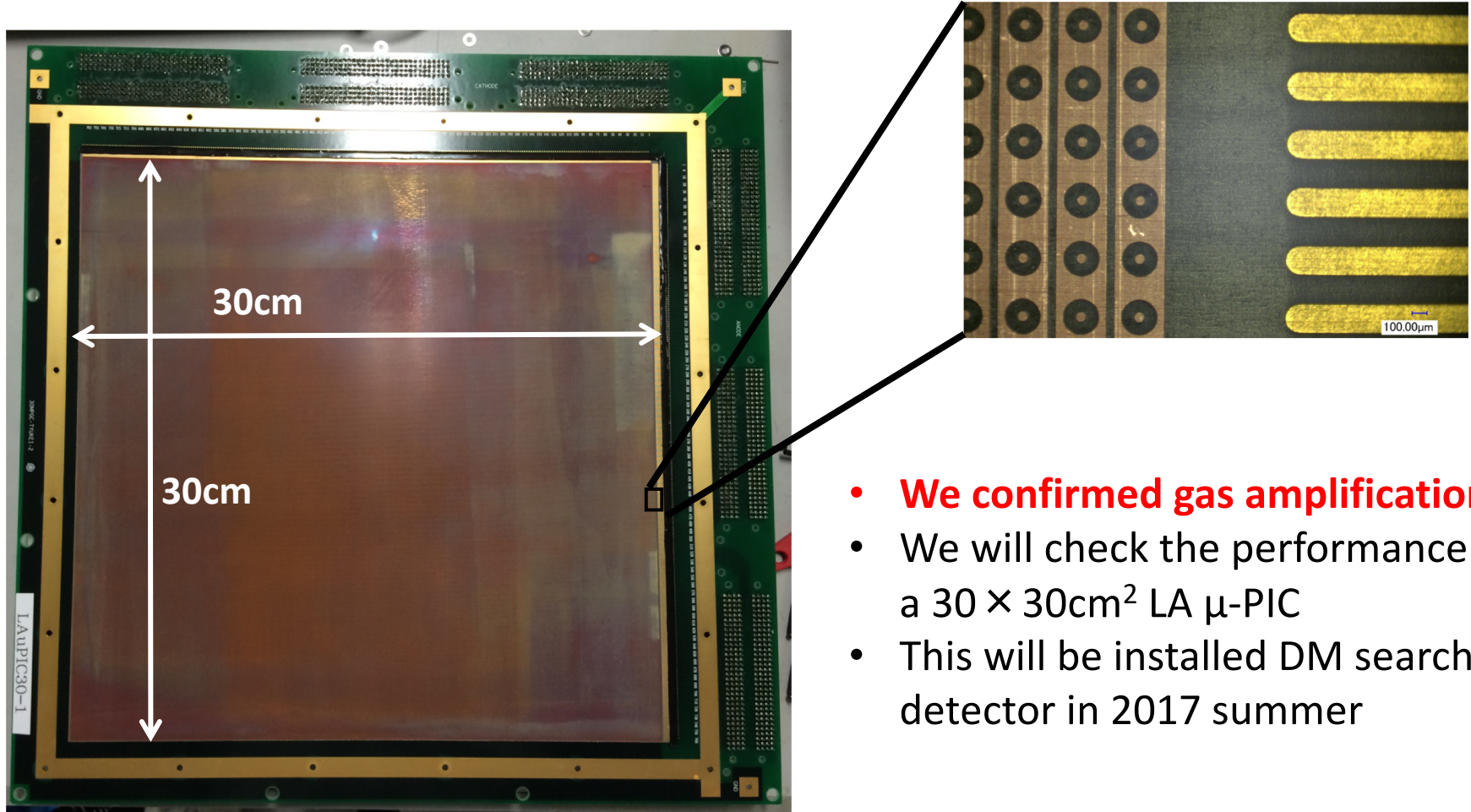
# Measurement result

- **Gas gain of Low  $\alpha$   $\mu$ -PIC is almost same as standard  $\mu$ -PIC**
  - Error bar: Position dependence of gas gain
- A difference between two slope of gain curve is under investigation
  - difference of electric field structure
  - difference of a height of anode electrode



# 30×30 cm<sup>2</sup> Low $\alpha$ $\mu$ -PIC production in 2017

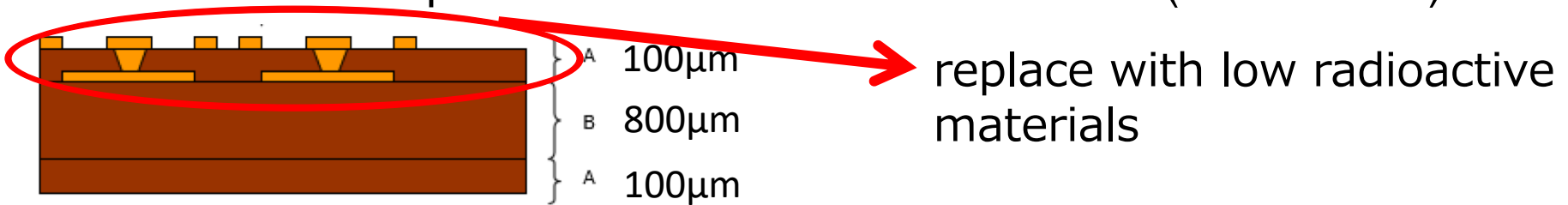
- Low  $\alpha$   $\mu$ -PICs with a detection area of 30×30cm<sup>2</sup> was very successfully created
  - **alignment control is very good ( $< 1 \mu\text{m}$ )**



- **We confirmed gas amplification**
- We will check the performance of a 30 × 30cm<sup>2</sup> LA  $\mu$ -PIC
- This will be installed DM searching detector in 2017 summer

# Development of Low $\alpha$ $\mu$ -PIC

- The main background source is glass clothes in PI 100 $\mu$ m
- We need to make a  $\mu$ -PIC with low radioactive materials (Goal : 1/100)



## New material

Sample	$^{238}\text{U}$ [ppm]	$^{232}\text{Th}$ [ppm]	備考
PI100 $\mu$ m	0.39 $\pm$ 0.01	1.81 $\pm$ 0.04	Current $\mu$ -PIC material
PI+epoxy	<b>&lt; 2.98<math>\times 10^{-3}</math></b>	<b>&lt; 6.77<math>\times 10^{-3}</math></b>	New material

- New materials is 100 times as pure as current materials
- Low  $\alpha$   $\mu$ -PICs were created



cross section view of a new material



PI + epoxy