

日時:2018年3月7日-9日 山形 天童温泉 ほほえみの宿 滝の湯
新学術領域「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」
計画研究D01「低放射能技術による宇宙素粒子研究の高感度化」主催

表面 α 線分析装置開発

神戸大 伊藤 博士



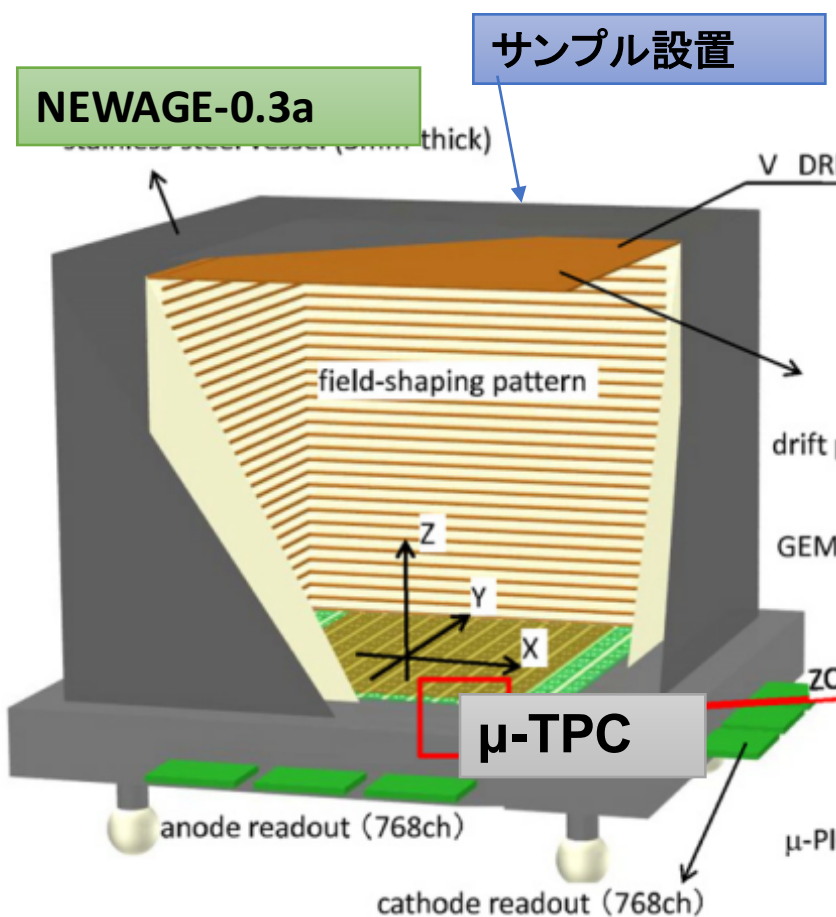
目次

1. 背景
2. NEWAGE-0.3a 検出器
3. ハードウェア・アップデート
4. 解析手法の改善
5. 考察
6. 今後の計画
7. 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 α 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 α 線(表面 α 線)を測定し、材質内U/Th放射能濃度を評価する。

2. NEWAGE-0.3a 検出器



Fid. Vol. = 20 x 28 x 31 cm³
CF₄ gas 150 torr (0.2 atm)
Eff. mass = 0.0115 kg

μ-TPCを用いる利点

- Position sensitive
- 絶縁体・粉末測定可能

これまでの開発状況

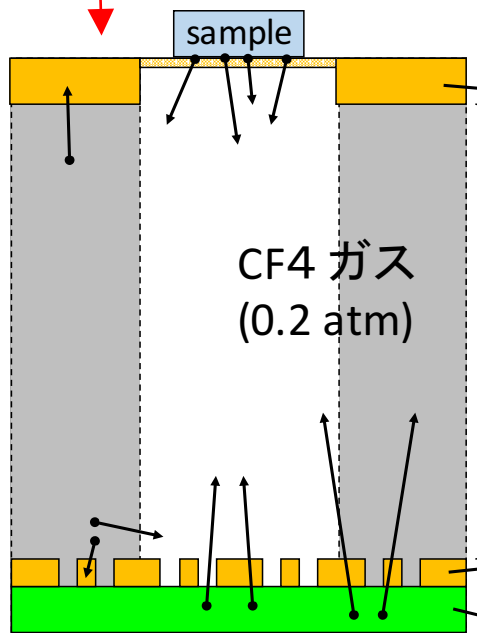
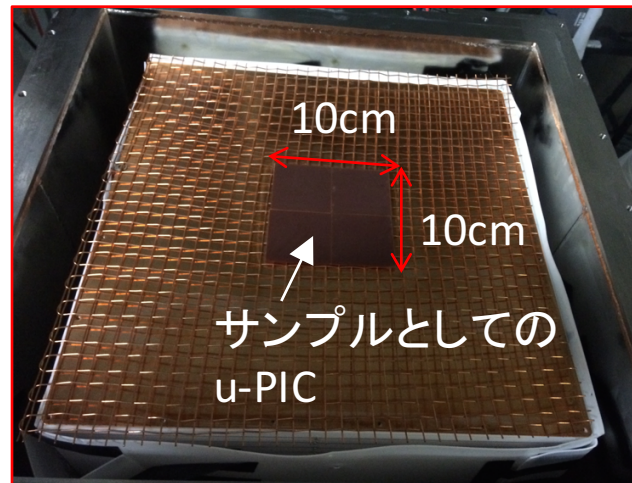
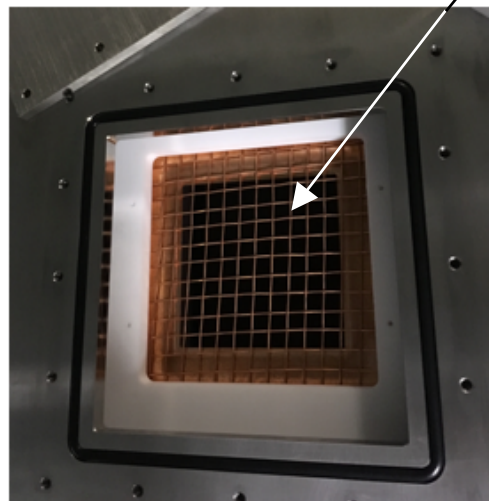
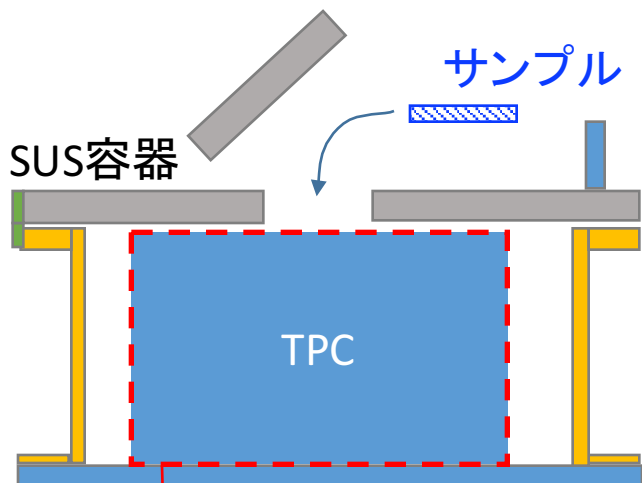
- NEWAGE-0.3aを改造
- ドリフト面中央にα通過用穴設置
- サンプル交換用に容器改良
- DAQデバッグ
- Low-α μ-PIC新素材測定
- BG level: $1.32 \times 10^{-1} \alpha\text{s/cm}^2/\text{hr}$
(目標: Ultralo-1800 $10^{-4} \alpha\text{s/cm}^2/\text{hr}$)

課題

- 検出器をLow-BG材質に取替える
- 解析手法 α線前後判定
- 冷却活性炭導入

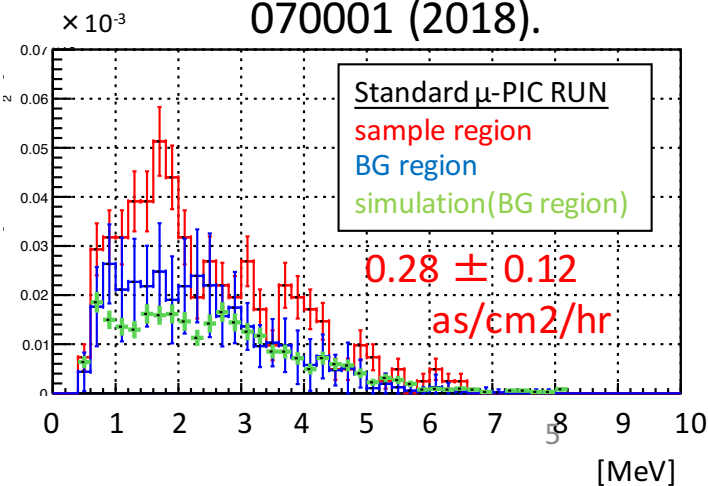
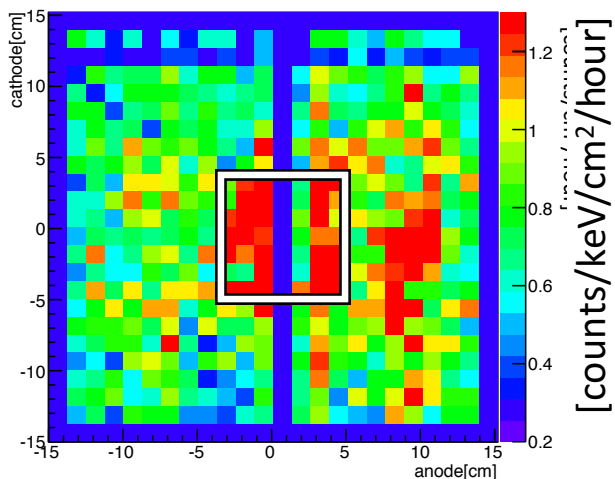
3. ハードウェア・アップデート

メッシュがサンプルを支える



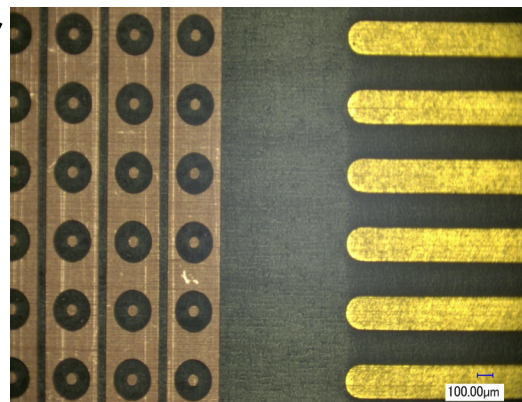
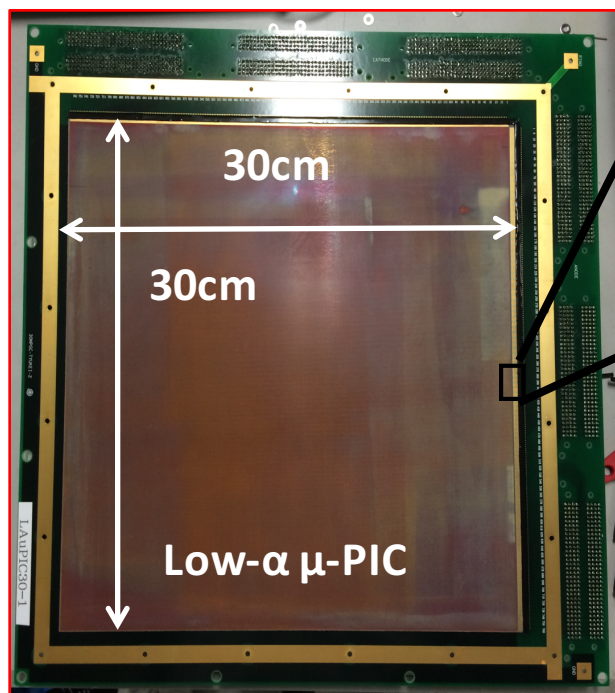
サンプル領域を選択カットして、側面壁からの環境放射能バックグラウンドを抑制する。

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

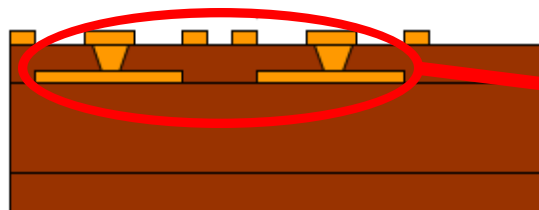


3. ハードウェア・アップデート

Low- α μ -PICの実装



New material



PI+epoxy

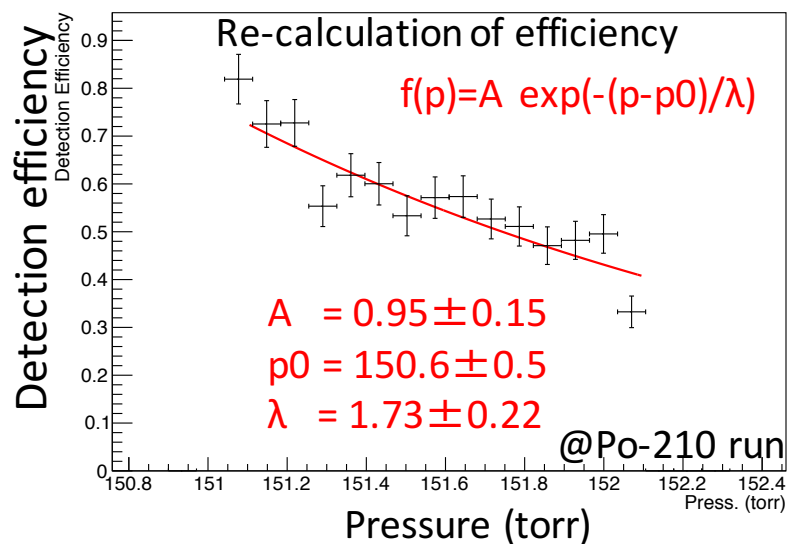
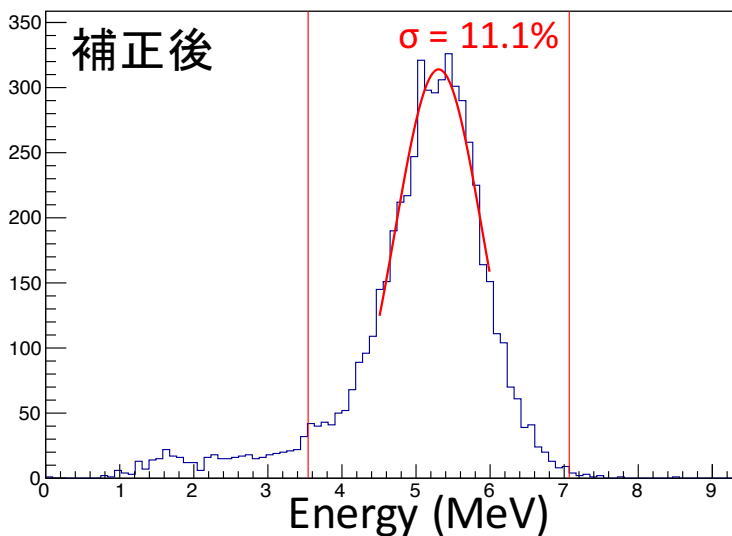
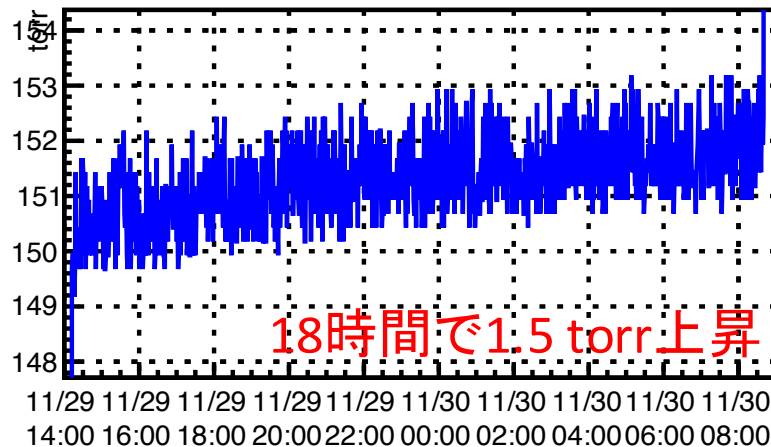
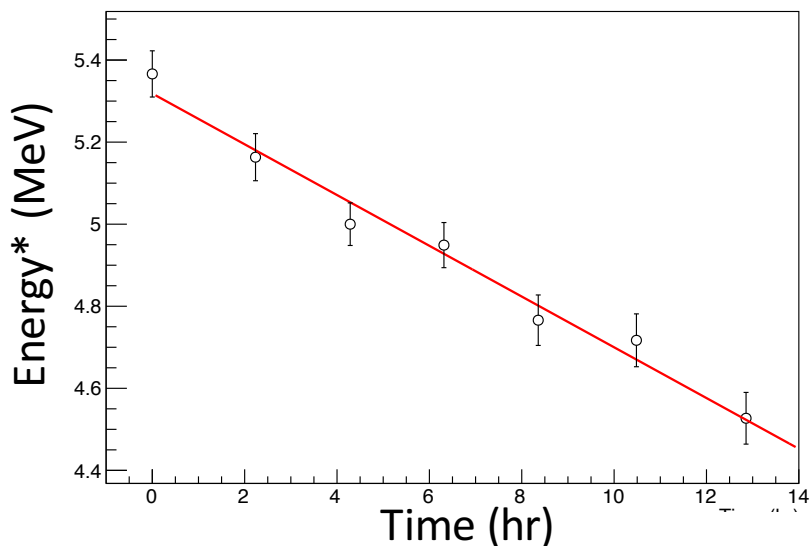
Gas gain 10^3 @500V

- Ar : C₂H₆ = 9 : 1 (1 atm)
- Source : ⁵⁵Fe

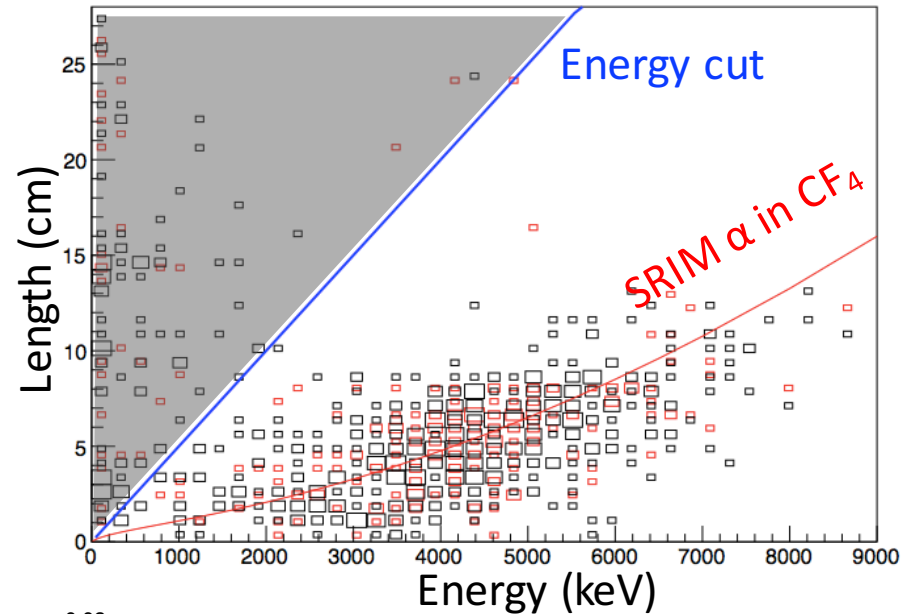
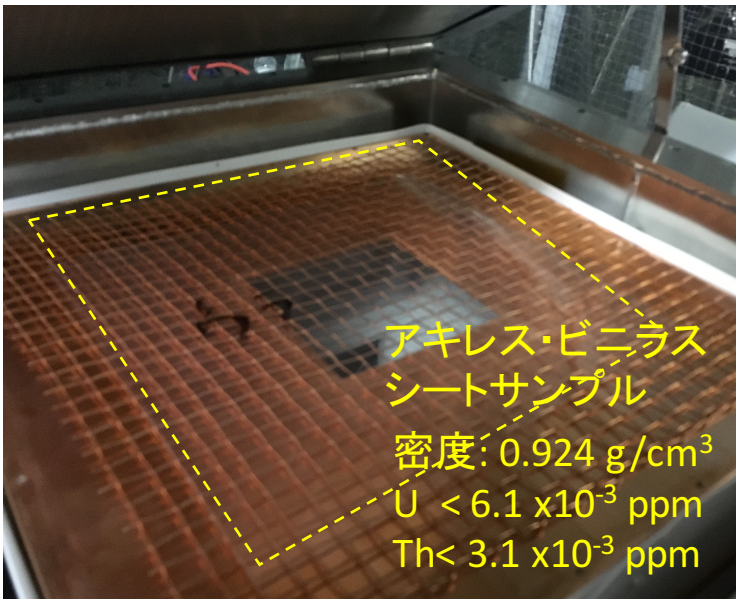
Sample	²³⁸ U [ppm]	²³² Th [ppm]	備考
PI100 μ m	0.39 \pm 0.01	1.81 \pm 0.04	Conventional μ -PIC material
PI+epoxy	< 2.98 $\times 10^{-3}$	< 6.77 $\times 10^{-3}$	New material

3. ハードウェア・アップデート

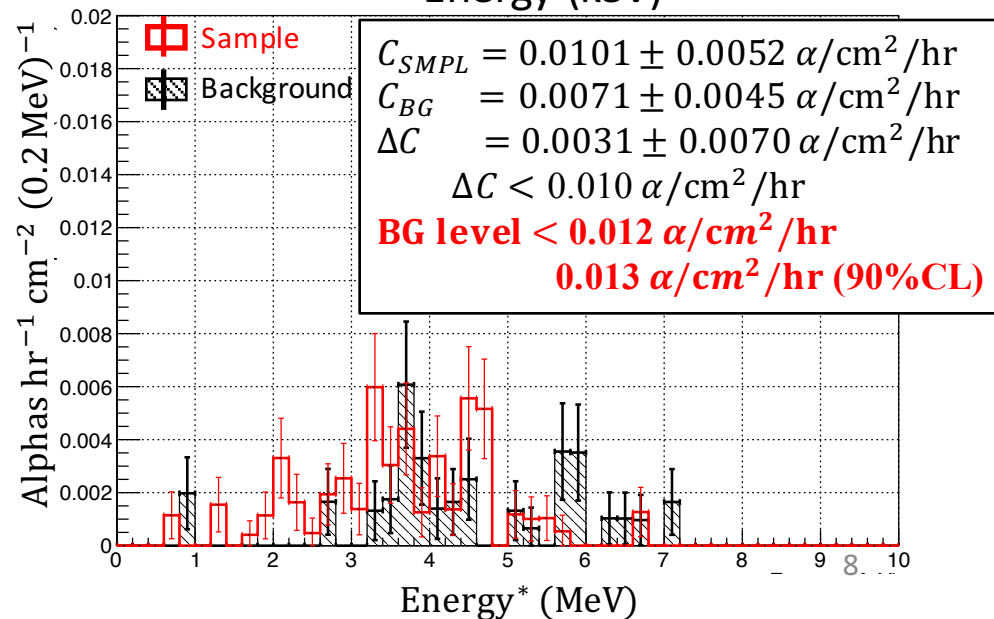
α 線線源キャリブレーション



3. ハードウェア・アップデート

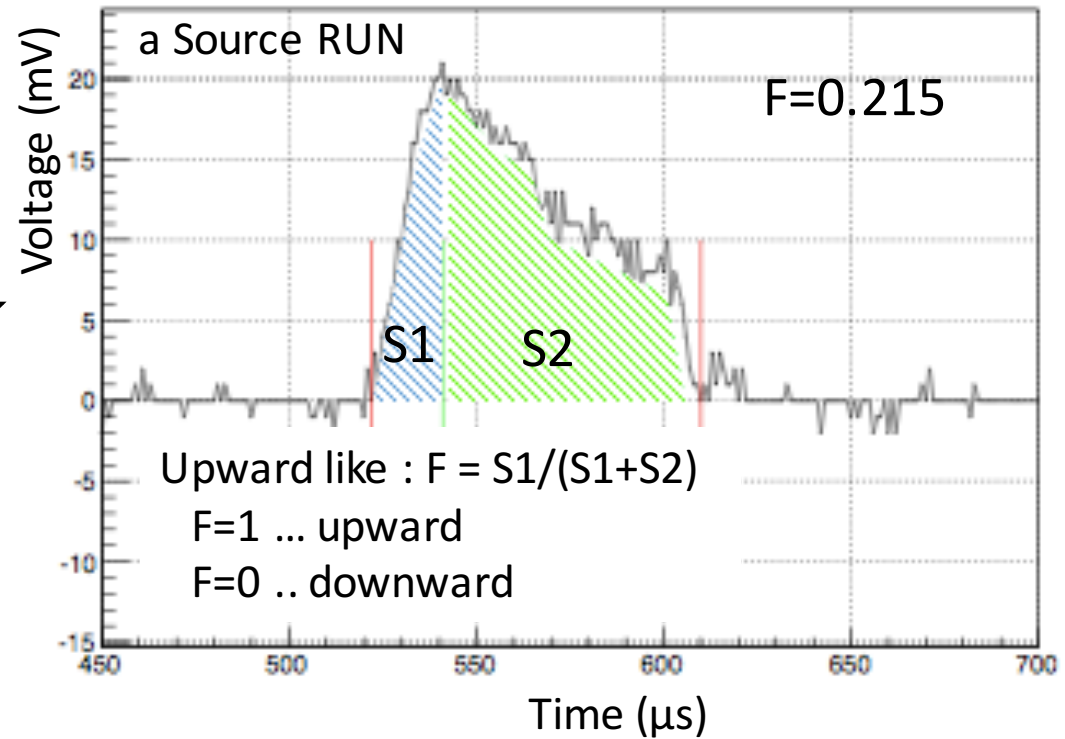
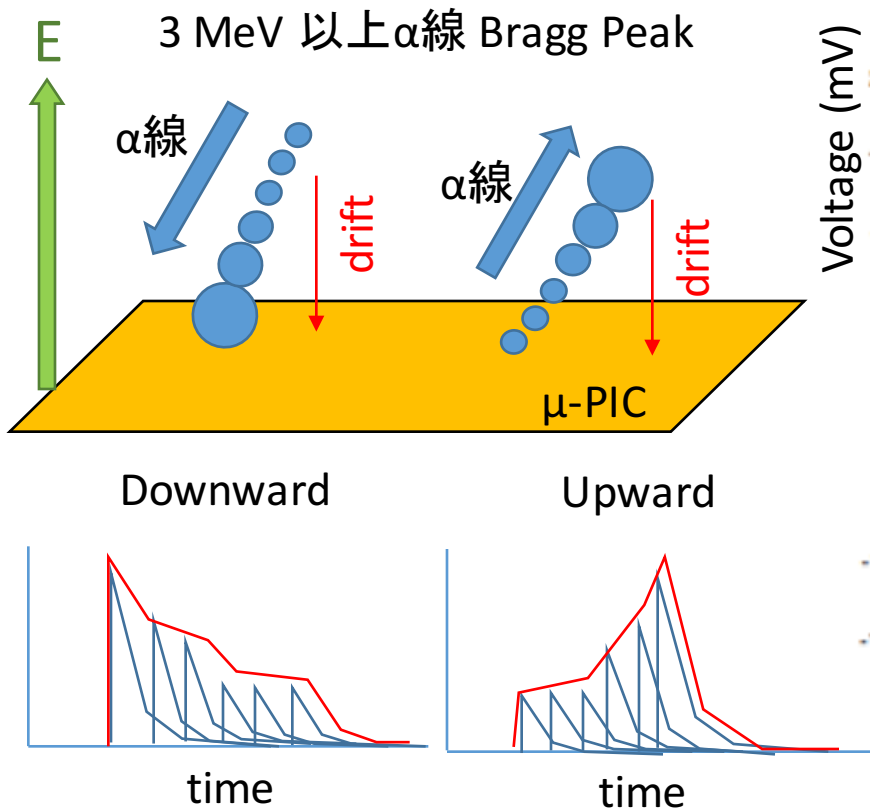


- アキレス・ビニラスシートからのalphaはBGに埋もれて見えなかった。
- 昨年のBG level
 $1.32 \times 10^{-1} \text{ as/cm}^2/\text{hr}$
- BG levelは1桁改善した。



4. 解析手法の改善

α線前後判定の実装



4. 解析手法の改善

ノイズフィルター開発

- 波形に電磁ノイズが乗ることで前後判定に悪影響
- 波形スムージングと微分波形解析を組み合わせたアルゴリズムを開発
- Good波形を崩さず、Bad波形を生き返らせることに成功

α source run

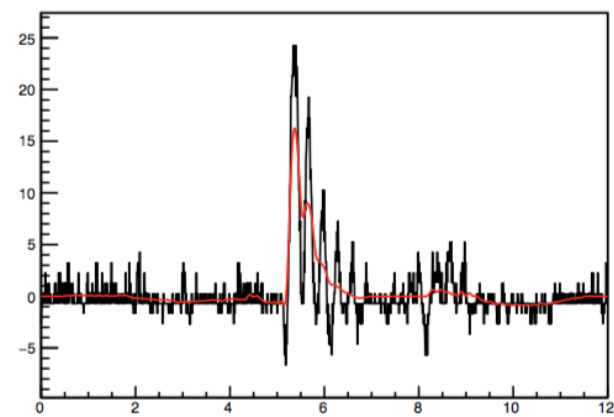
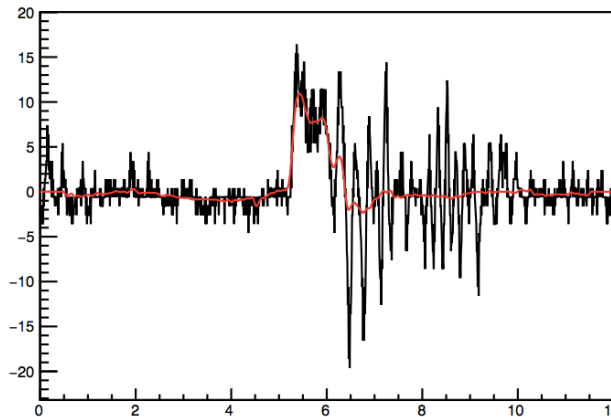
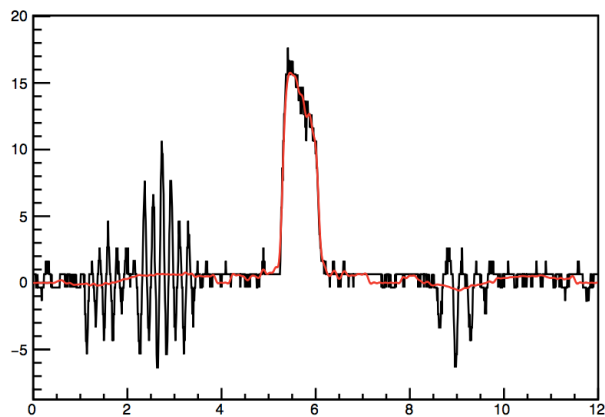
— Original

— Noise Filtered

Good waveform

Usable waveform

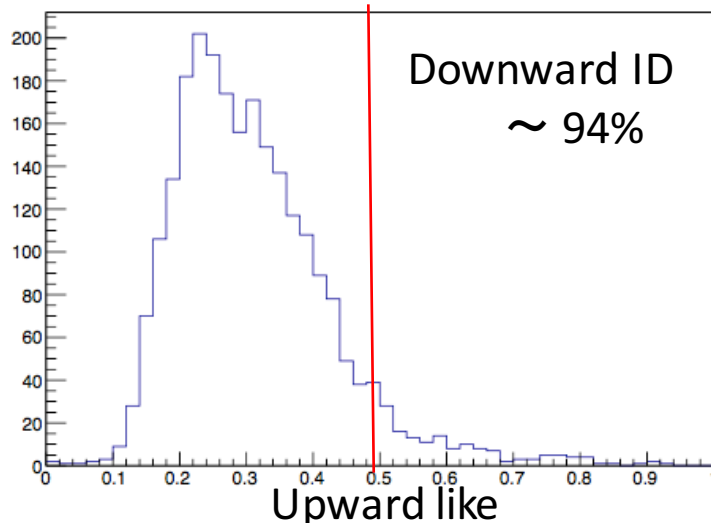
Bad waveform



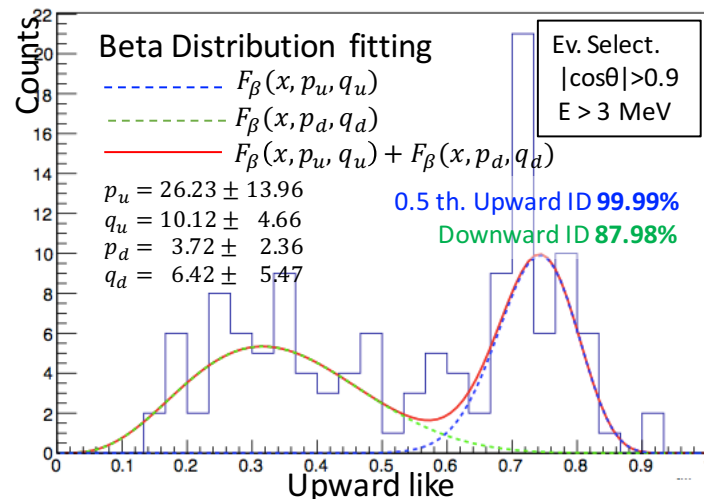
4. 解析手法の改善

α線前後判定の決定精度

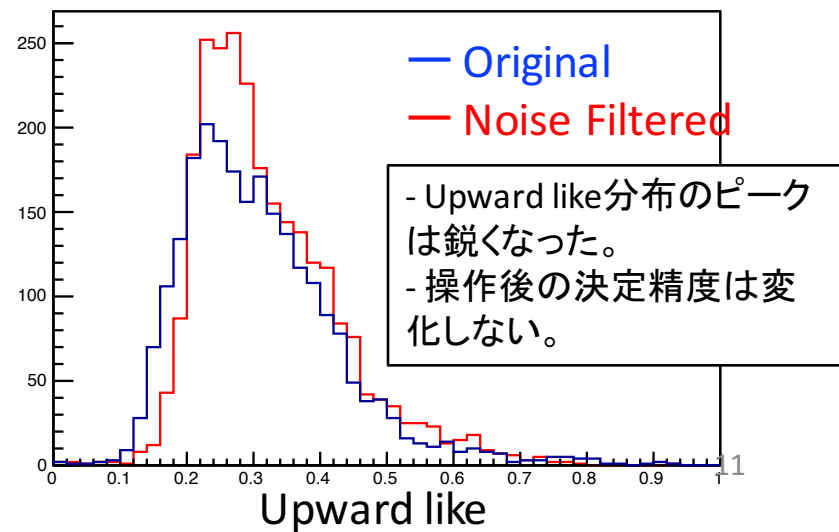
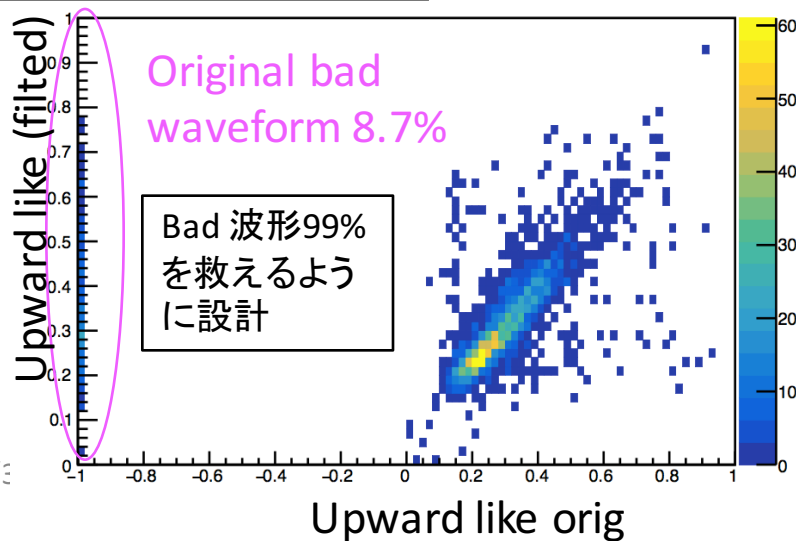
5.3-MeV α Source run



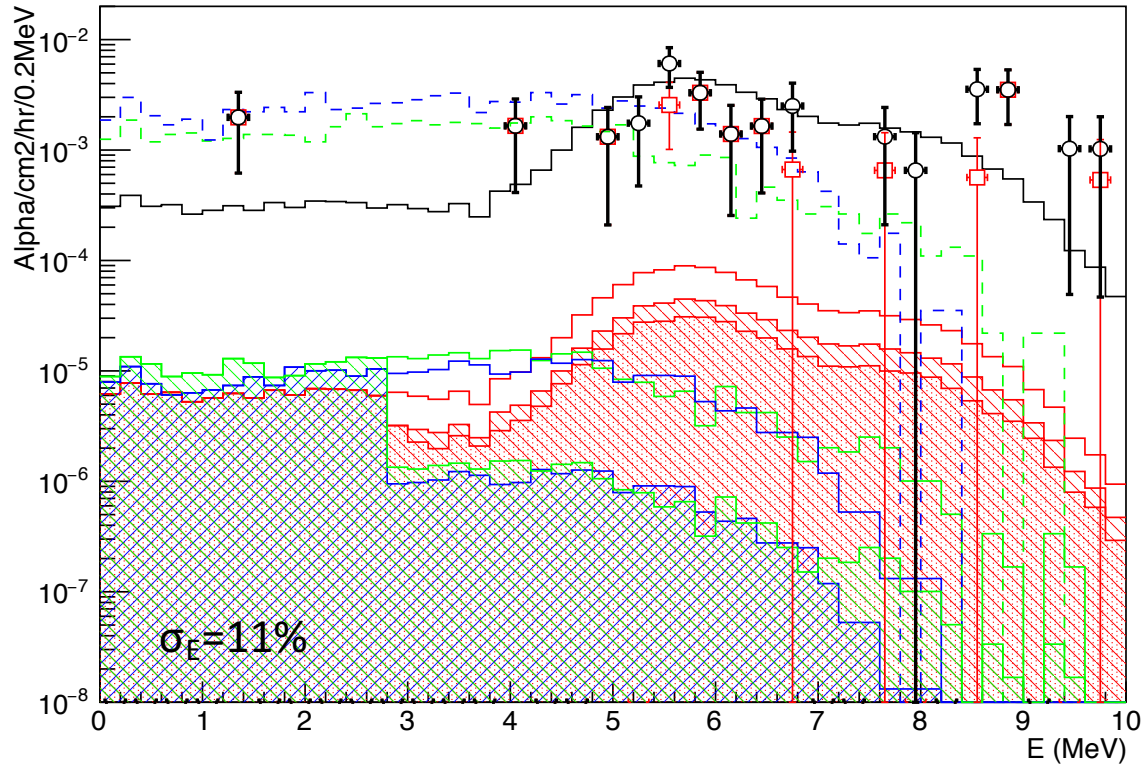
Rn BG run



ノイズフィルターによる効果



5. 考察



- Current data
 $1.2 \times 10^{-2} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
- Data cut upward tracks
 $8 \times 10^{-3} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
- ▭ Radon (^{222}Rn)
*Norm to current data
- ▭ 1/50 Radon
- ▨ 1/50 Radon 前後判定
- ▩ 1/50 Radon 前後判定
+始点位置カット
- ▭ U (0.38ppm) in u-PIC
- ▭ U (<2.98ppb) in u-PIC
- ▨ U 前後判定
- ▭ Th (1.81ppm) in u-PIC
- ▭ Th (<6.77ppb) in u-PIC
- ▨ Th 前後判定

従来 u-PIC	$2.6 \times 10^{-2} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
Low- α u-PIC (前後)	$5.6 \times 10^{-5} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
1/50 Rn	$2.4 \times 10^{-4} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
1/50 Rn (前後+始点)	$9.5 \times 10^{-5} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
Low- α u-PIC + 1/50 Rn(前後+始点)	$1.5 \times 10^{-4} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$

6. 今後の計画

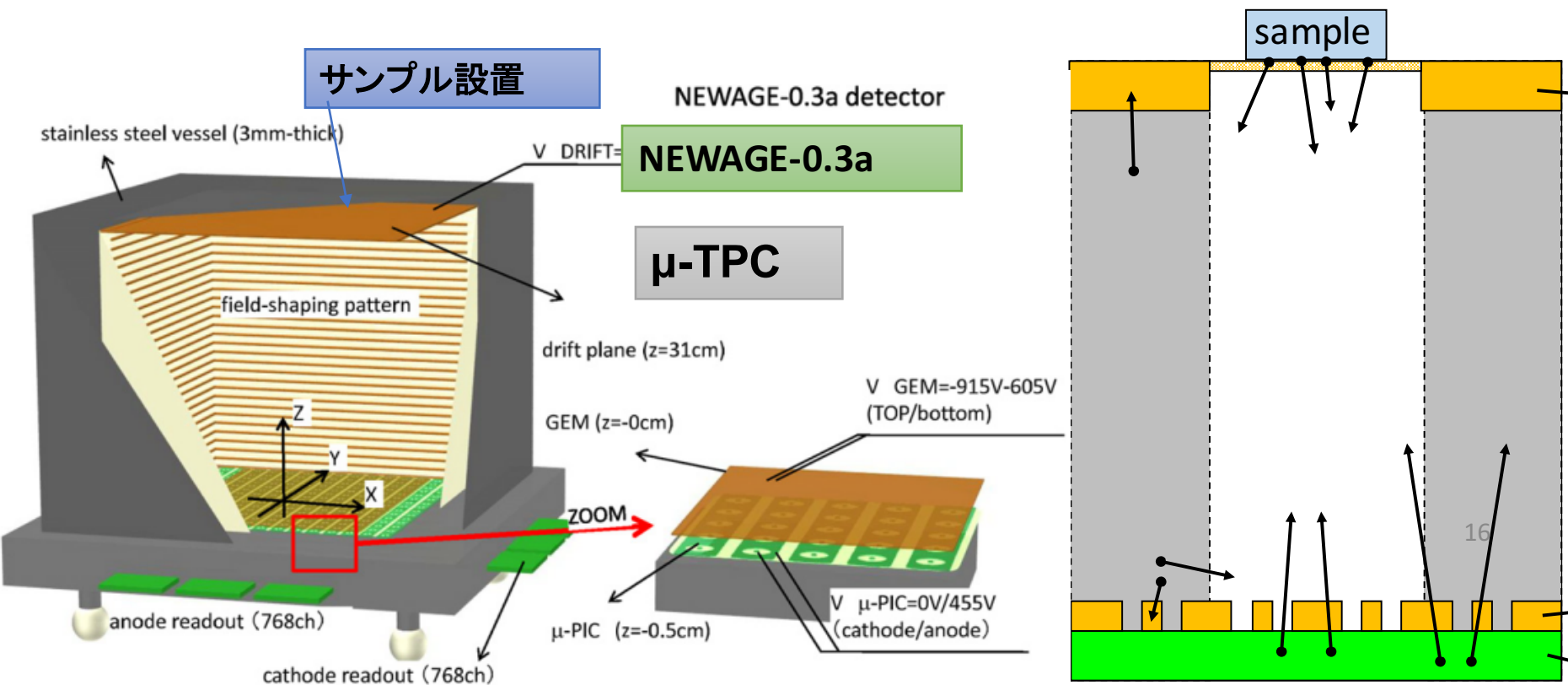
- 容器ガス漏れを改善する。
efficiency 改善、長期runを可能にする
Live time 4 days => 14 days
- 活性炭循環システムを導入してRnを1/10以下に抑える。
Nakamura, D. thesis 2014. で実績あり
- 装置の構成要素を低BGに取り替えてRnを1/5へ削減する。
テフロン板をアキラスビニラス材に取り替える。
配管: 銅管=>EP管
- XY-軸方向の前後判定も加えて、条件「飛跡の始点がサンプル領域にある」を課すことでさらに20%カット
- ガス密度、ドリフト速度の最適化によって、前後判定決定できるエネルギー閾値を下げる。

7. まとめ

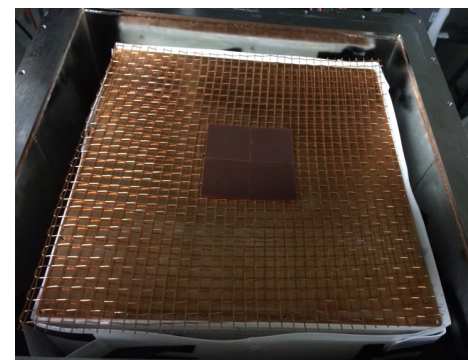
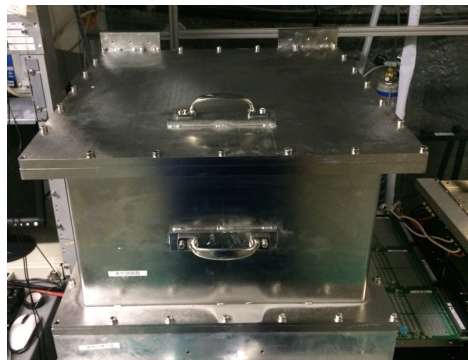
- NEWAGE-0.3aを改造して表面 α 線測定器を開発している。
サンプル交換の効率化、Low- α μ -PIC実装
 α 線線源による性能評価:
エネルギー分解能 $\sigma=11\%$ @5.3MeV
検出効率 ($95_{-15}^{+5}\%$) $\exp(-\delta p / 1.73 \pm 0.22)$ @5.3MeV
- サンプルを入れて測定できるまでに至った。
現在のBG Level $\sim 1.3 \times 10^{-2}$ α s/cm²/hr
前後判定によって BG Level $\sim 0.8 \times 10^{-2}$ α s/cm²/hr
- 解析手法を改善した
 α 線 前後判定は波形ピークを境に面積比を基にした。
ノイズ・フィルターによってBad波形の99%を救済した。
- 今後、容器ガスもれ改善、活性炭の導入、装置構成要素の低BG化を実施してBG level 10^{-4} α s/cm²/hrを目指す。

Backup

2. NEWAGE-0.3a with low- α μ -PIC 検出器概要

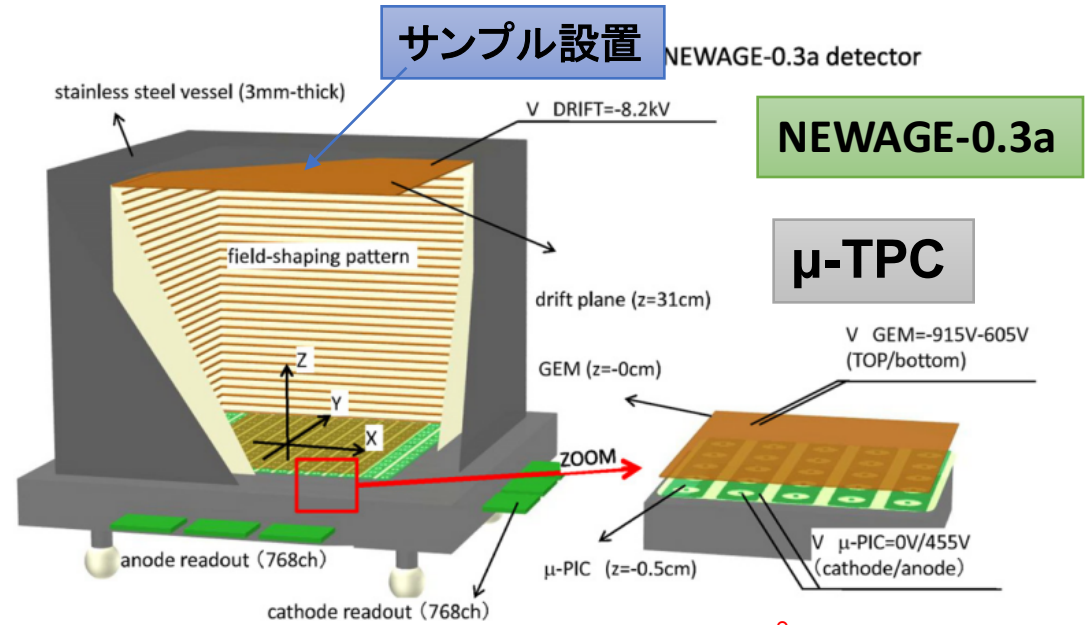
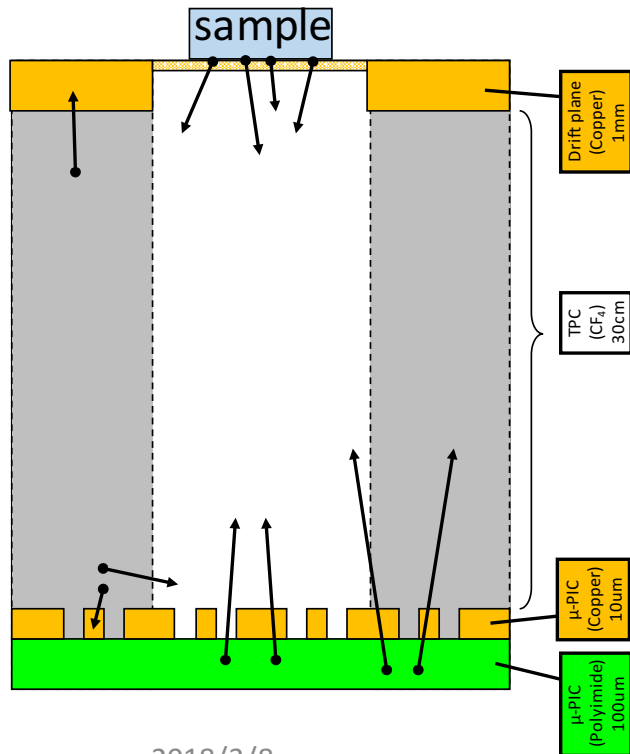


- Without GEM.
- Making a square hole on the drift plate.
- Low- α μ -PIC was installed.

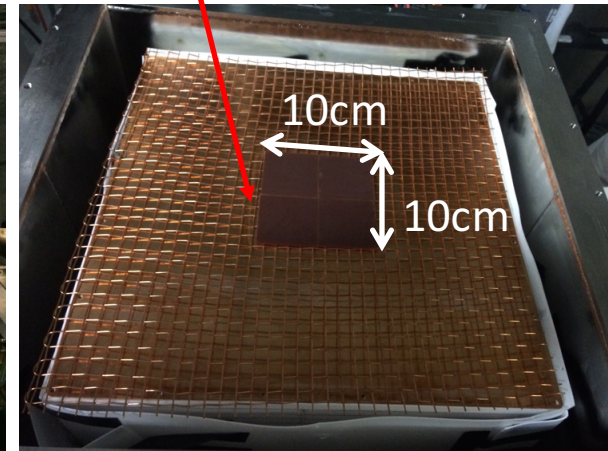
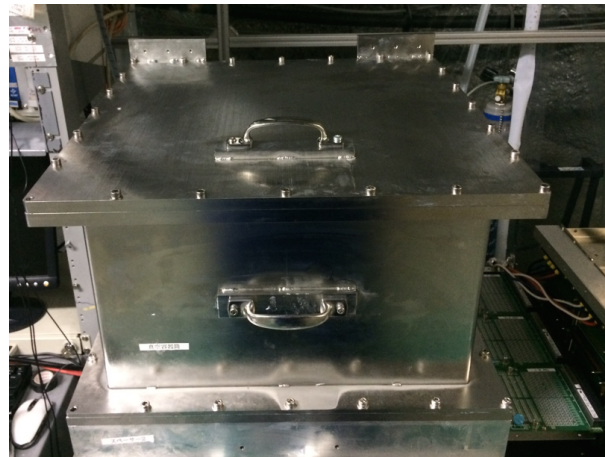


μ -TPCを用いた表面 α 分析測定

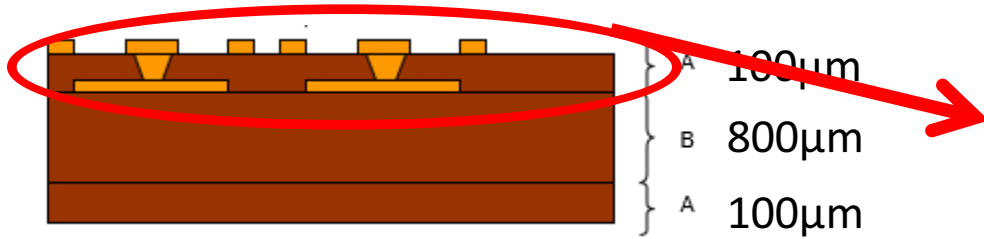
- 表面からの α 線: 暗黒物質・ $\beta\beta$ 実験などで問題
- NEWAGEのマイクロTPCで感度よく測定する



サンプル



Low α μ-TPCの開発



Replace with low radioactive materials

New material

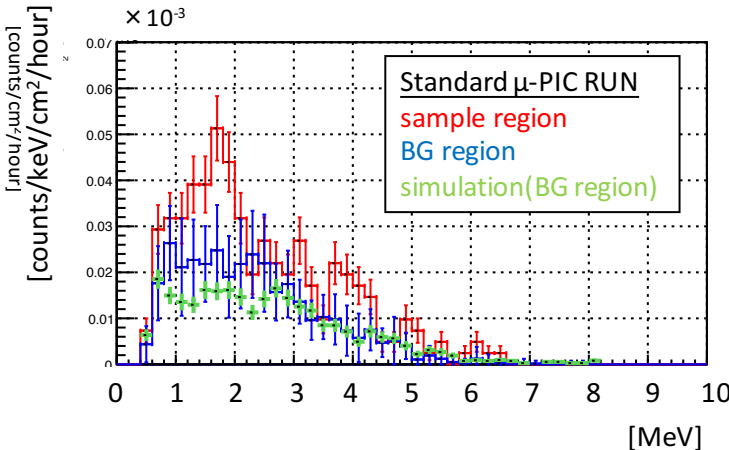
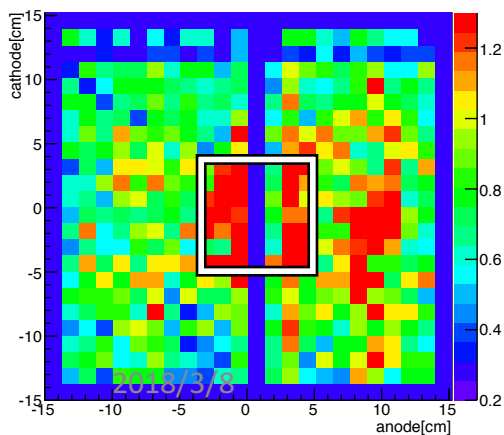
^{238}U and ^{232}Th measurement results using the HPGe detector



PI+epoxy

Sample	^{238}U [ppm]	^{232}Th [ppm]	備考
PI100μm	0.39 ± 0.01	1.81 ± 0.04	Current μ-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 μ-PIC	0.28 ± 0.12
Low α μ-PIC	$< 7.55 \times 10^{-2}$

μ -TPCを用いた表面 α 分析測定

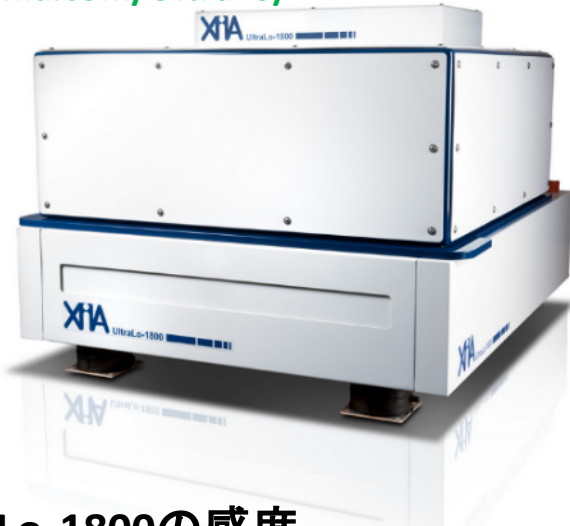
B02+D01

伊藤、橋本、
身内

- 表面からの α 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」

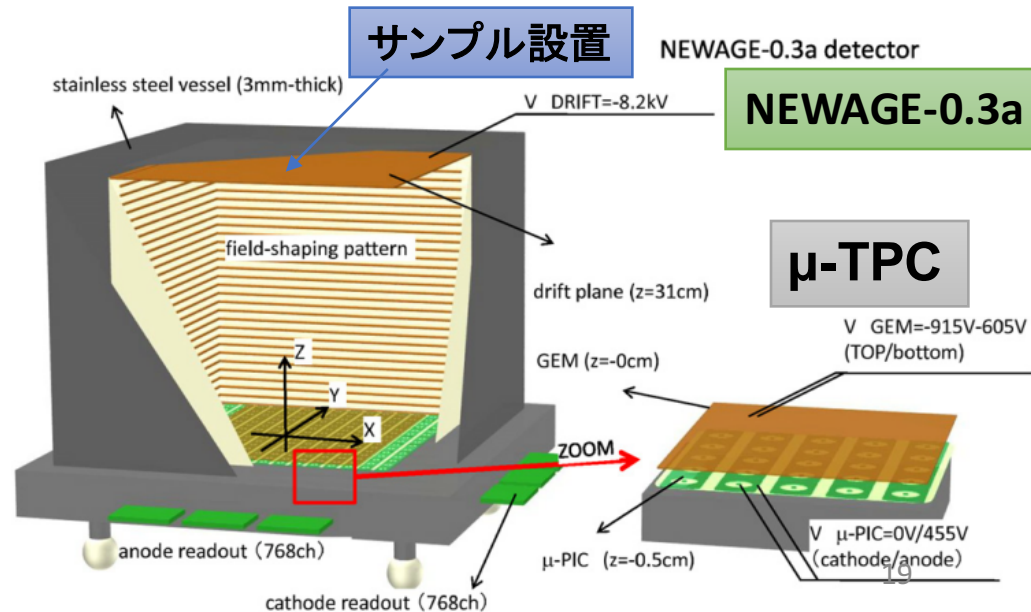
UltraLo-1800	Overview	Theory	Features	Specs	Resources
--------------	----------	--------	----------	-------	-----------

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



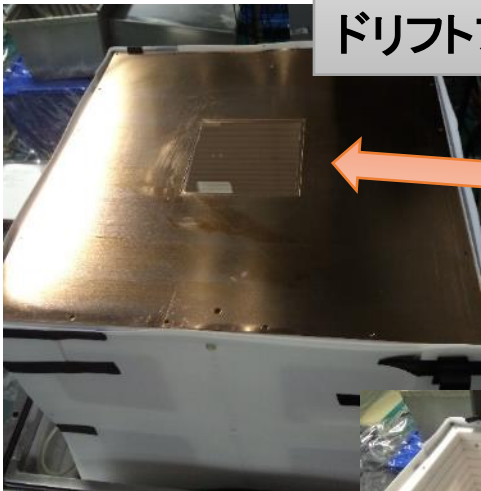
UltraLo-1800の感度
(10^{-4} alpha/cm²/hr、カタログ値)

- 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α分析:立ち上げ記録

- 2015年8月19日 LAB-BからLAB-Aへ移設
- ~2016年11月 DAQ調整、電源改善、ノイズ対策
- 2016年11月~ テストデータ①取得開始
- 2017年10月~ 低放射能部材の試験開始



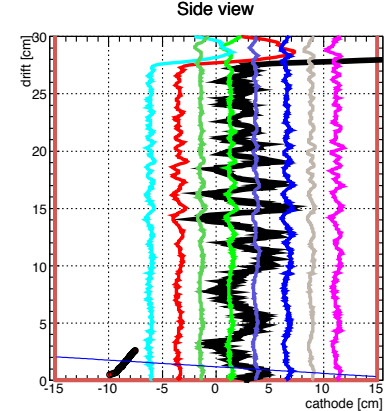
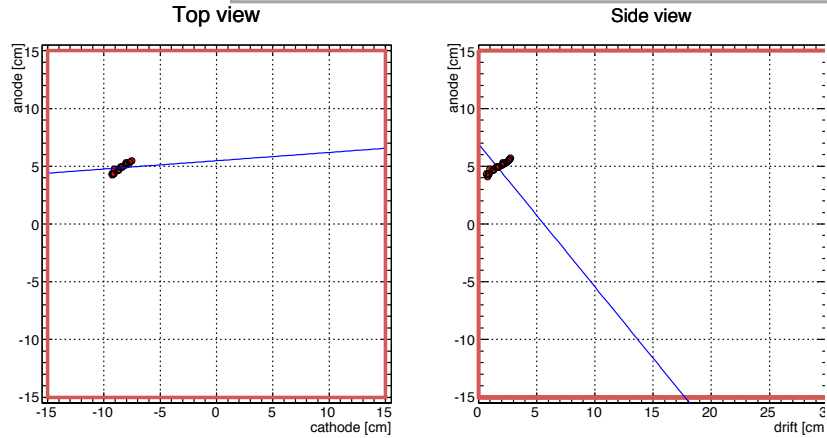
ドリフトプレーン

本研究用にupgrade (表面粗さ<0.4μm)



検出器内部

α線飛跡(テストデータ①)



表面αの分析：テストデータ①

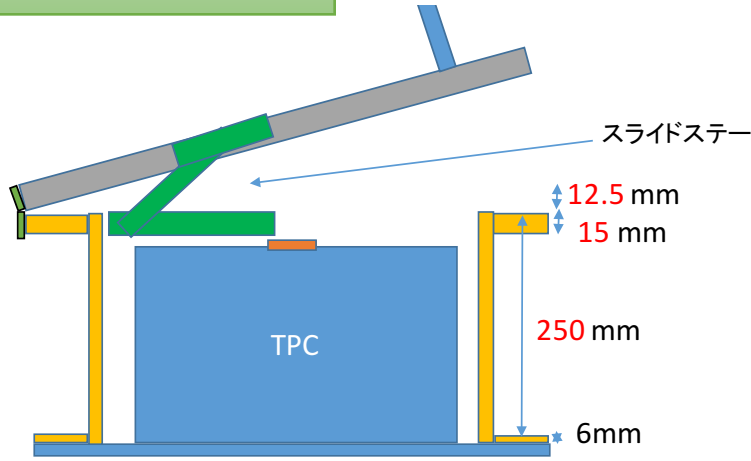
- ガス: CF4 0.2気圧
- live time: 4.10 days
- ガス循環なし

テストデータ①	0.29 alpha/cm ² /h
目標値 (Ultra Lo)	10 ⁻⁴ alpha/cm ² /h

To Do

- サンプルの出し入れが容易な新真空容器導入
- サンプル置き場用銅メッシュ導入後のBG測定
- 冷却活性炭の導入(BG ~1/10以下)
- 連続測定
- 方向感度を用いた解析手法の確立 (BG ~1/10)
- 実際の表面αの測定(2月予定)

新真空容器ポンチ絵

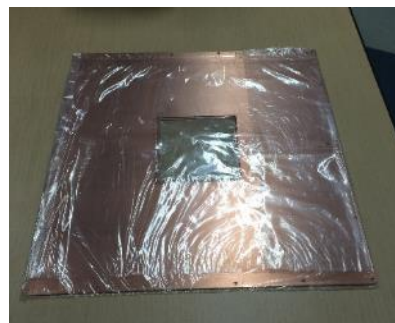


表面 α : ドリフトプレーン研磨について

研磨前

研磨後

日造精密研磨で
ドリフトプレーンを研磨



MC保証



表面の粗さ
5段階のグレード

MA 0.1 μ m

MB 0.2 μ m

MC 0.4 μ m

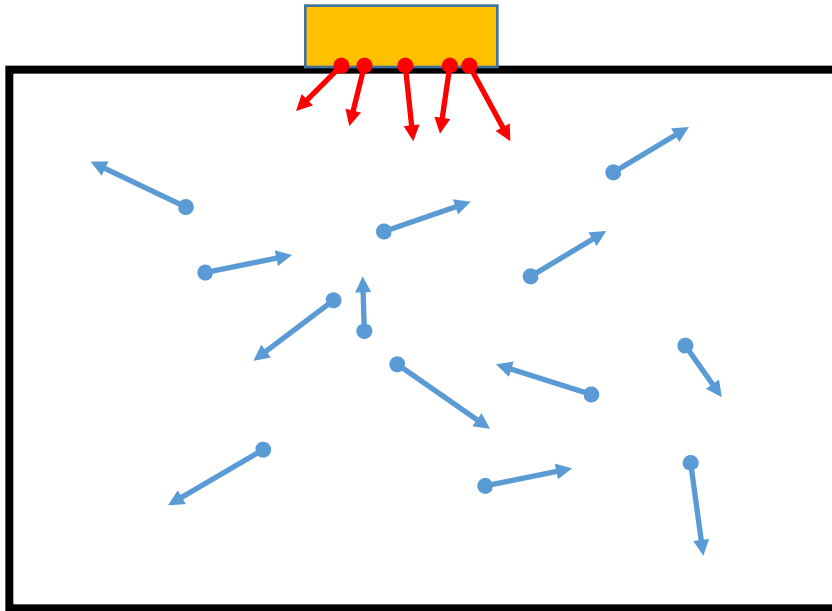
MD 0.6 μ m

ME 0.8 μ m

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

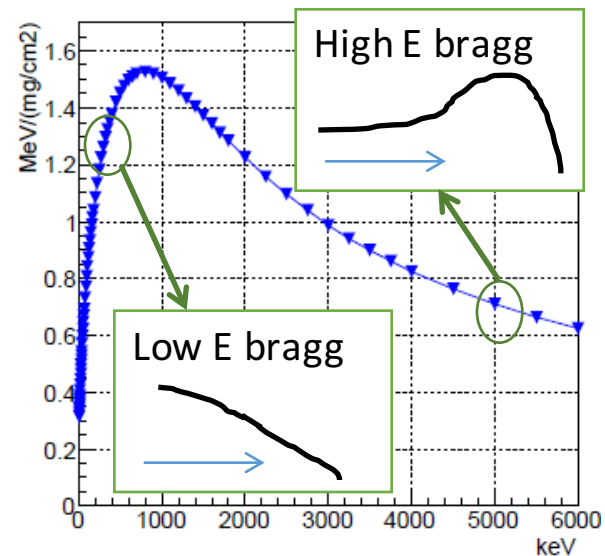
表面 α : 方向感度を用いた解析

- サンプル由来の α 線は下向きであることを利用してBGをカットする
- BGは $\sim 40/360$ 程度まで削減できる
- α 線の前後判定はブラッグカーブを利用する



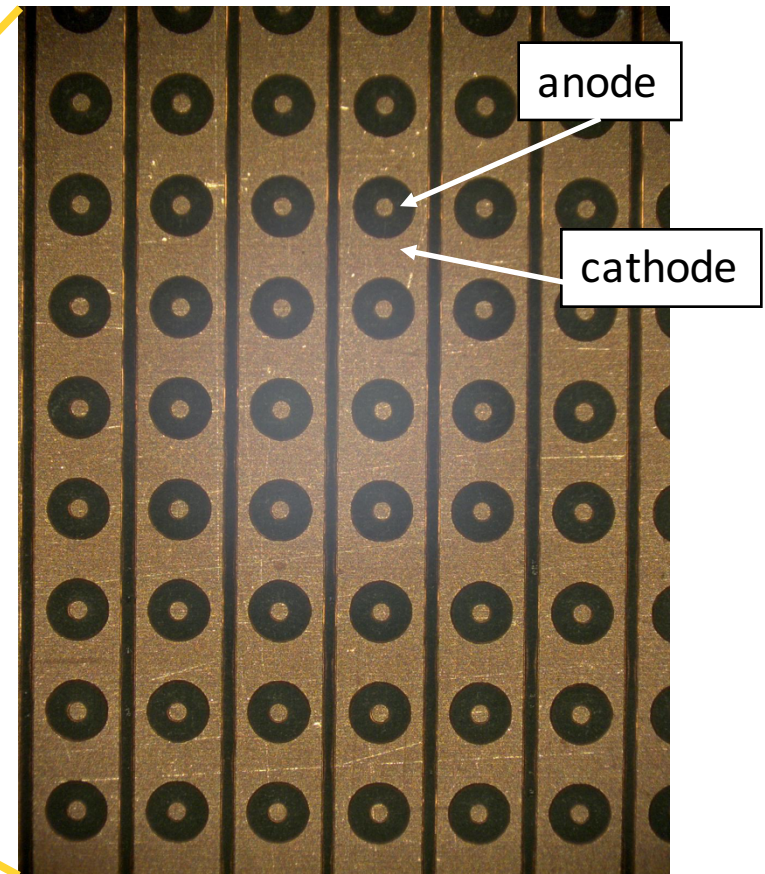
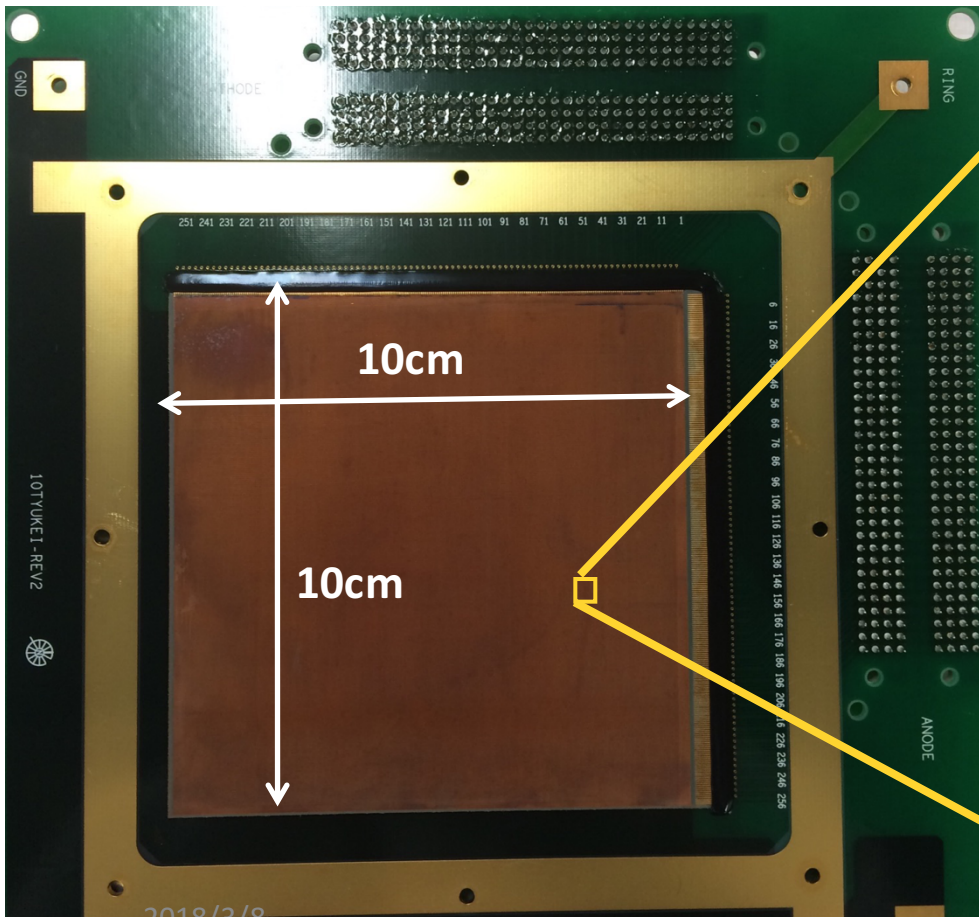
赤: サンプルからの α 線
青: ガス中のラドンが系列崩壊して出て来る α 線

ブラッグカーブ



A prototype of *Low α* μ -PIC production in 2016

- A new type μ -PIC, by replacing top layer of PI with a new material
- A prototype(10×10cm²) was successfully created
 - The anode electrodes are placed in the cathode electrodes

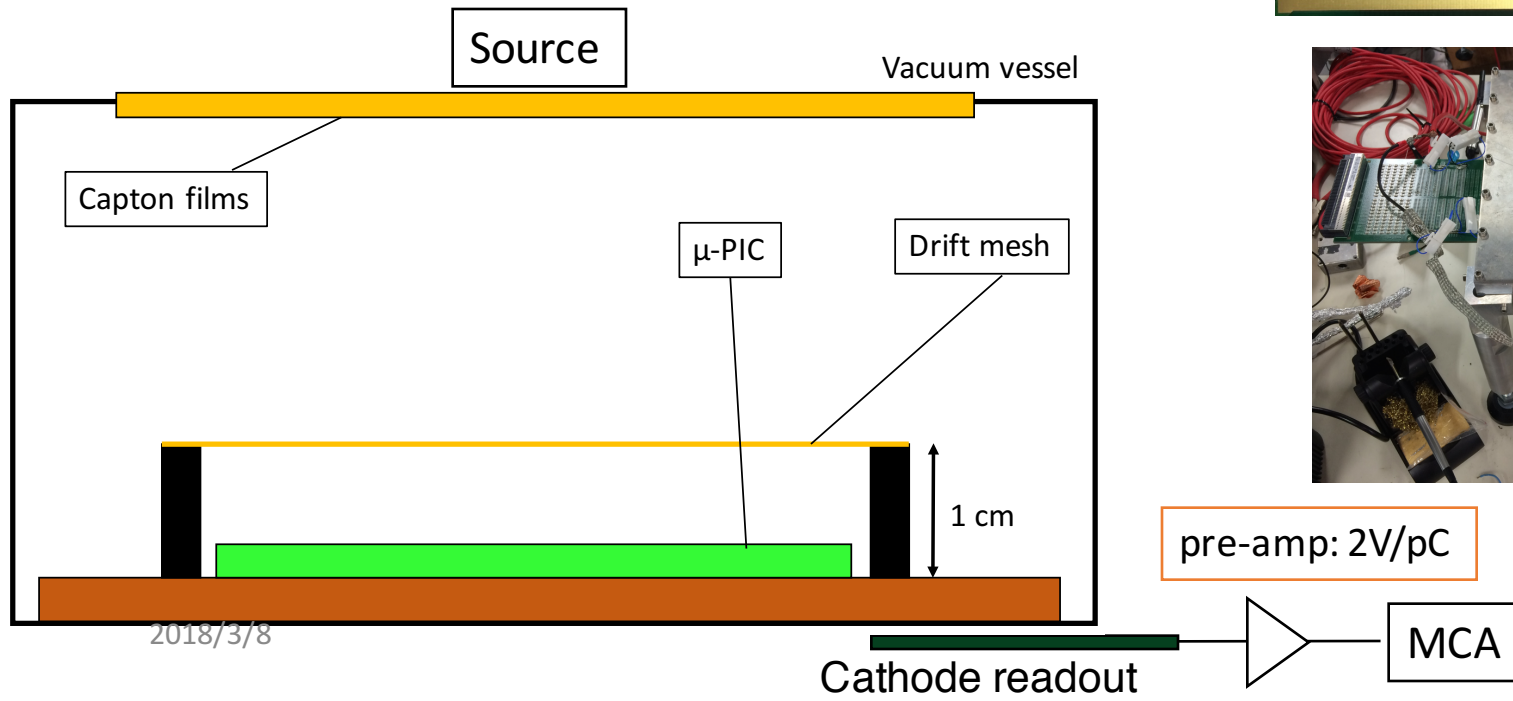
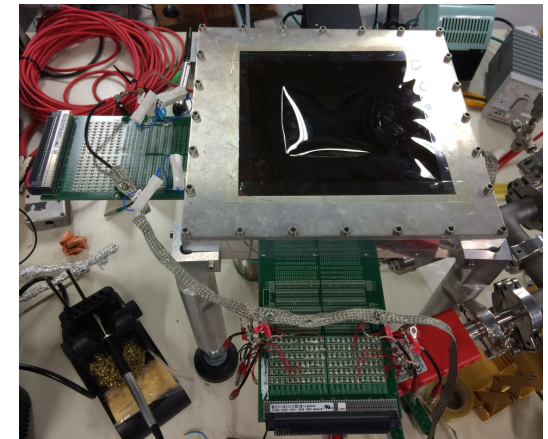
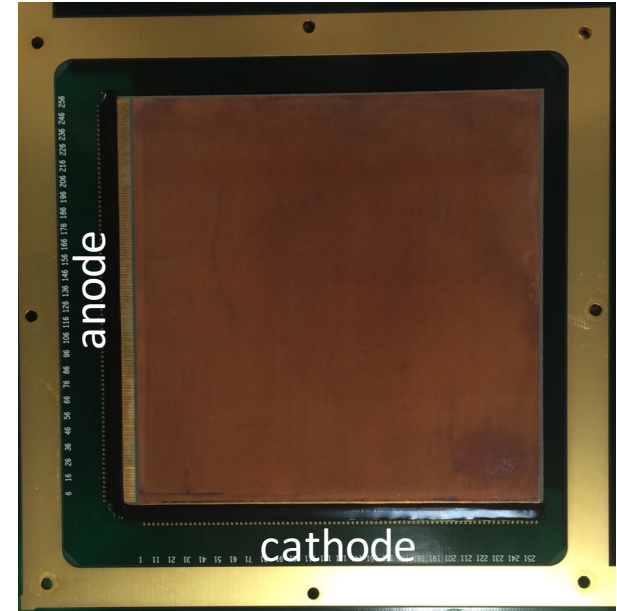


Performance check of the *Low a* μ -PIC

Requirement : The same level with gas gain of standard μ -PICs

Detector

- Anode 256chxcathode 256ch
- Cathode readout
- Recorded pulse height using MCA



Measurement result

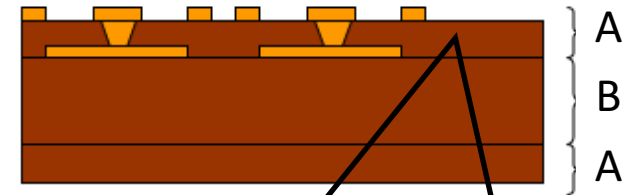
- **Gas gain of Low α μ -PIC is almost same as standard μ -PIC**

- Error bar: Position dependence of gas gain

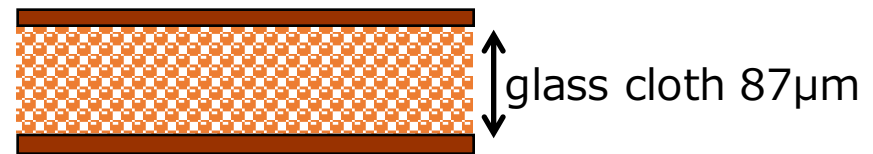
- A difference between two slope of gain curve is under investigation

- difference of electric field structure
- difference of a height of anode electrode

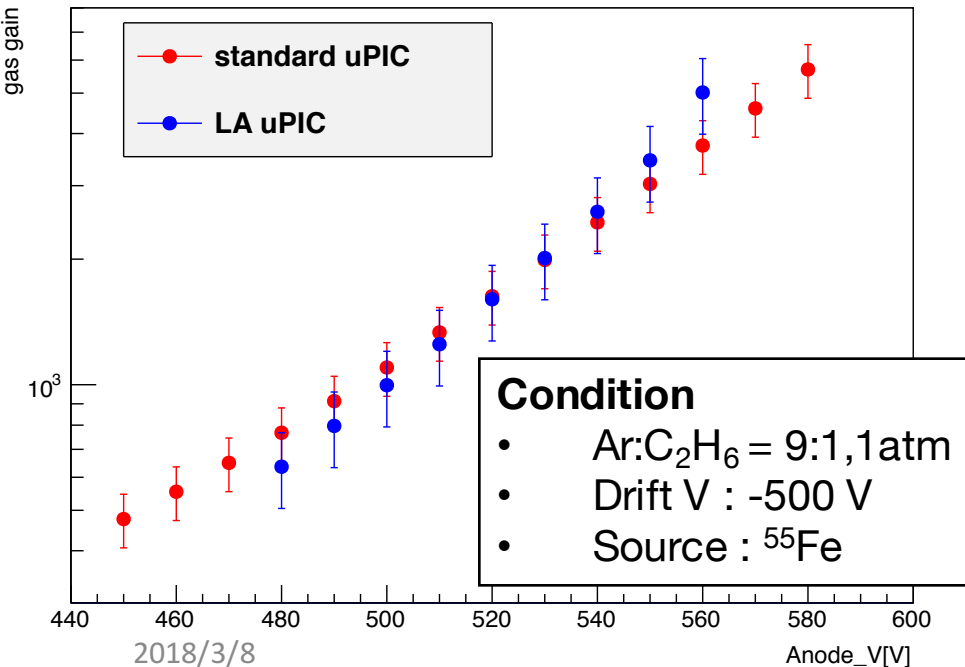
cross section view of μ -PIC



Standard μ -PIC(100 μ m)

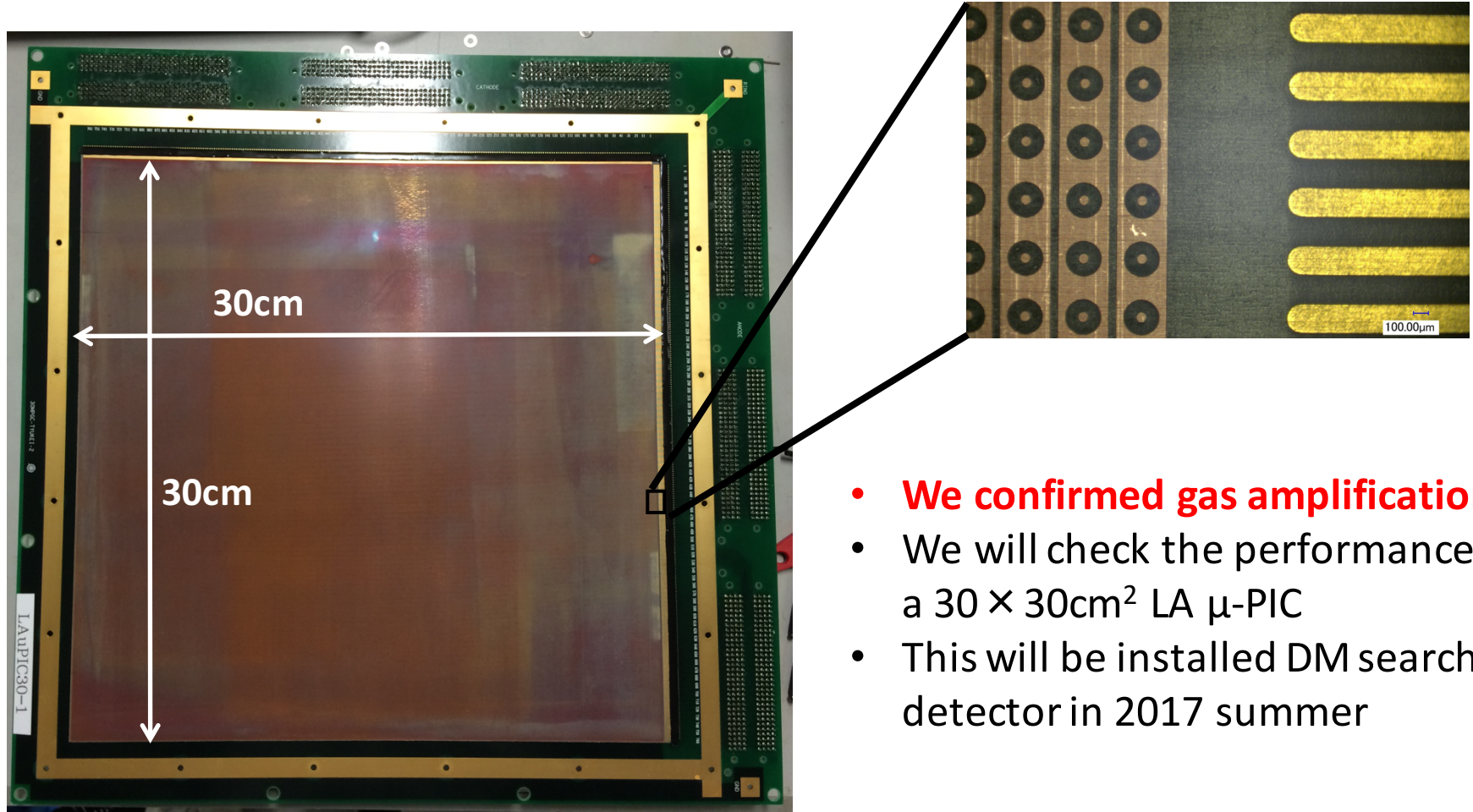


Low α μ -PIC(80 μ m)



$30 \times 30 \text{ cm}^2$ Low α μ -PIC production in 2017

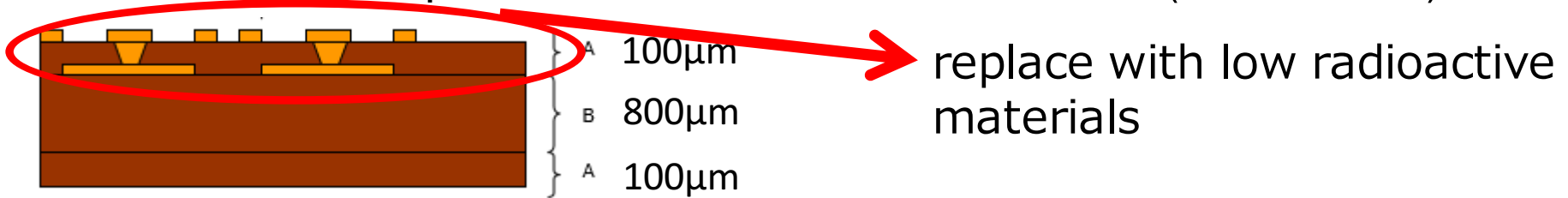
- Low α μ -PICs with a detection area of $30 \times 30 \text{ cm}^2$ was very successfully created
 - **alignment control is very good ($< 1 \mu\text{m}$)**



- **We confirmed gas amplification**
- We will check the performance of a $30 \times 30 \text{ cm}^2$ LA μ -PIC
- This will be installed DM searching detector in 2017 summer

Development of Low α μ -PIC

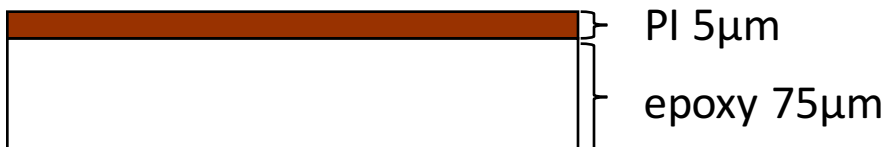
- The main background source is glass clothes in PI 100 μ m
- We need to make a μ -PIC with low radioactive materials (Goal : 1/100)



New material

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

- New materials is 100 times as pure as current materials
- Low α μ -PICs were created



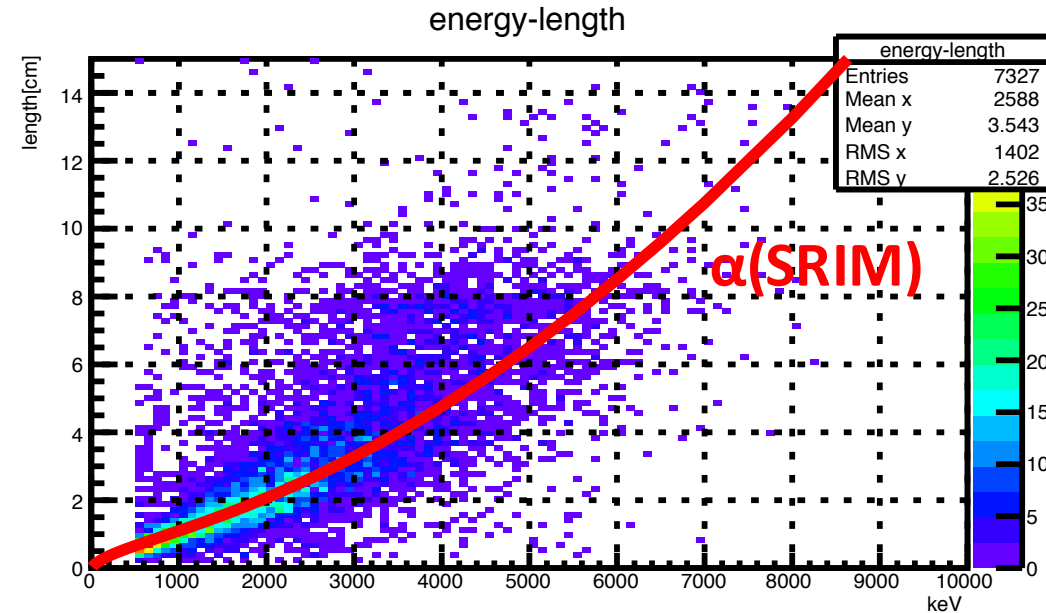
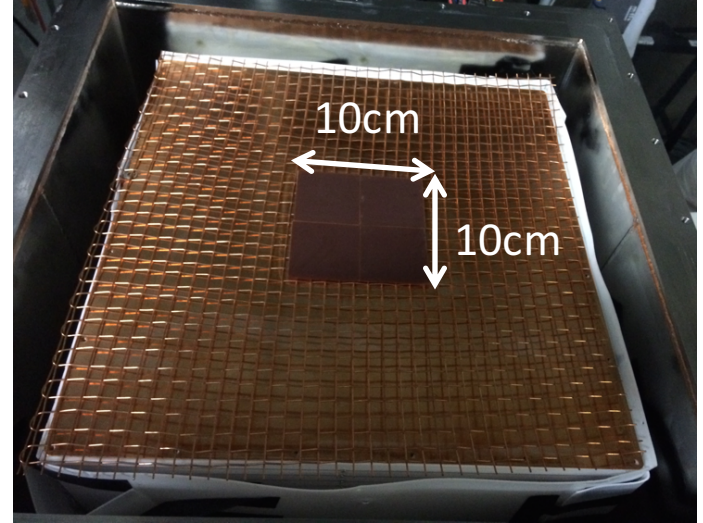
cross section view of a new material



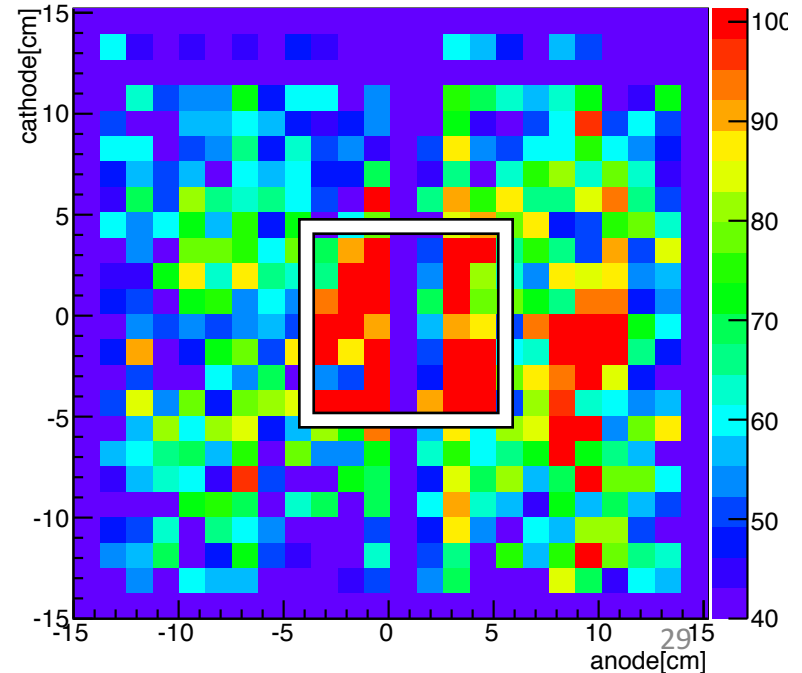
PI+epoxy

Measurement samples

Sample : Standard μ -PIC (5 × 5cm² 4 pieces)
Gas : CF₄ @ 0.2 atm
Live time : 3.16 days
Event selection : nhit \geq 4 , Energy $>$ 500 keV



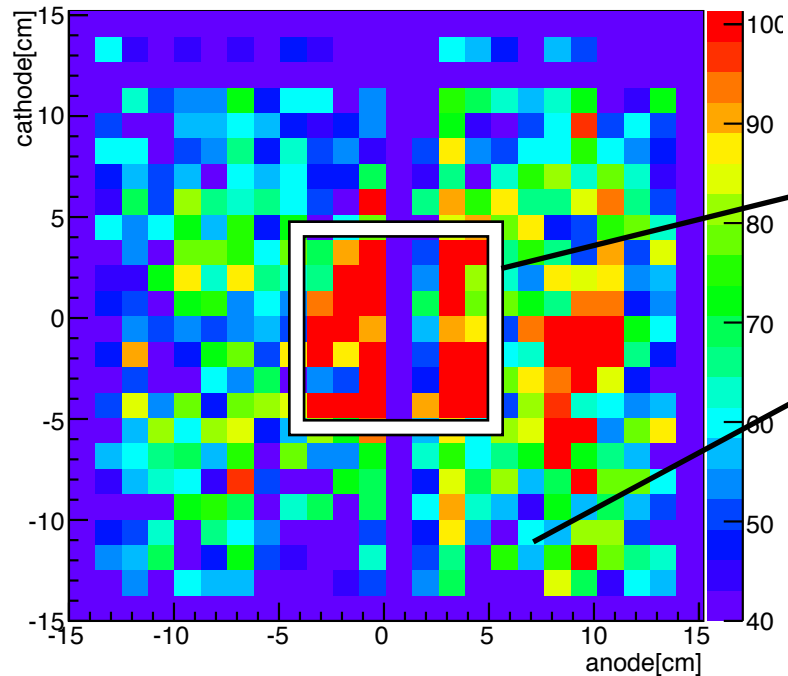
Histogram filled start and endpoint of tracks



- Comparing data and SRIM simulation, we verified taking α ray
- **We can see the image of samples**

Measurement samples

Sample : Standard μ -PIC (5 × 5cm² 4 pieces)
Live time: 3.16 days
Event selection : nhit ≥ 4 , Energy > 500 keV



Sample region : 0.157 ± 0.005 events/cm²/h

BG (Outside of sample region) :
 0.119 ± 0.002 events/cm²/h

- (Sample region) – (BG) = 0.038 ± 0.005 events/cm²/h
- Detection efficiency of α -ray from sample : 0.55 ± 0.05
 - Considering uncertainty of gas pressure

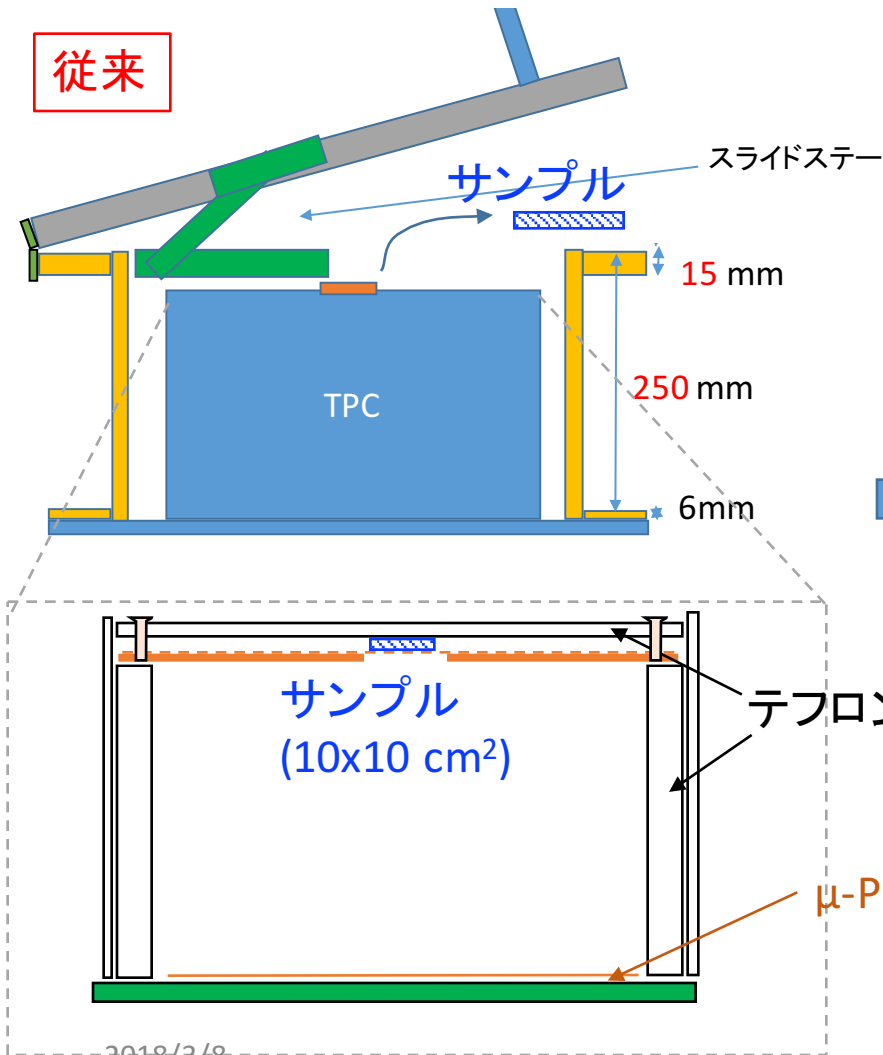
α -rays expected from HPGe measurement : $0.1 \alpha/cm^2/h$ → α -rays from sample : $0.07 \pm 0.01 \alpha/cm^2/h$

- The cause of difference between two measurement result is under investigation

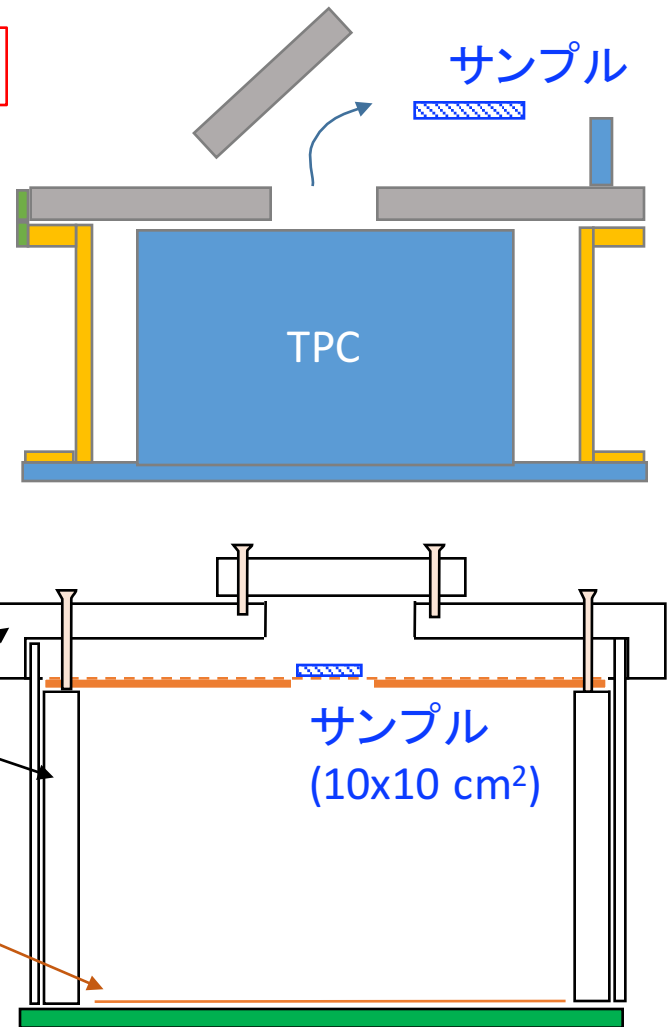
3. ハードウェア・アップグレード

3.2. サンプル交換簡単化

従来

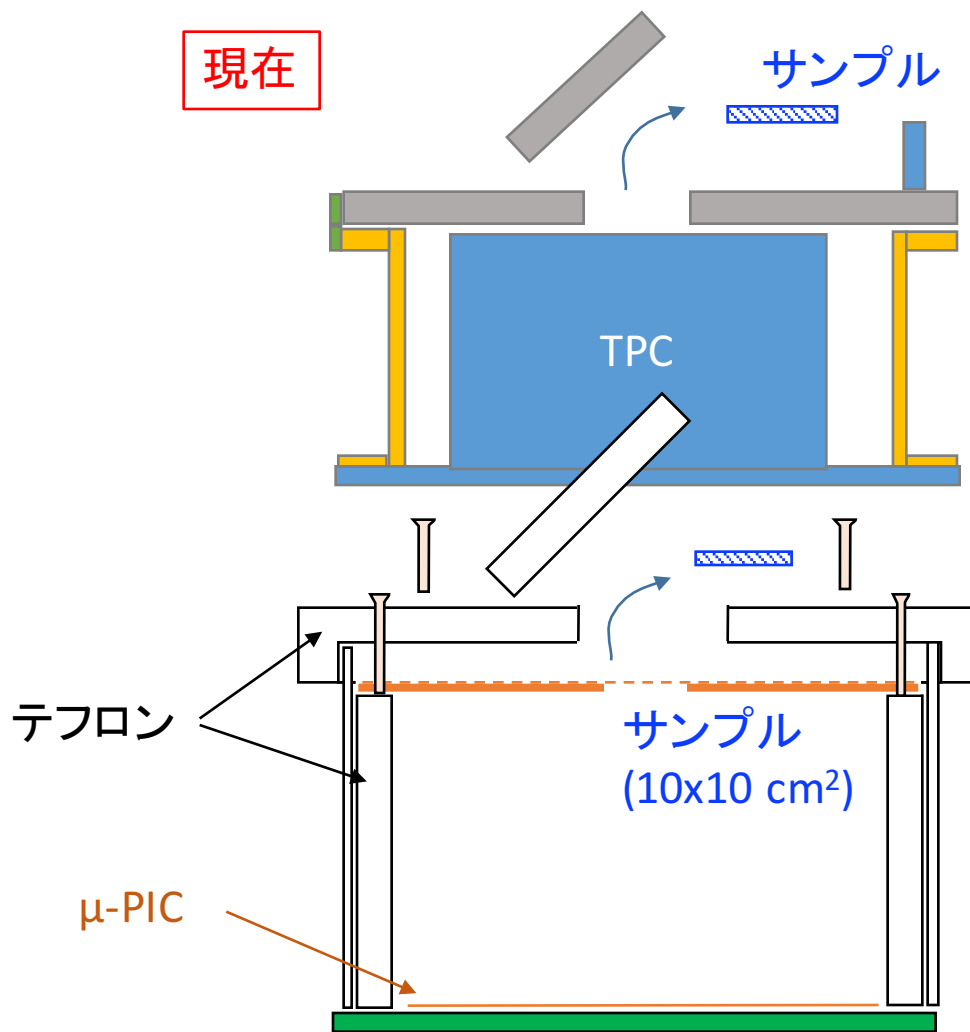
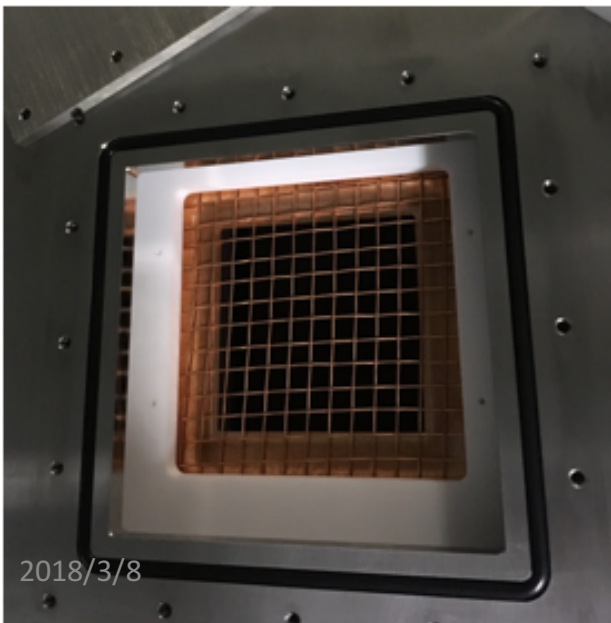
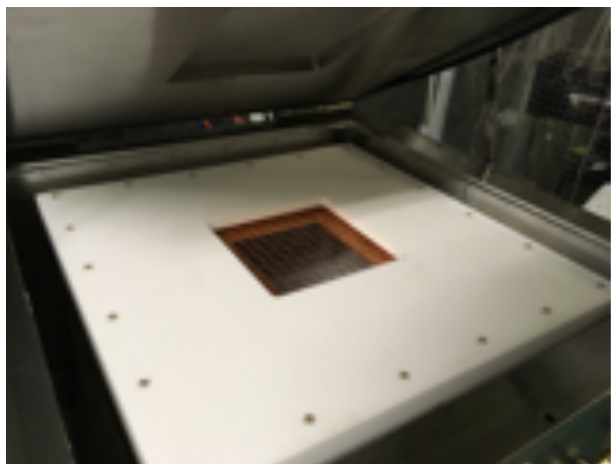


現在



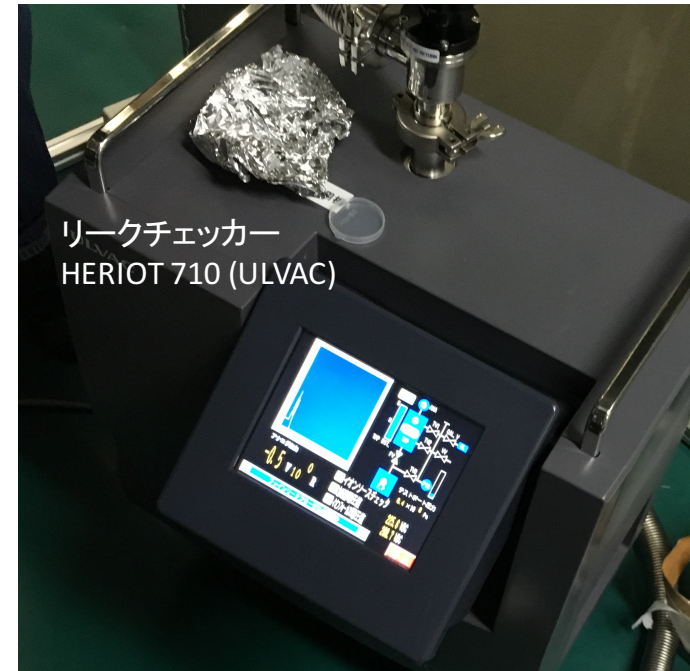
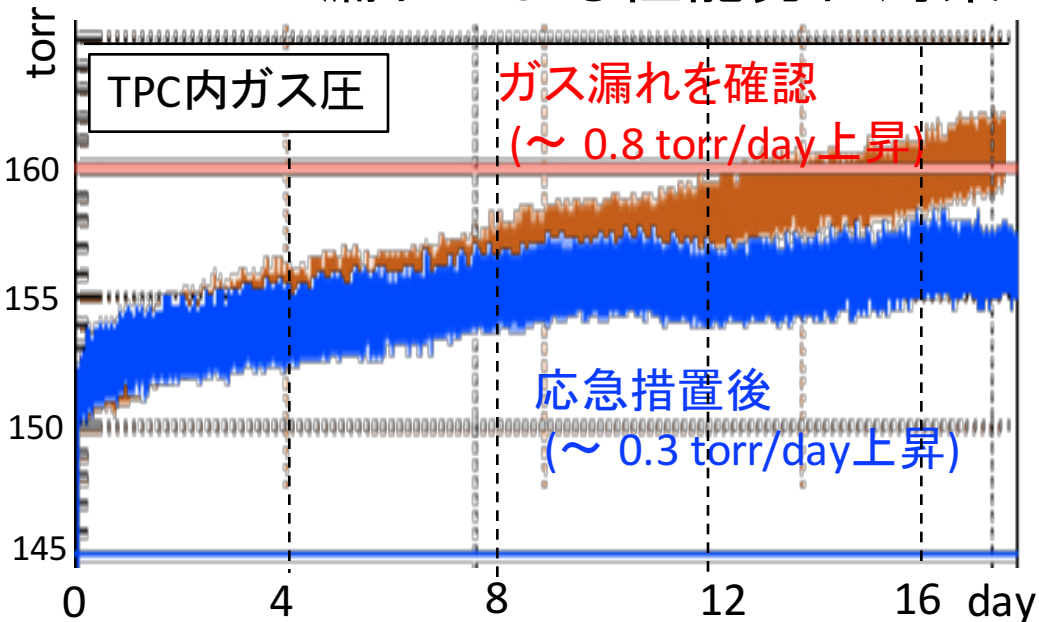
3. ハードウェア・アップグレード

3.2. サンプル交換簡単化



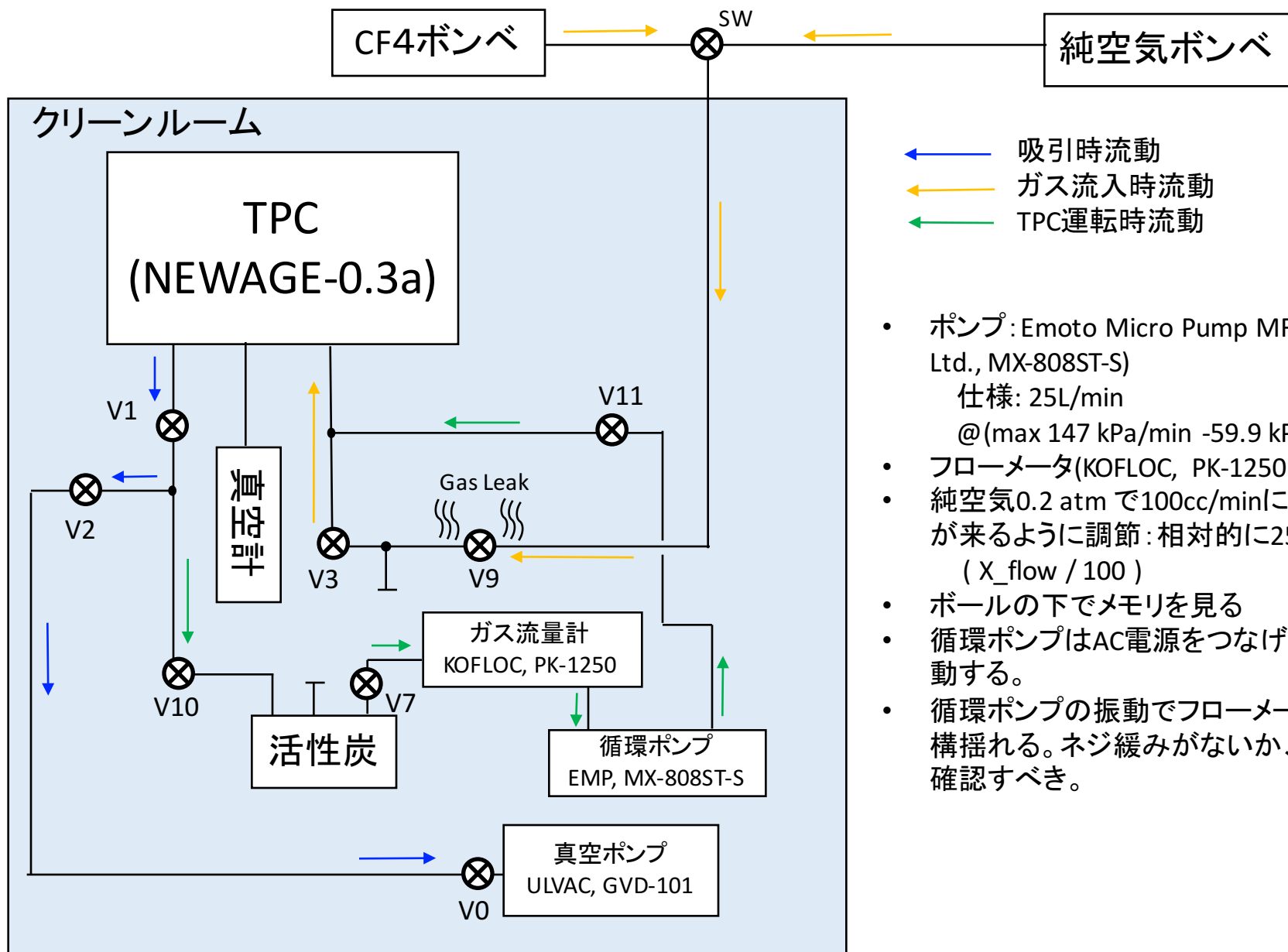
3. ハードウェア・ソフトウェア アップグレード

3.2. ガス漏れによる性能劣化対策



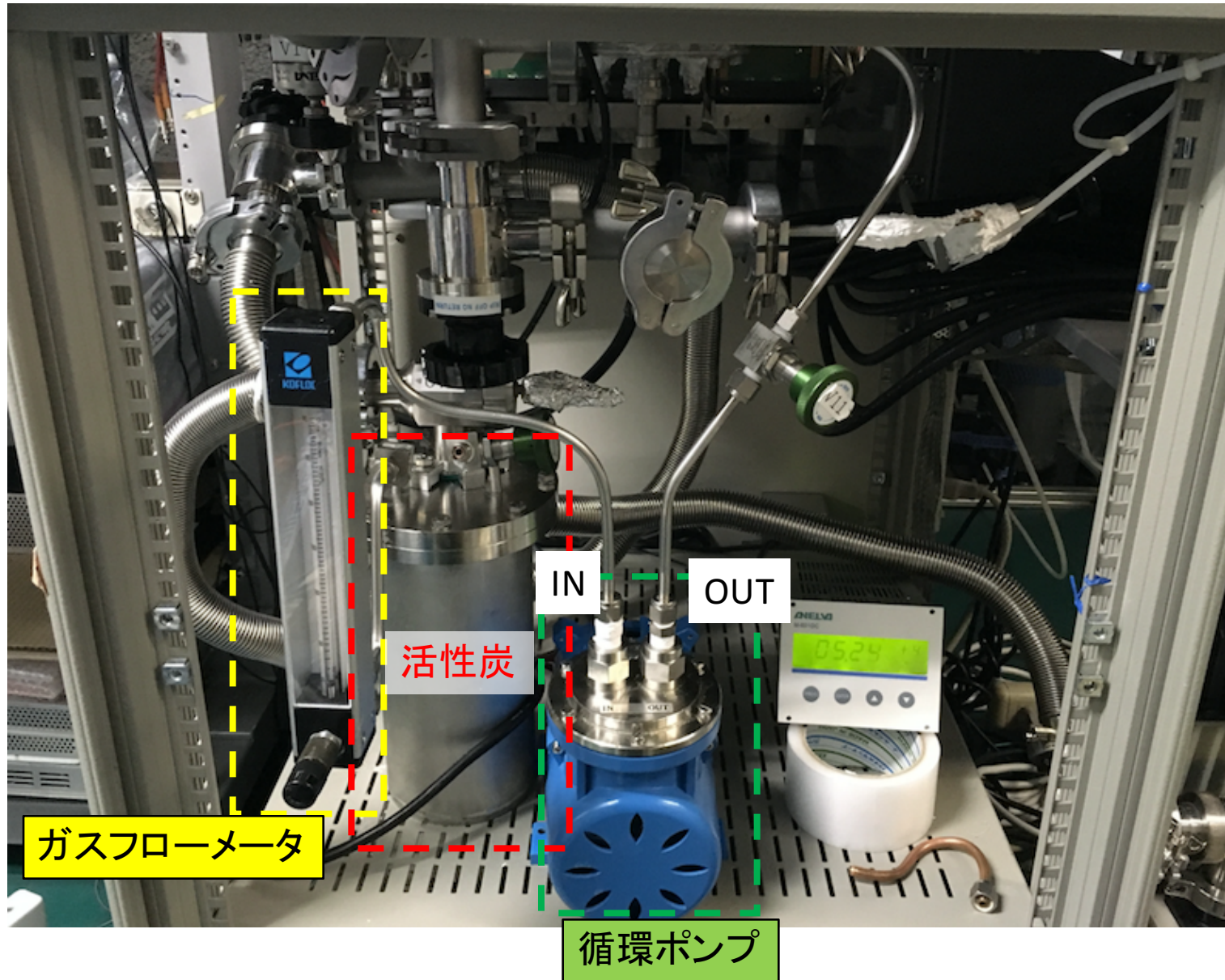
- リークチェッカーを使ってリーク箇所を発見した。
(a)ガス注入バルブ前後、(b)フランジ下のHVコネクタ根元
- (a)バルブ交換、(b)応急措置を実施した。ガス漏れを約 0.3 torr/dayに改善した。現在も改善中

配管図



- ポンプ: Emoto Micro Pump MFG Co. Ltd., MX-808ST-S
仕様: 25L/min
@(max 147 kPa/min -59.9 kPa)
- フローメータ(KOFLOC, PK-1250)
- 純空気0.2 atm で100cc/minにメモリが来るように調節: 相対的に25 L/min ($X_flow / 100$)
- ボールの下でメモリを見る
- 循環ポンプはAC電源をつなげると起動する。
- 循環ポンプの振動でフローメータが結構揺れる。ネジ緩みがないか、毎回確認すべき。

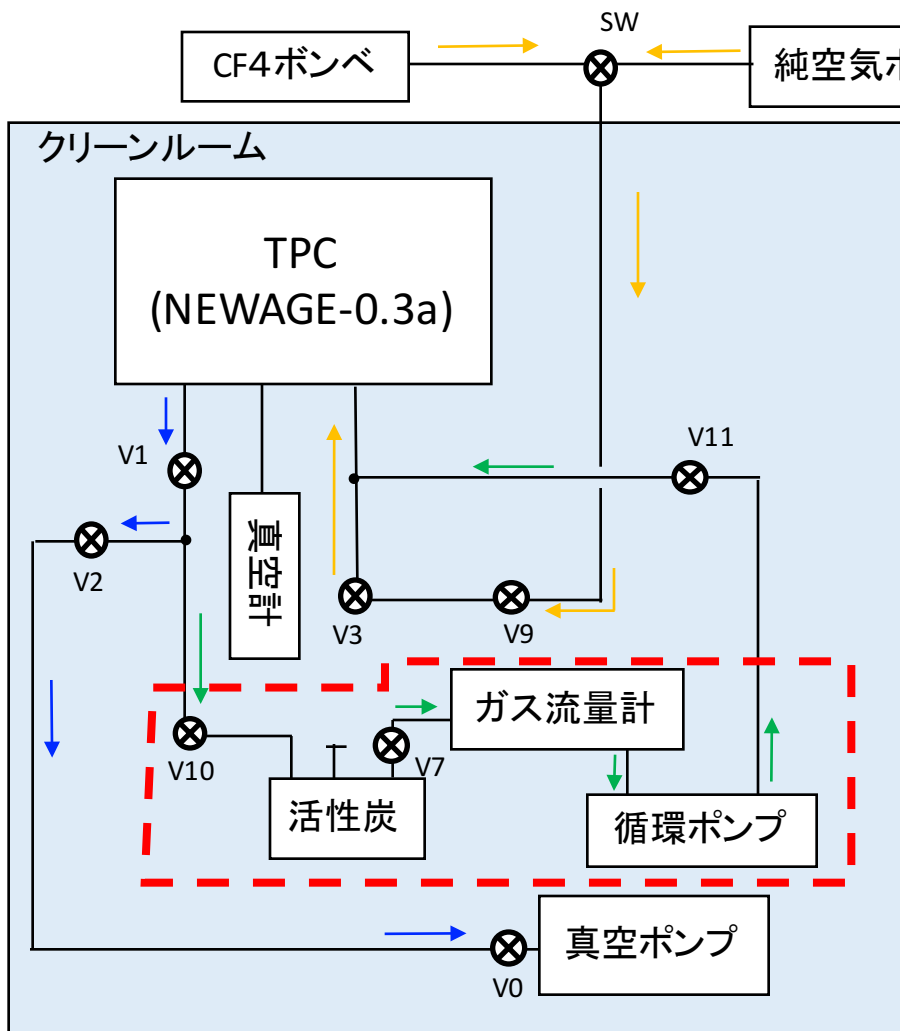
配管



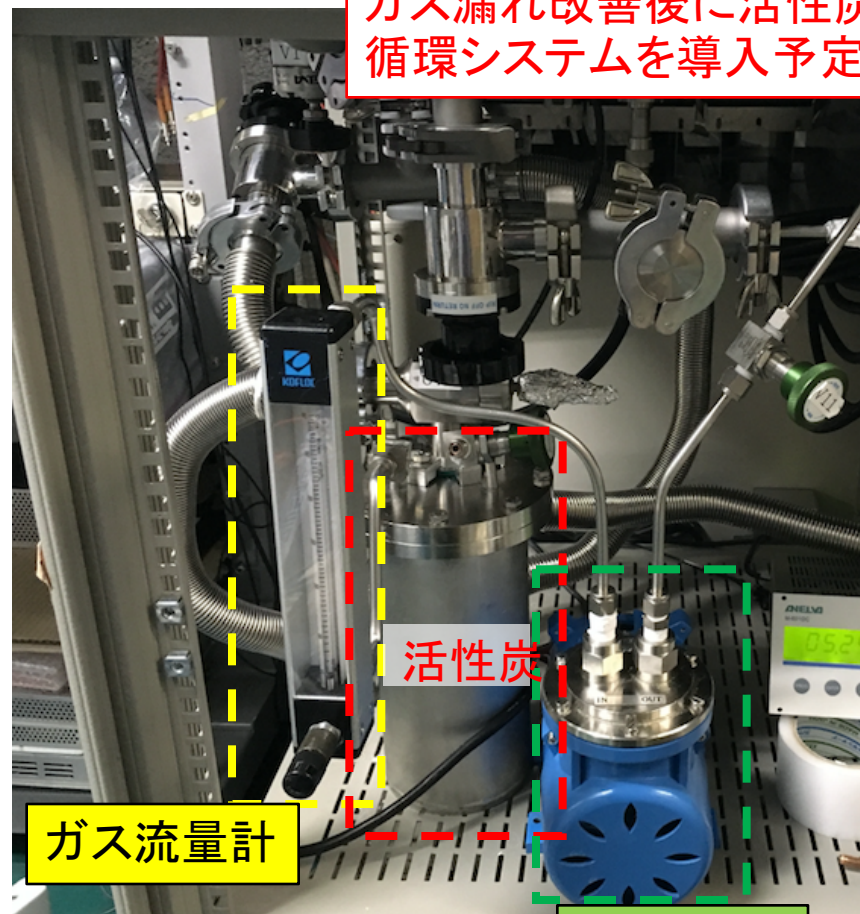
3. ハードウェア・ソフトウェア アップグレード

3.3. 活性炭循環システムの導入準備

- ← 吸引時流動
- ← ガス流入時流動
- ← TPC運転時流動



ガス漏れ改善後に活性炭循環システムを導入予定



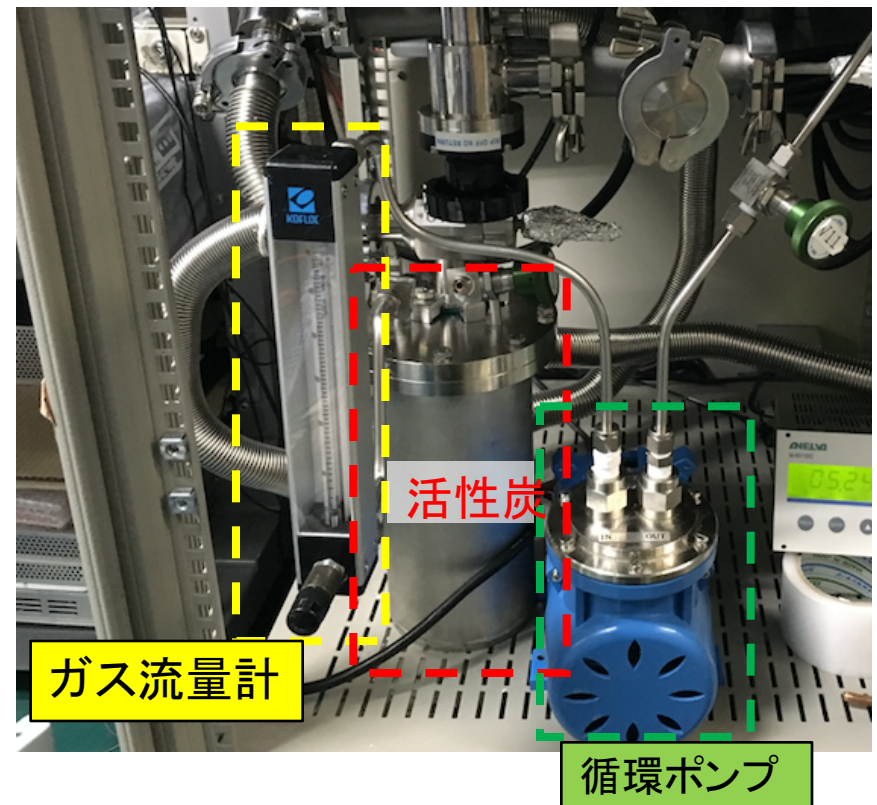
ガス流量計

活性炭

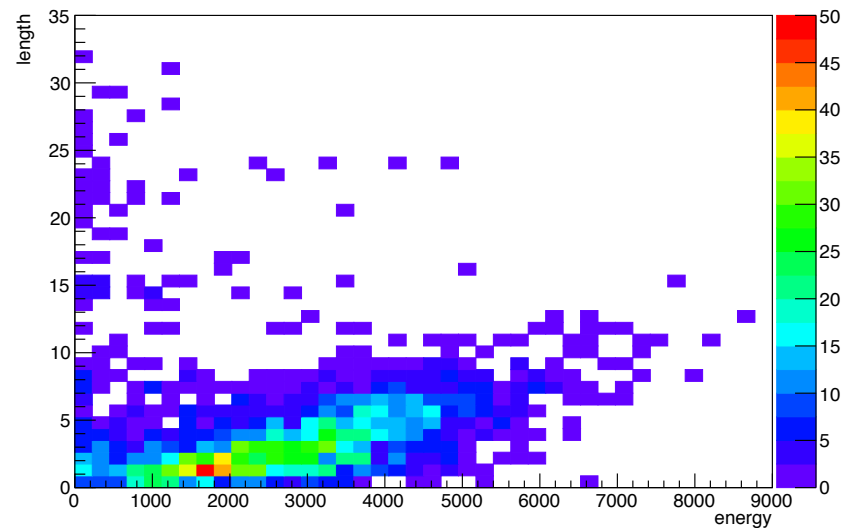
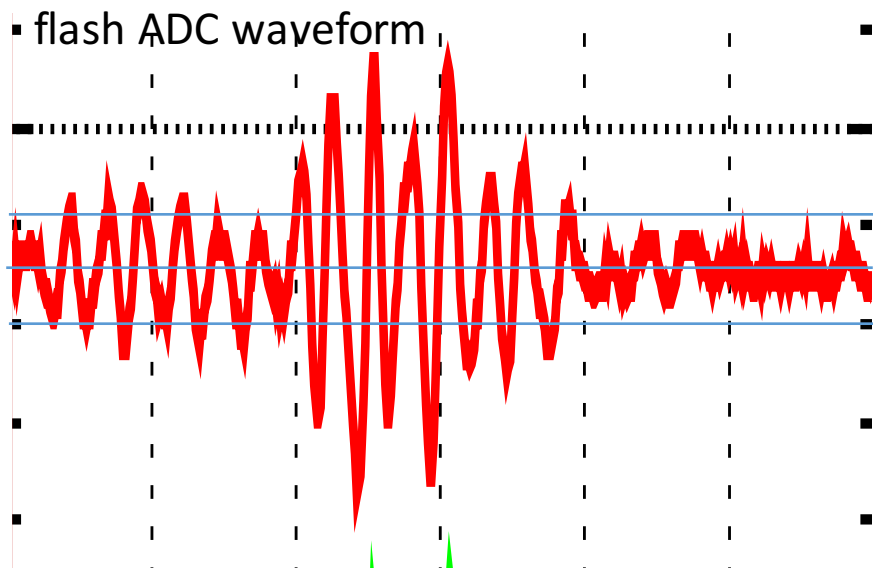
循環ポンプ

5. 今後の計画・課題

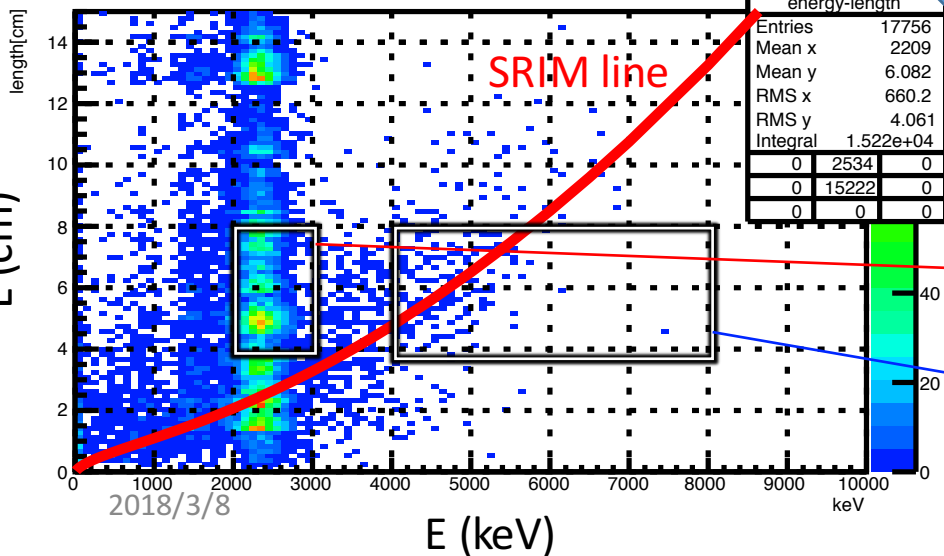
- 容器内のラドン由来 α 線が支配的
 - 容器密閉の改善(リーク箇所は把握している)
 - 活性炭循環システム導入によるラドンの抑制
 - 活性炭を冷却してさらにラドンの抑制効率向上



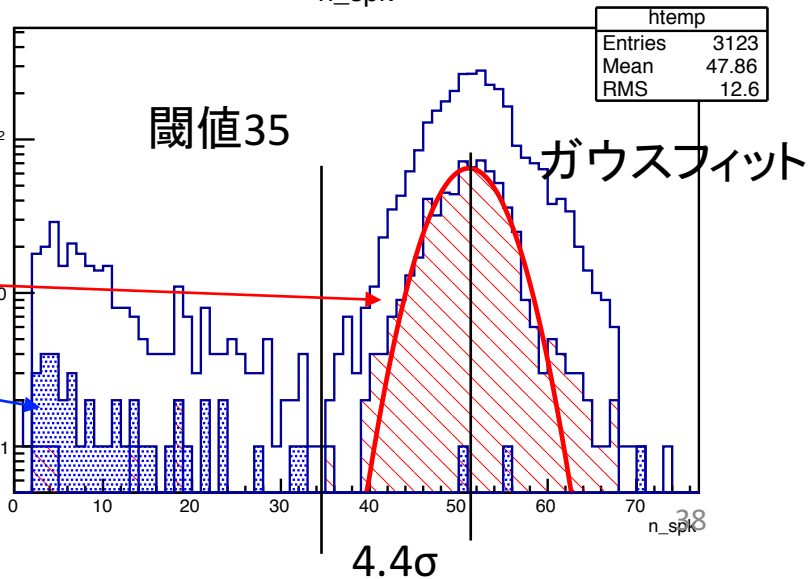
4. 解析手法 放電事象の波形解析によるカット



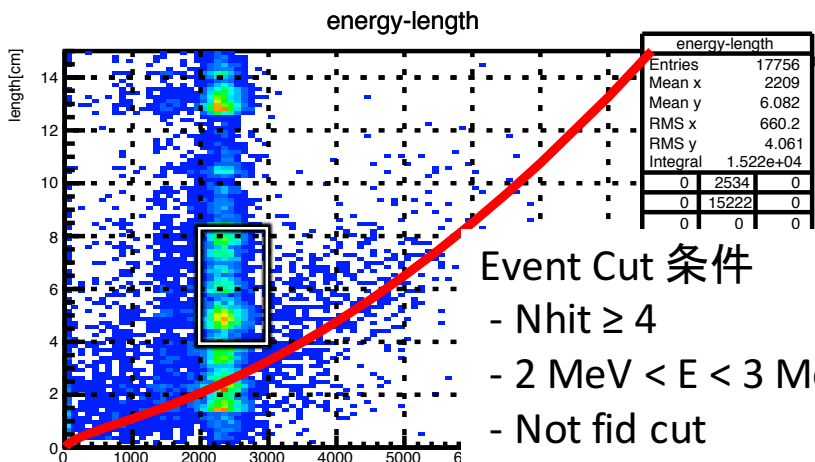
energy-length



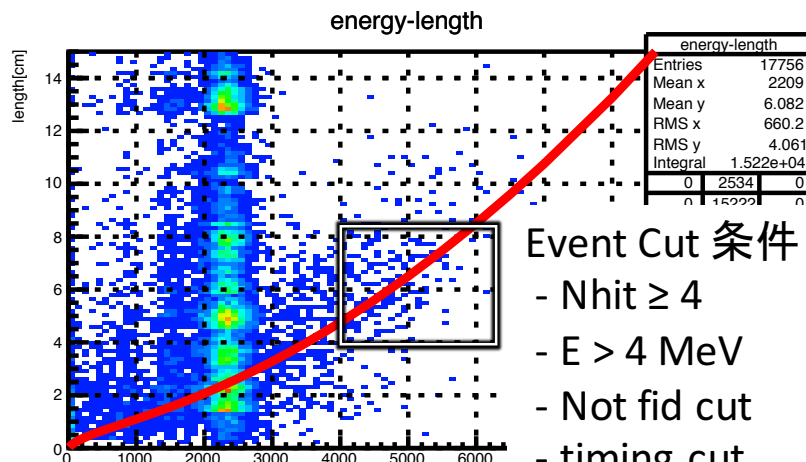
n_spk



4. 解析手法 放電事象の波形解析によるカット



- Event Cut 条件
- Nhit ≥ 4
 - $2 \text{ MeV} < E < 3 \text{ MeV}$
 - Not fid cut
 - timing cut
 - $4 < \text{length} < 8$



- Event Cut 条件
- Nhit ≥ 4
 - $E > 4 \text{ MeV}$
 - Not fid cut
 - timing cut
 - $4 < \text{length} < 8$

nadb23 NA_anal 30LAuPIC_1 20171130 per1

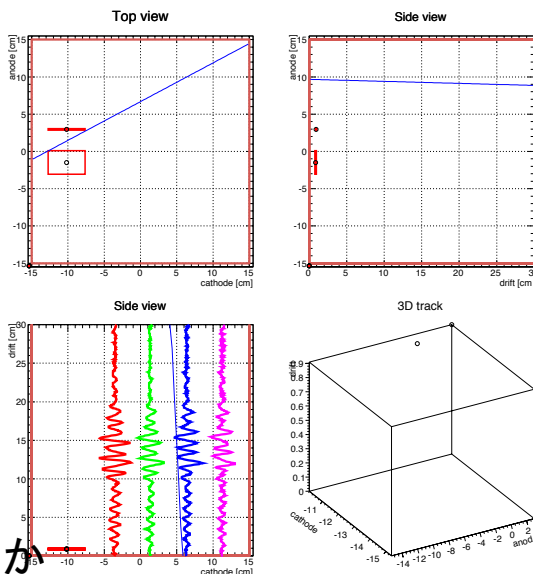
file 2 event 172

data file:selection.da1

nhit : 4
 $\chi^2 = 5.66$
 distance(f-f) = 1.00 cr
 path length = 39.91 cr
 FADCsum = 489.3

rms(a-d) = 9.80mm
 rms(c-d) = 9.80mm

drift velocity = 7.0cm/us



nadb23 NA_anal 30LAuPIC_1 20171130 per1

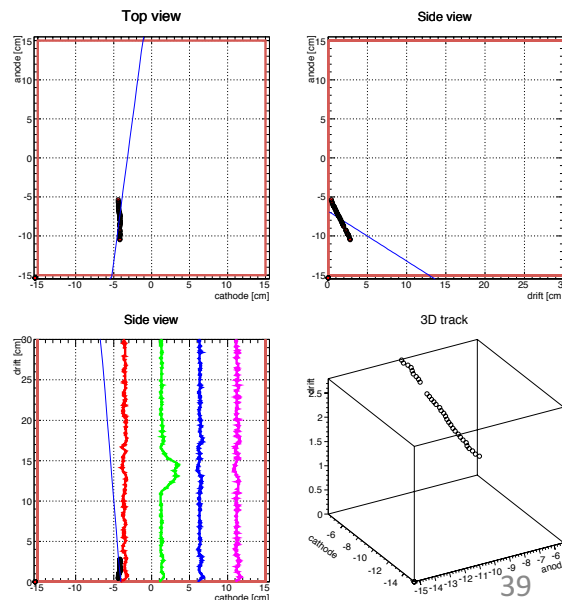
file 71 event 102

data file:selection.da1

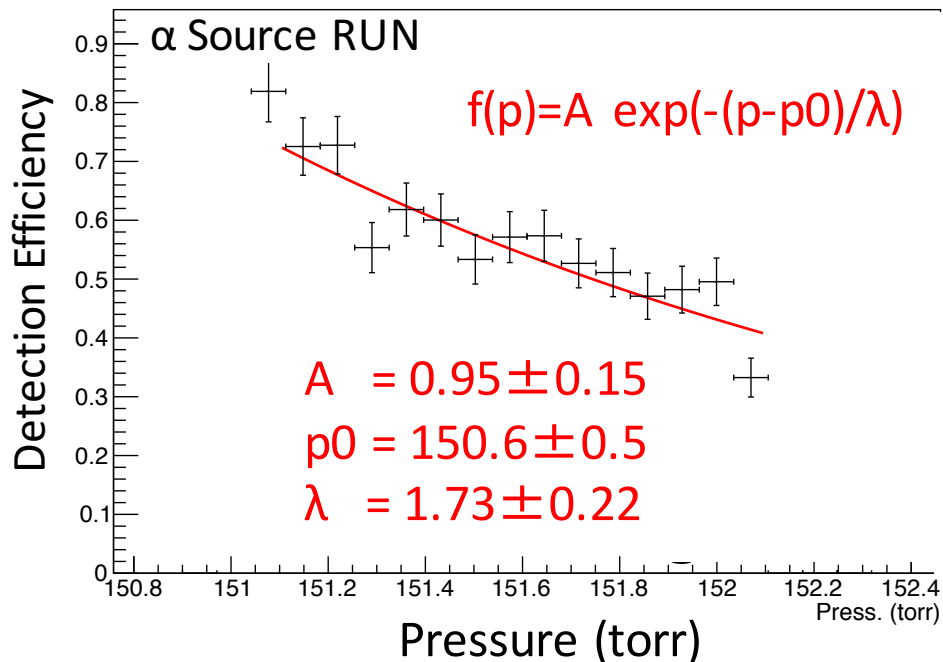
nhit : 35
 $\chi^2 = 7.07$
 distance(f-f) = 1.00 cr
 path length = 6.02 cm
 FADCsum = 910.0

rms(a-d) = 12.25mm
 rms(c-d) = 12.25mm

drift velocity = 7.0cm/us

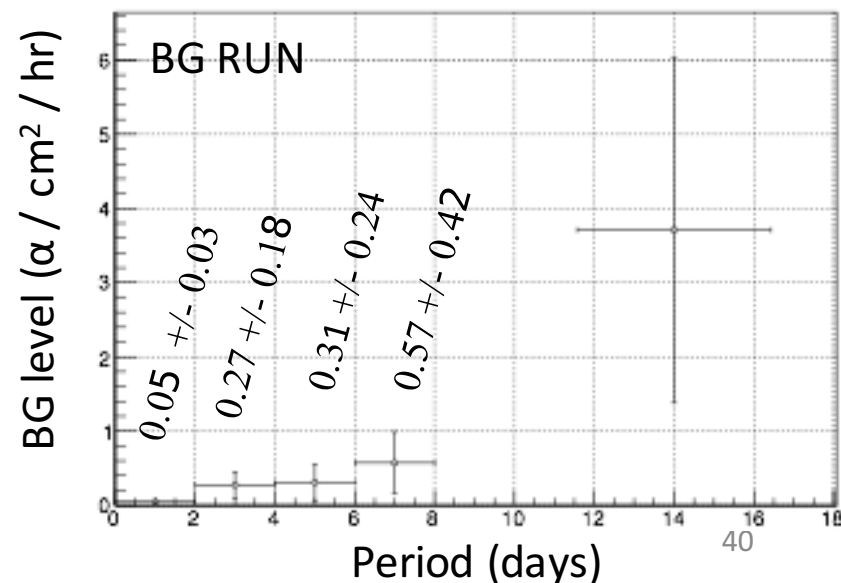
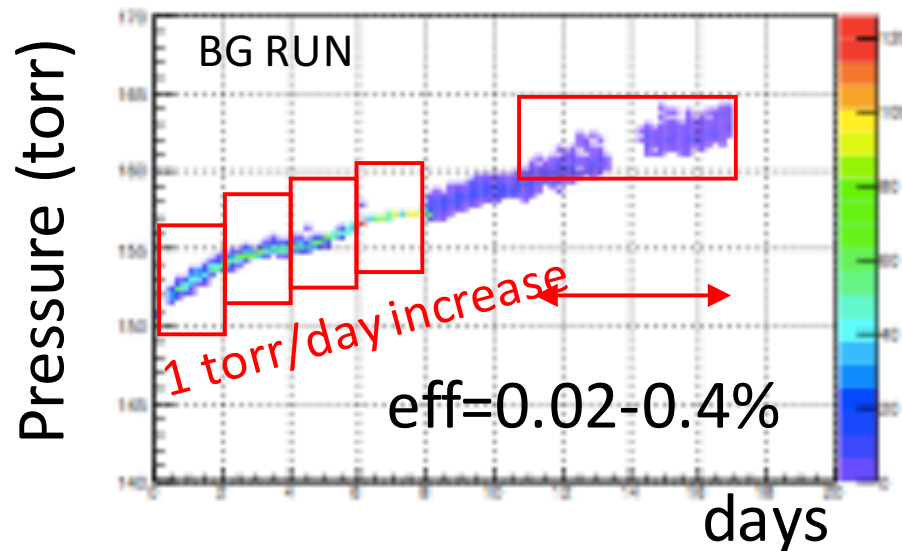


5. 今後の計画・課題

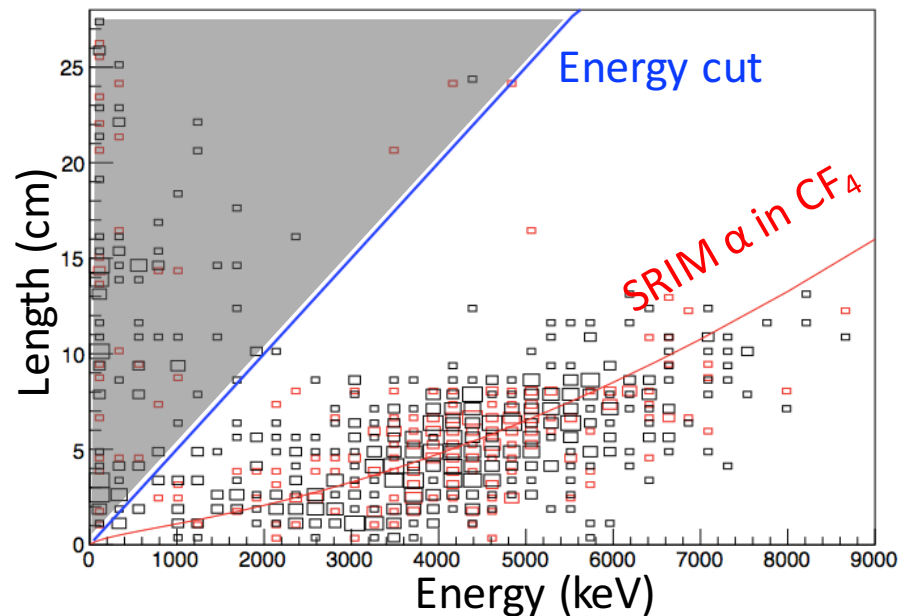
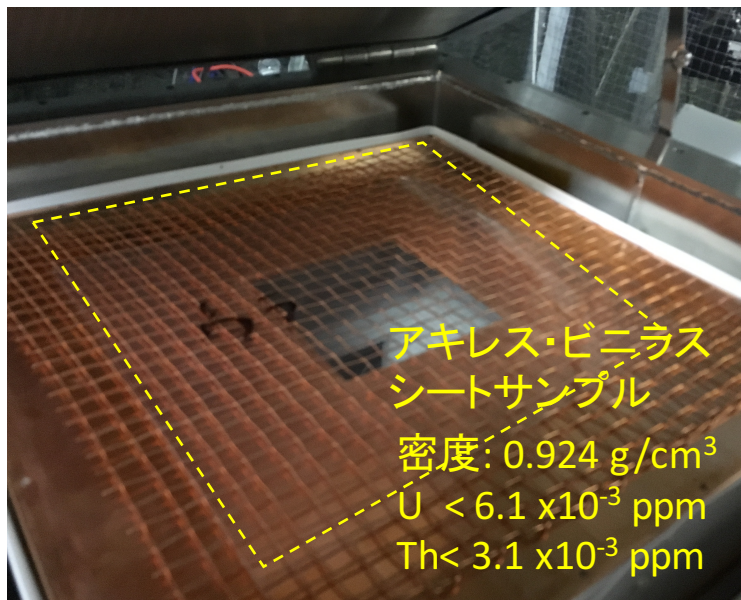


- 容器密閉の改善
- 活性炭循環システム導入
- 活性炭の冷却

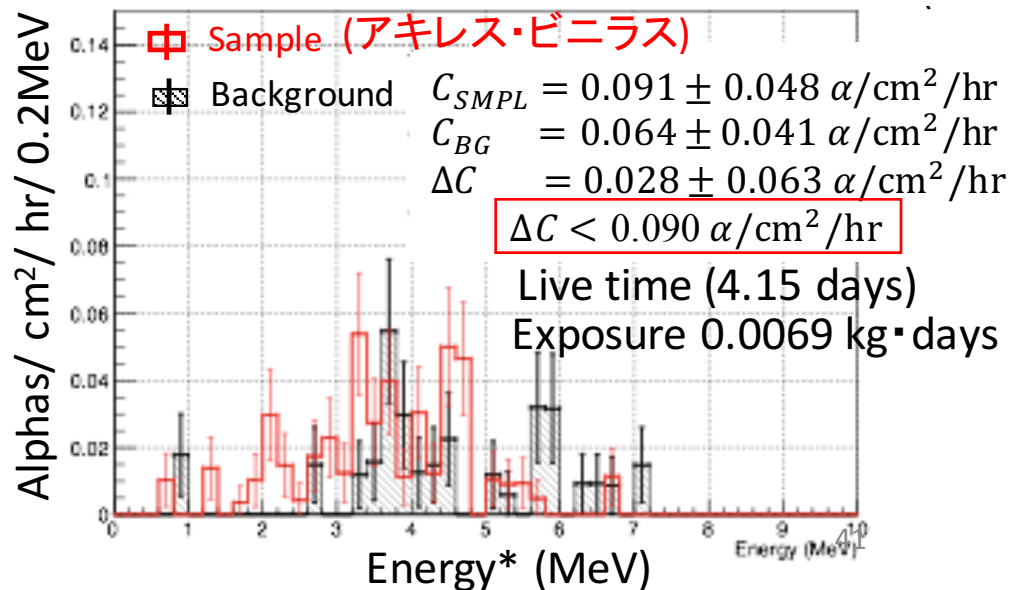
TPC内ガス圧力変化



3. ハードウェア・アップデート

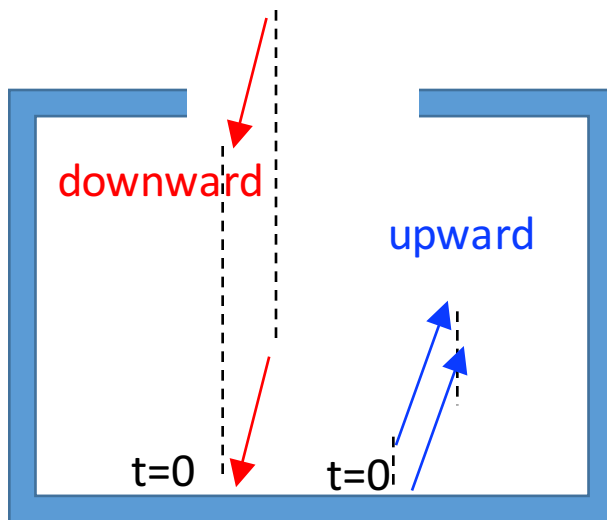


- セットアップ状況
 - 活性炭循環なし
 - Low- α u-PIC
 - ガス漏れ 1 torr/day
 - Live time ~ 4 days
- アキレス・ビニラスシートからのalphaはBGに埋もれて見えなかった。
- 昨年のBG level $1.32 \times 10^{-1} \text{ as/cm}^2/\text{hr}$
- 若干BG levelは改善した。

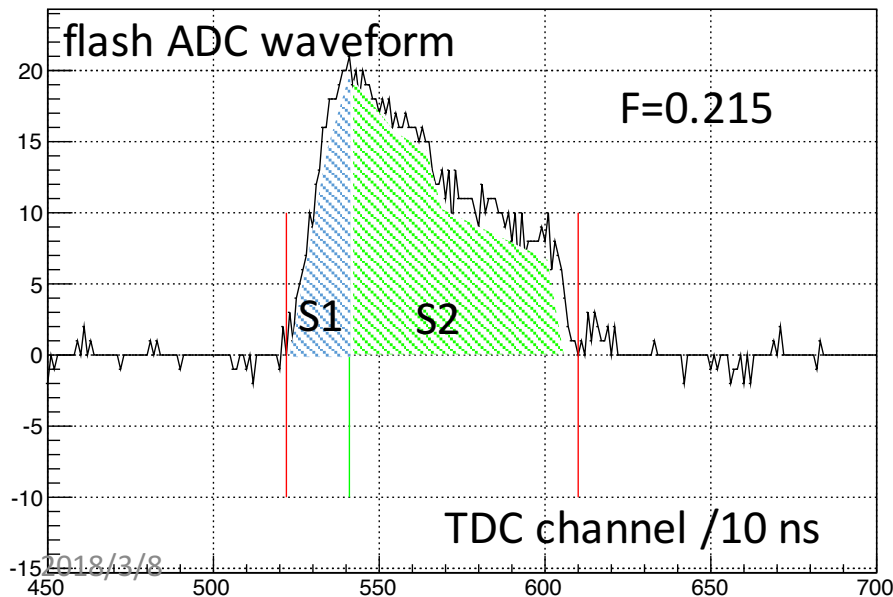


4. 解析手法

z軸に沿った進行方向の決定



- TPCではイベント再構成において、軌跡の絶対位置は決定されない。
- z座標が最低の点でT=0となるからである。
- α 線のBragg曲線から波形解析によって、z軸進行方向を決定。



1. Select good waveform
2. Peak search
3. Rise, fall time determine
4. Each integration calculation
5. Likelihood factor determine with $F=S1/(S1+S2)$

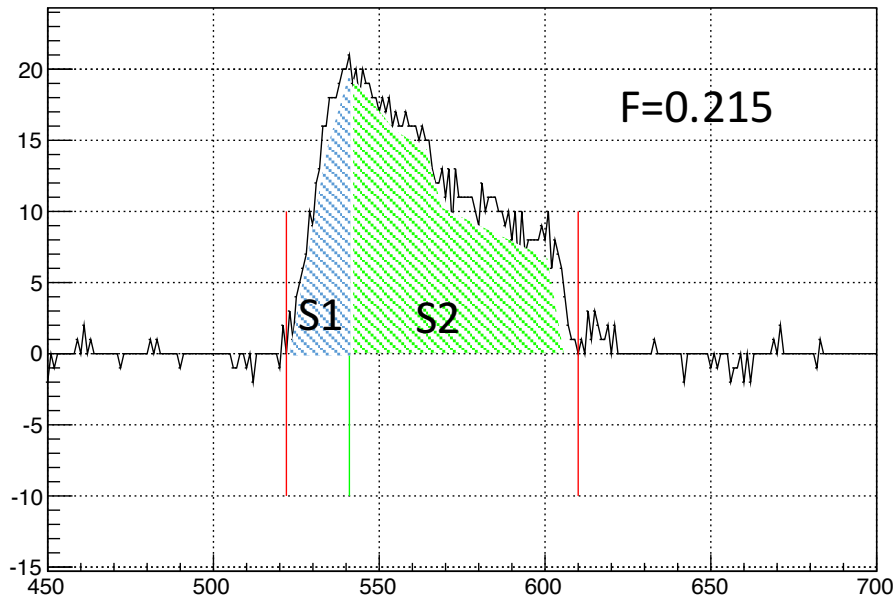
0 ... downward

1 ... upward

-1... unknown

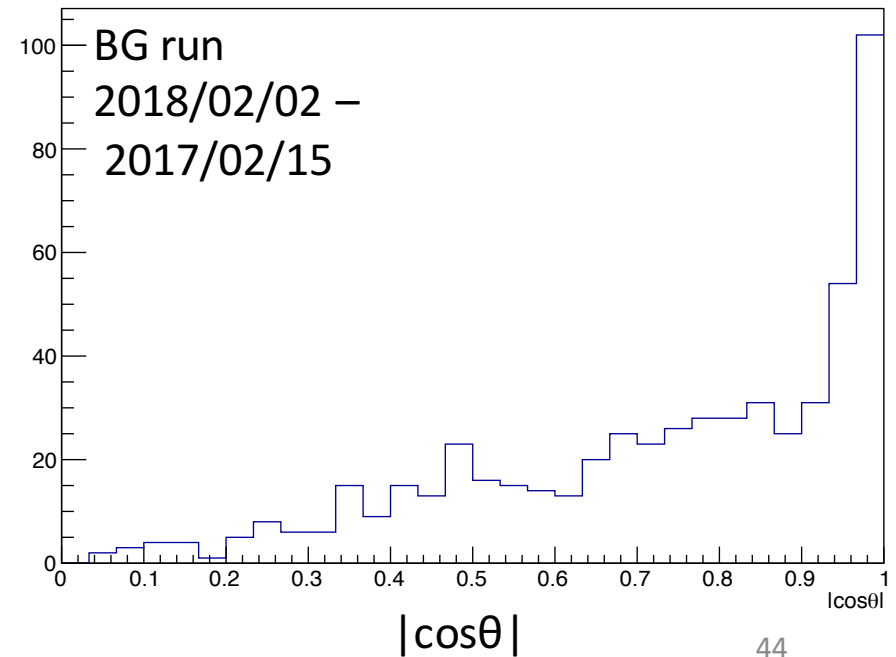
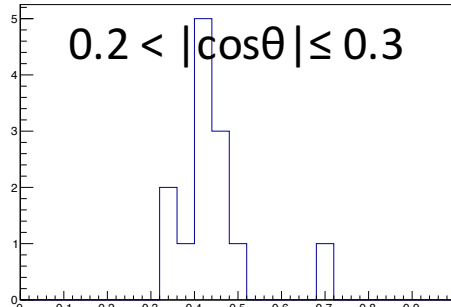
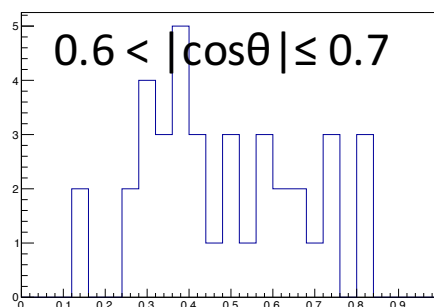
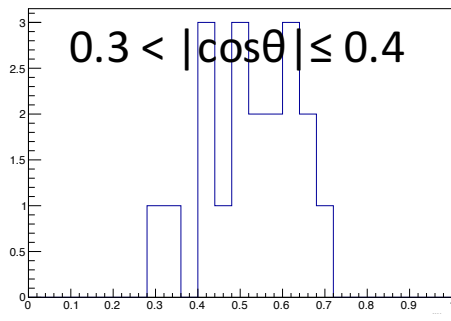
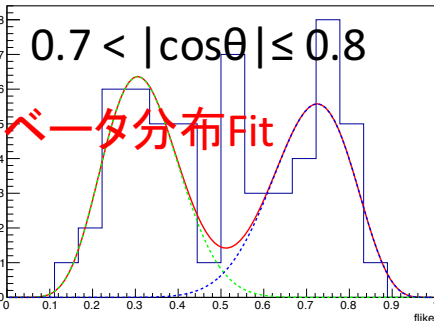
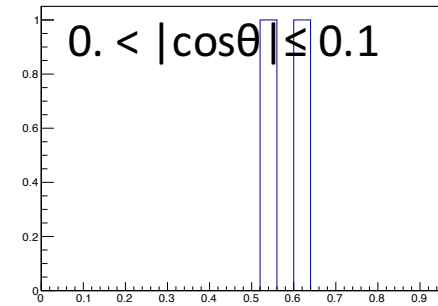
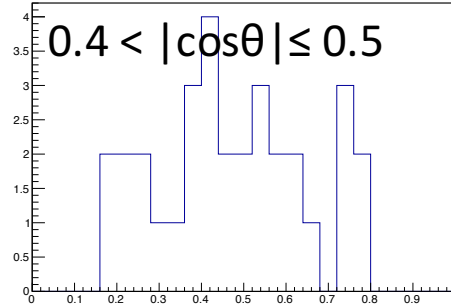
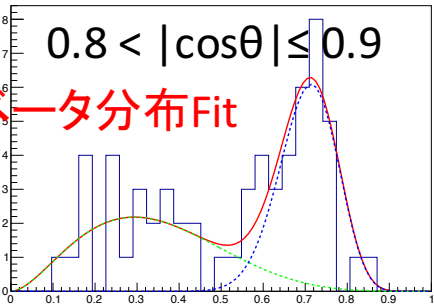
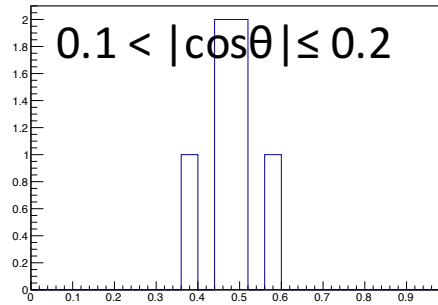
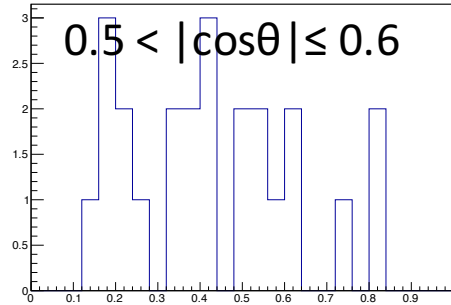
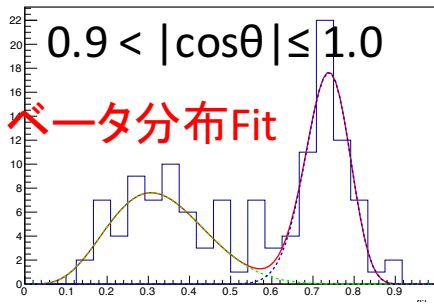
4. 解析手法

Energy vs. Track Length $N_{\text{Hit}} > 3$

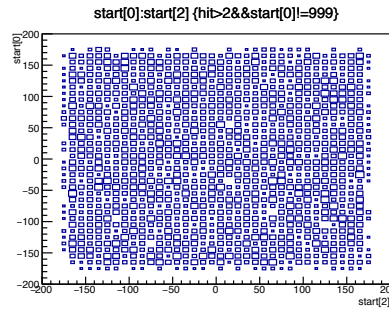
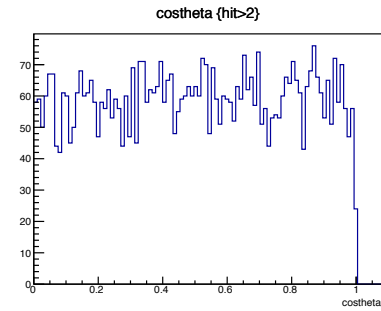
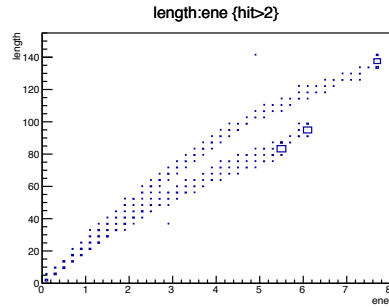
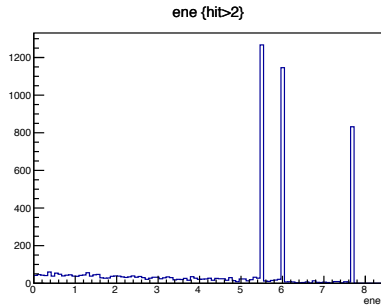


1. Select good waveform
2. Peak search
3. Rise, fall time determine
4. Each integration calculation
5. Likelihood factor determine with $F=S1/(S1+S2)$
 - 0 ... downward
 - 1 ... upward
 - 1... unknown

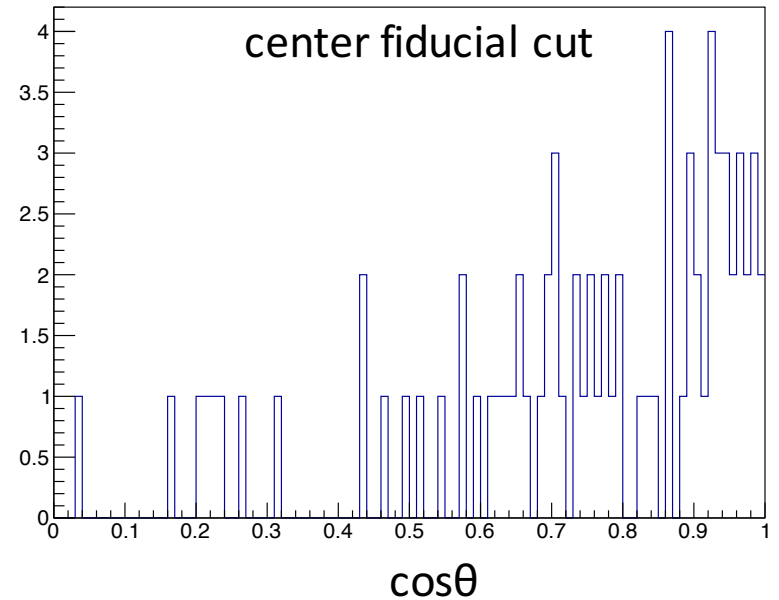
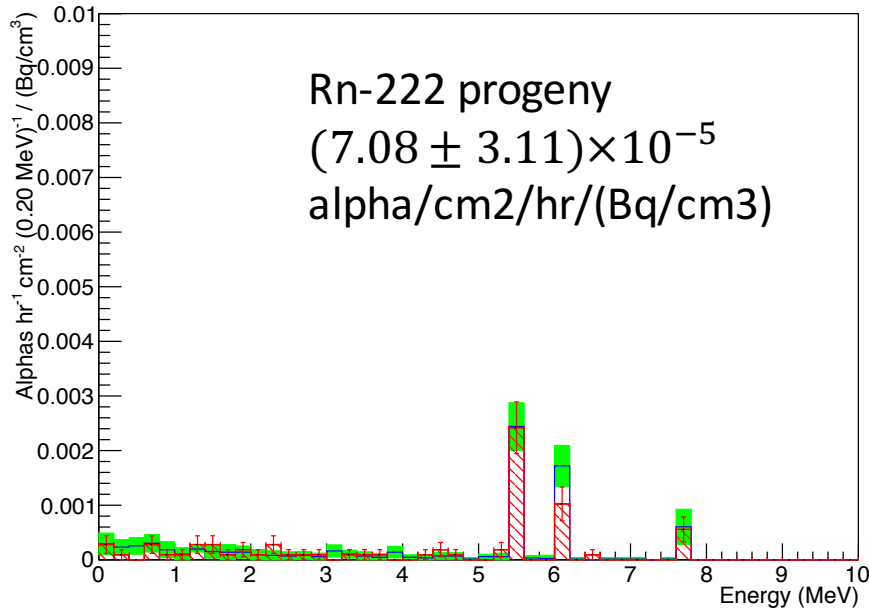
Upward like estimation



2018/3/8



- Rn progeny Rn-222, Po-218, Po-214 alpha.
- Emission isotropically.
- After fiducial cut, $\cos\theta > 0.5$ was survived.



ノイズフィルター開発進捗

2018/01/30

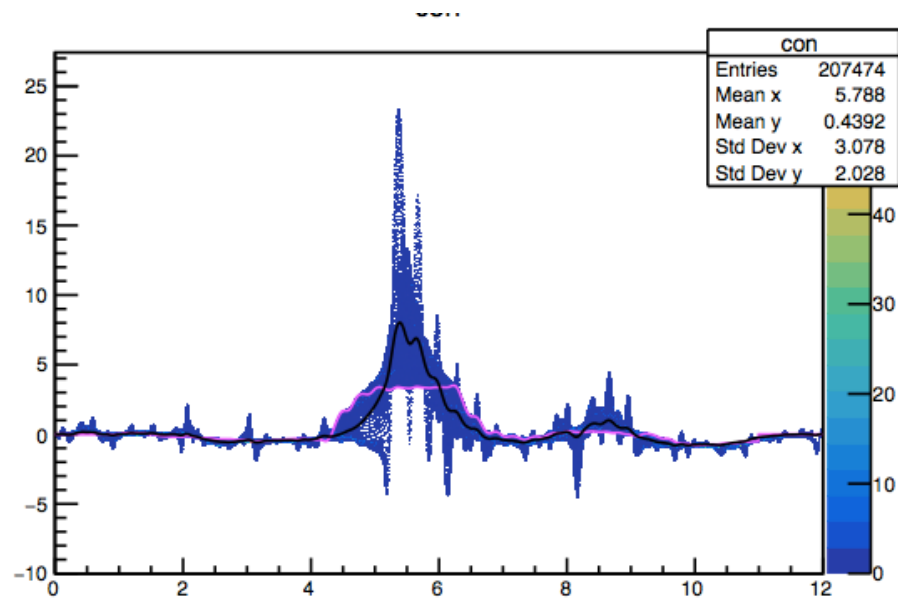
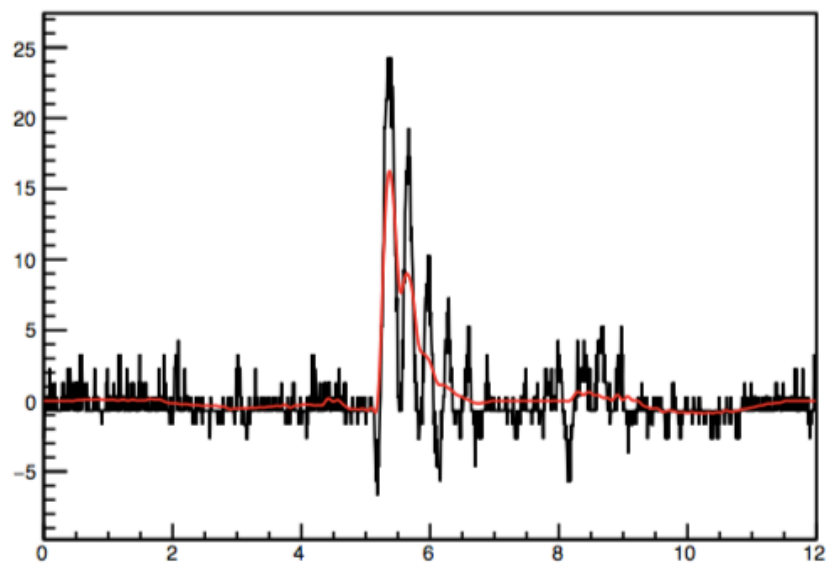
フーリエ解析で高周波成分カットを試みた。ノイズ成分は減るが、信号成分が鈍り前後判定に使えなくなる。

2018/02/06

波形絶対値との差分からS/Nを識別可能。スムージングのアプローチは良さそう

2018/02/22

スムージングした後、信号領域において、スムージングレベルごとに微分波形をチェックして、ベストなレベルを決定してノイズを落とすことに成功。

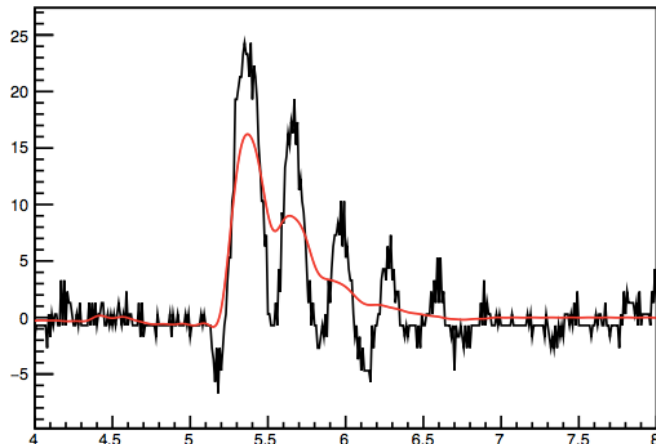
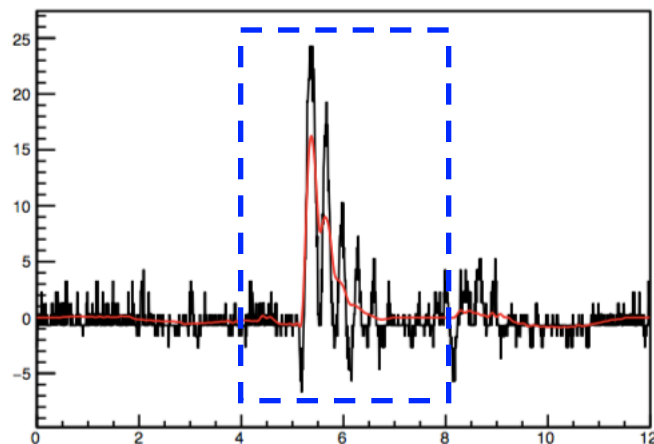
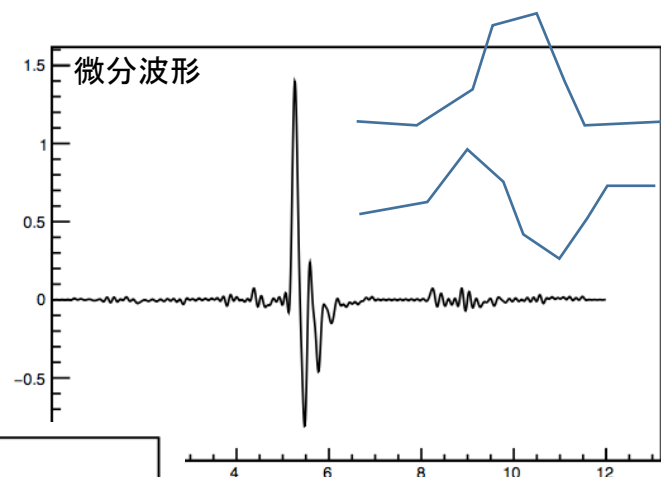
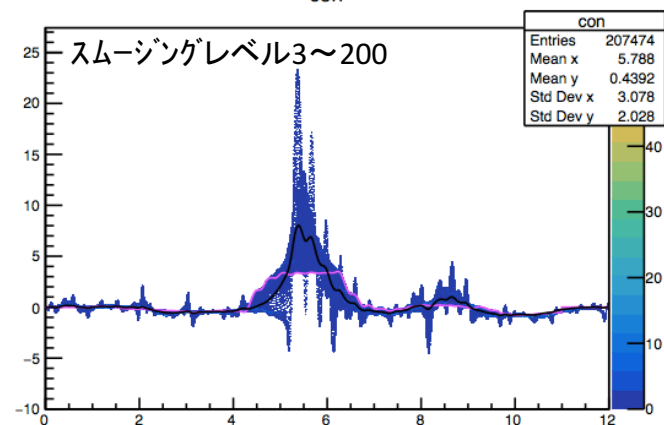


ノイズフィルター開発進捗

アルゴリズム

1. スムージング波形 3~200 分割 (Rebinとは違う)
領域200の平均値をplotしながら、平行移動する
スムージングレベル3~200の波形の平均波形が黒
スムージングレベル200の波形がマゼンタ
2. マゼンタ有効領域が信号があると判断
3. スムージングレベル毎に微分波形をチェック
4. sin波-like 1周期以下を満たすスムージングレベルを決定。
5. 信号領域において決定されたスムージングレベルに調節。
6. ノイズ領域はスムージングレベル200にしている。

この手法で信号に雑音が入っても雑音だけを除去できる。



4. 解析手法の改善

ノイズフィルター開発

- 波形に電磁ノイズが乗ることで前後判定に悪影響
- 波形スムージングと微分波形解析を組み合わせたアルゴリズムを開発
- Good波形を崩さず、Bad波形を生き返らせることに成功

α source run

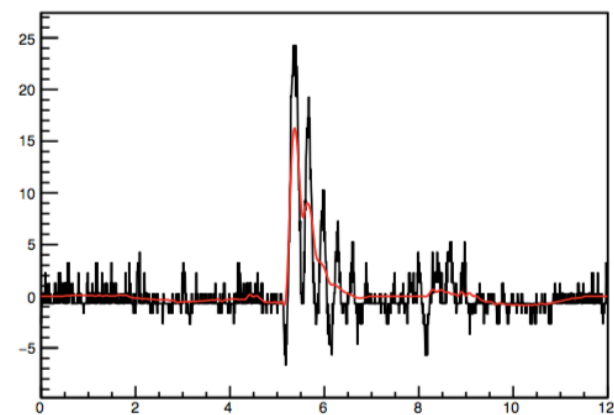
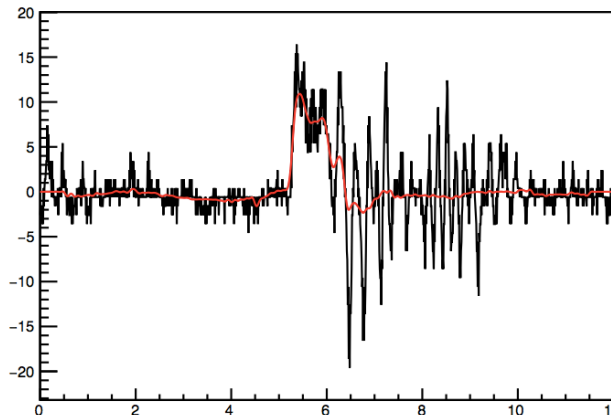
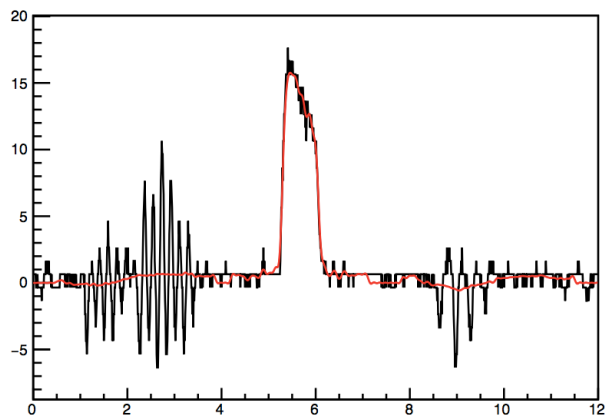
— Original

— Noise Filtered

Good waveform

Usable waveform

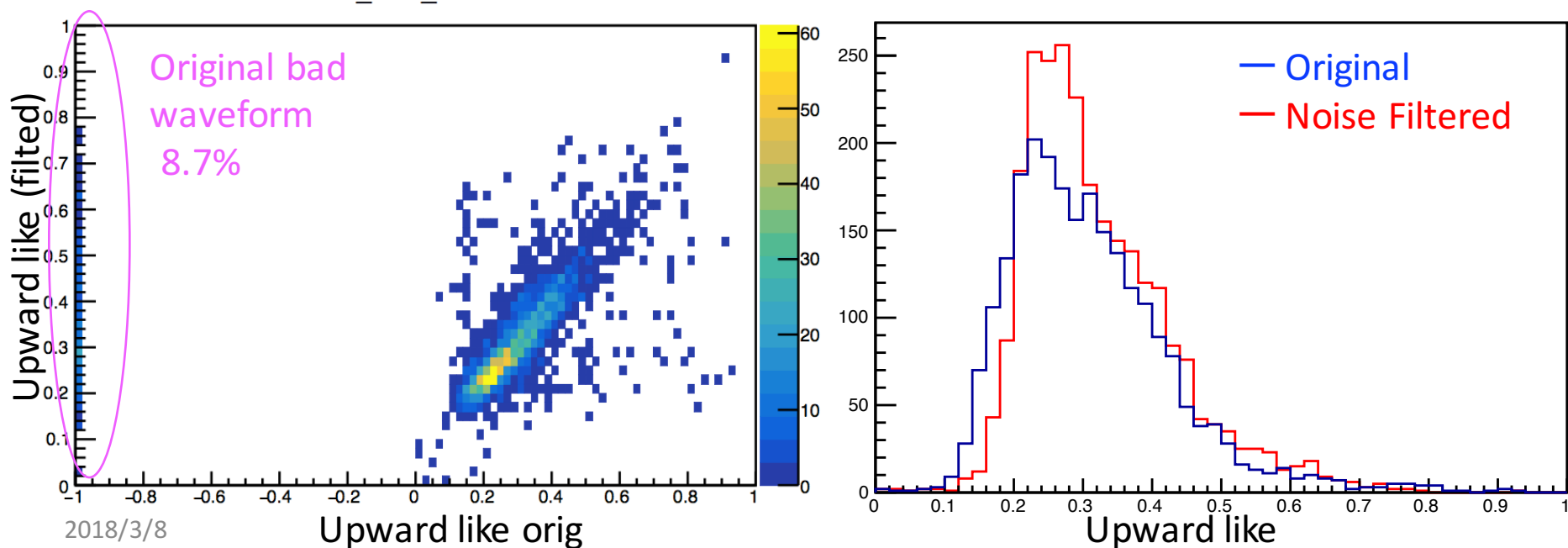
Bad waveform



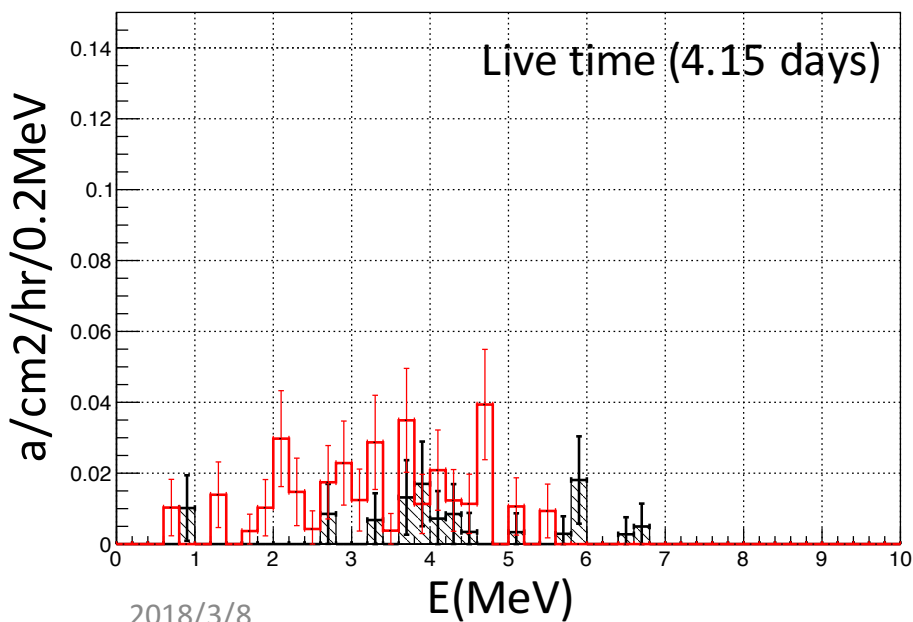
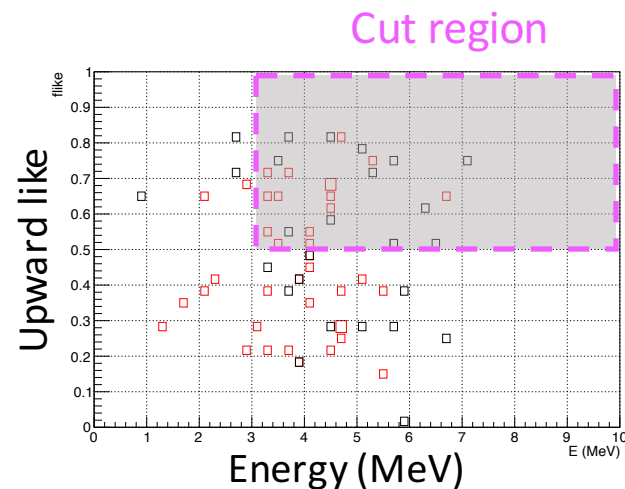
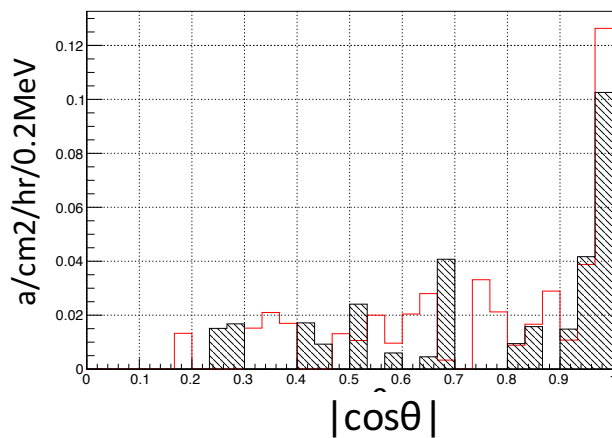
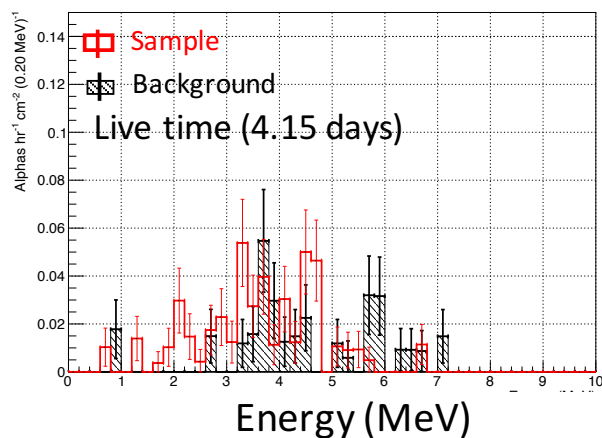
4. 解析手法の改善

ノイズフィルター開発

- Bad waveform (全体の8.7%)を救えた。
- Upward like分布ピークは鋭くなった。
 - 飛跡が μ -PICに触れた時刻(下向き α 線の波形peak time)は原理的に揃ってる。
 - 雑音によって生じたpeak timeのずれが治ったと理解できる。
- ノイズフィルター操作後 のUpward IDは変化しない。
 - 0.5 thr.で94% downward id.



4. 解析手法の改善



Before

$$C_{SMPL} = 0.091 \pm 0.048 \alpha/cm^2/hr$$

$$C_{BG} = 0.064 \pm 0.041 \alpha/cm^2/hr$$

$$\Delta C = 0.028 \pm 0.063 \alpha/cm^2/hr$$

$$\Delta C < 0.090 \alpha/cm^2/hr$$

$$BG \text{ level} < 0.105 \alpha/cm^2/hr$$

After

$$C_{SMPL} = 0.064 \pm 0.038 \alpha/cm^2/hr$$

$$C_{BG} = 0.021 \pm 0.021 \alpha/cm^2/hr$$

$$\Delta C = 0.043 \pm 0.043 \alpha/cm^2/hr$$

$$\Delta C < 0.086 \alpha/cm^2/hr$$

$$BG \text{ level} < 0.042 \alpha/cm^2/hr$$

Rn BG runでα線の前後判定がうまく動作していることを実証した

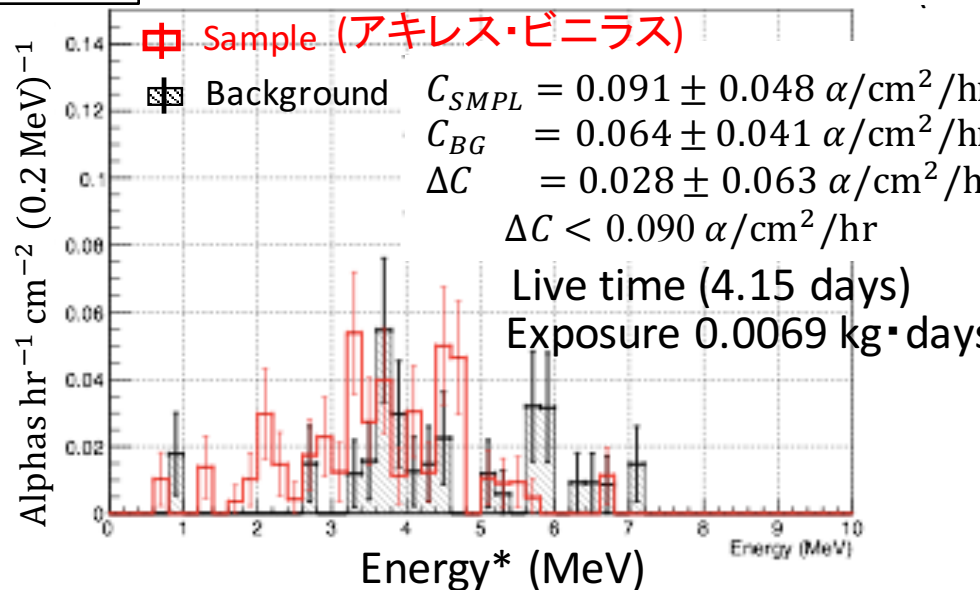
解析ツールデバッグ結果修正

ばぐ: count rate計算時の面積あたりを
fidutial area 9cm x 9cm
次元1回しかかけてなかった

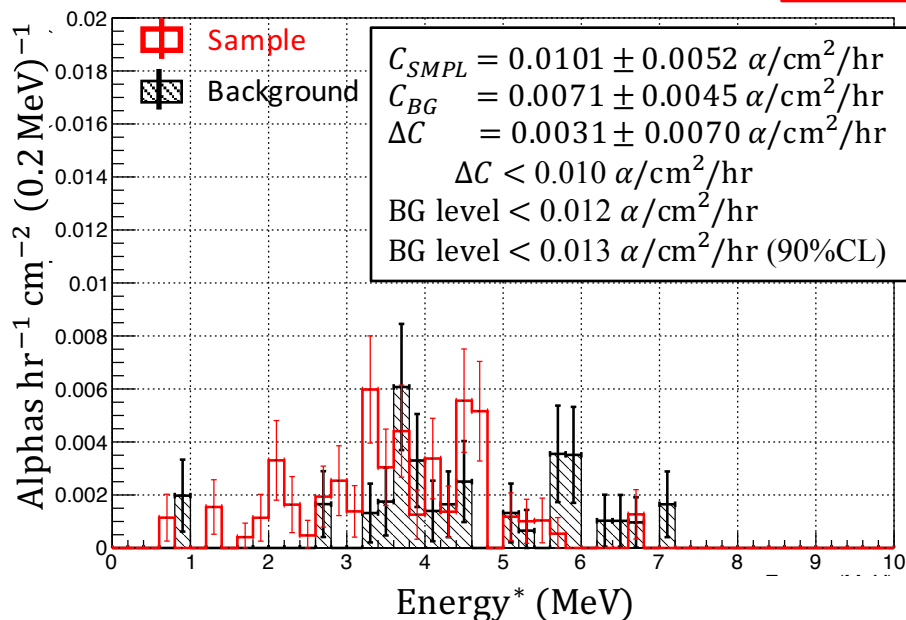
$$\text{As/hr/cm}^2 = \text{Cnts} / \text{Live T} / \text{fid. Area}$$

つまり、factor 9良くなる
他のデバッグも...

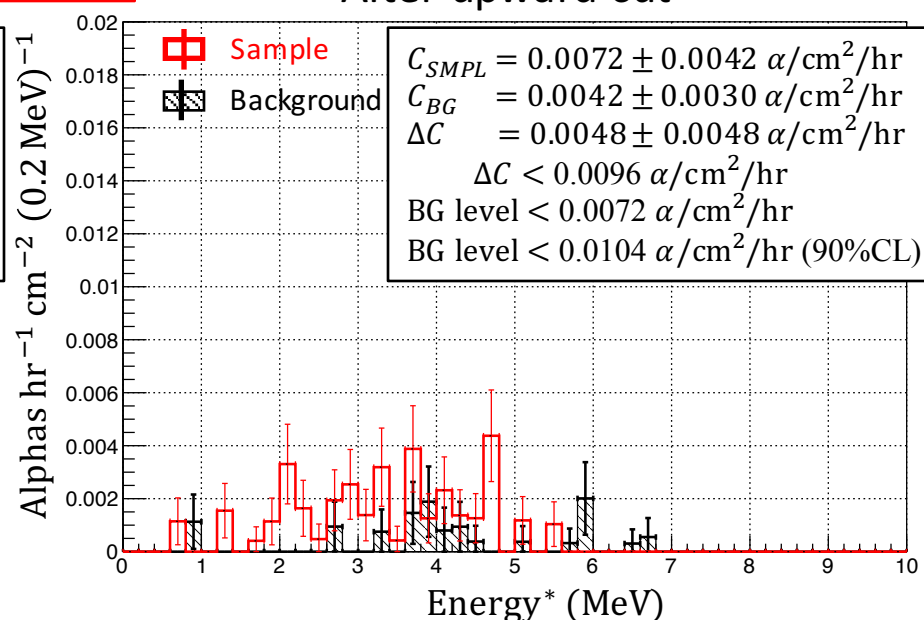
デバッグ前



デバッグ後

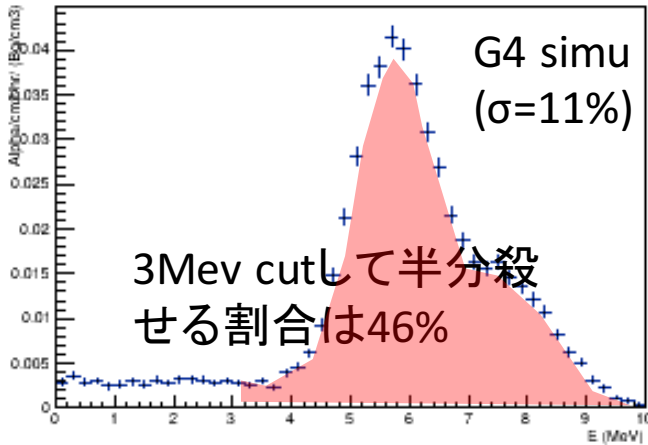


After upward cut



考察・メモ書き

Rn-222 alpha線



Rn-220 alpha線

G4 simu
($\sigma=11\%$)

3Mev cutして半分殺
せる割合は46%

Rn222 : Rn220
... Lab-A 比を使う
そのスペクトラムとexpを比較

u-PIC U-channel

3Mev cutして半分殺
せる割合は55%

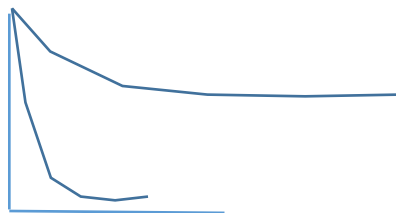
$U < 2.98e-3$ ppm

u-PIC Th-channel

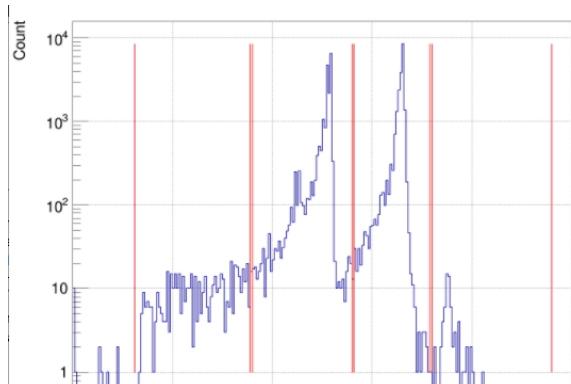
3Mev cutして半分殺
せる割合は57%

$Th < 6.77e-3$ ppm

長期RUNの効果



2018/3/8



前後判定によって3MeV以
向方向 α 線は99%除去でき

- u-PIC由来のBGは80%?
- ラドン由来の等方 α 線は4

Low-a u-PICになったことで
り 10^{-2} に α が減ったことにな
判定で 5×10^{-3} が消えると見
(無視できるレベル)

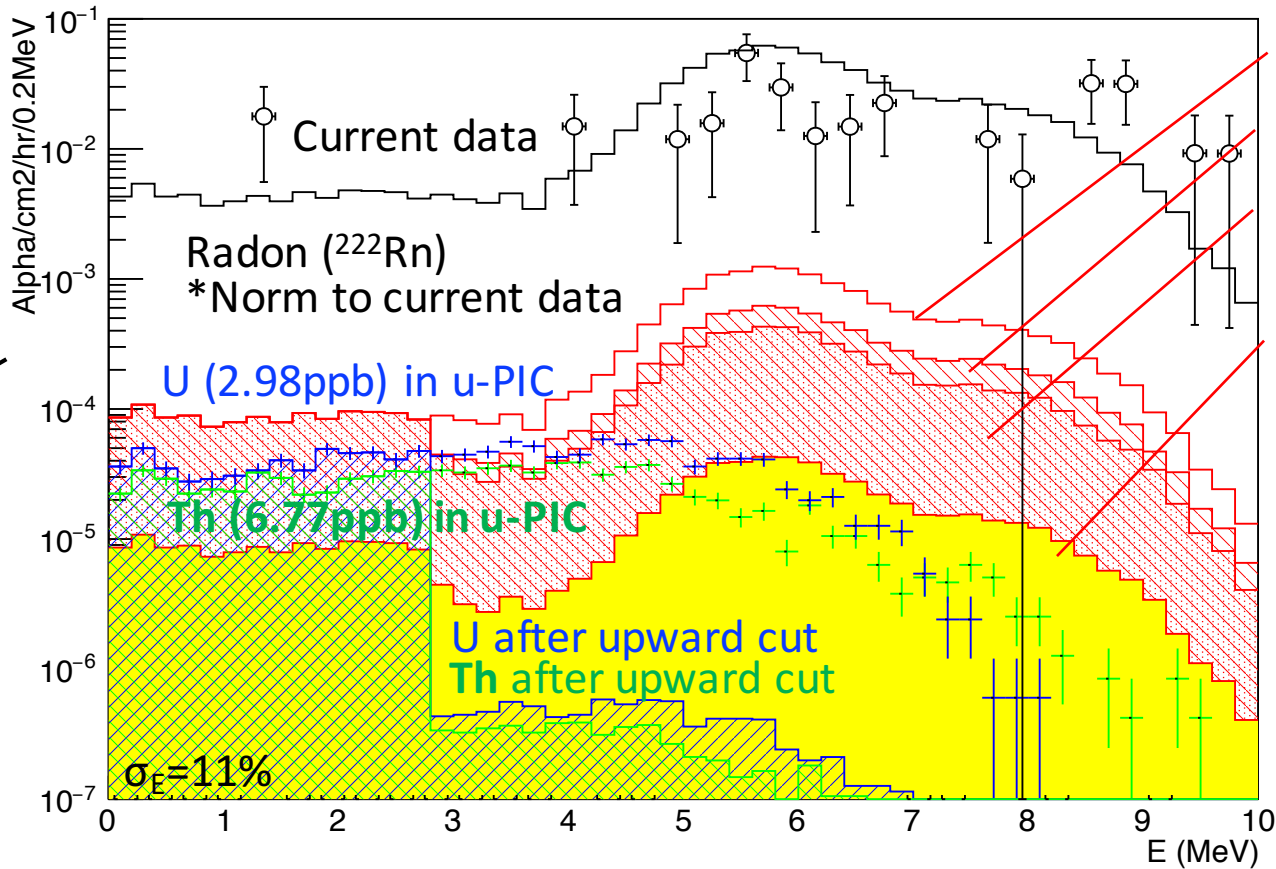
ラドンは活性炭で 10^{-1} 以下
前後判定で約5%カットでき

真空もれを改善して、長期
るようにする。 10^{-1}

現状 0.1 as/cm²/hr
活性炭と前後判定で1/20
真空もれ改善で1/10

XY前後判定によつて⁵²0.5-3 I

5. 考察



- 1/50 Radon simulation
- 1/50 Rn after upward cut
- 1/50 Rn after upward cut + start position cut
- 1/500 Rn after upward cut + start position cut

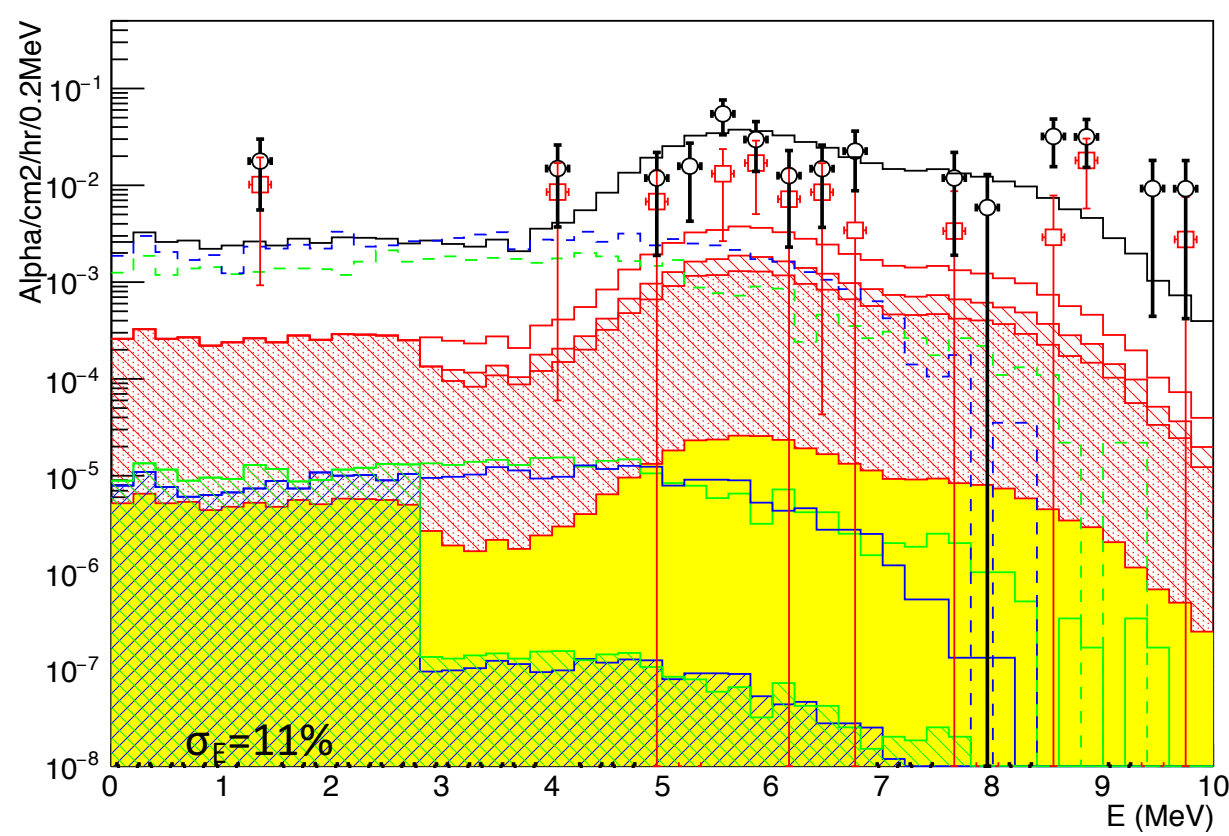
Current BG LV
10⁻¹ α/cm²/hr

BG from Low-a u-PIC:
1.9 x 10⁻⁴ α/cm²/hr

Radon 1/50に抑制した場合
BG LV = 1.5 x 10⁻³ α/cm²/hr

Radon 1/500に減らして
BG LV = 3.3 x 10⁻⁴ α/cm²/hr

5. 考察

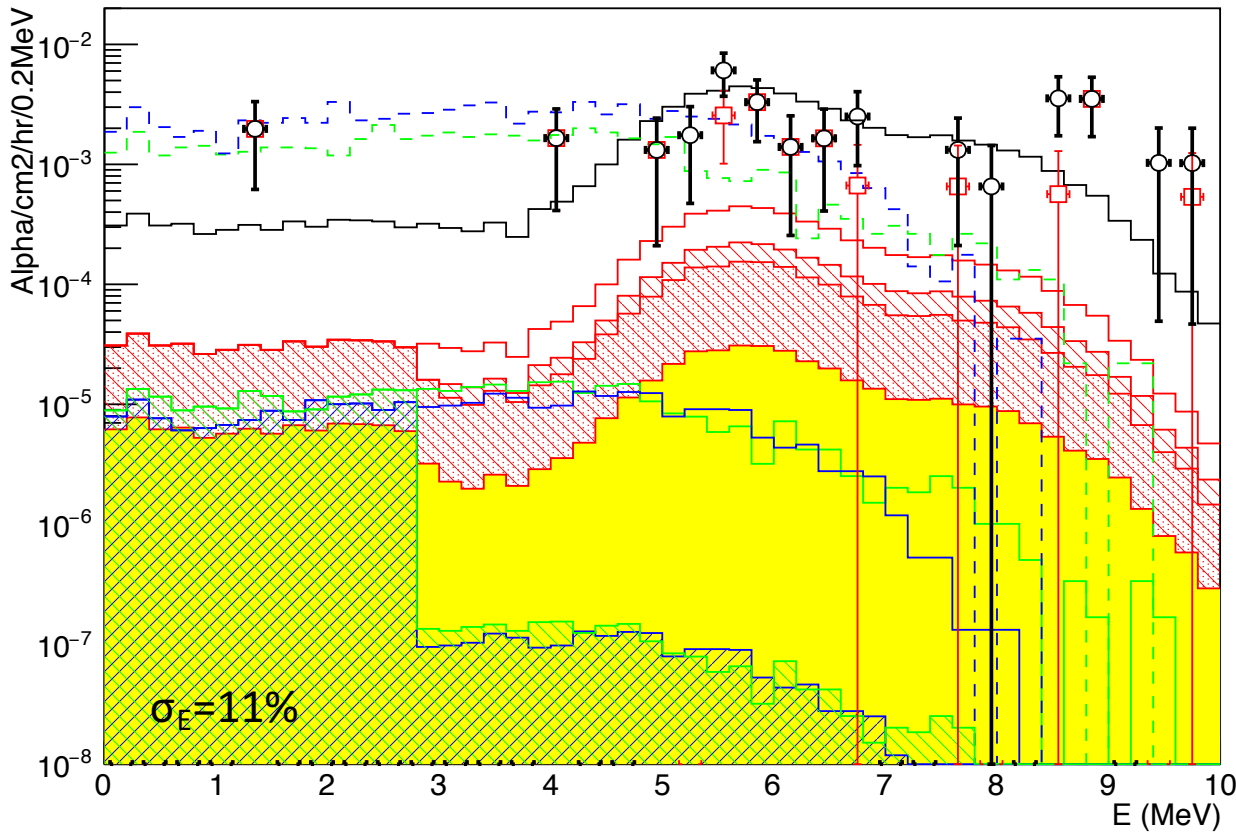


- Current data
 $10^{-1} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$
- Data cut upward tracks
 $4 \times 10^{-2} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$
- Radon (^{222}Rn)
*Norm to current data
- 1/10 Radon
- 1/10 Radon 前後判定
- 1/10 Radon 前後判定
+始点位置カット
- 1/500 Radon 前後判定
+始点位置カット
- U (0.38ppm) in u-PIC
- U (<2.98ppb) in u-PIC
- U 前後判定
- Th (1.81ppm) in u-PIC
- Th (<6.77ppb) in u-PIC
- Th 前後判定

従来 u-PIC	$2.6 \times 10^{-2} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$
Low- α u-PIC (前後)	$5.6 \times 10^{-5} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$
1/10 Rn (前後+始点)	$4.0 \times 10^{-3} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$
1/500 Rn (前後+始点)	$8.0 \times 10^{-5} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$
Low- α u-PIC + 1/500 Rn(前後+始点)	$1.3 \times 10^{-4} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$

従来u-PIC + Rn BG level
 $1.3 \times 10^{-1} \alpha\text{s}/\text{cm}^2/\text{hr}$ に一致

5. 考察



- Current data
 $1.2 \times 10^{-2} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
- Data cut upward tracks
 $8 \times 10^{-3} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
- Radon (^{222}Rn)
*Norm to current data
- 1/10 Radon
- ▨ 1/10 Radon 前後判定
- ▤ 1/10 Radon 前後判定
+始点位置カット
- 1/50 Radon 前後判定
+始点位置カット
- U (0.38ppm) in u-PIC
- U (<2.98ppb) in u-PIC
- ▨ U 前後判定
- Th (1.81ppm) in u-PIC
- Th (<6.77ppb) in u-PIC
- ▨ Th 前後判定

従来 u-PIC	$2.6 \times 10^{-2} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
Low- α u-PIC (前後)	$5.6 \times 10^{-5} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
1/10 Rn (前後+始点)	$4.0 \times 10^{-4} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
1/50 Rn (前後+始点)	$9.5 \times 10^{-5} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$
Low- α u-PIC + 1/50 Rn(前後+始点)	$1.5 \times 10^{-4} \text{ } \alpha\text{s/cm}^2\text{/hr}$