

ガス飛跡検出器による暗黒物質探索実験

代表 身内賢太朗 (神戸大理)

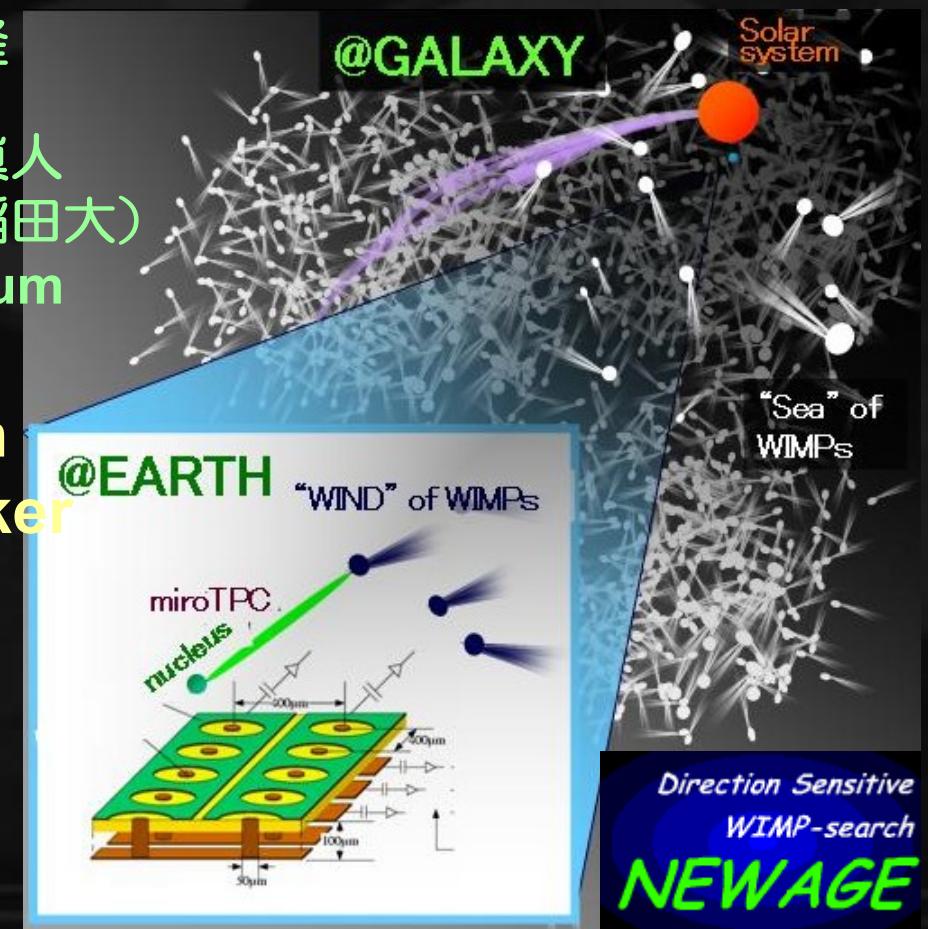
平成30年度東京大学宇宙線研究所
共同利用研究成果発表会

竹内康雄 中村輝石 伊藤博士 橋本隆
池田智法 石浦宏尚 (神戸大)
寄田浩平 田中雅士 鷺見貴生 木村眞人
矢口徹磨 飯島耕太郎 平良文香 (早稲田大)
**Neil Spooner Warren A Lynch Callum
Eldridge (University of Sheffield)**

(**New generation WIMP search
with an advanced gaseous tracker
experiment**)

実験概要

2018年研究報告



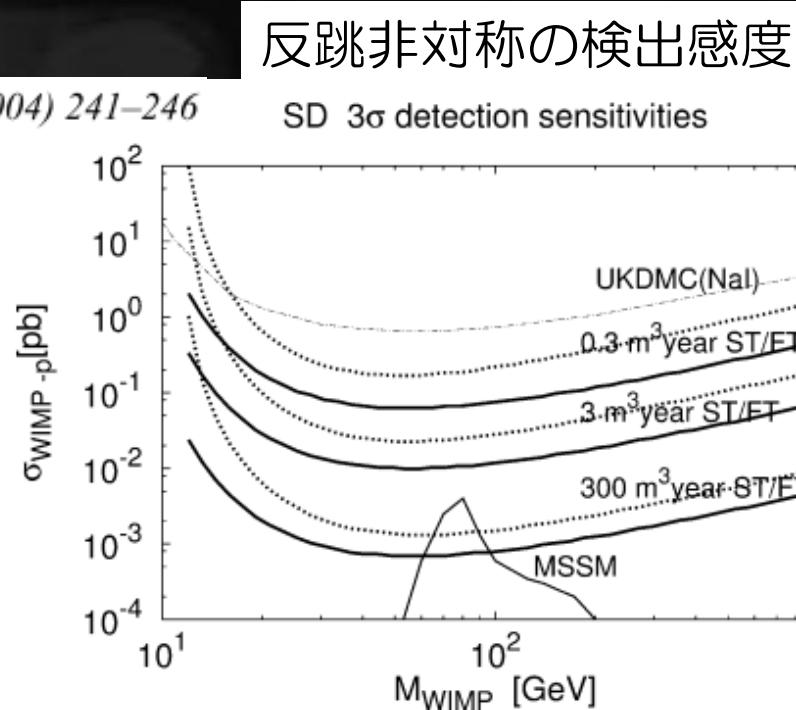
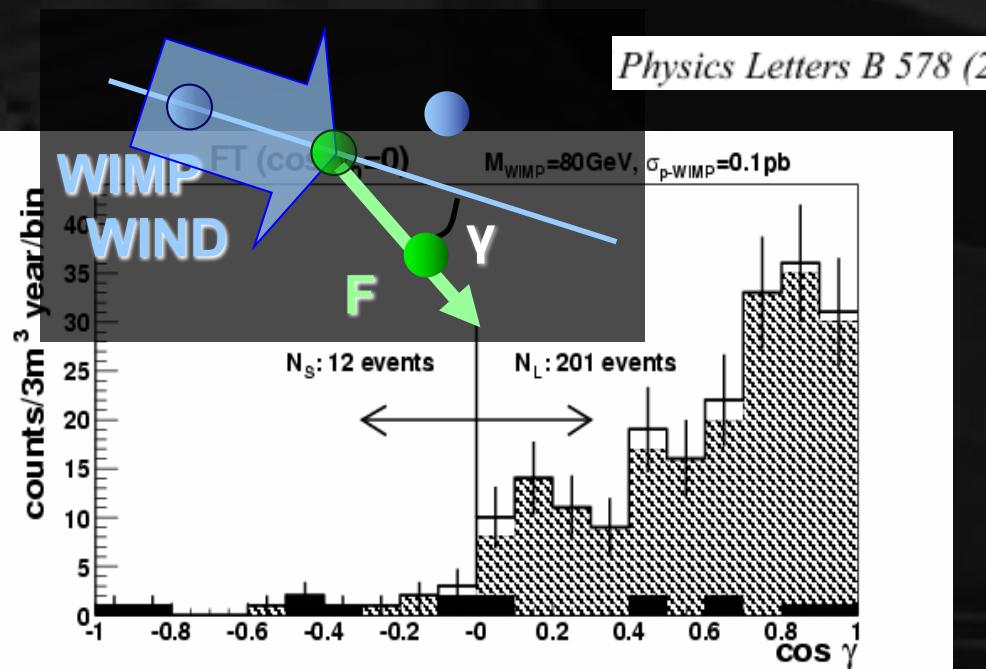
1. NEWAGE 実験概要

Goal: 暗黒物質の風を検出

- 低圧力 (CF_4 0.05 気圧)・大質量 ($1\text{m}^3 \times N$)

現状:

- CF_4 0.1 気圧・30cm角



2. 研究費

- ◆ 共同研究予算：25万円配分
(旅費15万+物品費10万)
 - これまでに旅費で約15万円使用

3. 2018年研究報告

- ◆ 地下中性子の測定 (w/ 早稲田グループ)
 - ◆ 地下中性子の測定
- ◆ 高感度化 (PTEP(2015) 043F01s以降)
 - ◆ 低 α μ -PICを用いたDM run

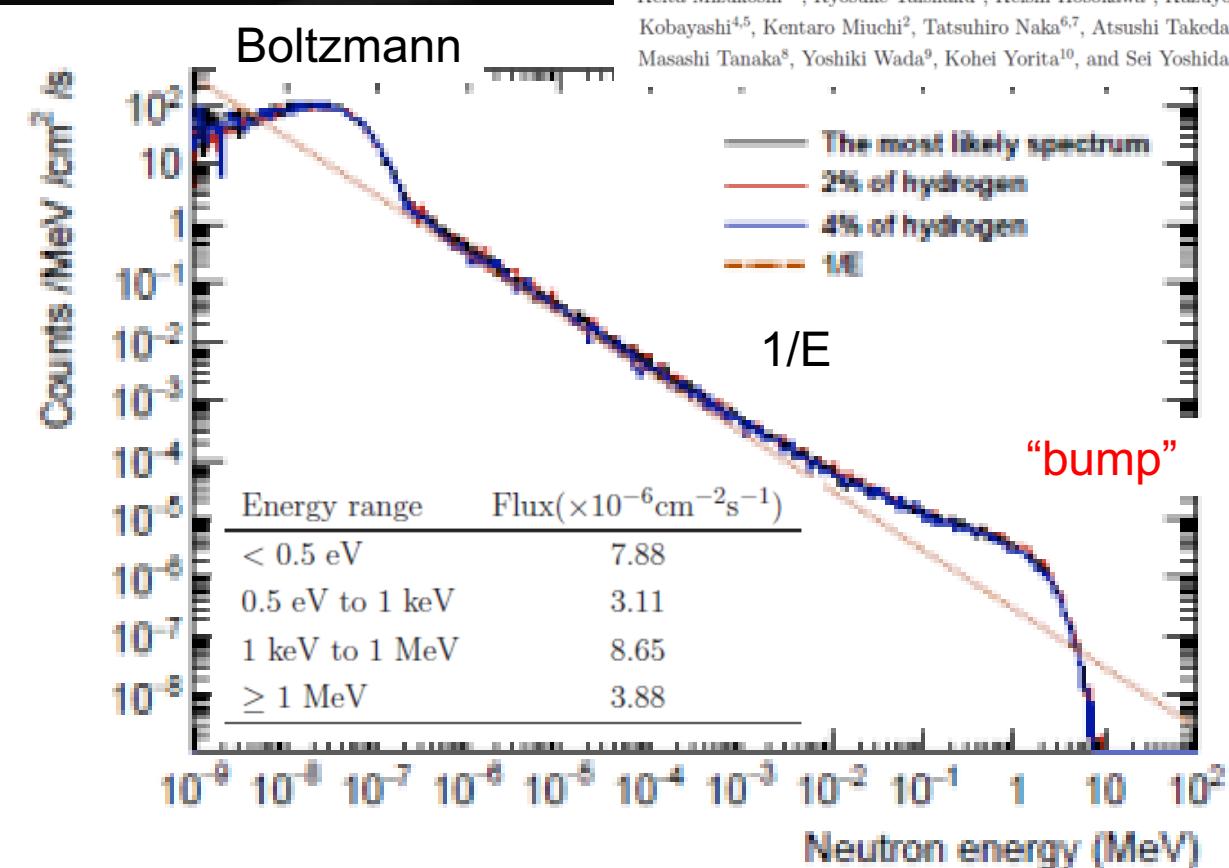
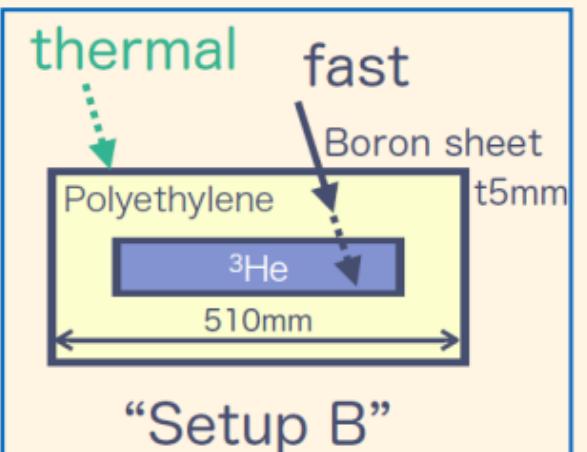
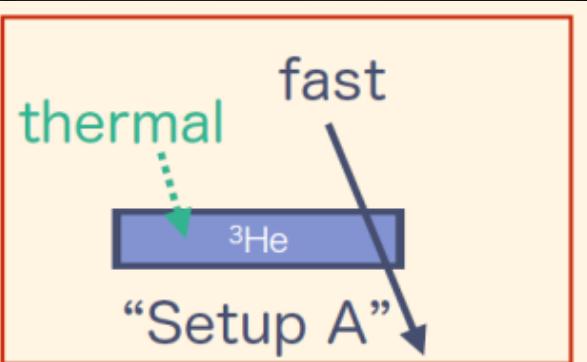
TPC
GEM($\times 10$)



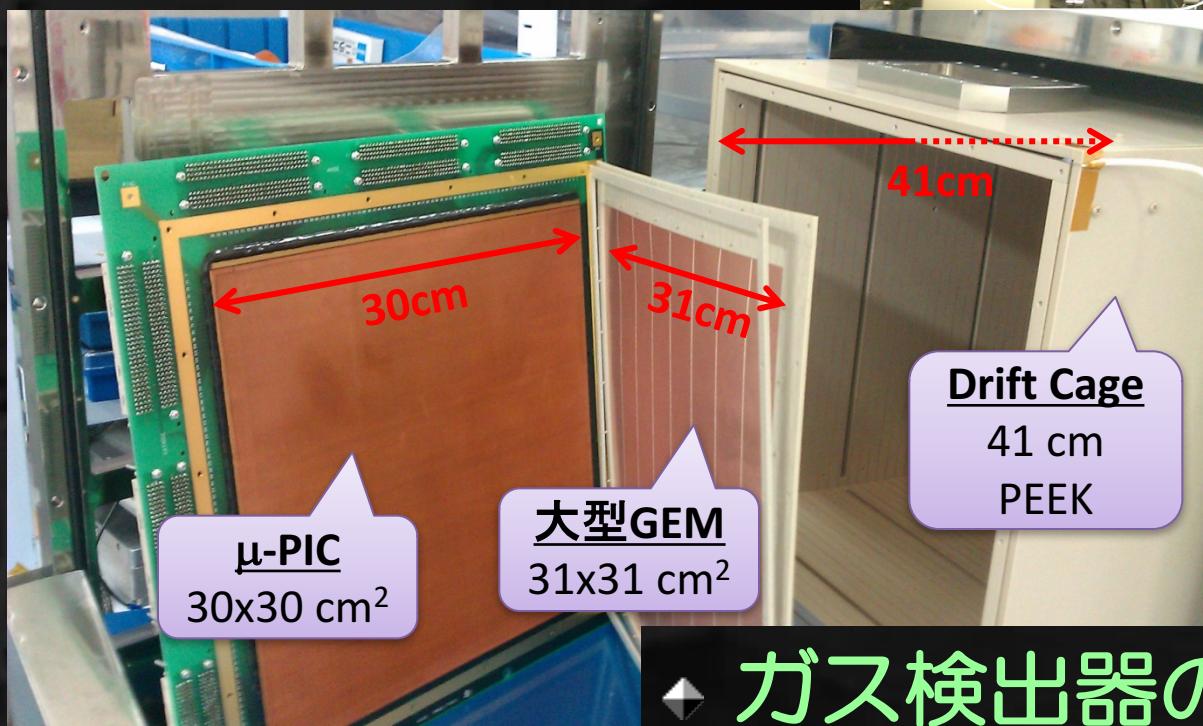
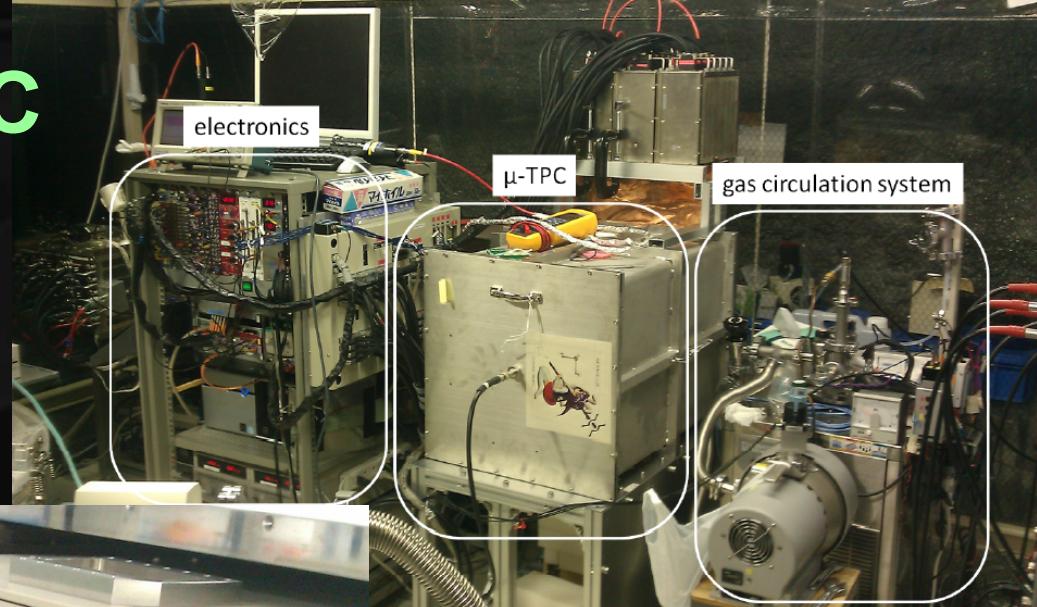
◆ 中性子測定

PTEP掲載決定
arXiv:1803.09757

- ^3He counter
- シミュレーション (Geant4+PHITS) でスペクトル形状にも言及



◆ **μ PIC、マイクロTPC
“NEWAGE-0.3b”
(2013年3月~)
0.1気圧 CF_4**



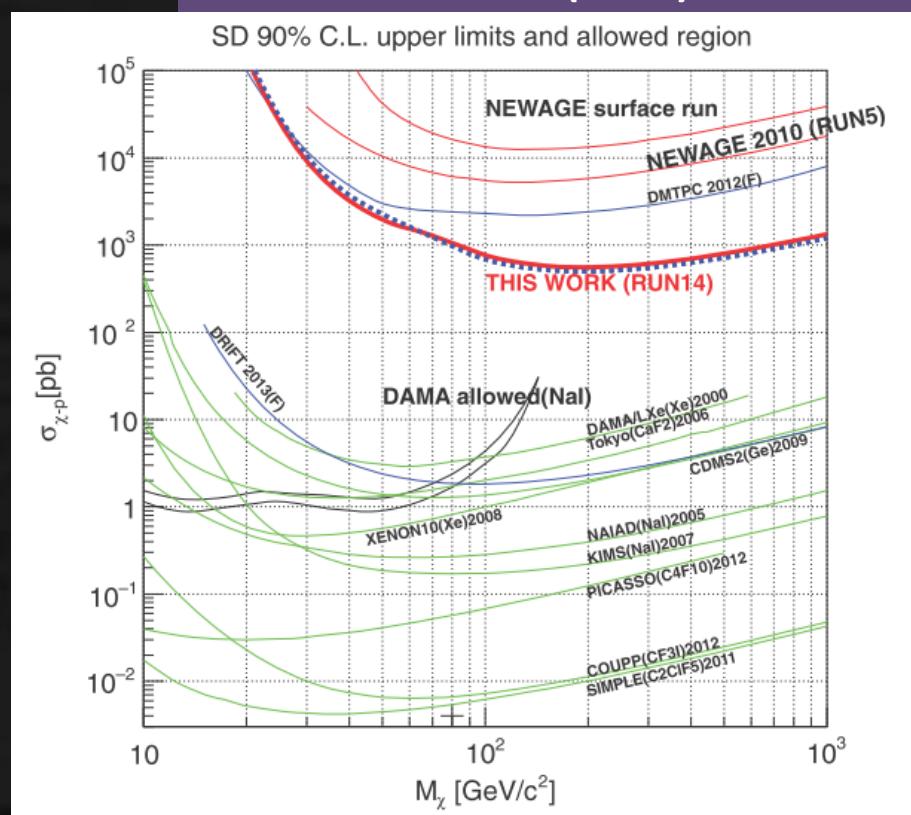
◆ ガス検出器の特徴

- 原子核の飛跡検出（3次元）
- ガンマ線バックグラウンド排除

◀ “RUN 14” 結果とBG Study

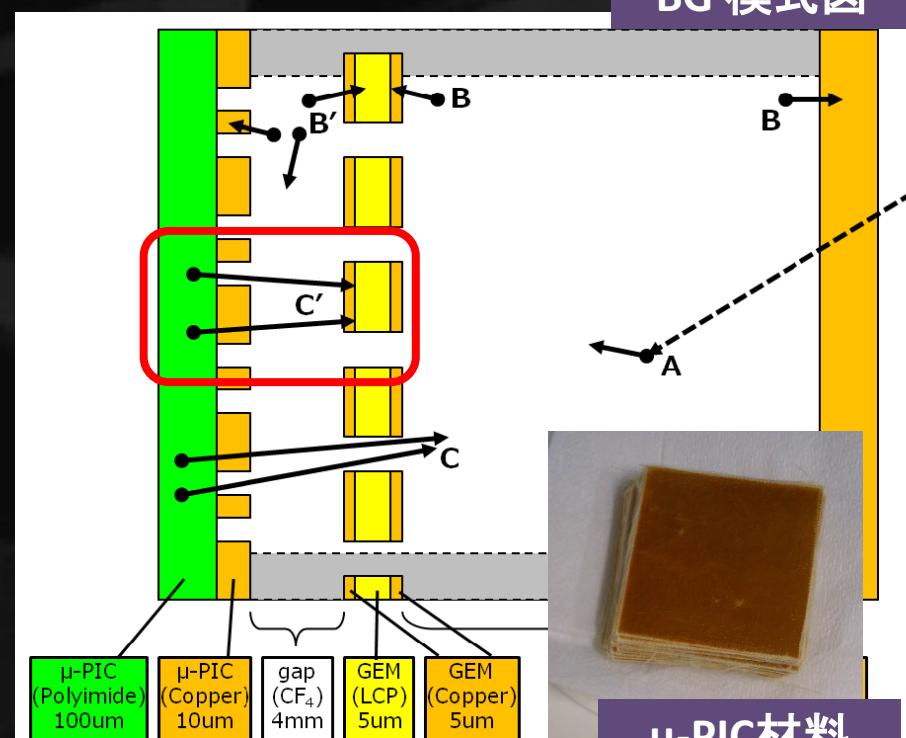
- μ-PICからの α 線が主なBG

RUN14結果 (PTEP(2015) 043F01s)



red : gas, with directional analysis
blue : gas, without directional analysis
green : solid, liquid detector

BG 模式図

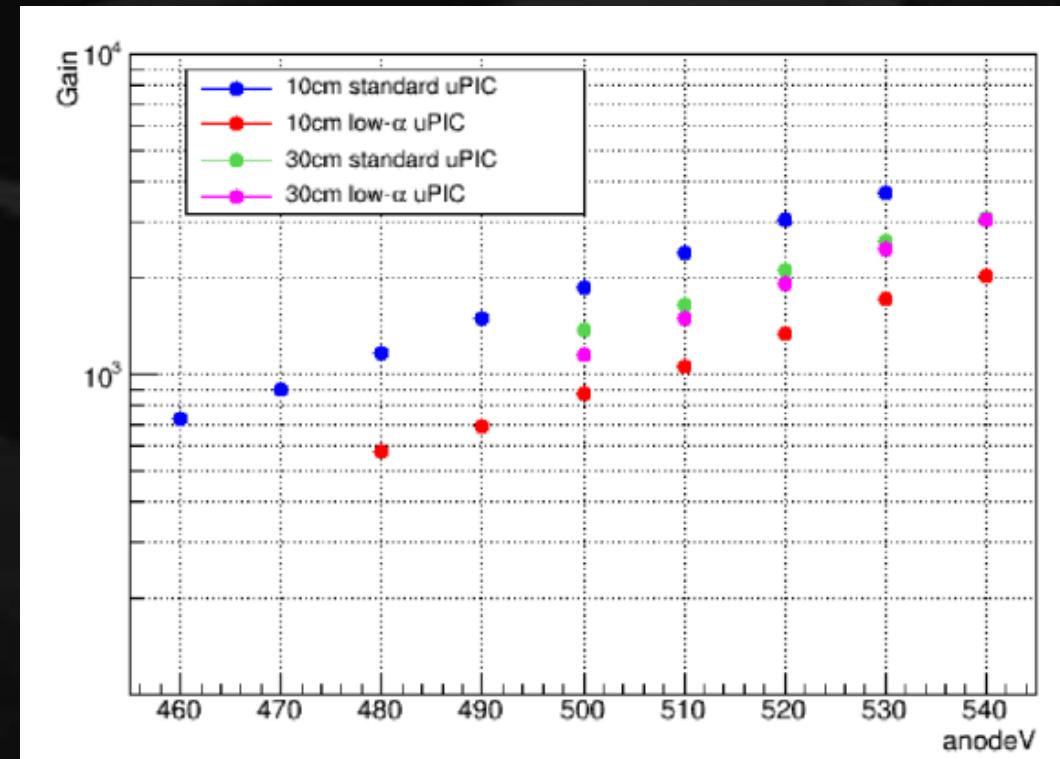
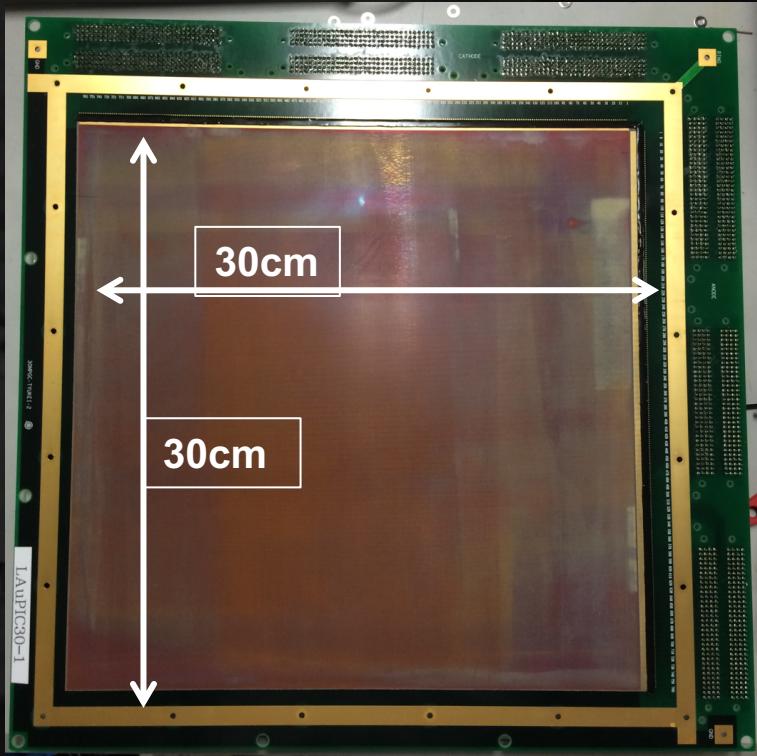


μ -PIC材料

Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

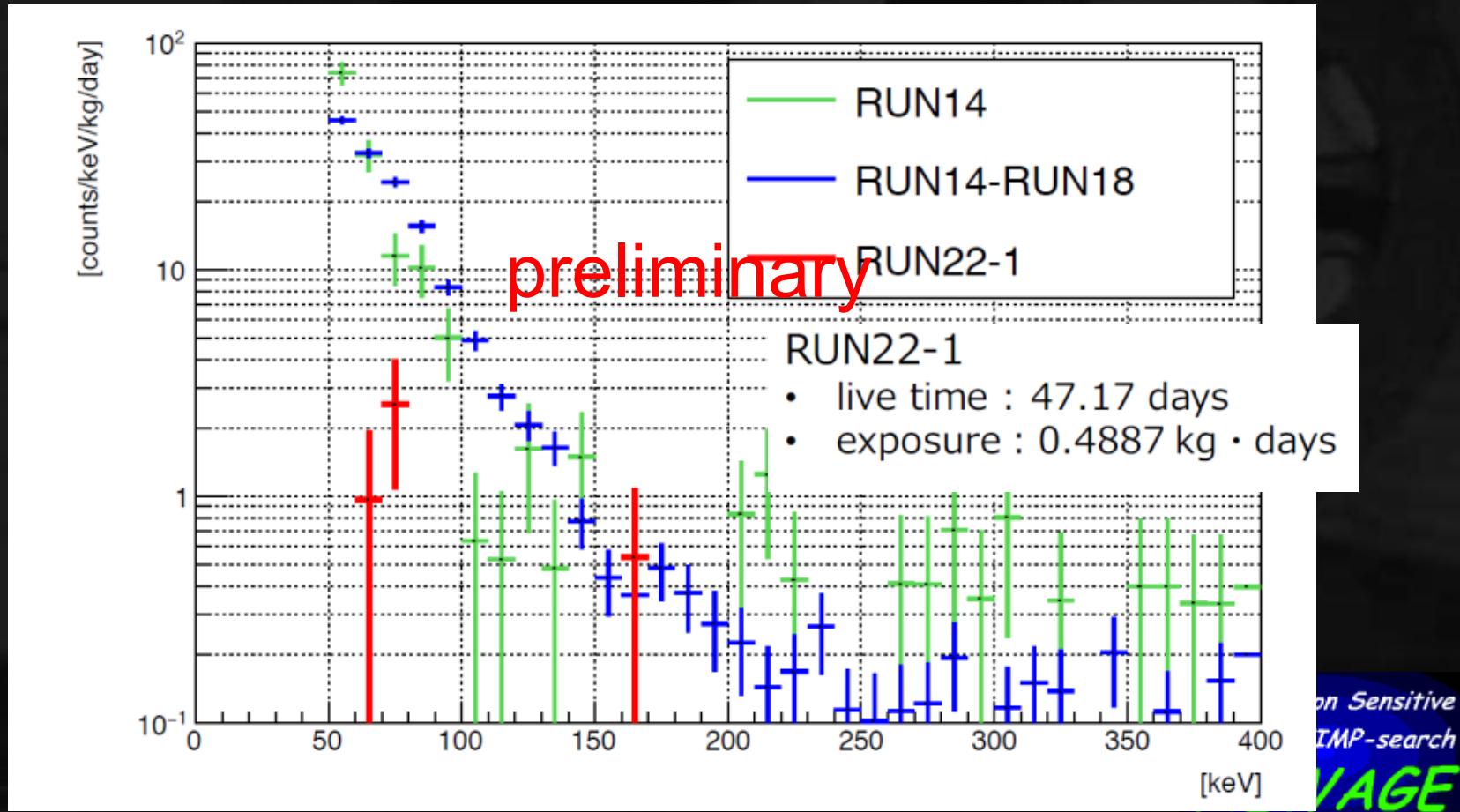
◆ 高感度化へ low- α μ -PIC(LA- μ PIC): 開発

- 低BG素材を使用
- 30cm角 μ -PIC完成
- 性能評価：現行 μ -PICと同等の性能



◆ Underground run with LA μ -PIC

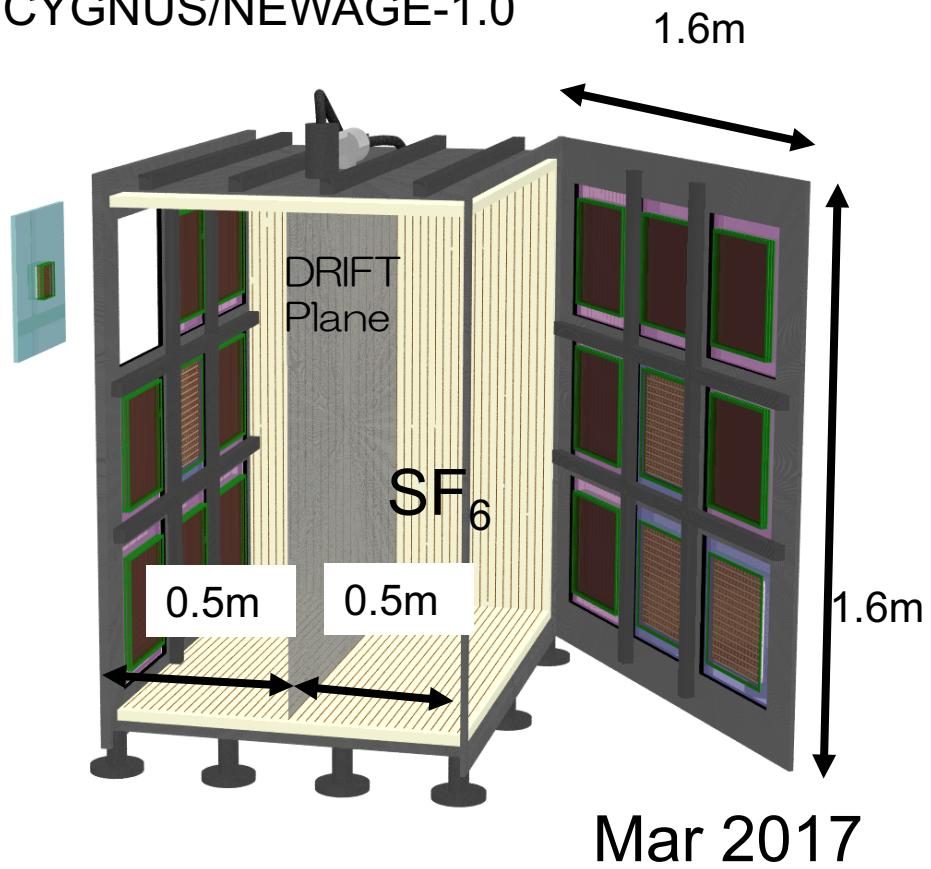
- 2018年6月～ DM run
 - BG < ×1/10
 - 測定継続中 解析中



◆ 低BGOK → 大型化へ

- チェンバー準備 OK
- 読出し部を 順次増加

CYGNUS/NEWAGE-1.0



Mar 2018

Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

まとめ

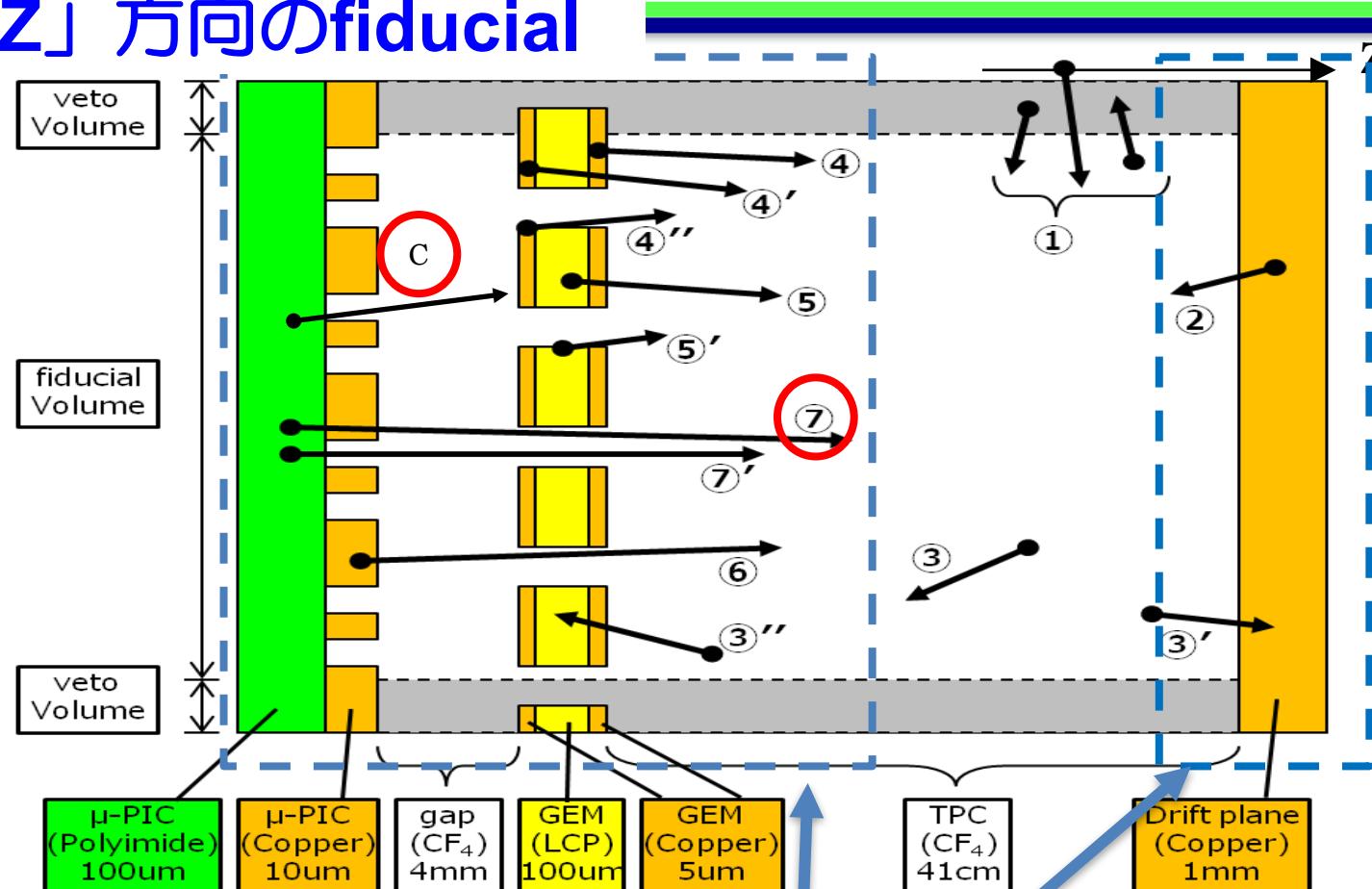
◆ 高感度化へ

- 低 α μ -PIC完成 地下測定順調
- z方向のイベントカット原理実証
- 大型化により、感度向上



感度向上へ②

「Z」方向のfiducial



□ μ TPCの主なバックグラウンド

- 高エネルギー領域では⑦
- 低エネルギー領域ではC

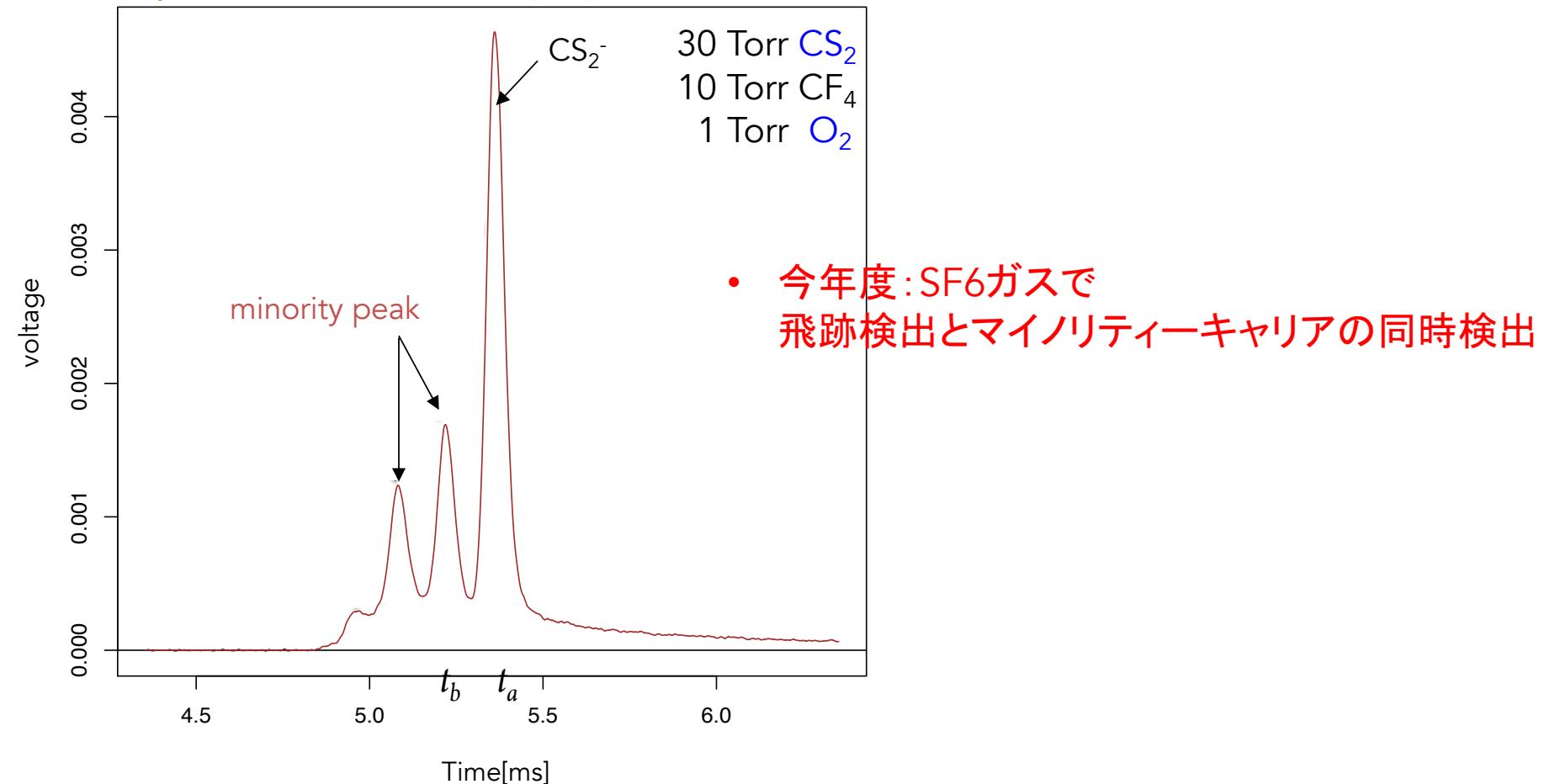
→ μ -PICのガラス繊維からくる α 線 (U/Th系列)

Z軸に対しても有効体積カットをしたい。

マイノリティーキャリア: 速度の違う陰イオン

- DRIFTグループがMWPC-TPCでのZの絶対位置決定に成功
- 候補ガス: $\text{CS}_2 + \text{O}_2$ 有毒、爆発性 SF_6 安定 ガス增幅に問題

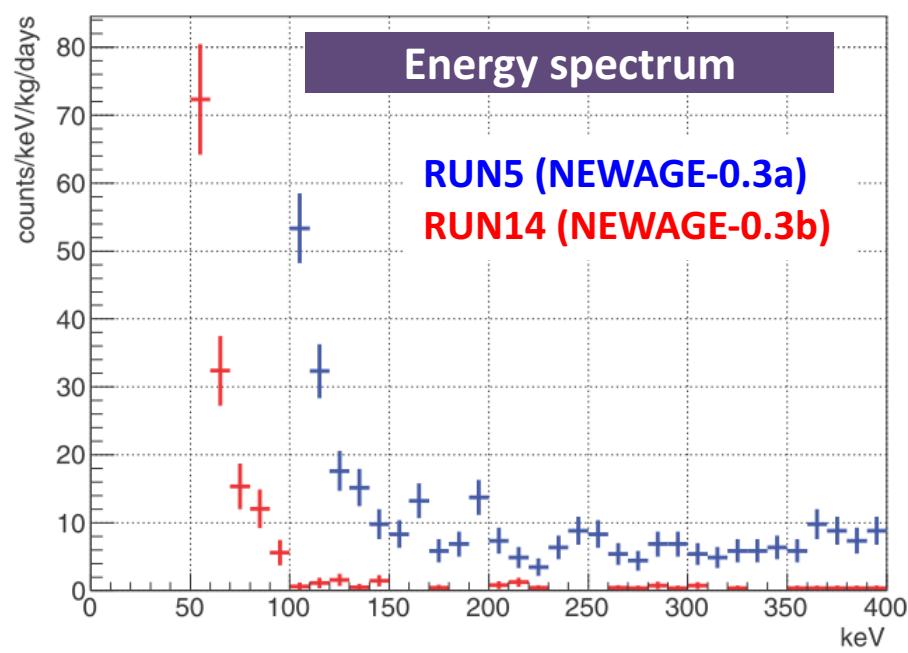
[Physics of the Dark Universe 9-10(2015)1-7]



NEWAGE-0.3b' 地下測定: 神岡RUN14

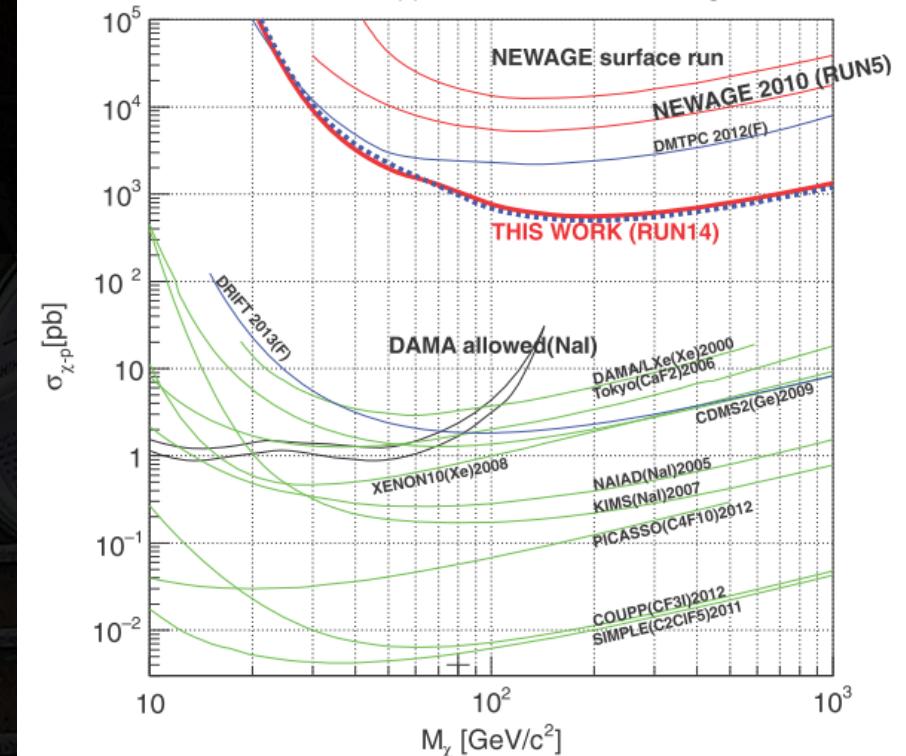
RUN14諸元

- period : 2013/7/20-8/11, 10/19-11/12
- live time : 31.6 days
- fiducial volume : 28x24x41cm³
- mass : 10.36g
- exposure : 0.327 kg·days



RUN14結果 (PTEP(2015) 043F01s)

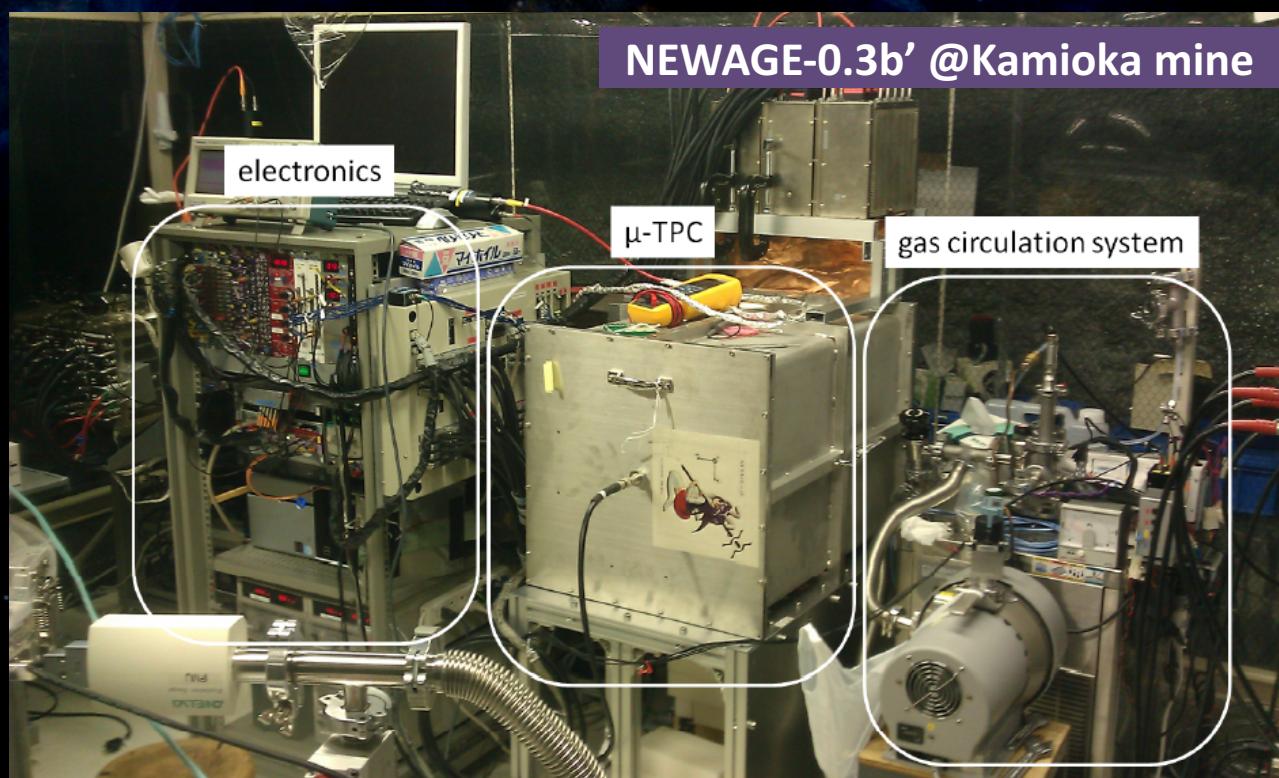
SD 90% C.L. upper limits and allowed region



red : gas, with directional analysis
 blue : gas, without directional analysis
 green : solid, liquid detector

NEWAGE-0.3b' detector

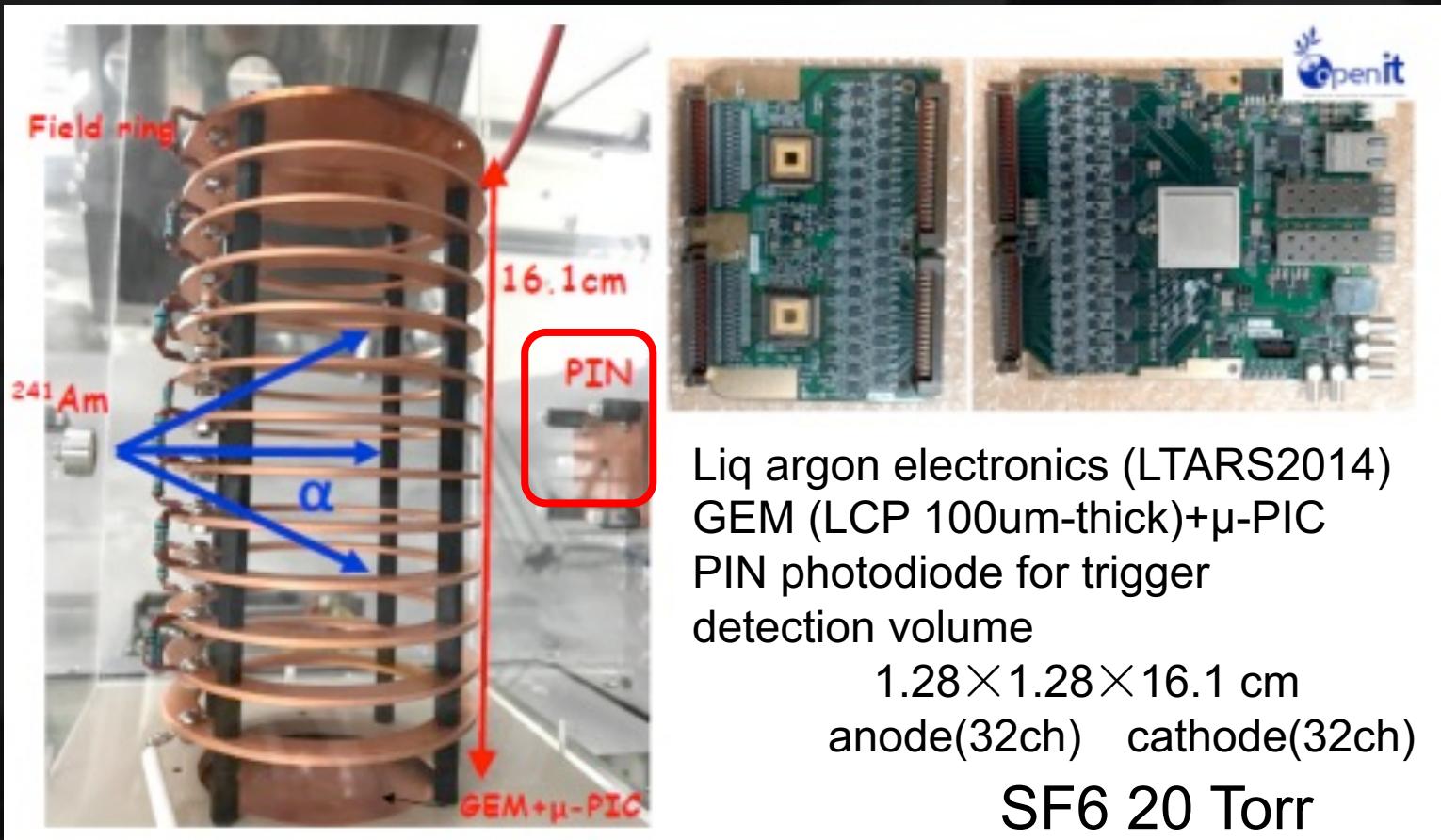
- Aim >x10 improvement from previous measurement (PLB2010)
 - Large size: $\sim \times 2$ ($23 \times 27 \times 31\text{cm}^3 \Rightarrow 30 \times 30 \times 41\text{cm}^3$)
 - Low pressure (low threshold): 0.2 \Rightarrow **0.1atm** (100 \Rightarrow **50keV**)
 - Upgrade tracking algorithm (DAQ upgrade)
 - Gas circulation system with cooled charcoal



KOBE's activity μ -PIC in SF6

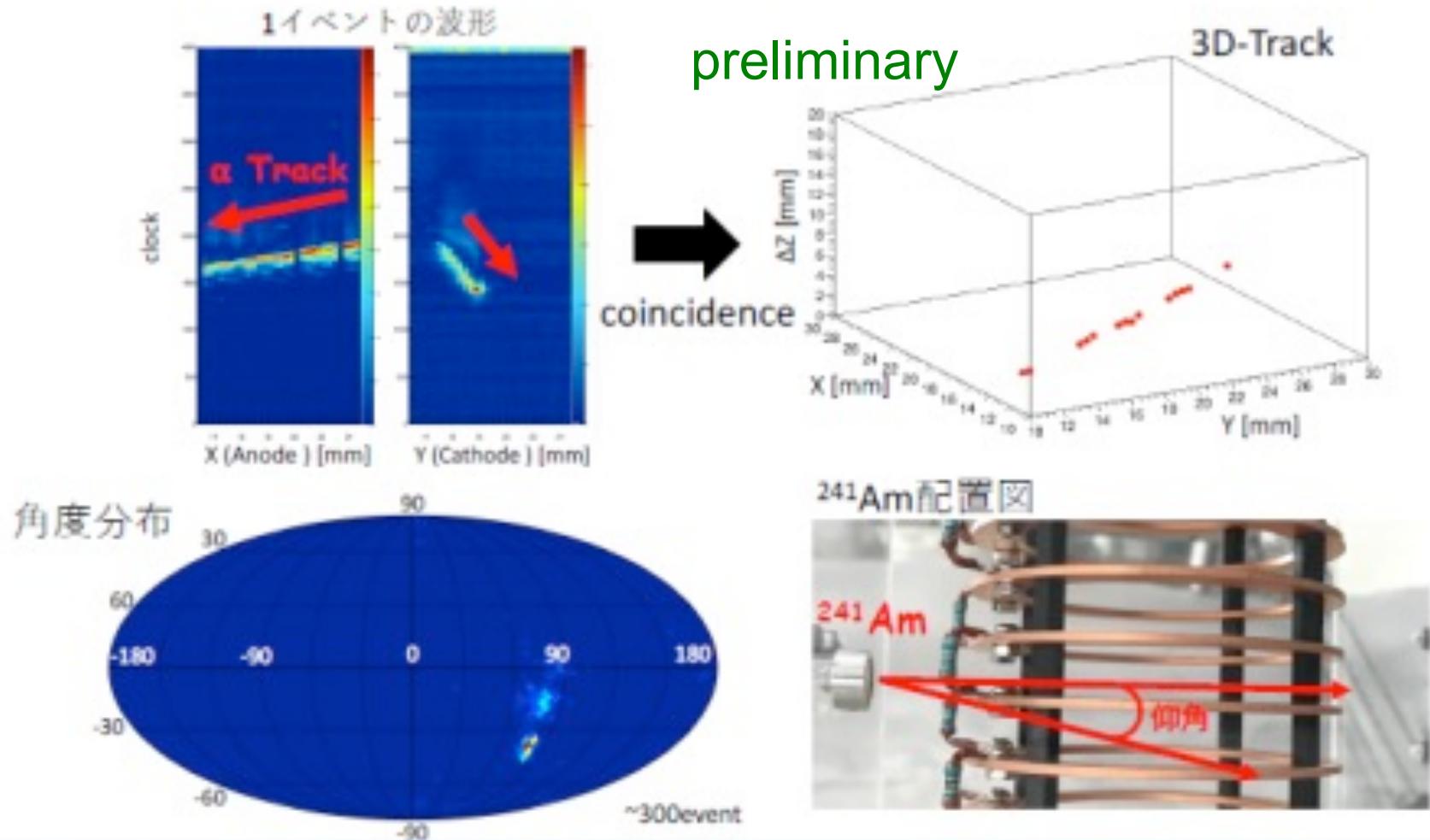
- tracking test (α -rays)
- ASIC development
- simulation (Garfield++)

Tomonori Ikeda



● 3D tracking + z-fiducialization (first!)

Tomonori Ikeda JPS
Mar2018

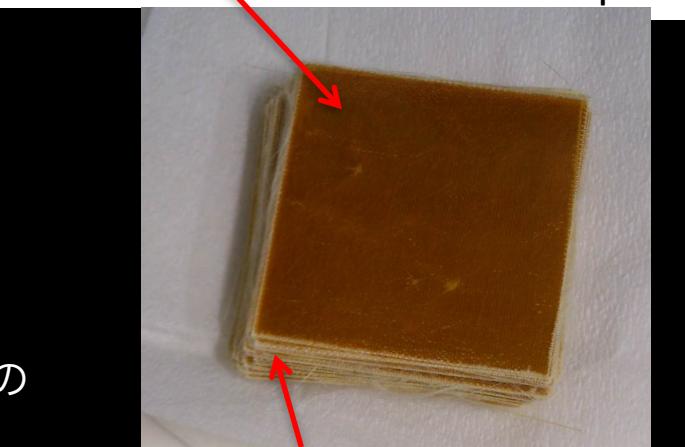
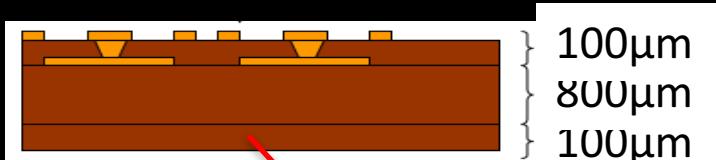


paper in preparation

U,Th含有量

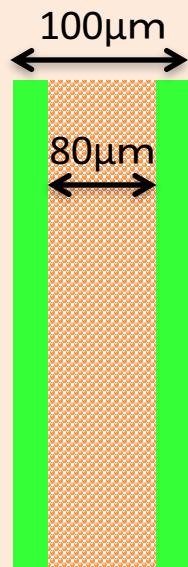
	[g]	$^{238}\text{U} [10^{-6} \times \text{g/g}]$	$^{232}\text{Th} [10^{-6} \times \text{g/g}]$
$\mu\text{-PIC}$	169.56	0.60±0.13	2.94±0.62
ポリイミド 800μm	134	0.450±0.096	1.95±0.41
ポリイミド 100μm	35	0.401±0.084	1.83±0.39
CuSO_4	72	<0.025	<0.042
GEM	27	<0.022	<0.100

- 先行研究より詳細な結果が得られた
 - 先行研究ではU,Thの合計量が得られていた
(Uならば0.9[$10^{-6} \times \text{g/g}$], Thならば2.2[$10^{-6} \times \text{g/g}$])
- ポリイミドにU,Thが多く含まれている
 - 原因はおそらく補強材のガラス
- ポリイミド100μmの測定値を用いてシミュレーションを行った
 - 下のポリイミド100μm,800μmからでた α 線は上のポリイミドを抜けれない

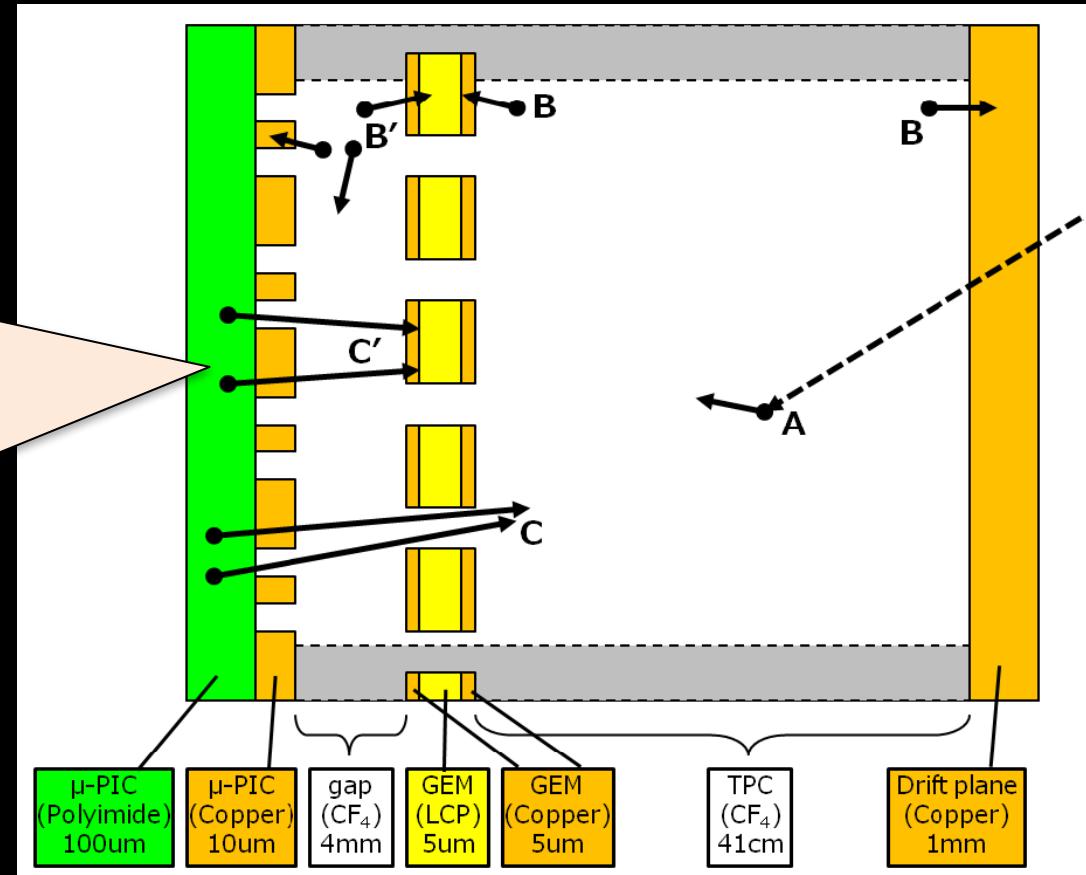


白く見えるものがガラス繊維

シミュレーション



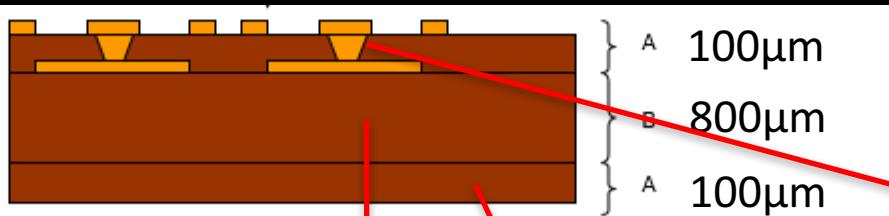
ポリイミド100μm部分



- Geant4を用いてシミュレーション
- 上側のポリイミド100μm部分のオレンジのところからU,Th系列による α 線を発生させる

U,Th測定

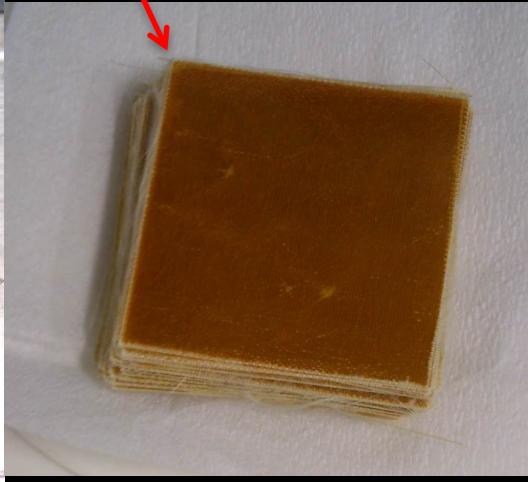
- μ-PIC全体、ポリイミド $100\mu\text{m}$ 、ポリイミド $800\mu\text{m}$ 、メッキ液(CuSO_4)、GEMに含まれているU,Thの量をHPGe検出器を用いて測定



μ-PICの断面図

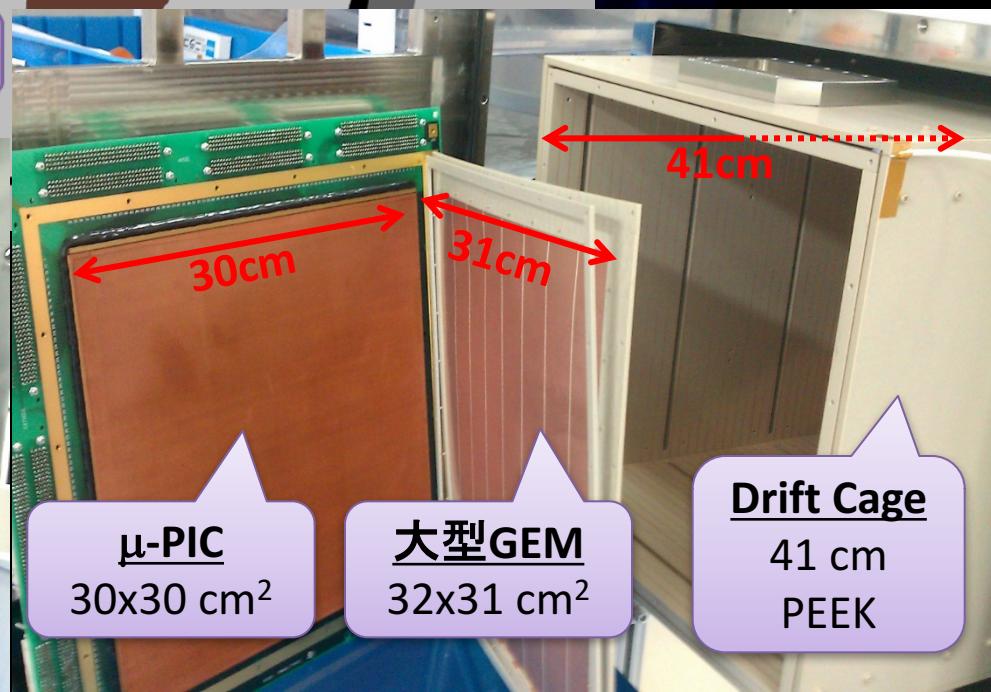
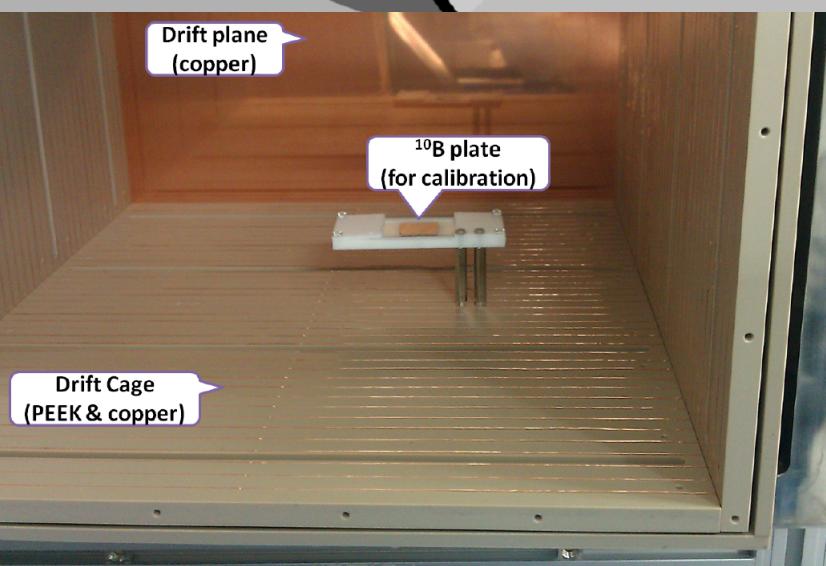
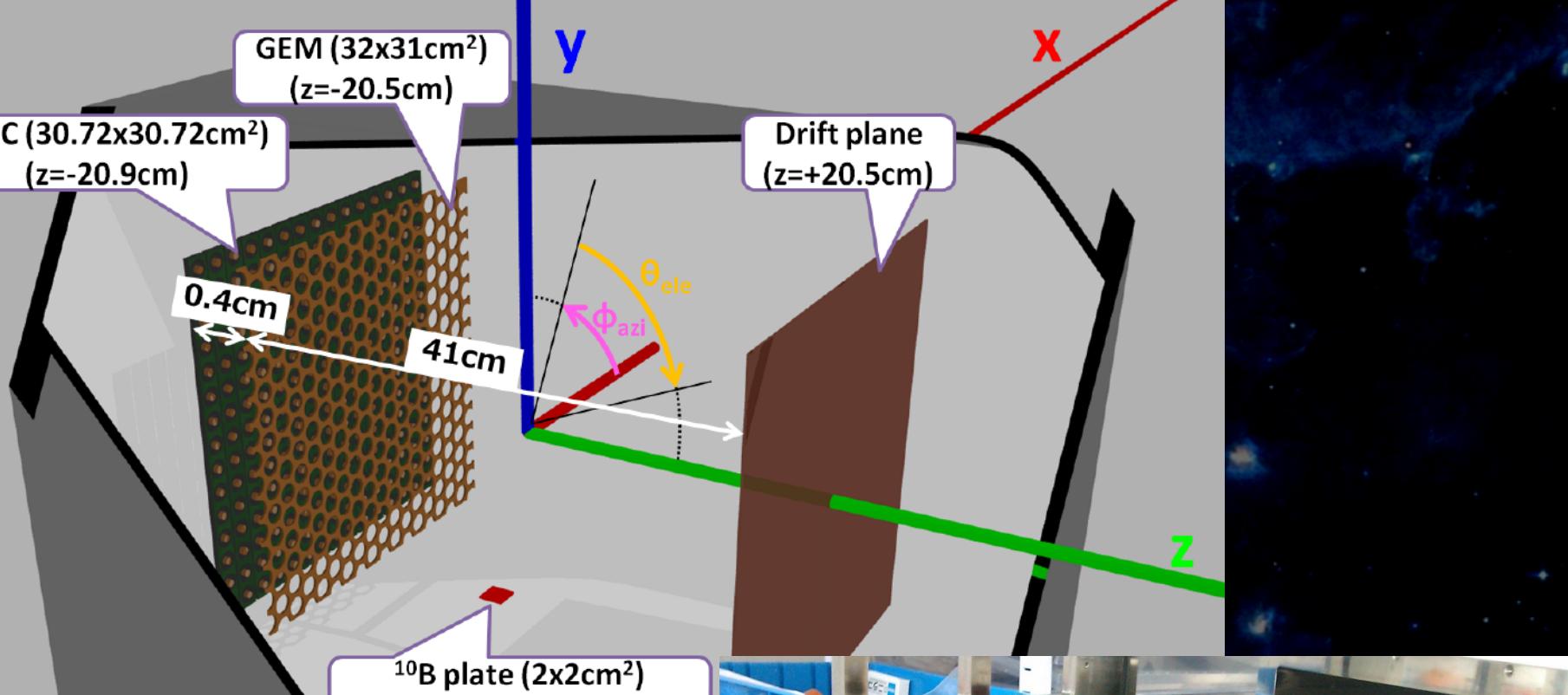


メッキ液 72g

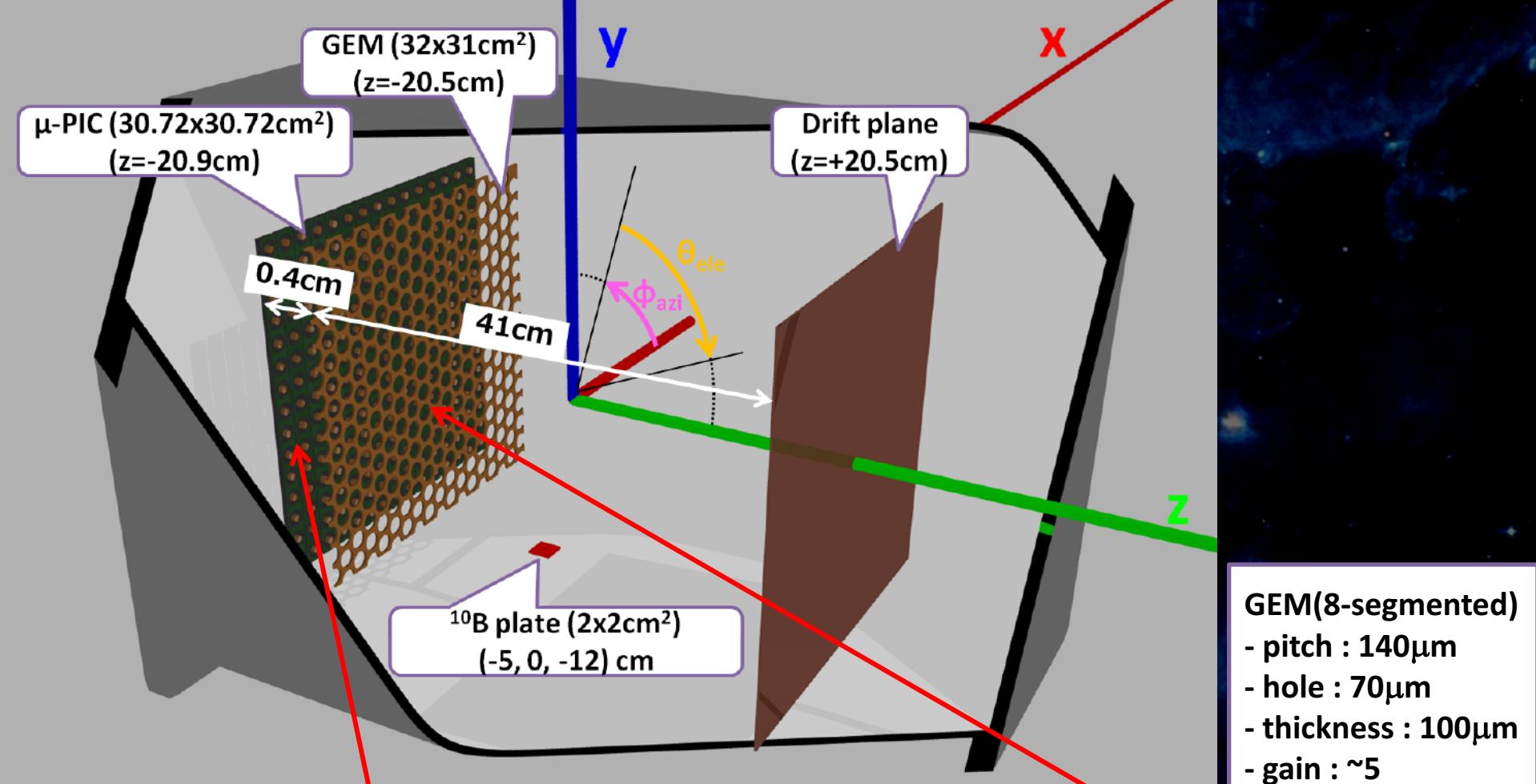


GEM(LCP+銅) 27g

ガラス纖維で強化されたポリイミド(左 : 800μm 134g、右 100μm 35g)

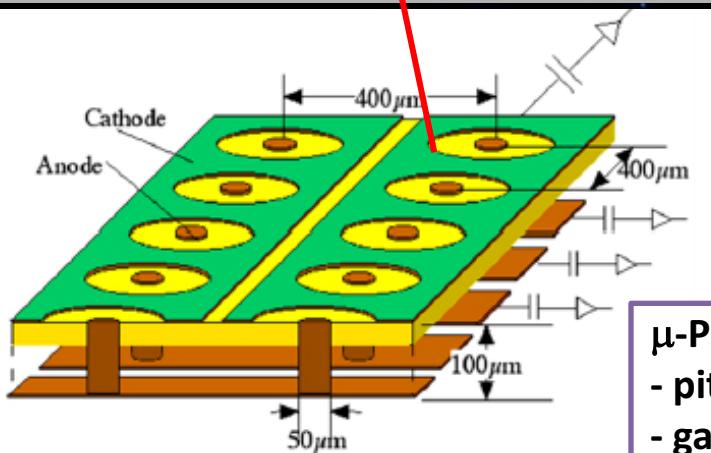


Drift Cage
41 cm
PEEK



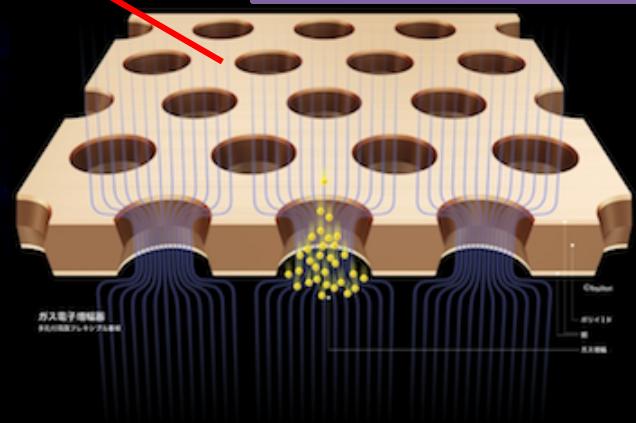
GEM(8-segmented)

- pitch : 140μm
- hole : 70μm
- thickness : 100μm
- gain : ~5



μ -PIC

- pitch : 400μm
- gain : ~1000

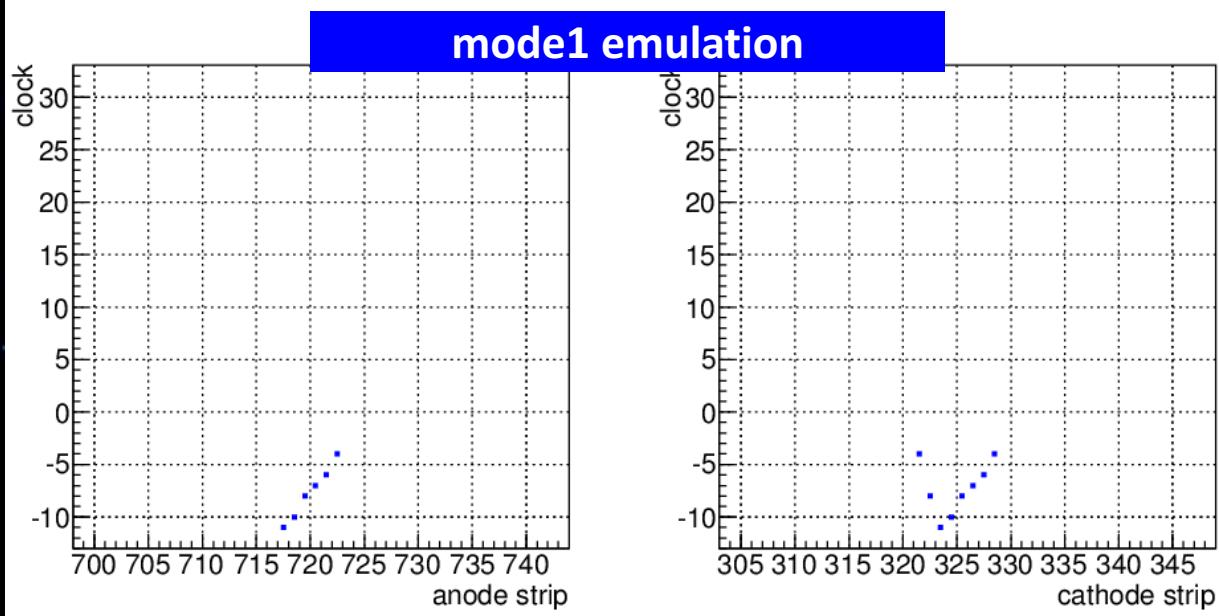
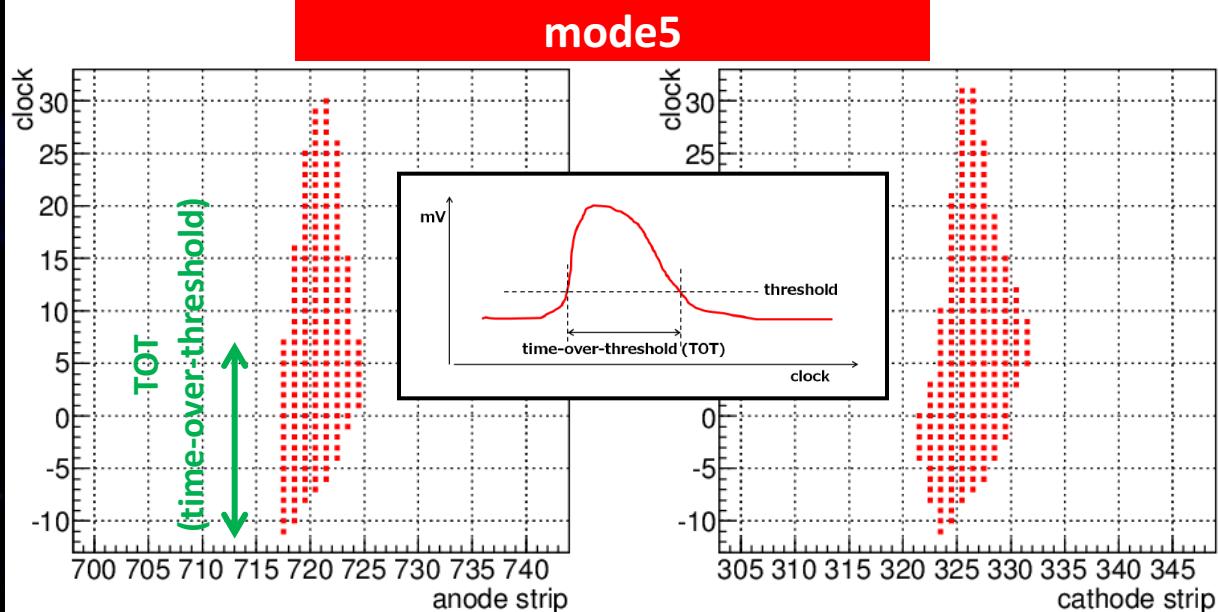


DAQ

μ -PIC signals

- Energy
Analog by FlashADC
- Track
Digital by FPGA

	Strip (for each clock)	Clock
mode5 (NEWAG E-0.3b')	all	TOT ("energy" of each strip)
mode1 (NEWAG E-0.3a)	x-y coincidence max, min only	rise timing

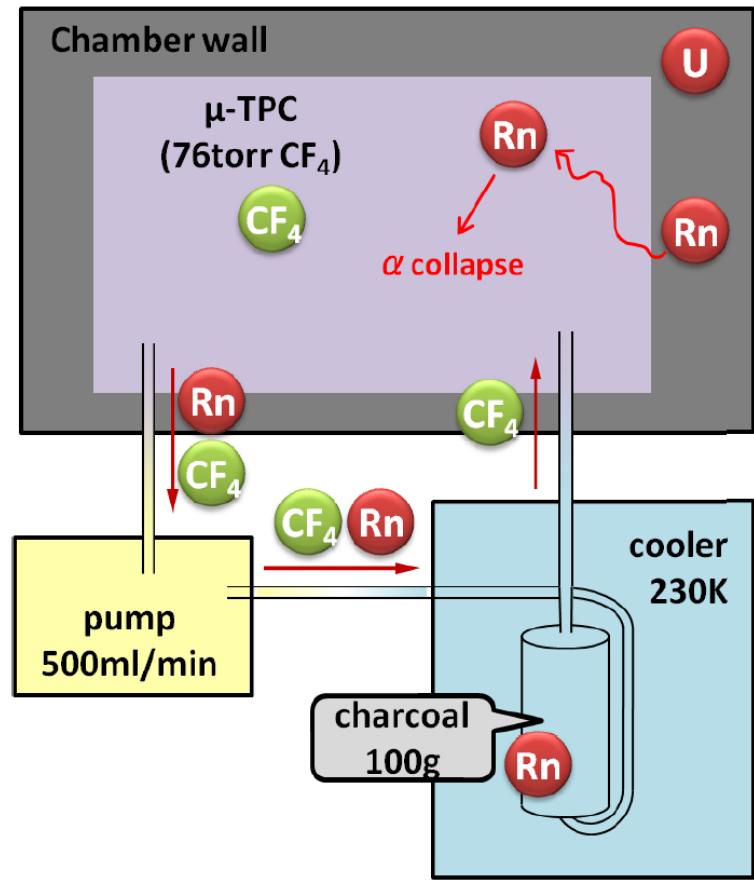
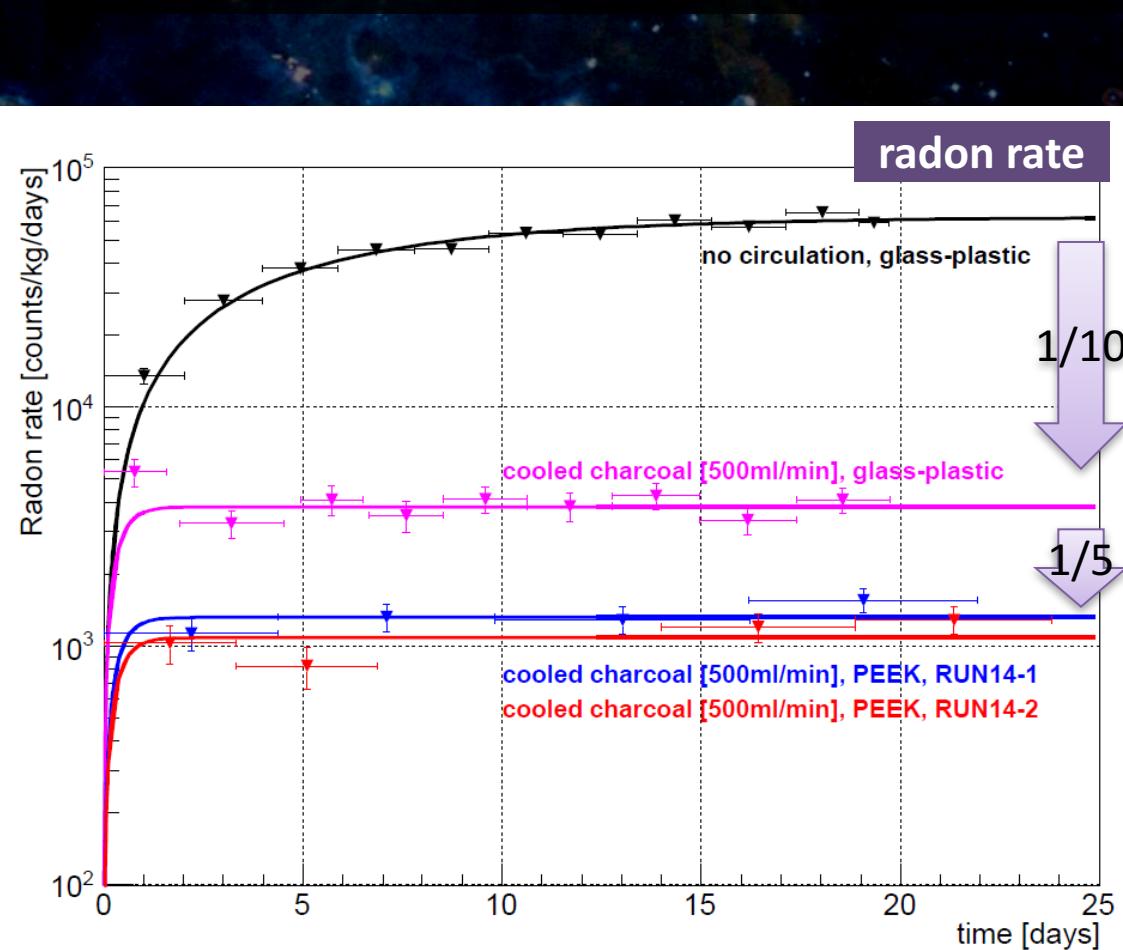


Upgrade FPGA of NEWAGE-0.3b' (30cm μ -PIC) for mode5

Gas circulation

Purpose

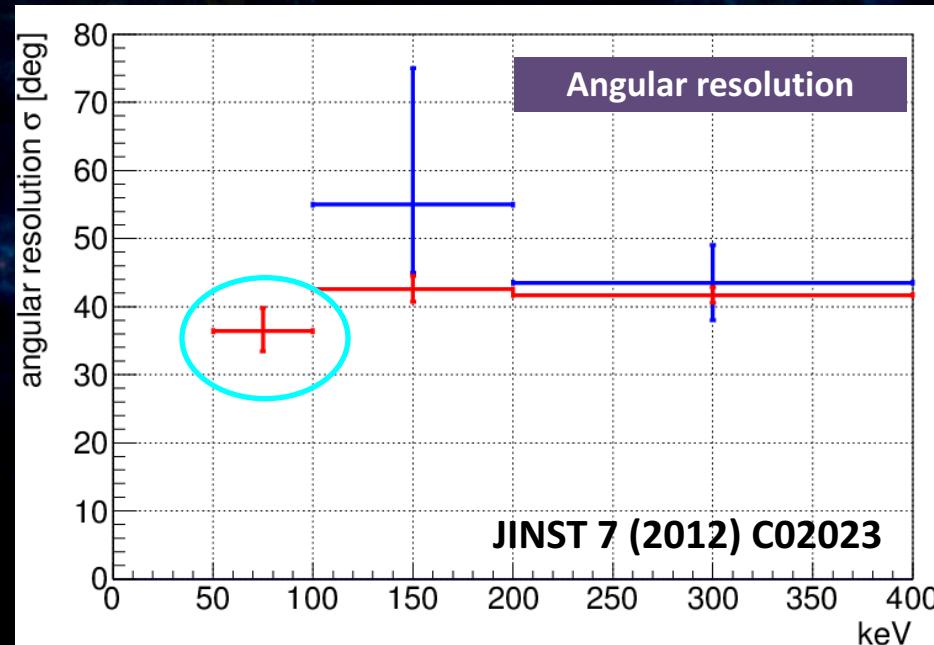
- Low BG (radon reduction): <1/10
- Stability (impurity reduction): >1 month



- Radon : 1/50
 - Gas circulation: 1/10
 - Material selection: 1/5

Low threshold (low pressure)

- Pressure : 0.2atm => 0.1atm
- Angular resolution : ~40deg@50-100keV

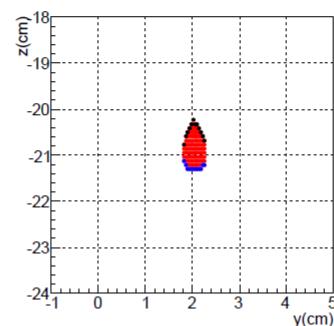
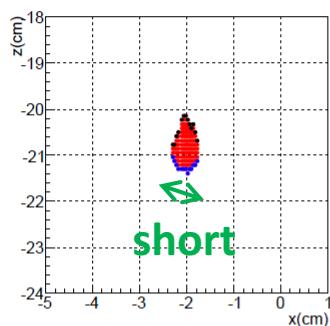


- Direction-sensitive energy threshold : 100 => 50keV

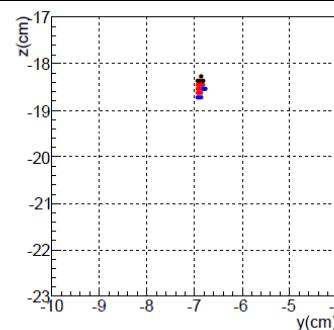
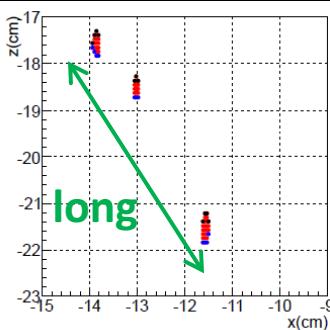
Event selection 1

length-cut (conventional gamma-ray cut)

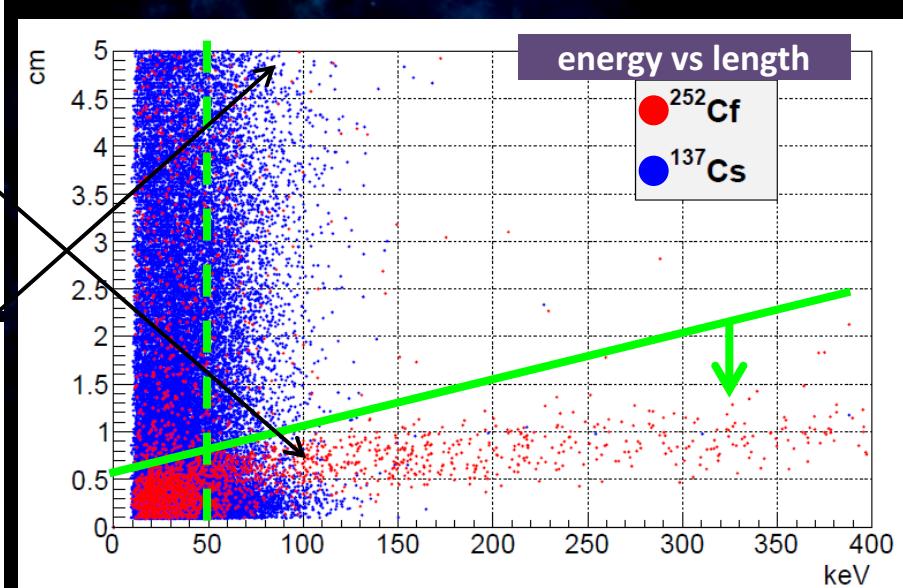
dE/dx : nuclear (^{252}Cf) > electron (^{137}Cs)
track length : electron > nuclear



$^{252}\text{Cf RUN}$
ene_low=100.793500 [keV]
length=0.689406 [cm]
TOT-sum=250
roundness=0.055549



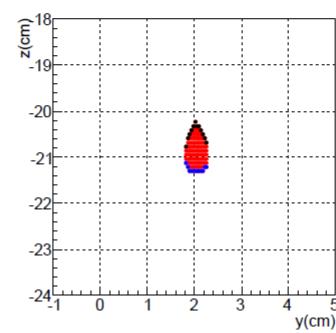
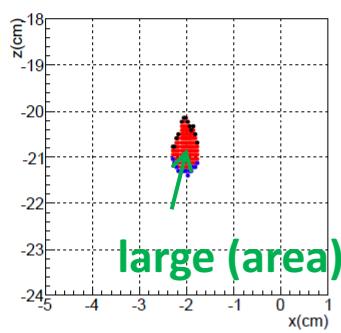
$^{137}\text{Cs RUN}$
ene_low=91.831500 [keV]
length=5.014193 [cm]
TOT-sum=88
roundness=0.073630



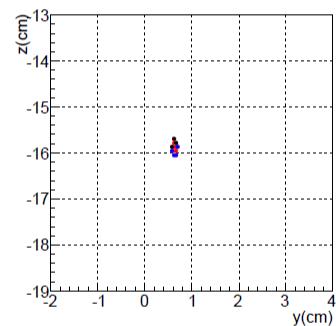
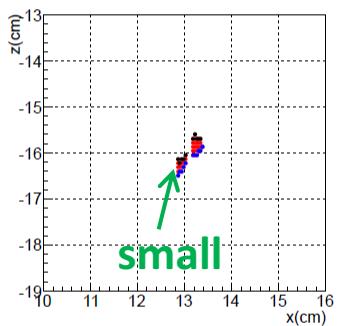
Event selection 2

TOT-sum-cut (new gamma-ray cut)

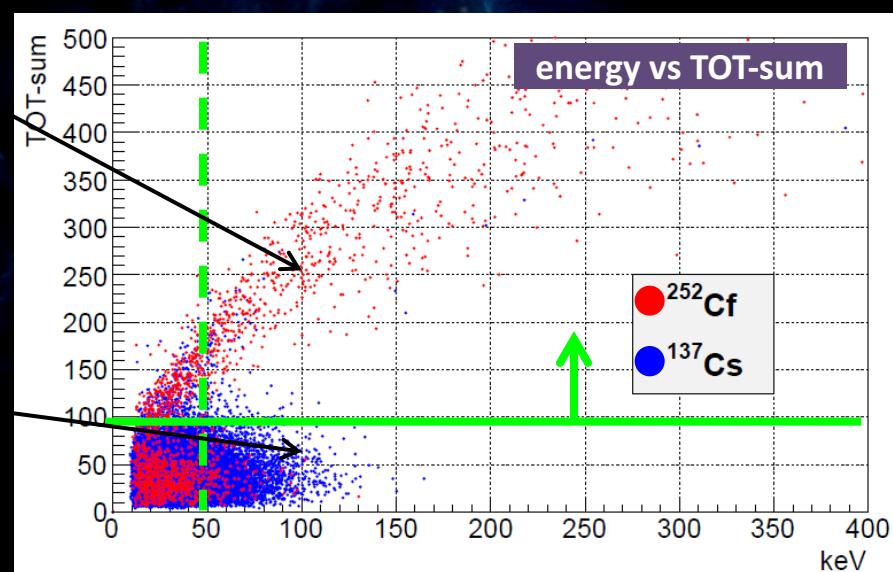
- Nuclear (^{252}Cf) : TOT-sum is proportional to energy
- Electron (^{137}Cs) : scratched track (small dE/dx)



$^{252}\text{Cf RUN}$
ene_low=100.783500 [keV]
length=0.689406 [cm]
TOT-sum=250
roundness=0.055549



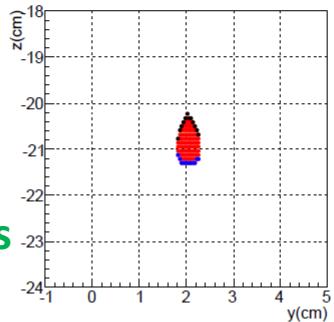
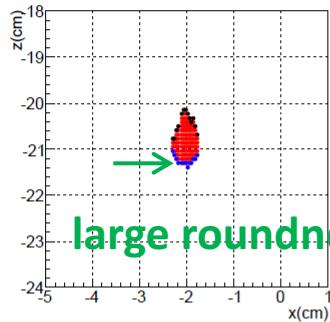
$^{137}\text{Cs RUN}$
ene_low=100.054500 [keV]
length=0.814168 [cm]
TOT-sum=55
roundness=0.021144



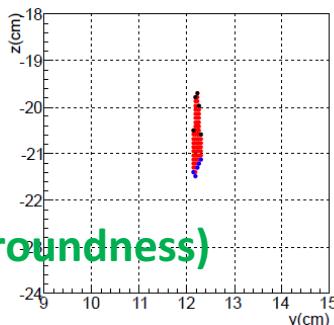
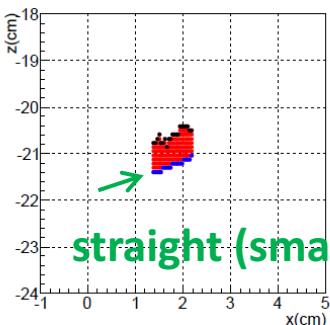
Event selection 3

roundness-cut (third cut)

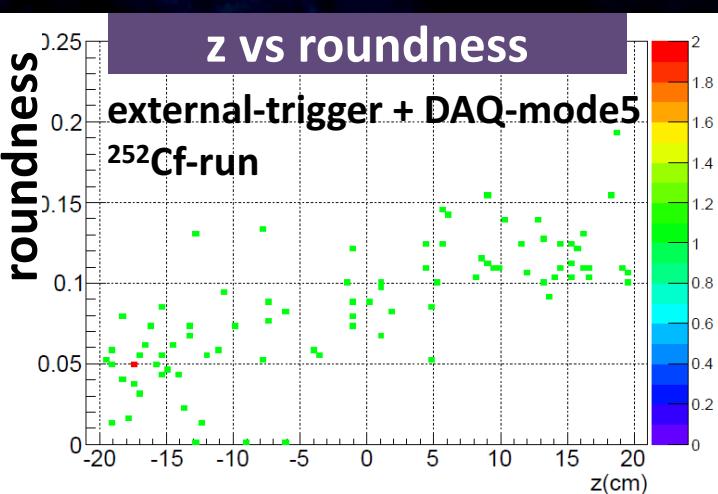
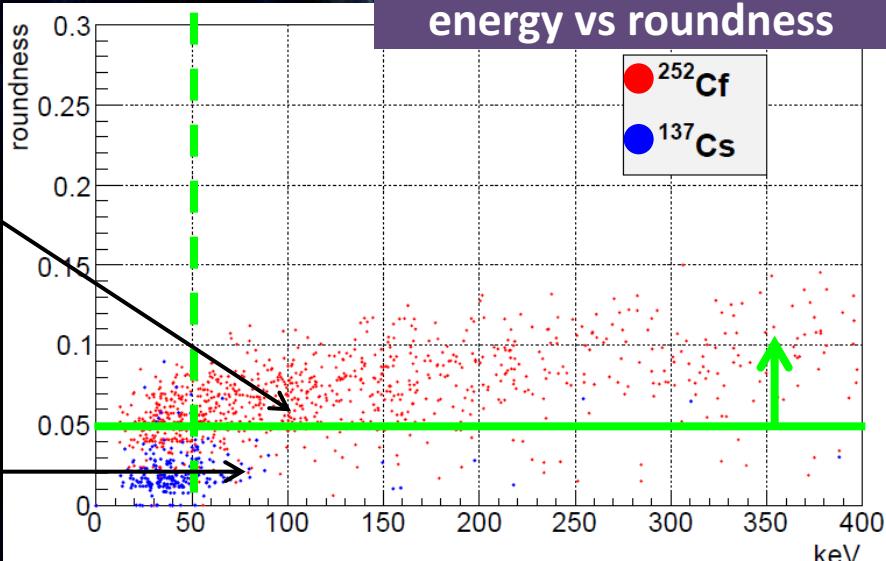
Remained ^{137}Cs events : straight track shape



^{252}Cf RUN
ene_low=100.783500 [keV]
length=0.689406 [cm]
TOT-sum=250
roundness=0.055549



^{137}Cs RUN
ene_low=79.837500 [keV]
length=0.889054 [cm]
TOT-sum=246
roundness=0.022808



Diffusion (drift distance) affects roundness !
(Almost all electron events are cut)
(Remained events are BG α from μ -PIC)
Roundness-cut works as “z-fiducial-cut”

Efficiency

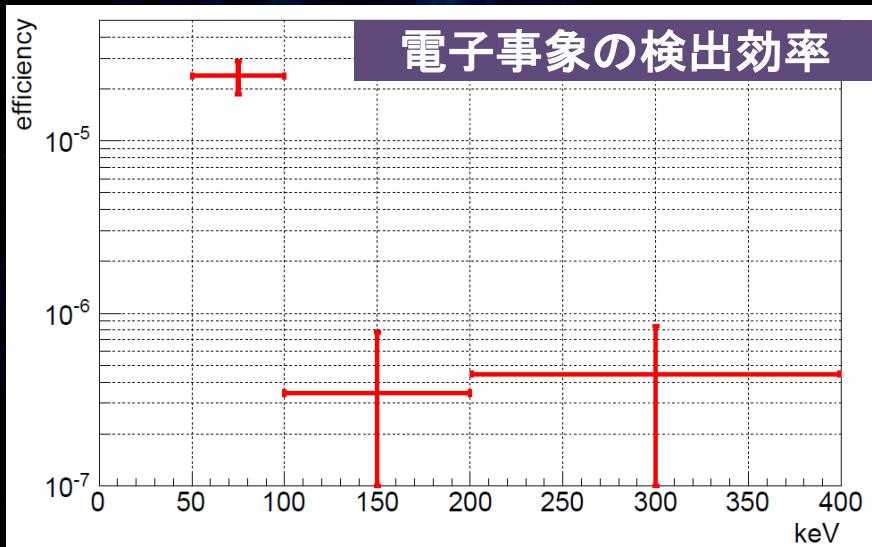
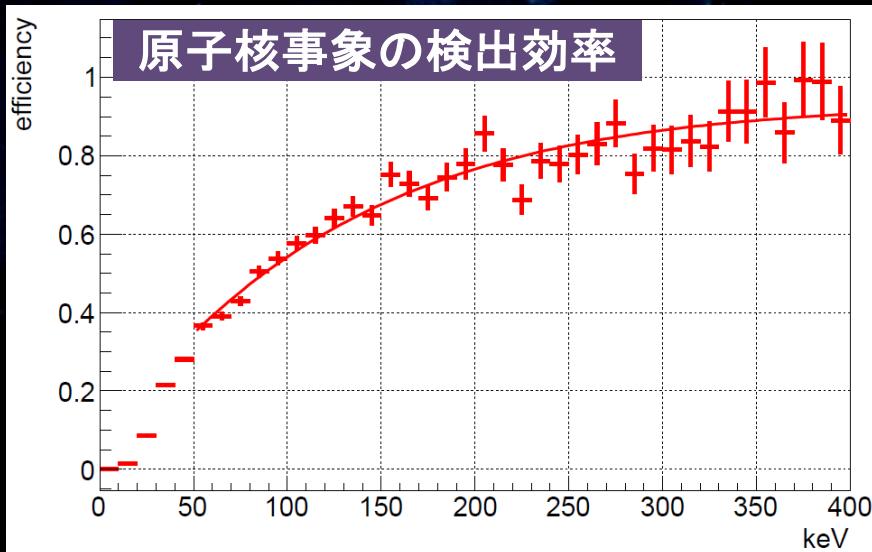
After all cut, compare to Geant4

- Nuclear (^{252}Cf neutron source)

Efficiency : 40%@50keV

- Electron (^{137}Cs γ source)

Rejection : 2.5×10^{-5} @50-100keV



観測概要（長期安定測定）

- ガスゲイン 高エネルギーのrate
統計の範囲内で安定 (~ $\pm 10\%$)

DAQ
trouble

