

# 暗黒物質探索実験のための 低バックグラウンド $\mu$ -PIC開発

橋本隆(神戸大)

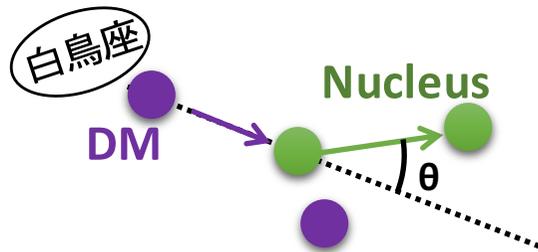
身内賢太郎, 矢ヶ部遼太, 池田智法, 帝釋稜介, 越智敦彦,  
中村輝石(京都大)

1. NEWAGE
2. バックグラウンドスタディ
3. 低バックグラウンド $\mu$ -PIC製作
4. まとめ

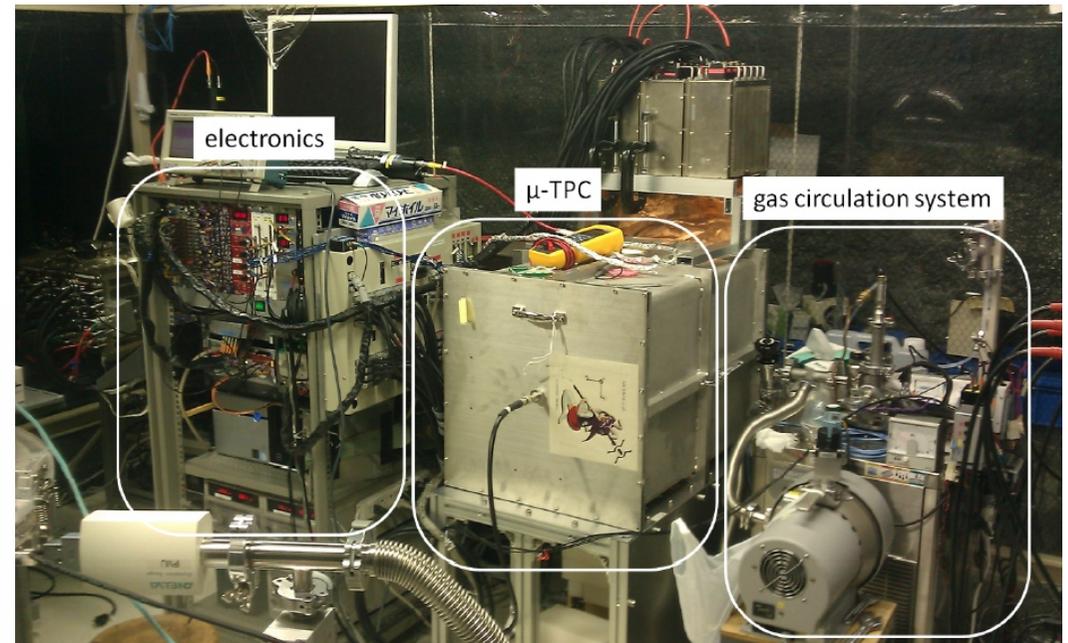
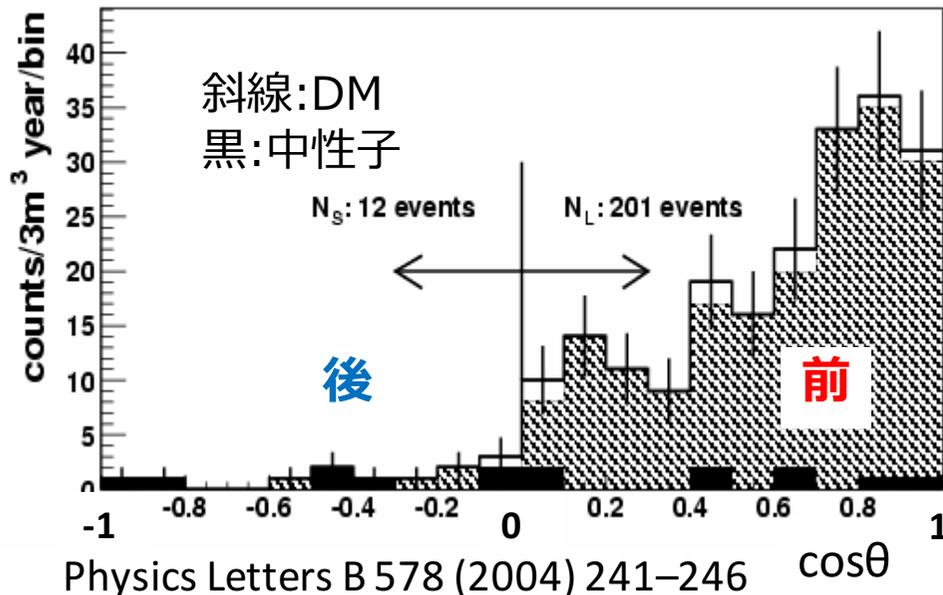
# 1. NEWAGE

(NEw generation WIMP search with an Advanced Gaseous tracker Experiment)

- 神戸大学主導の**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- 到来方向異方性の観測を目指す
- ガス検出器「マイクロTPC」を用いる



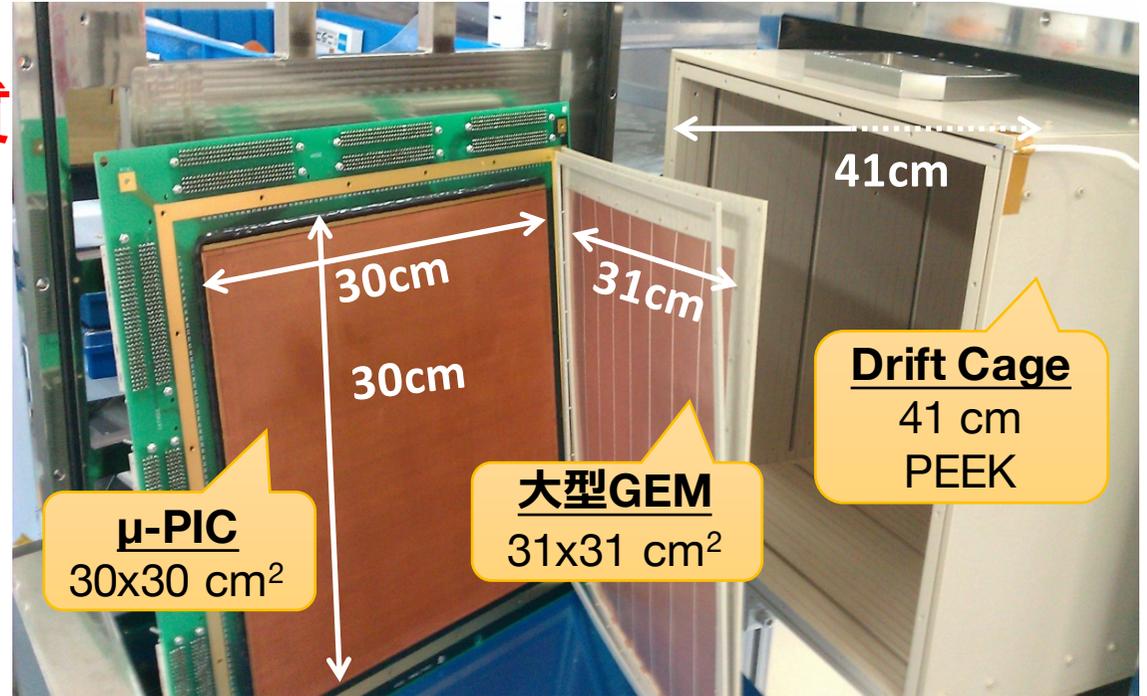
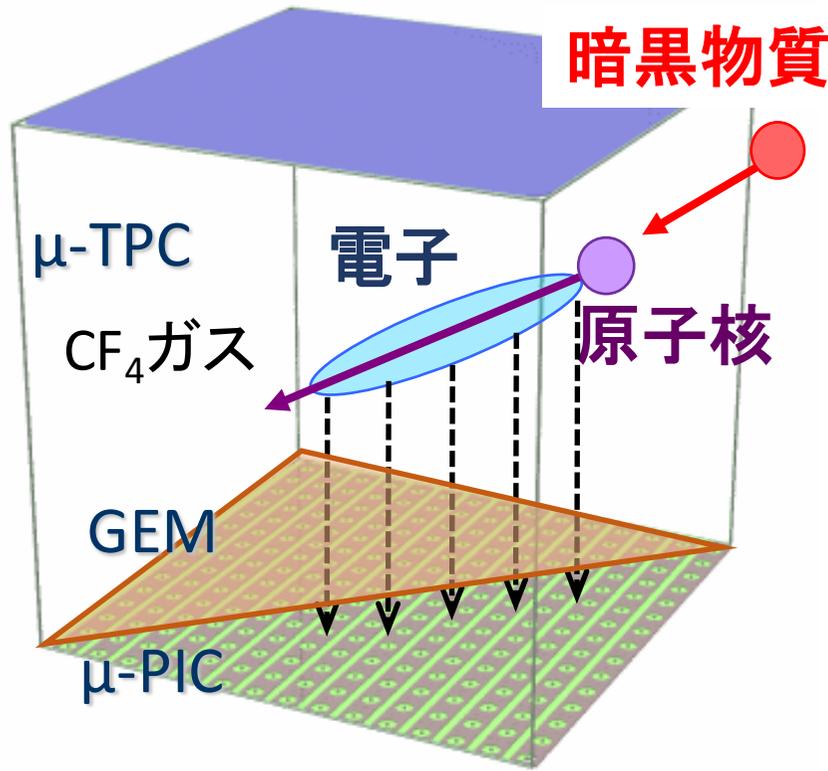
期待される到来方向異方性(数倍)



NEWAGE検出器『NEWAGE-0.3b』@神岡地下実験施設

# 検出原理、検出器

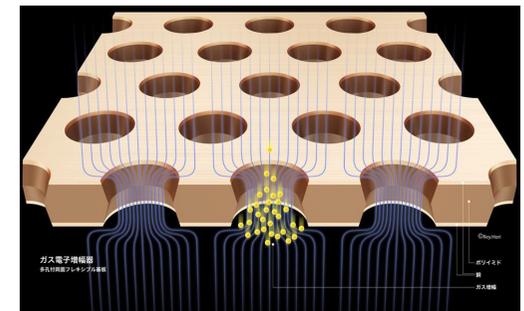
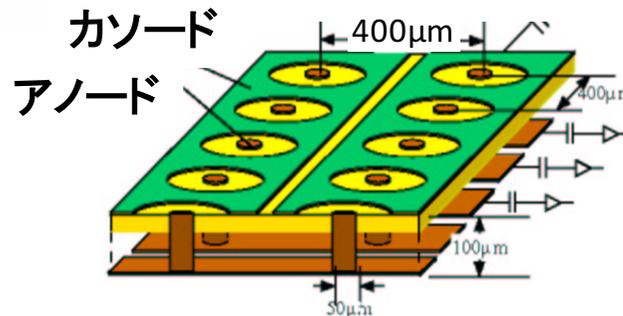
## ガス検出器『マイクロTPC』



**μ-PIC** : アノードピクセルの間隔400 $\mu$ m (ガス利得  $\sim 10^3$ )

**GEM** : 中間増幅器 (ガス利得  $\sim 10$ )

- 検出領域  
30×30×41 cm<sup>3</sup>
- ガス  
CF<sub>4</sub>(0.1気圧)

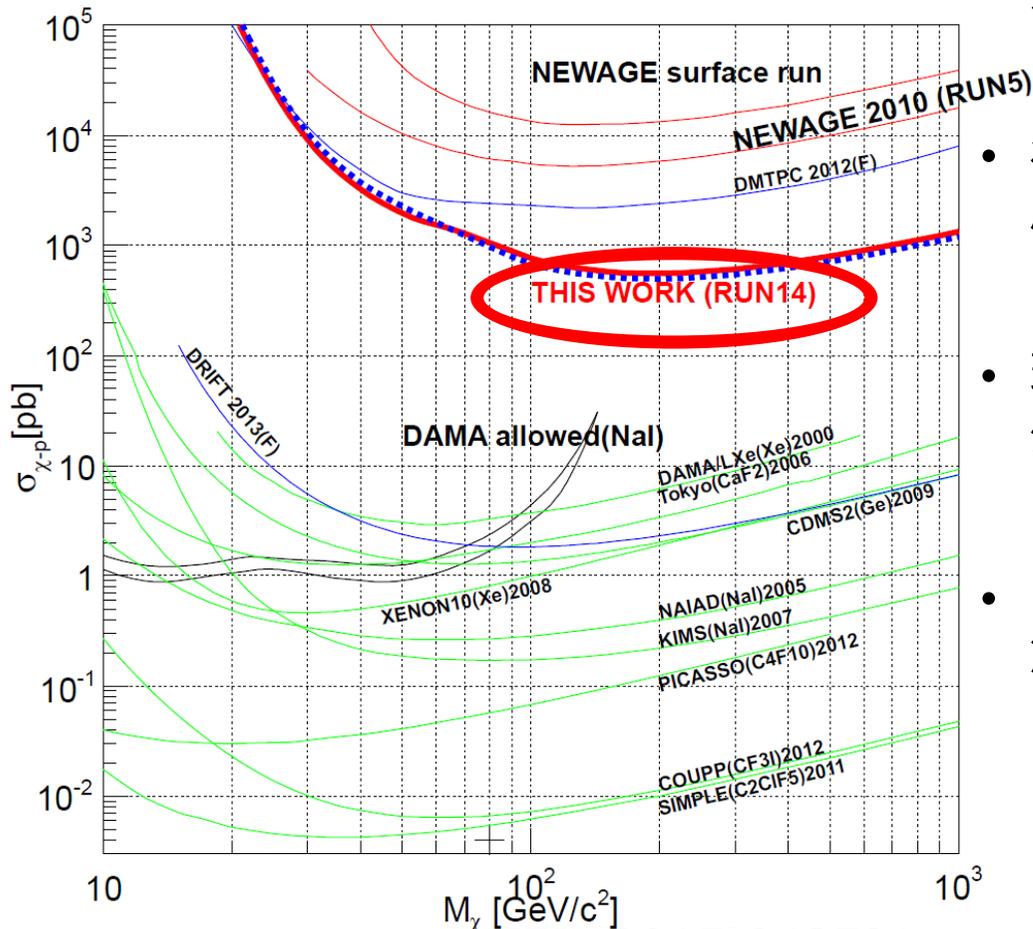


# 最新結果

## RUN14の条件

- period : 2013/7/20~8/11, 10/19~11/12
- live time : 31.6 days
- fiducial volume :  $28 \times 24 \times 41 \text{ cm}^3$
- mass : 10.36 g
- exposure : 0.327 kg · days

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



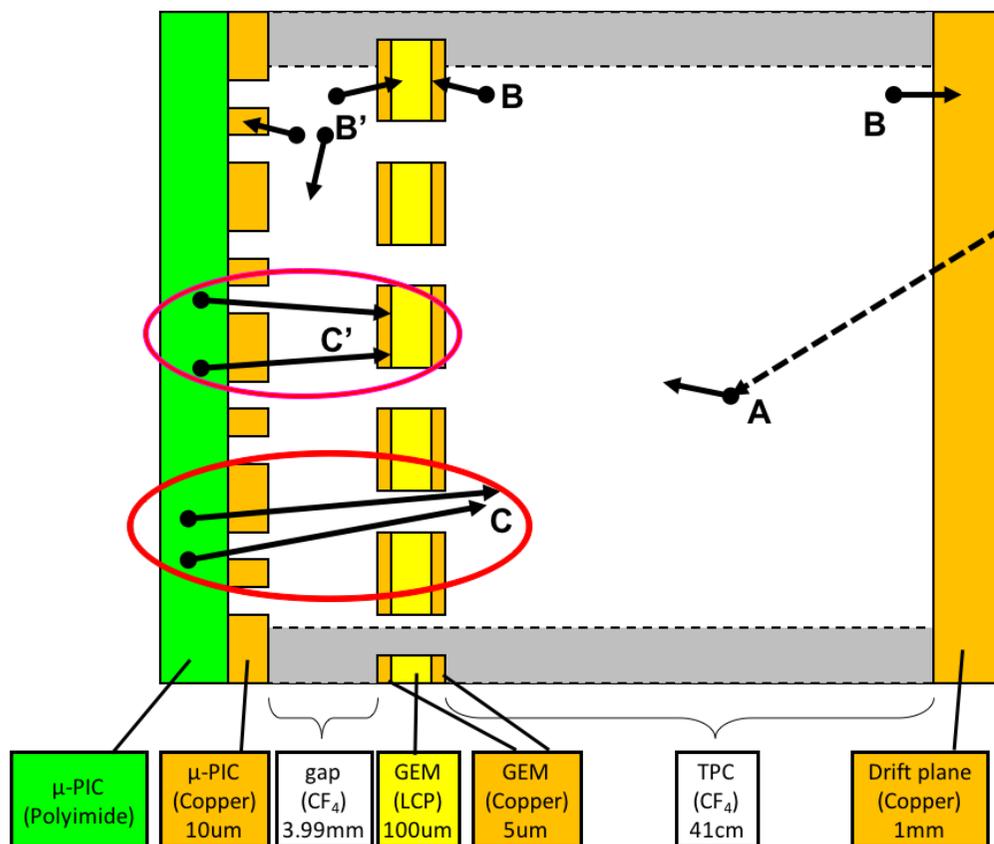
PTEP (2015)043F01

- 方向感度では世界最良 : **557pb@200GeV**
- 従来型の暗黒物質直接探索実験の感度には届いていない
- 現在の感度を制限しているのは暗黒物質以外のイベント(バックグラウンド:以下BG)
- さらに良い制限を更新するにはBGの理解・低減が重要

# 2. バックグラウンドスタディ

先行研究から、主なBGは検出器の構成物質に含まれる放射性不純物のU/Th系列の崩壊によって出てくる $\alpha$ 線(図中C,C')であることが示唆

- 暗黒物質イベントは原子核反跳イベントであり、 $\alpha$ 線はHe原子核なので解析的に除去しづらい



A: 環境放射線によるイベント  
B,B': ガス中のラドンによるイベント  
C,C': U/Th系列の崩壊により生じる $\alpha$ 線

BGの理解にむけて

- 検出器各部分のU/Th含有量を測定
- 測定値を用いたシミュレーション

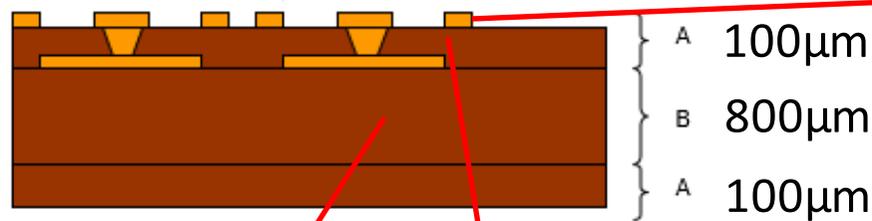
# U/Th含有量測定

HPGe検出器(東大葎輪研)を用いて、検出器各部分のU/Thの含有量を測定

## 測定サンプル

- $\mu$ -PIC本体
- ガラス繊維で強化されたポリイミド(PI)(800 $\mu$ m, 100 $\mu$ m)
- メッキ液( $\text{CuSO}_4$ )
- GEM(LCP+銅)
- PI100 $\mu$ m部分から取り出したガラス繊維

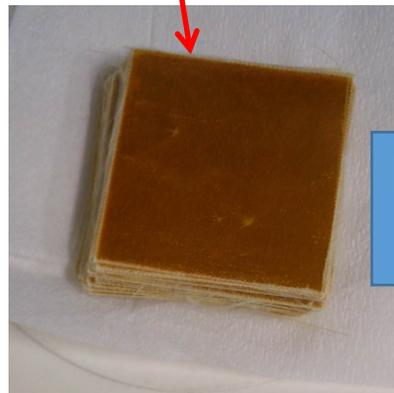
$\mu$ -PICの断面図



メッキ液( $\text{CuSO}_4$ )

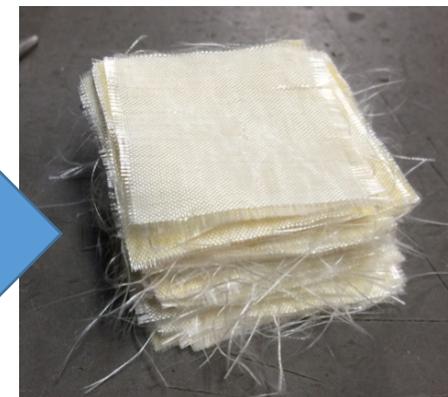


GEM(LCP+銅)



ポリイミド(左: 800 $\mu$ m, 右: 100 $\mu$ m)

NaOH, KOHを用いて  
PI100 $\mu$ mを溶解



ガラス繊維

# U/Th測定結果

ppm =  $10^{-6}$  g/g

測定試料	[g]	$^{238}\text{U}$ [ppm] U系列	$^{232}\text{Th}$ [ppm] Th系列
PI 100 $\mu\text{m}$	35	0.39 $\pm$ 0.01	1.81 $\pm$ 0.04
ガラス繊維	15	0.84 $\pm$ 0.03	3.48 $\pm$ 0.12
CuSO <sub>4</sub>	72	<0.009	<0.06
GEM	27.0	<0.022	<0.12

- 統計誤差のみを考慮
- GEM、メッキ液は上限値がつくほどU/Th含有量が少ないことがわかった
- $\mu$ -PIC補強材の**ガラス繊維にU/Thが多く含まれている**ことを確認

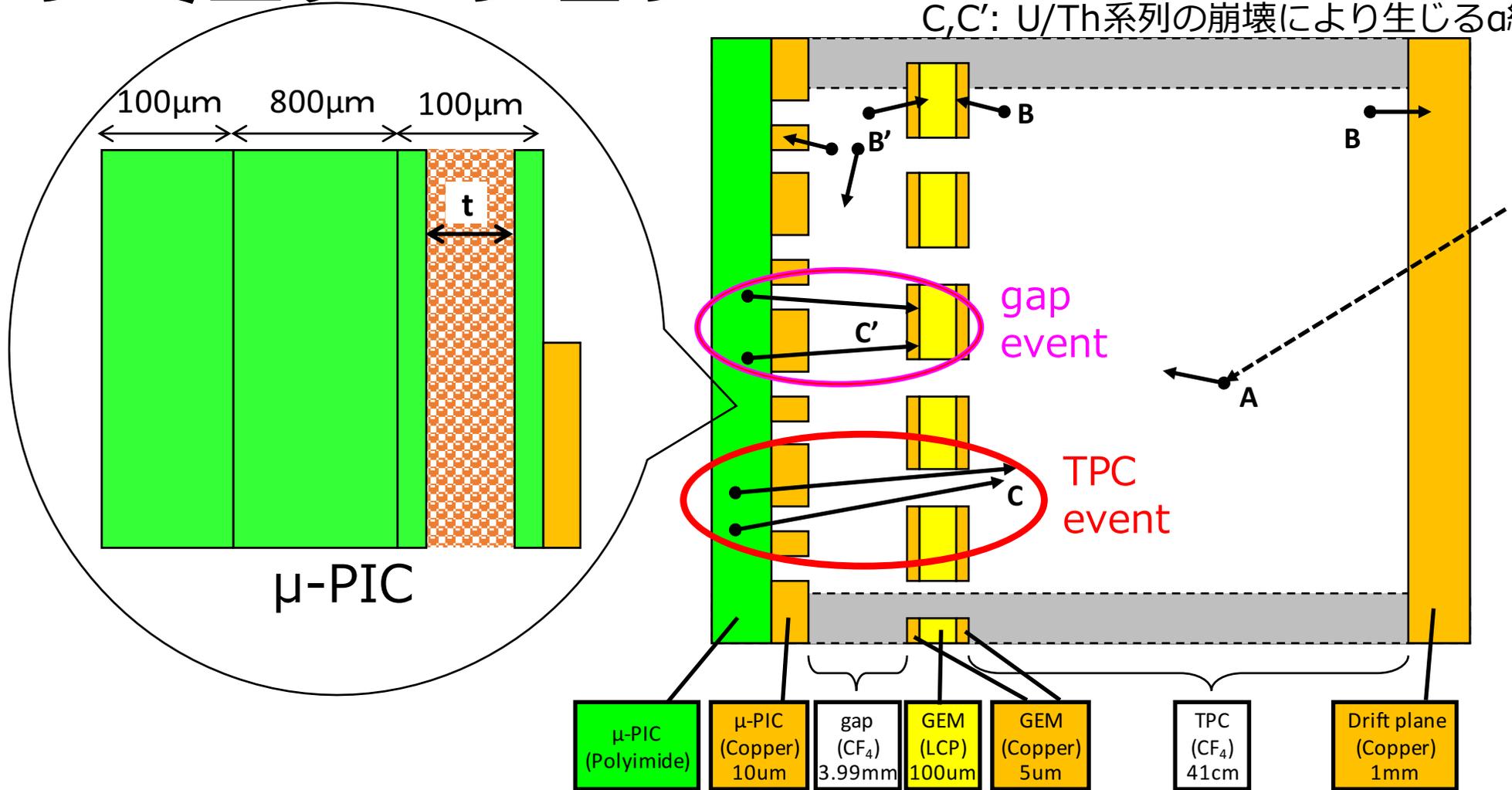
## ■ 試料一枚あたりのU/Th含有量

測定試料	$^{238}\text{U}$ [ $\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$ ] U系列	$^{232}\text{Th}$ [ $\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$ ] Th系列
PI 100 $\mu\text{m}$	68.5 $\pm$ 1.5	102.1 $\pm$ 2.3
ガラス繊維	64.5 $\pm$ 1.5	86.8 $\pm$ 1.1

- ポリイミド100 $\mu\text{m}$ 中のU/Thをガラス繊維で約9割説明できる

# シミュレーション

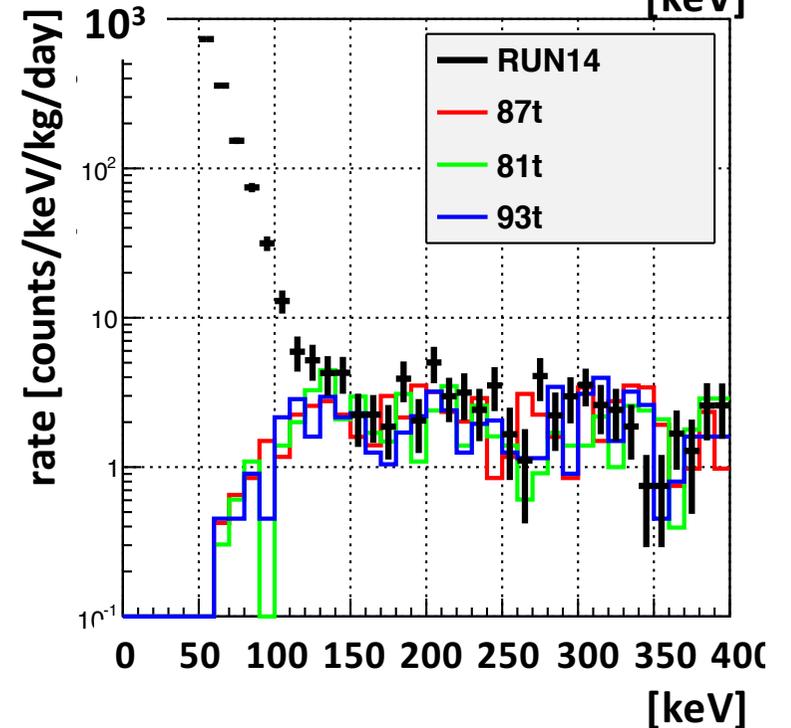
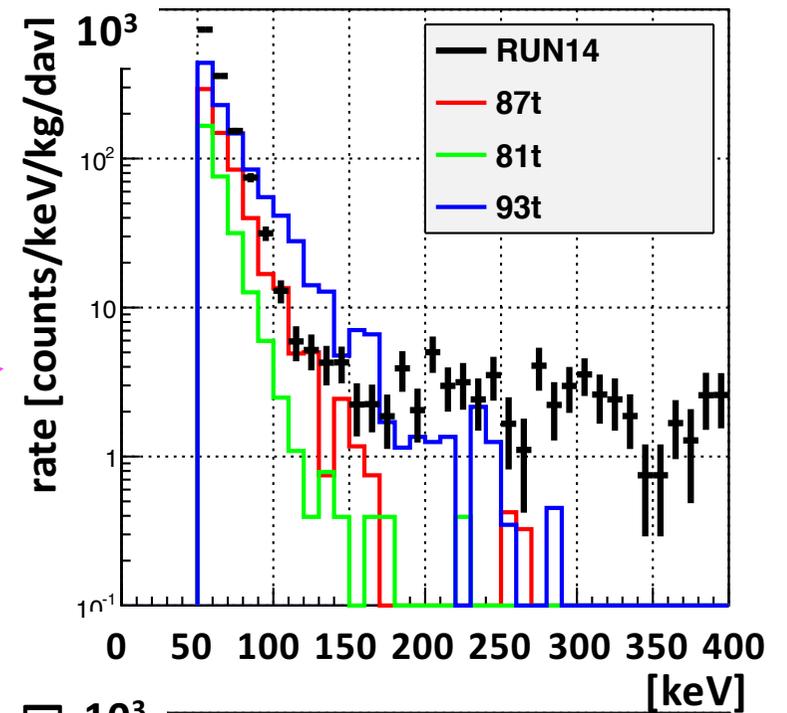
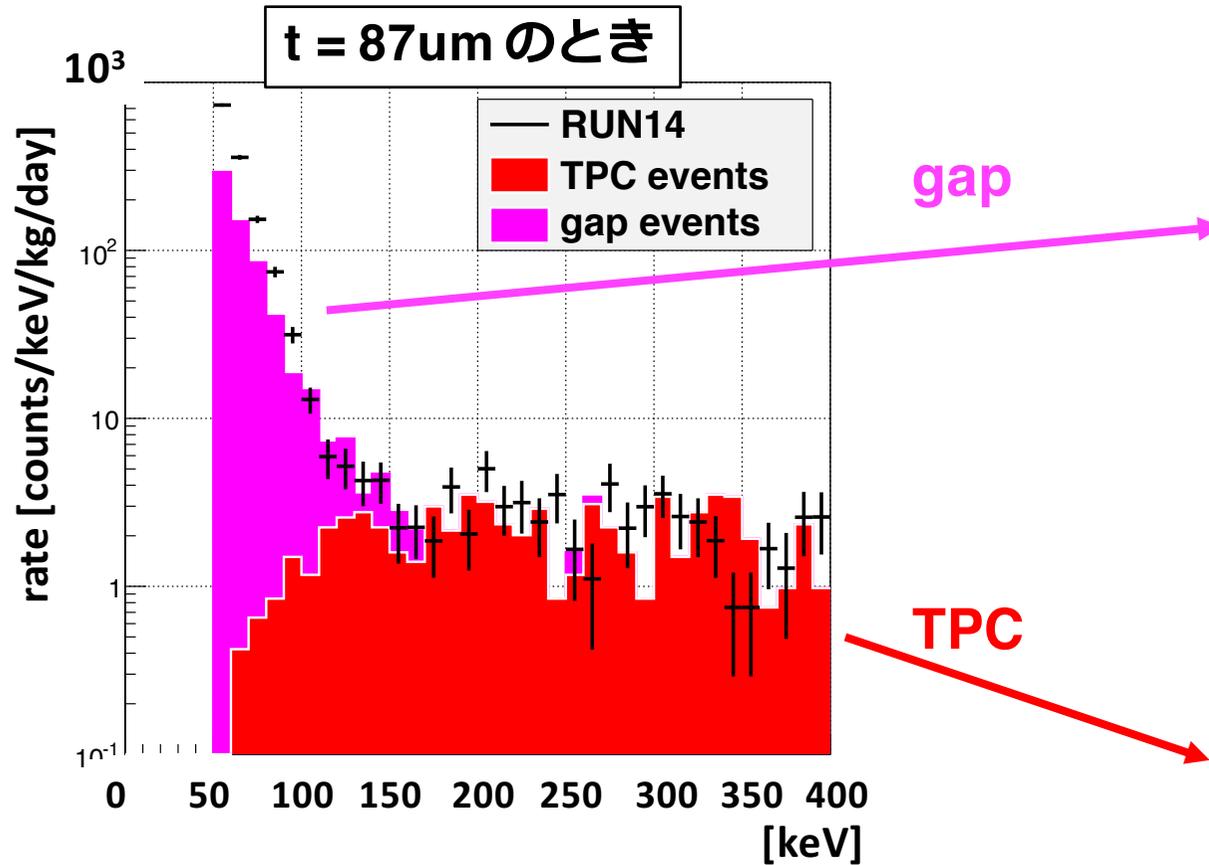
A: 環境放射線によるイベント  
 B, B': ガス中のラドンによるイベント  
 C, C': U/Th系列の崩壊により生じる $\alpha$ 線



## Geant4を用いてシミュレーション

- ガラス繊維のU/Th含有量の測定値を用いて、ポリイミド100µmのオレンジメッシュ部分( $t = 87 \pm 6 \mu\text{m}$ )からU/Th系列による $\alpha$ 線を発生させる
- 下側のポリイミド100µm、真ん中のポリイミド800µmから出る $\alpha$ 線は上側のポリイミド100µm部分を通過できないので考えない

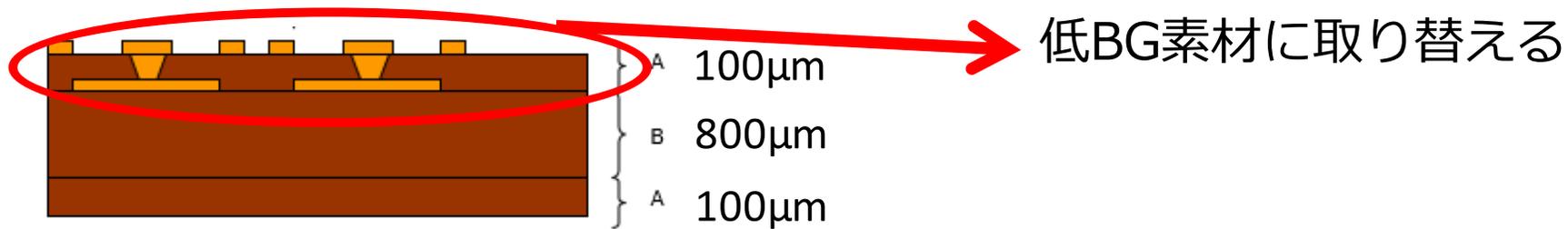
# シミュレーション結果



- TPC事象で150-400keV領域の76(+9-1)%説明可能
- gap事象で立ち上がり部分を定性的に理解できる
- ガラス繊維を単一の厚さと考える場合、gap事象で立ち上がり部分を定量的説明できるモデルはない
  - 実際のガラス繊維は凸凹、凸凹を考慮に入れたジオメトリで考える必要あり

# 3. 低バックグラウンドμ-PIC製作

- メインBGはPI100um内のガラス繊維
- 低BG(現行の1/100以下)なものに取り替える必要がある



## 新材料

測定試料	<sup>238</sup> U[ppm]	<sup>232</sup> Th[ppm]	備考
PI100μm	0.39±0.01	1.81±0.04	現行のμ-PIC材料
PI+エポキシ	< 2.98×10 <sup>-3</sup>	< 6.77×10 <sup>-3</sup>	新材料

- PI+エポキシは1/100を達成
- 10cm角のLow BG μ-PIC試作機を製作



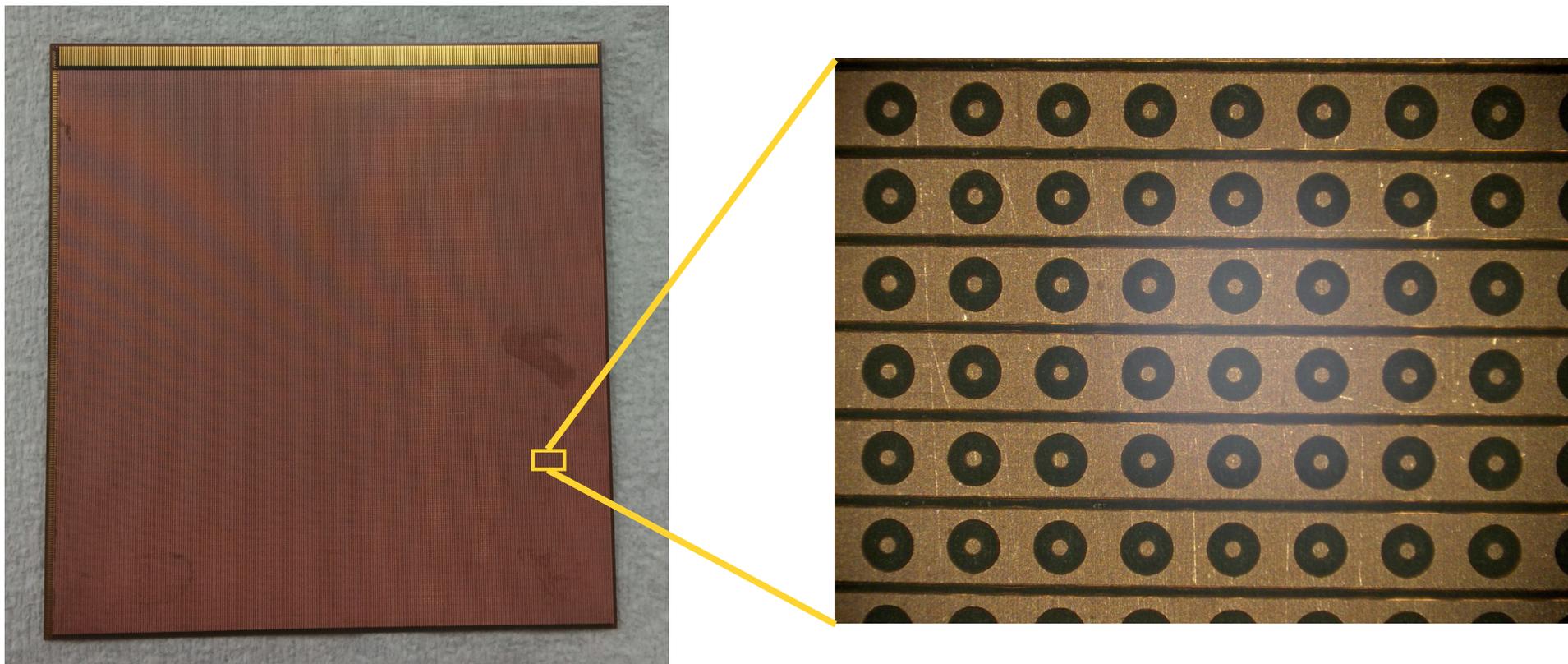
ガラス無しPI+エポキシの模式図



ガラス無しPI+エポキシ 10

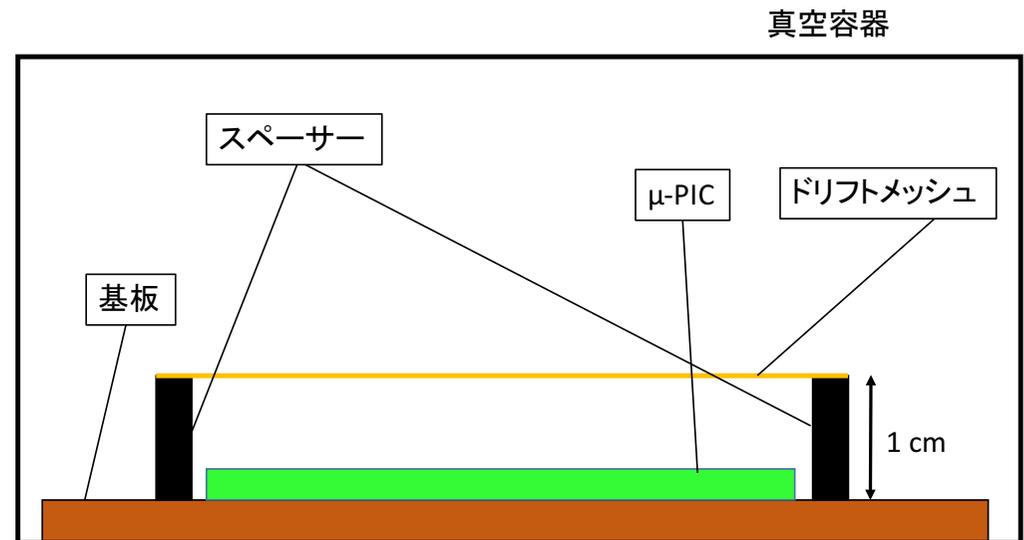
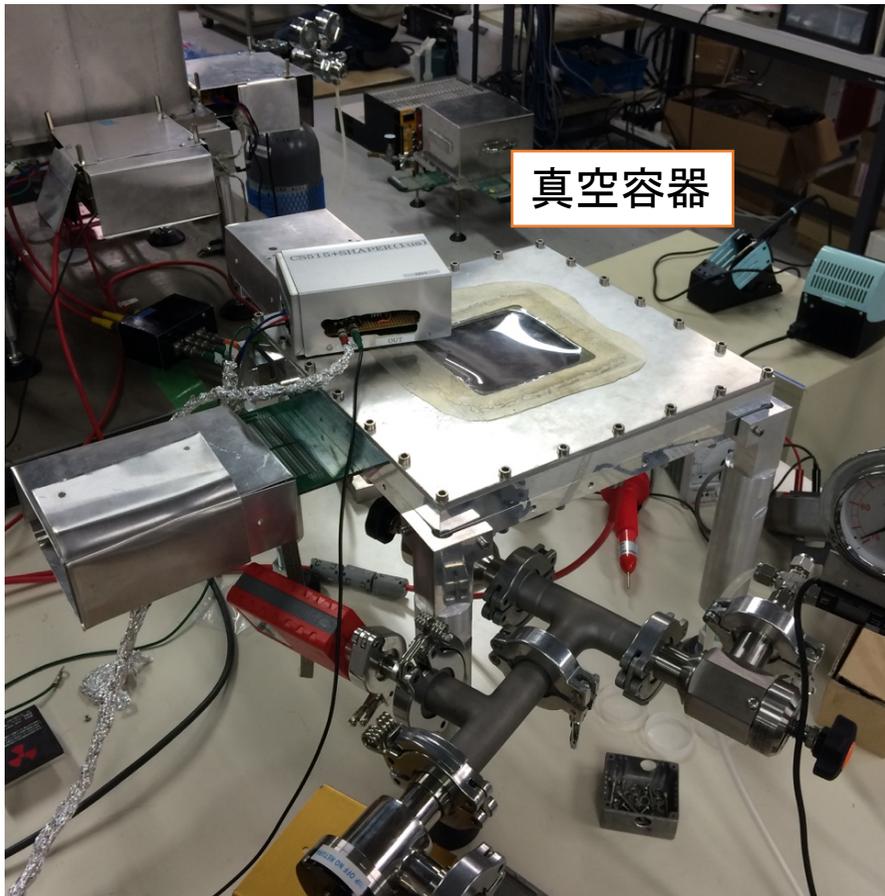
# Low BG $\mu$ -PIC試作機

- 10cm角のLow BG  $\mu$ -PIC試作機を製作、工作上的大きな問題はなし



# 試験

- Ar:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 9:1、1気圧
- 現在は動作確認の第一段階として10cm角の標準μ-PICで信号を見ようとしているところ



# 4. まとめ

- NEWAGEは方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験
  - 方向に感度を持つ手法では世界最高感度、しかし従来型の実験にはまだ及ばない
  - 感度向上のため、BGの理解・低減が必須
- NEWAGEにおけるBGの理解・低減
  - 理解：主なBG源はPI100um部分のガラス繊維と判明
  - 低減：PI100um部分を取り替えたLow BG  $\mu$ -PICを製作、今後性能評価を行う