

暗黒物質探索実験のための 低バックグラウンド μ -PIC開発

橋本隆(神戸大)

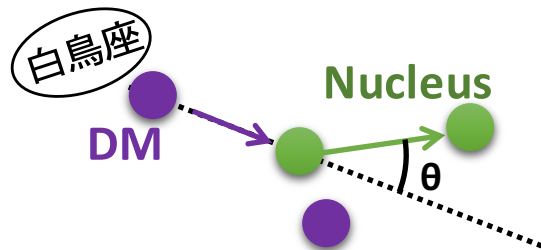
身内賢太郎, 矢ヶ部遼太, 池田智法, 帝釋稜介, 越智敦彦,
中村輝石(京都大)

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 μ -PIC製作
4. まとめ

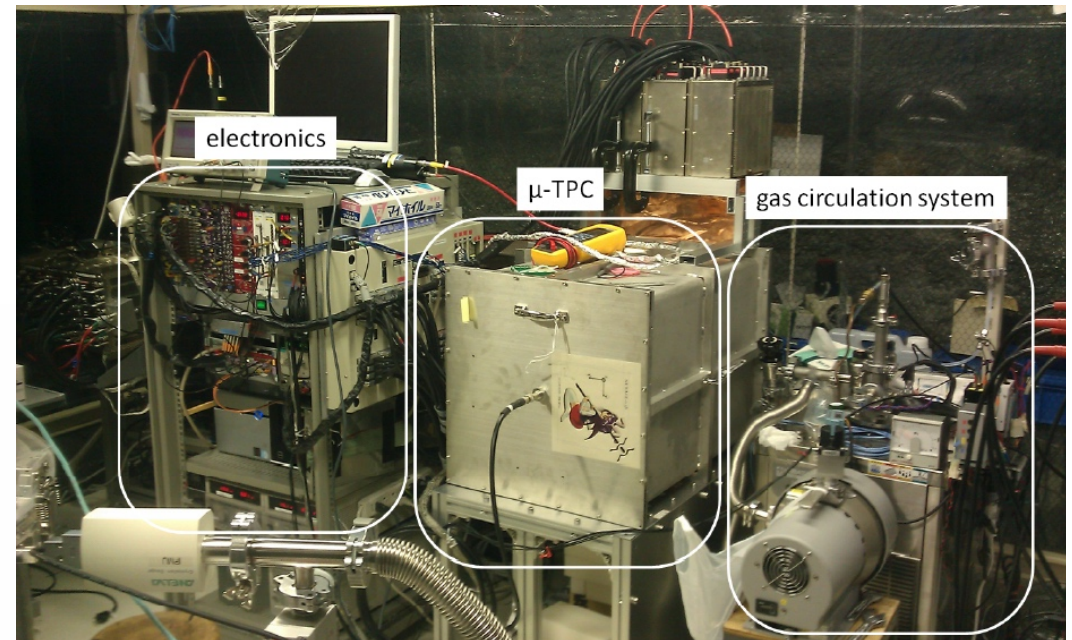
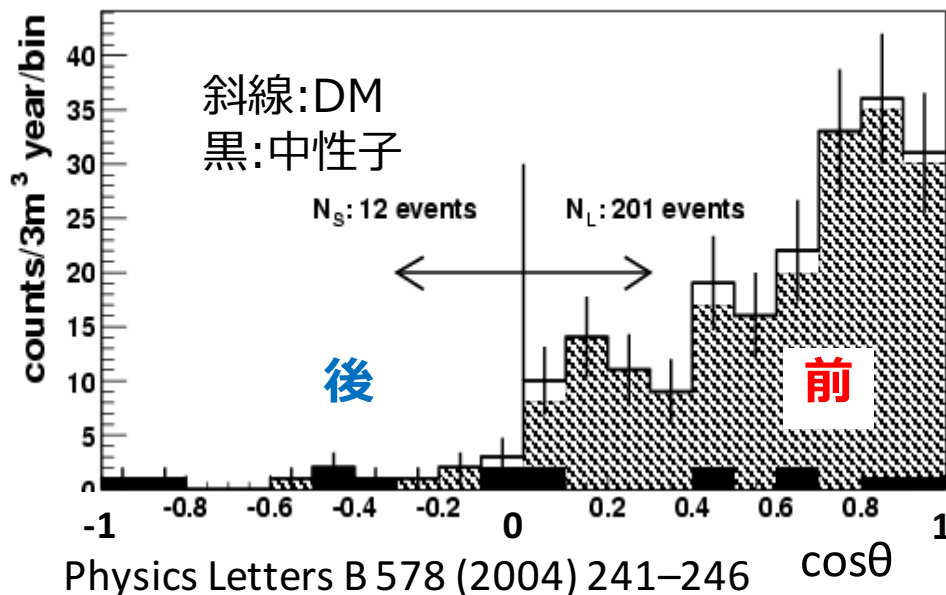
1. NEWAGE

(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



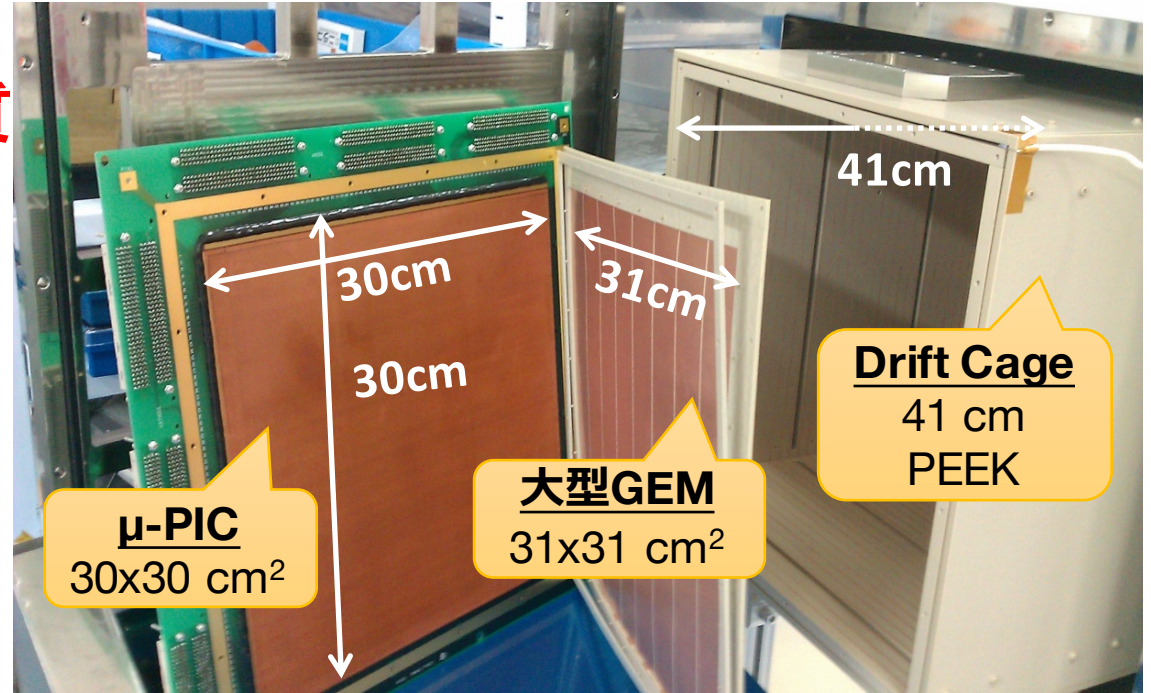
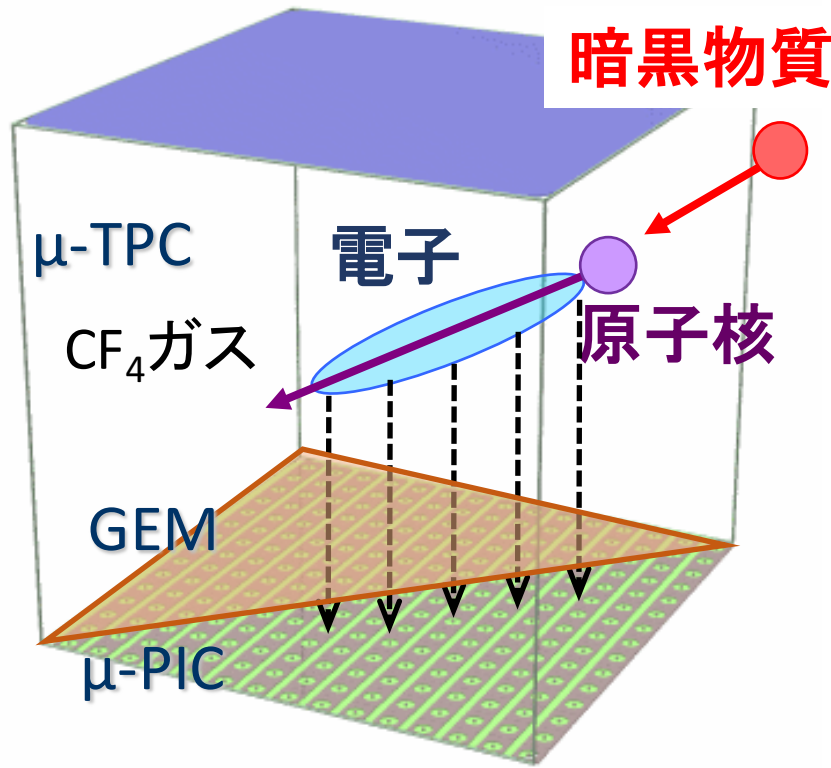
期待される到来方向異方性(数倍)



NEWAGE検出器『NEWAGE-0.3b』@神岡地下実験施設

検出原理、検出器

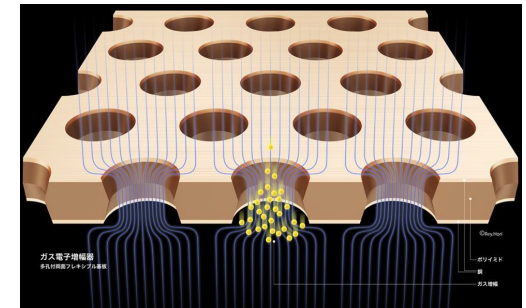
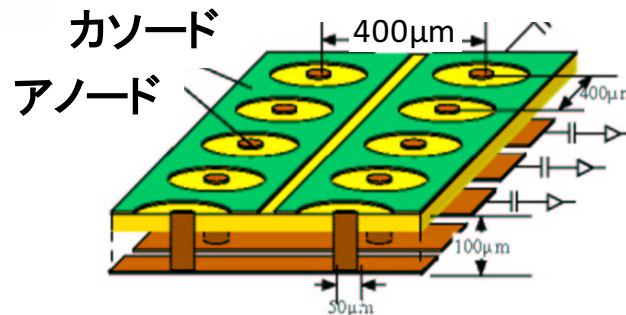
ガス検出器『マイクロTPC』



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

GEM : 中間増幅器 (ガス利得 ~ 10)

- 検出領域
30 \times 30 \times 41 cm³
- ガス
CF₄(0.1気圧)

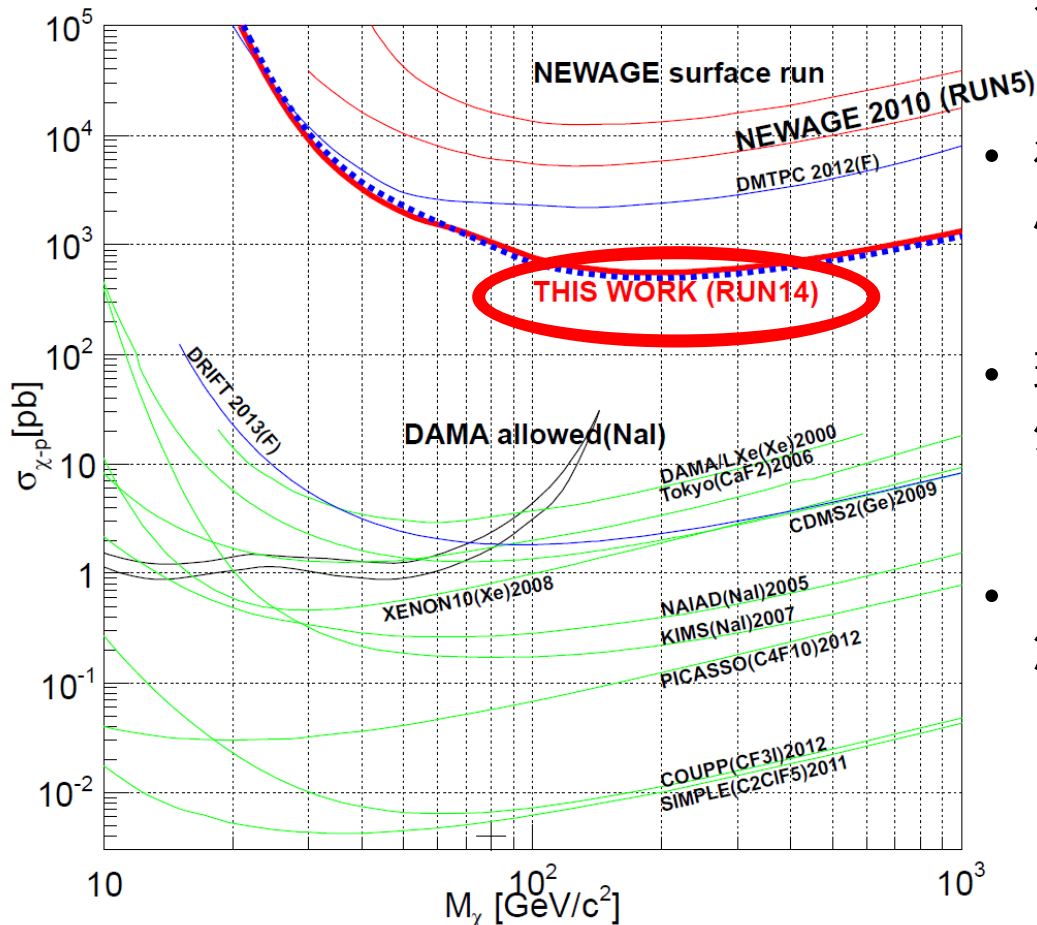


最新結果

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



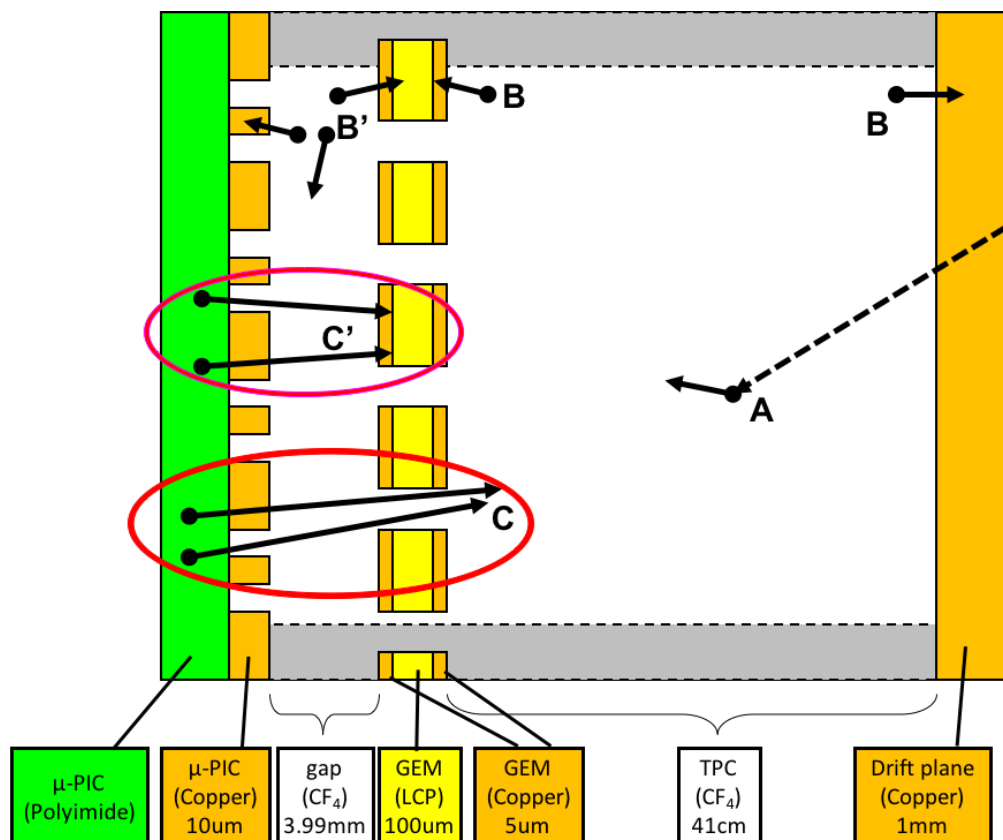
PTEP (2015)043F01

- 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 α 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、 α 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 α 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

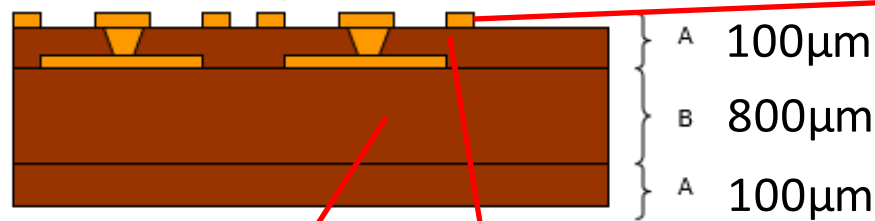
U/Th含有量測定

HPGe検出器(東大蓑輪研)を用いて、検出器各部分のU/Thの含有量を測定

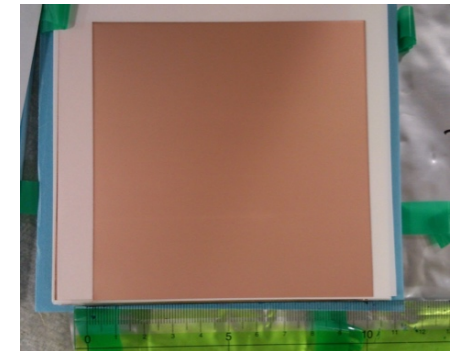
測定サンプル

- μ -PIC本体
- ガラス繊維で強化されたポリイミド(PI)(800 μ m, 100 μ m)
- メッキ液(CuSO_4)
- GEM(LCP+銅)
- PI100 μ m部分から取り出したガラス繊維

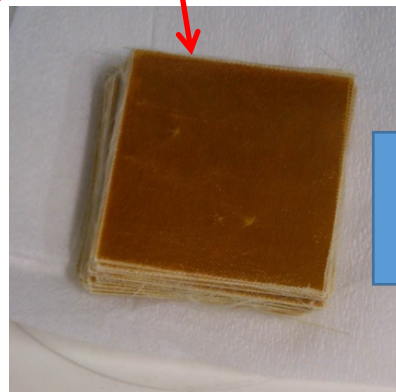
μ -PICの断面図



メッキ液(CuSO_4)

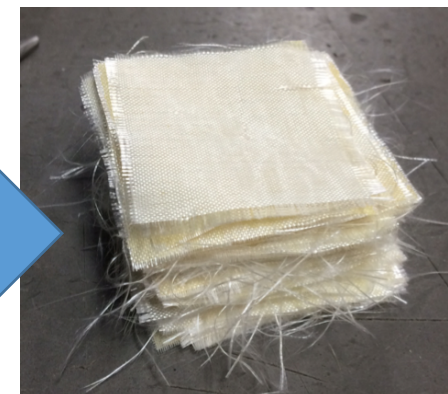


GEM(LCP+銅)



ポリイミド(左: 800 μ m, 右: 100 μ m)

NaOH, KOHを用いて
PI100 μ 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}U [ppm] U系列	^{232}Th [ppm] Th系列
PI 100 μm	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 ₄	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
- μ -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

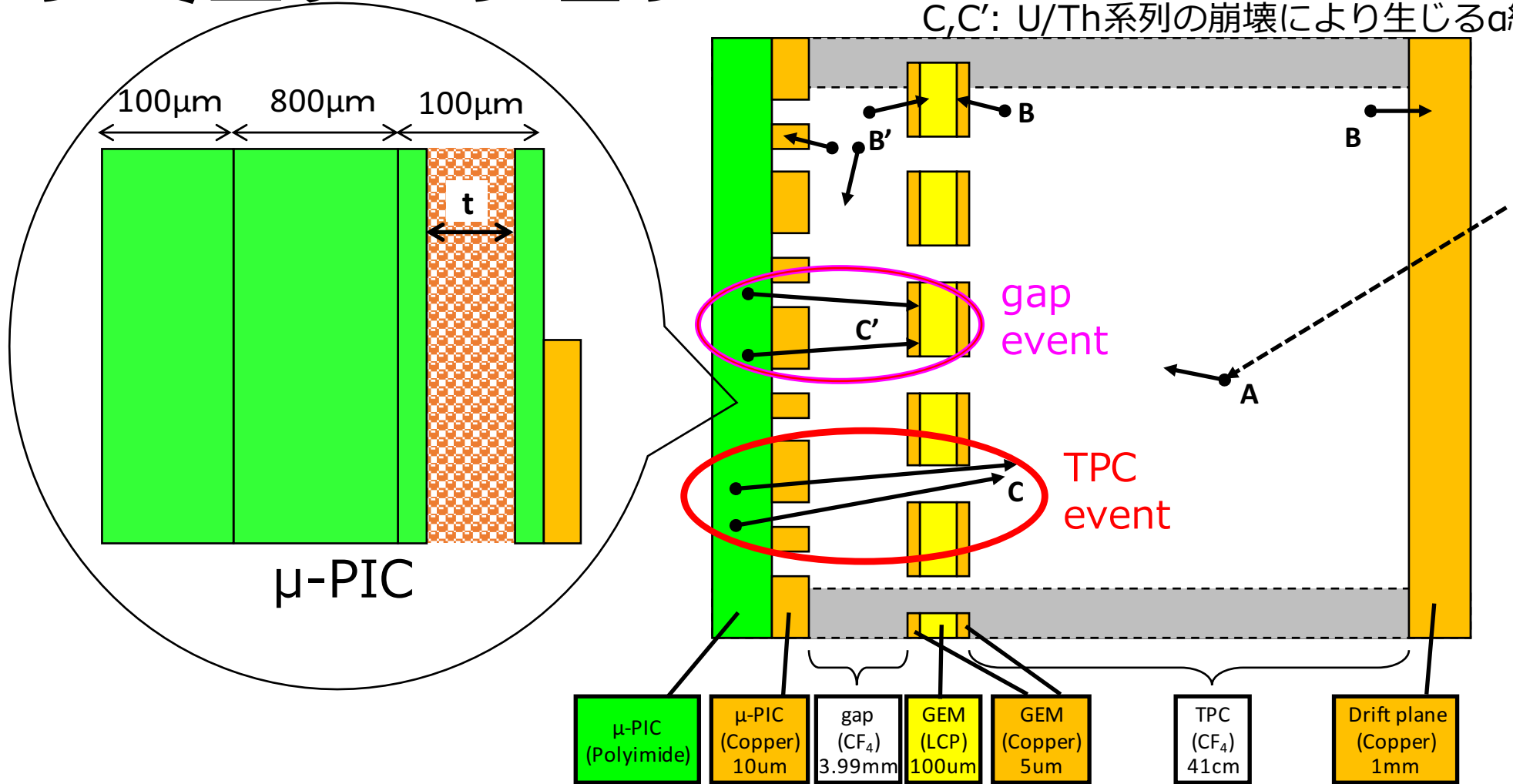
■ 試料一枚あたりのU/Th含有量

測定試料	^{238}U [$\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$] U系列	^{232}Th [$\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$] Th系列
PI 100 μm	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 μm 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

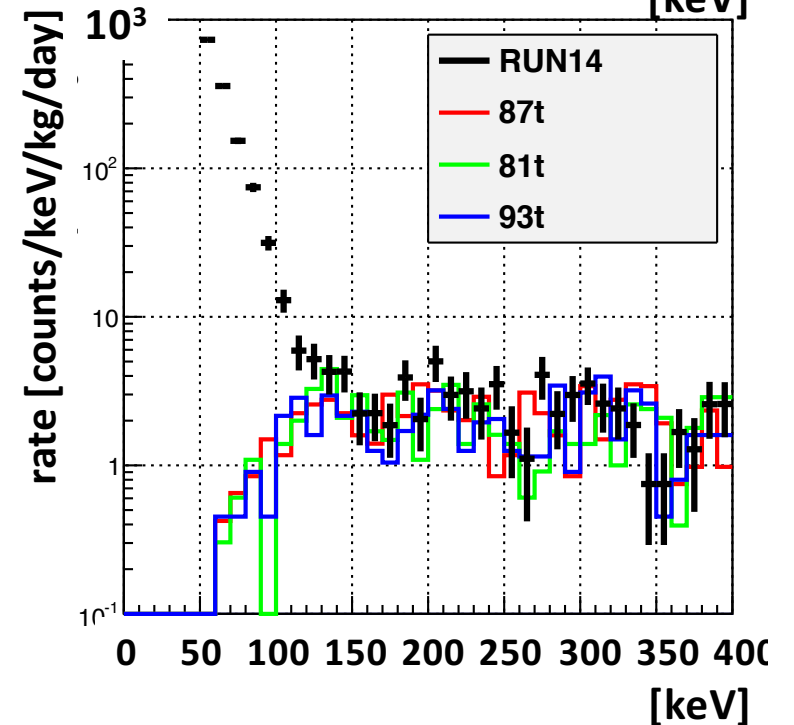
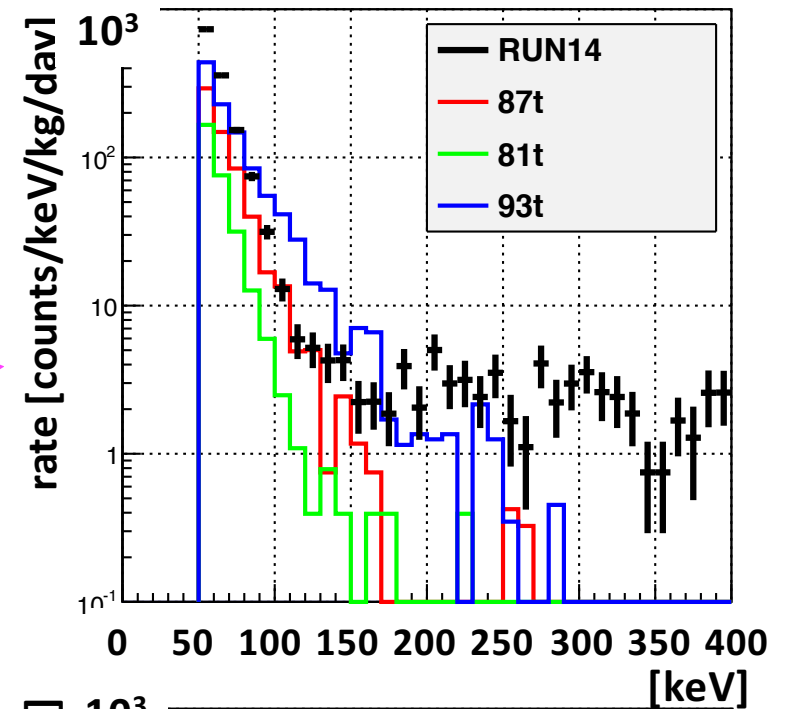
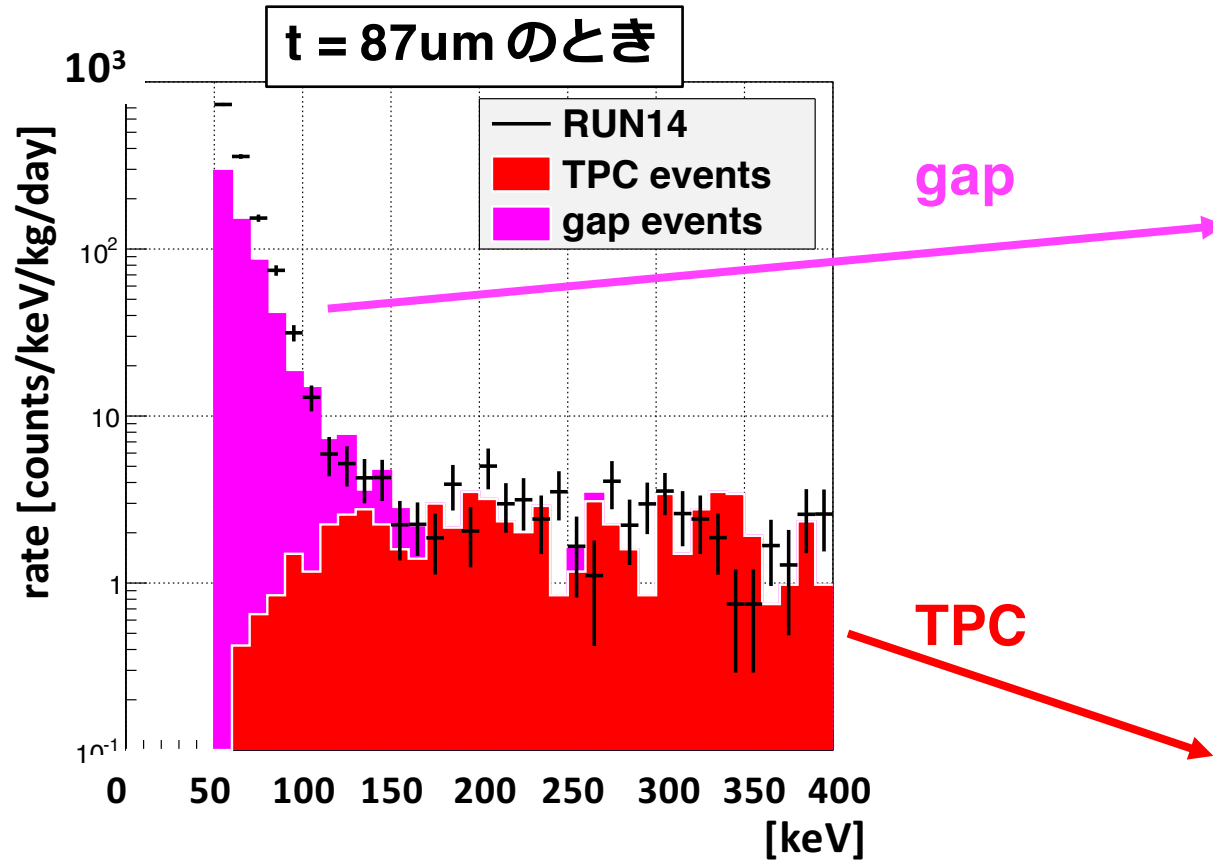
A: 環境放射線によるイベント
 B, B': ガス中のラドンによるイベント
 C, C': U/Th系列の崩壊により生じる α 線



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100 μ m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 α 線を発生させる
- 下側のポリイミド100 μ m、真ん中のポリイミド800 μ mから出る α 線は上側のポリイミド100 μ m部分を通過できないので考えない

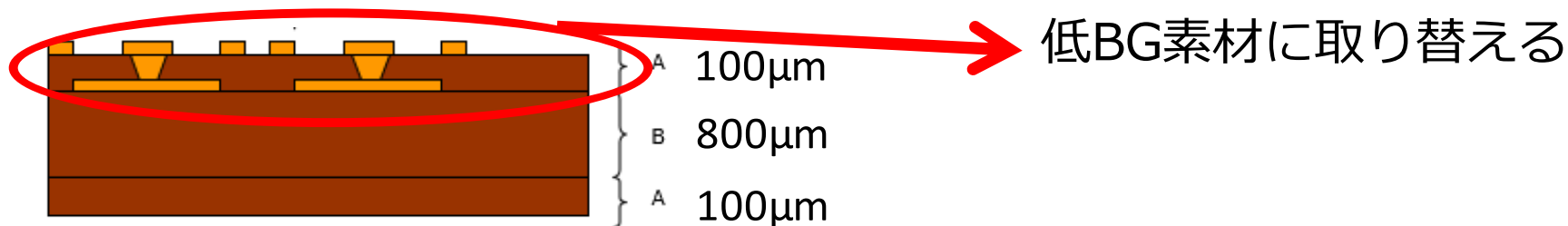
シミュレーション結果



- 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	²³⁸ U[ppm]	²³² 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 ⁻³	< 6.77×10 ⁻³	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



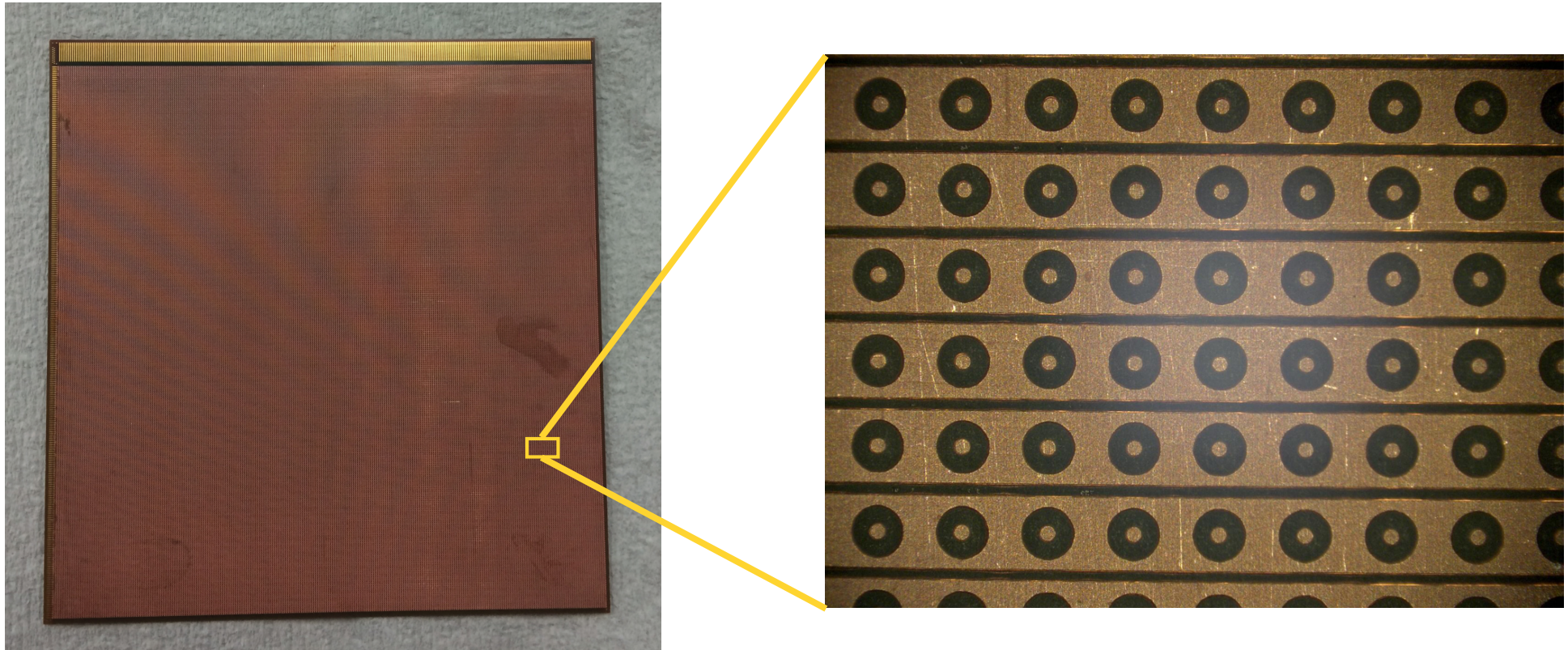
ガラス無しPI+エポキシの模式図



ガラス無しPI+エポキシ 10

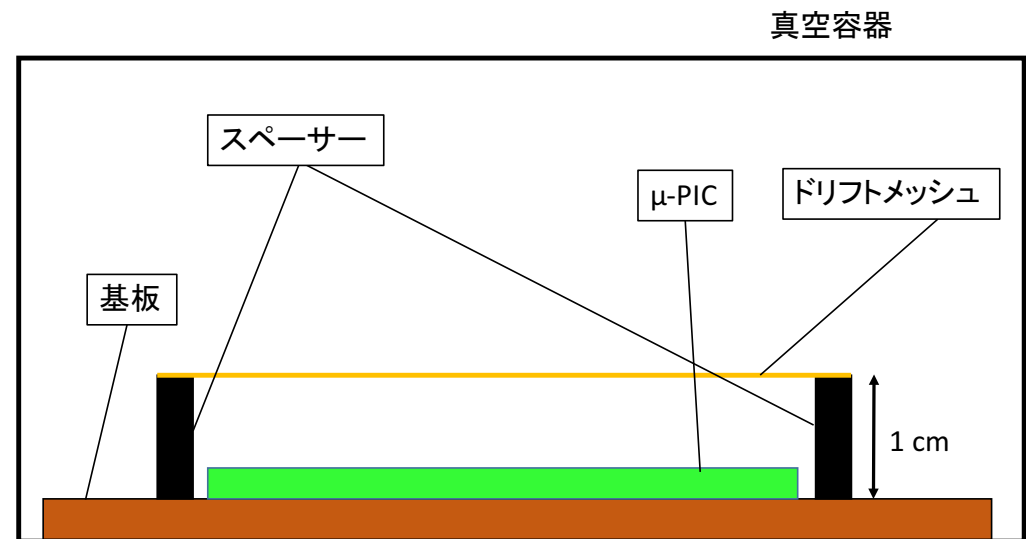
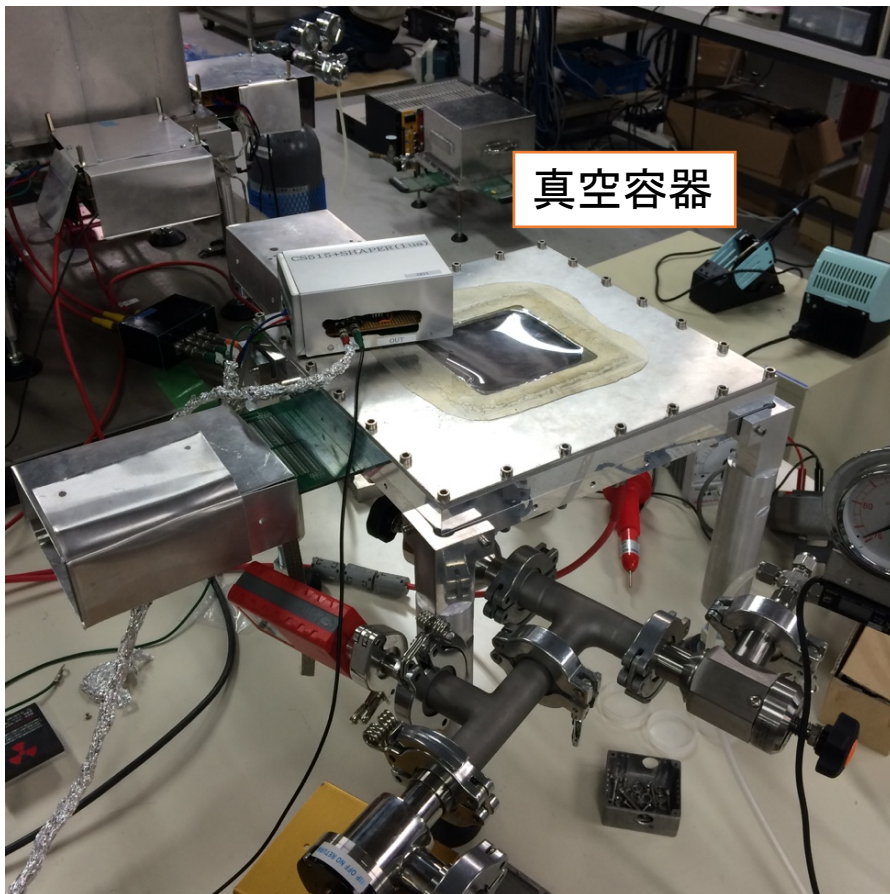
Low BG μ -PIC試作機

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



試験

- Ar:C₂H₆ = 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 μ -PICを製作、今後性能評価を行う