

大面積低バックグラウンド μ -PIC の製作・性能評価

橋本隆(神戸大)

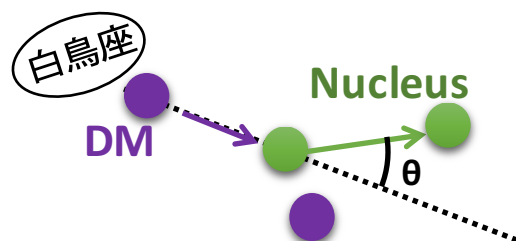
身内賢太郎, 中村輝石

, 矢ヶ部遼太, 池田智法, 中澤美季, 石浦宏尚, 越智敦彦,

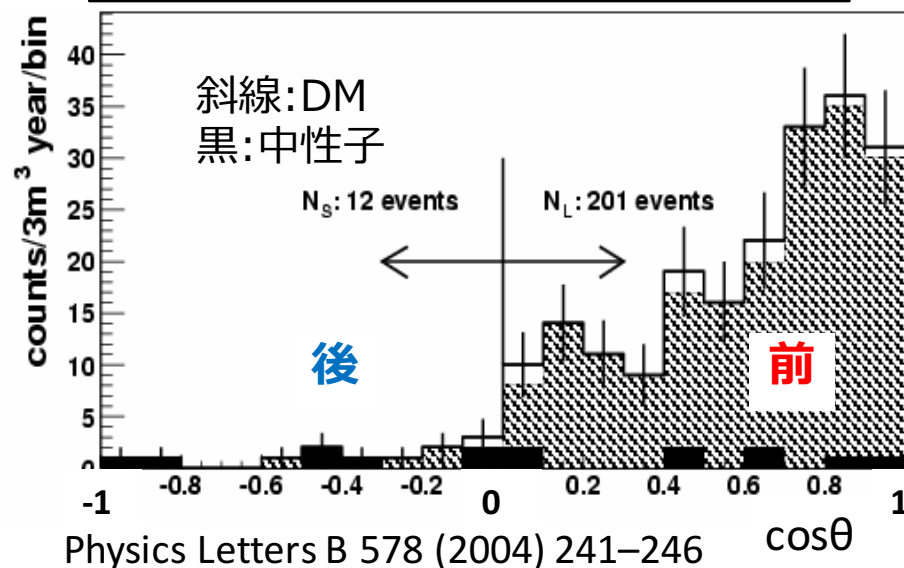
1. NEWAGE
2. バックグラウンドの理解・低減
3. 低アルファ μ -PIC実機性能評価
4. 表面 α 線量測定
5. まとめ

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

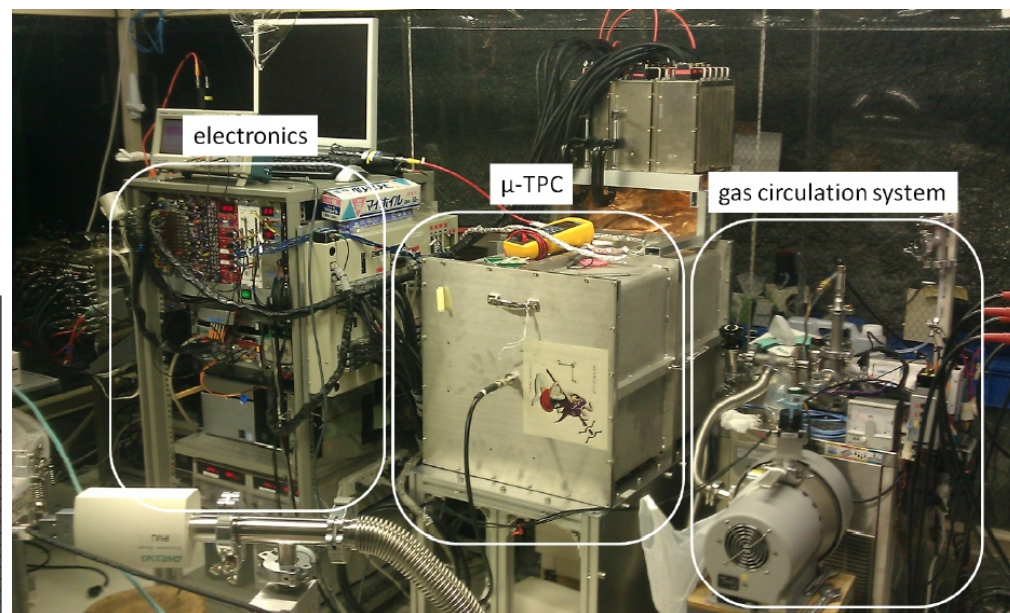
- 神戸大学主導の**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- 到来方向異方性の観測を目指す
- ガス検出器「マイクロTPC」を用いる



期待される到来方向異方性(数倍)



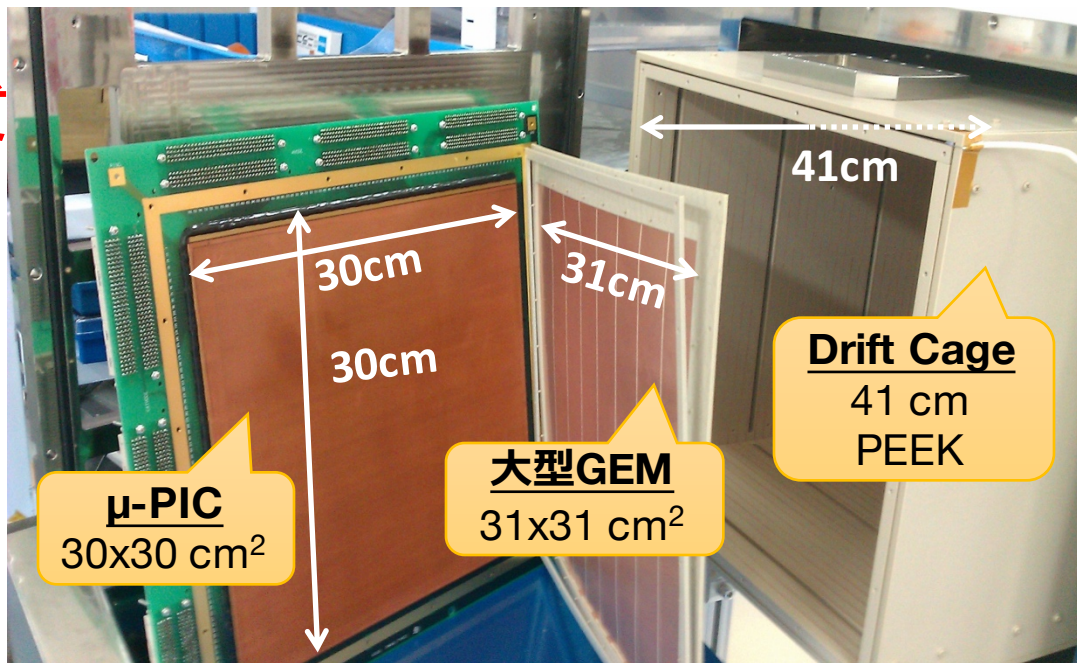
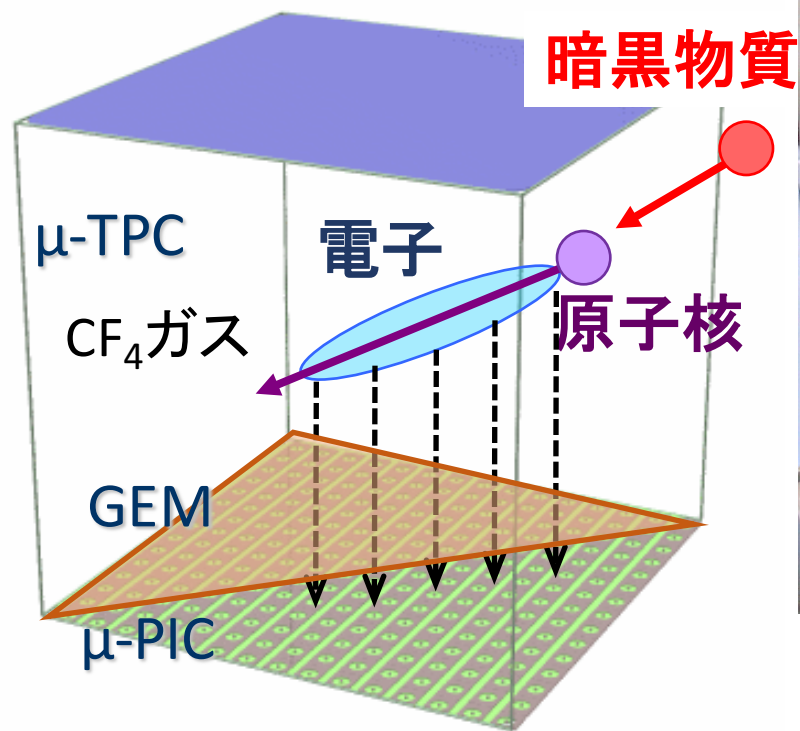
Physics Letters B 578 (2004) 241–246



NEWAGE検出器『NEWAGE-0.3b』@神岡地下実験施設

検出原理、検出器

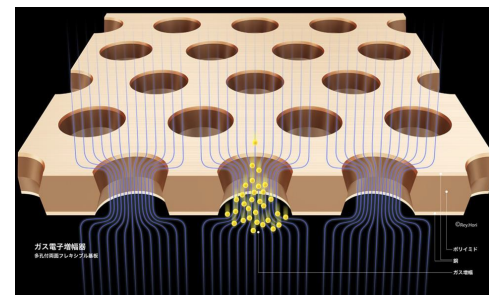
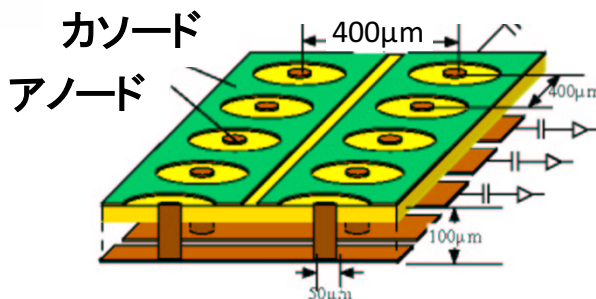
ガス検出器『マイクロTPC』



$\mu\text{-PIC}$: アノードピクセルの間隔400 μm (ガス利得 $\sim 10^3$)

GEM : 中間増幅器 (ガス利得 ~ 10)

- 検出領域
30×30×41 cm³
- ガス
 CF_4 (0.1気圧)

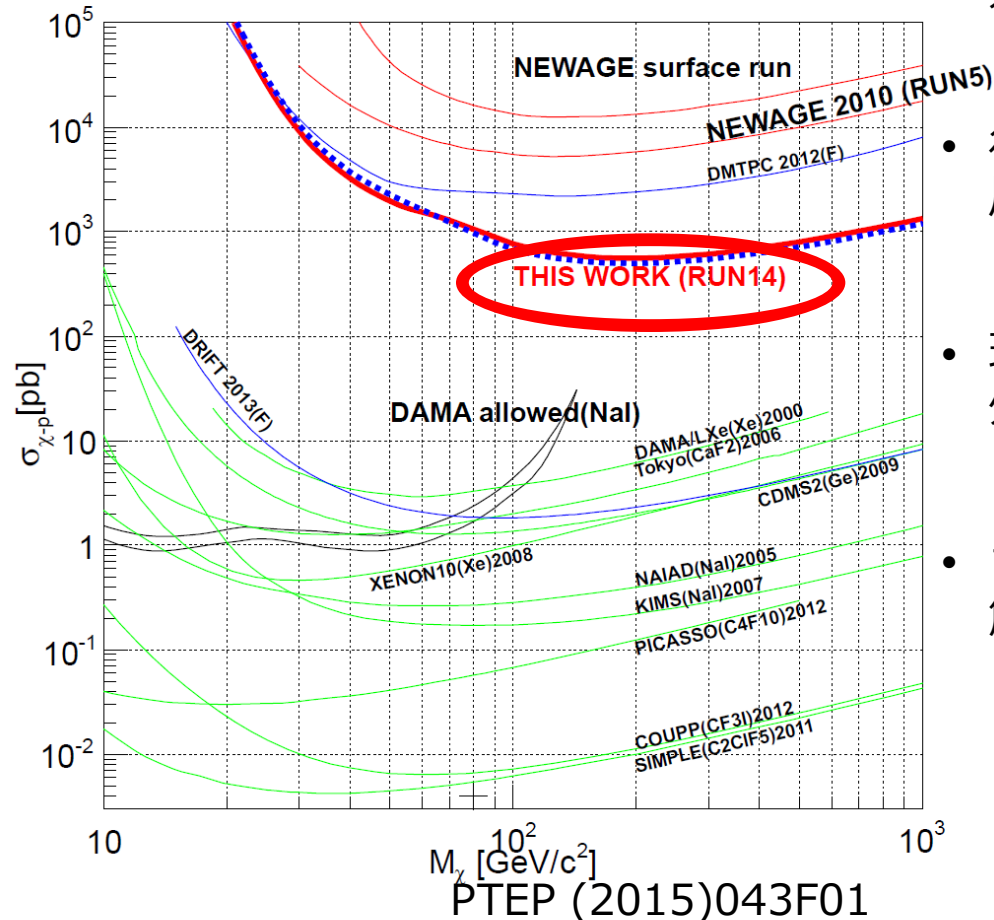


最新結果

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

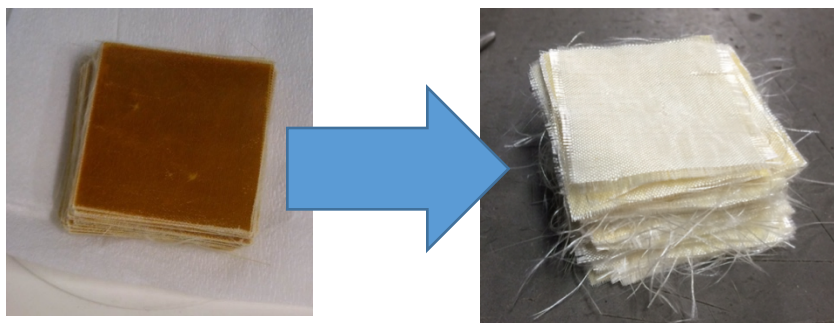


- 方向感度では世界最良 : **557pb@200GeV**
- 従来型の暗黒物質直接探索実験の感度には届いていない
- 現在の感度を制限しているのは暗黒物質以外のイベント(バックグラウンド:以下BG)
- さらに良い制限を更新するにはBGの理解・低減が重要

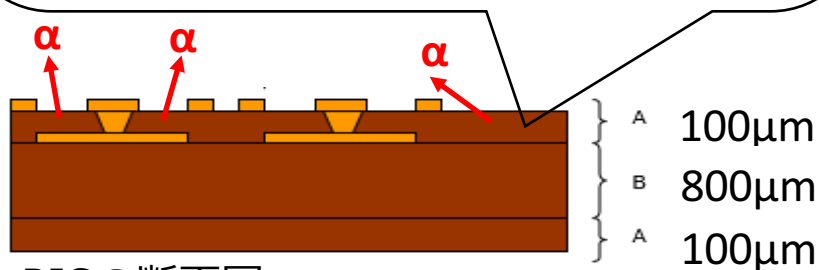
バックグラウンド(BG)の理解

- BGは μ -PIC補強材のガラス繊維に含まれる**U/Th系列由来の α 線**
 - HPGe検出器でTPC各部分のU/Th含有量を測定
 - PI100 μ m中のガラス繊維からU/Th由来のアルファ線をだすシミュレーション、RUN14の150-400keV部分を説明可能
- α 線は解析的に除去しづらい、BG源を根本的に取り除く必要あり

PI100 μ m部分のPIを溶解

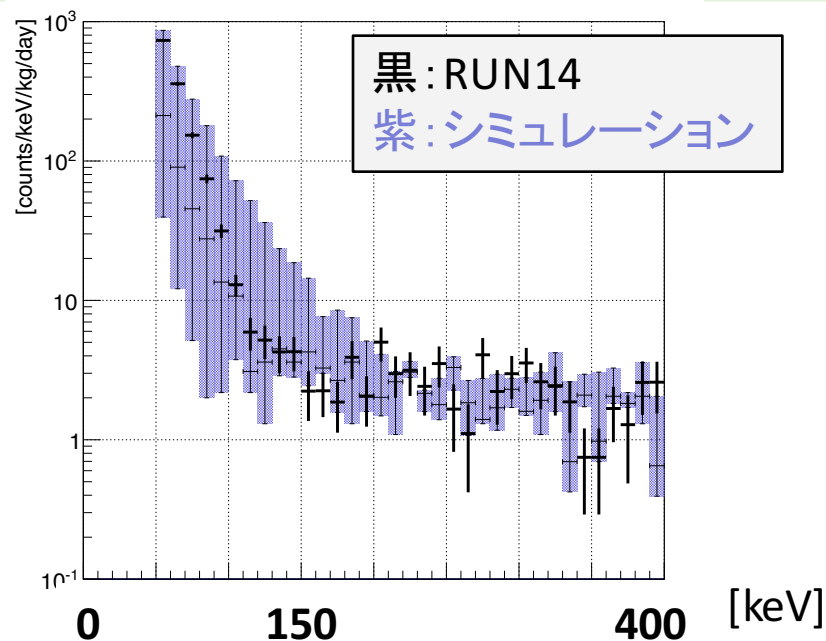


PI100 μ m1枚につきガラス繊維も1枚



μ -PICの断面図

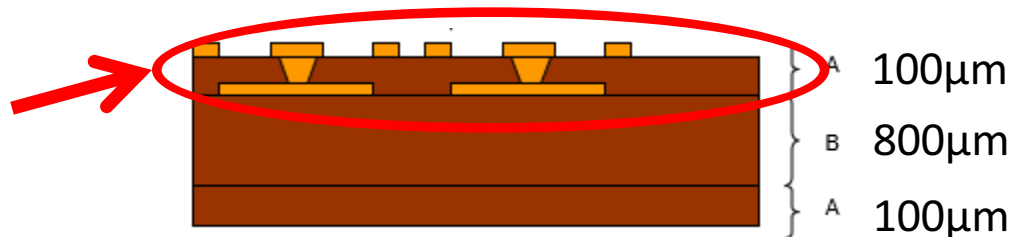
測定試料	^{238}U [$\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$] U系列	^{232}Th [$\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$] Th系列
PI 100 μm	68.5 ± 1.5	102.1 ± 2.3
ガラス繊維	64.5 ± 1.5	86.8 ± 1.1



Low α (LA) μ -PIC製作

- 感度向上にむけて、PI100 μ m部分を低アルファなものに取り替える
- 目標値：現行の1/100以下

Low α な素材に取り替える



新材料

測定試料	^{238}U [ppm]	^{232}Th [ppm]	備考
PI100 μ m	0.39 $\pm$ 0.01	1.81 $\pm$ 0.04	現行の μ -PIC材料
PI+エポキシ	< 2.98 $\times 10^{-3}$	< 6.77 $\times 10^{-3}$	新材料

- PI+エポキシは1/100を達成
- 10cm角のLow α μ -PIC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

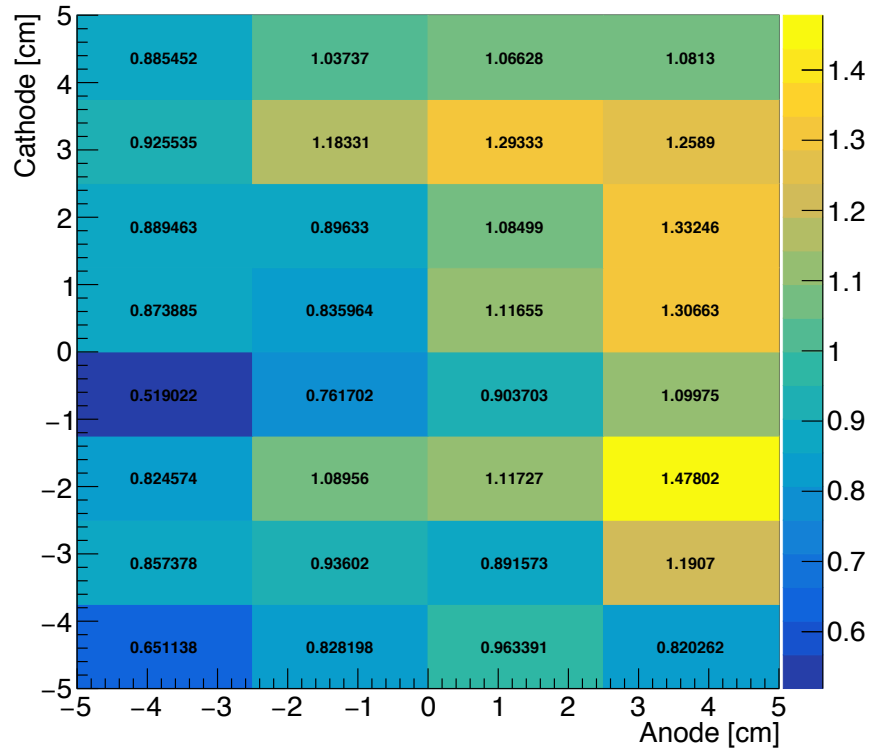
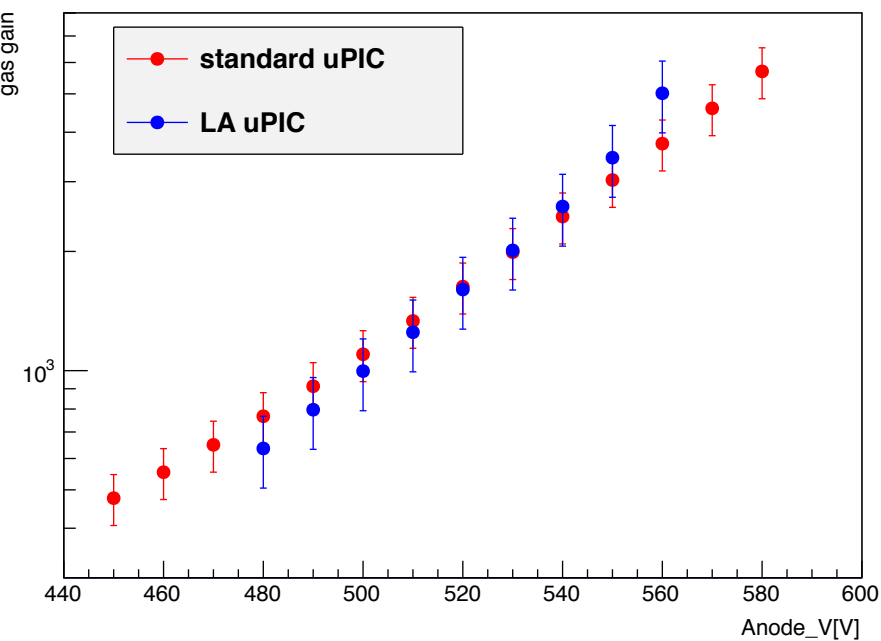
これまでの測定: 10cm角標準μ-PICとLow α μ-PIC試作機の比較

Condition

- Ar:C₂H₆ = 9:1, 1atm
- Drift V : -500 V
- Source : ⁵⁵Fe

Condition

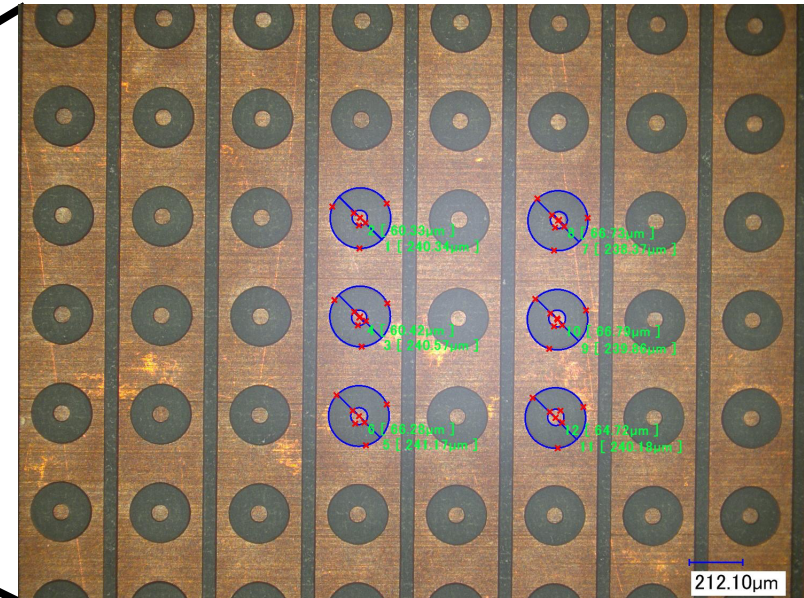
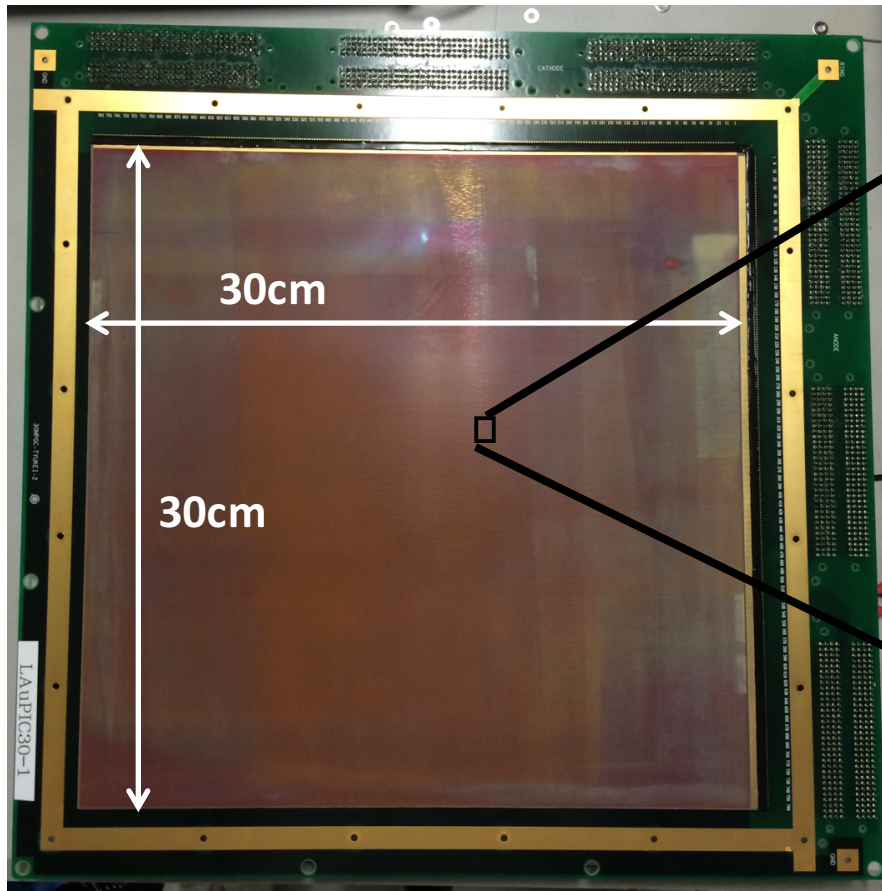
- Ar:C₂H₆ = 9:1, 1atm
- Drift V : -500 V
- Anode V : 560 V
- Source : ⁵⁵Fe



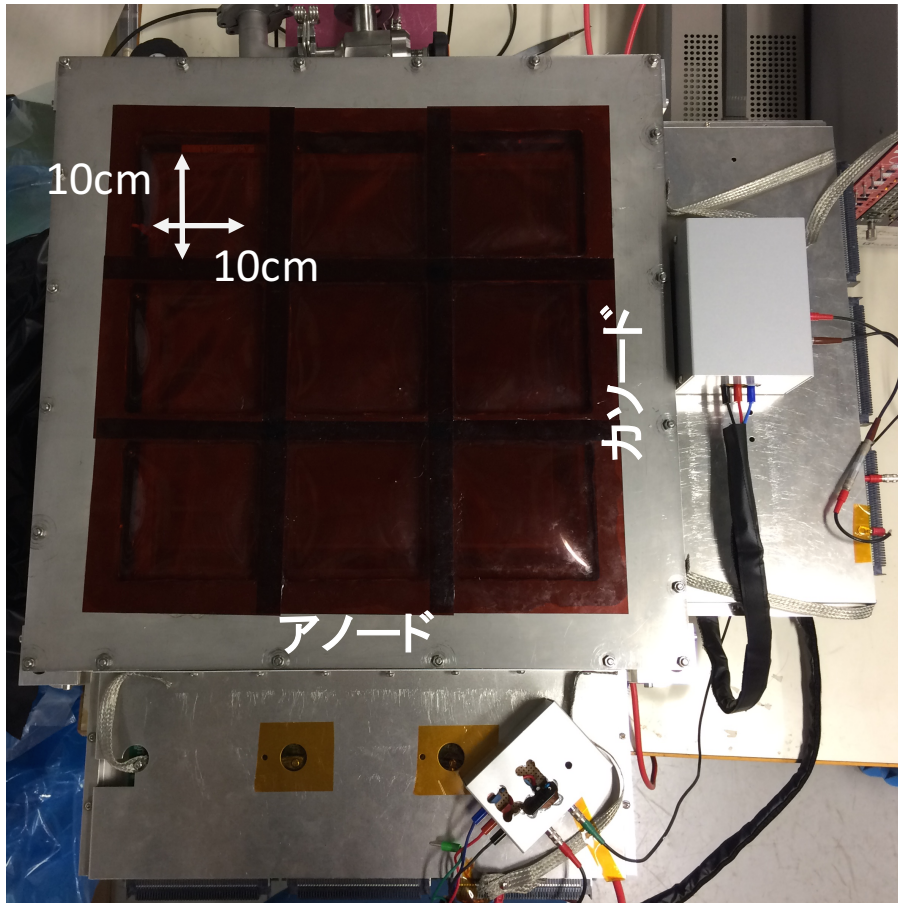
- MCAを用いてカソード信号の波高値を取得
- 標準μ-PICと比較して同程度のゲインを観測
- ゲインの位置依存性はRMSで20%
 - 標準μ-PICでは15%、同程度の位置依存性であることを確認

30cm角Low α μ -PIC実機

- 30cm角のLow α μ -PIC実機を製作
 - 基板実装も問題なし
- 大型化によるアノード電極の位置精度の悪化が懸念されたが、製造法の向上により位置精度が向上した
 - 検出器左上、右上、左下、右下、中央の5ヶ所で位置ズレを測定、**すべての部位でズレの大きさ 1 μ m以下**



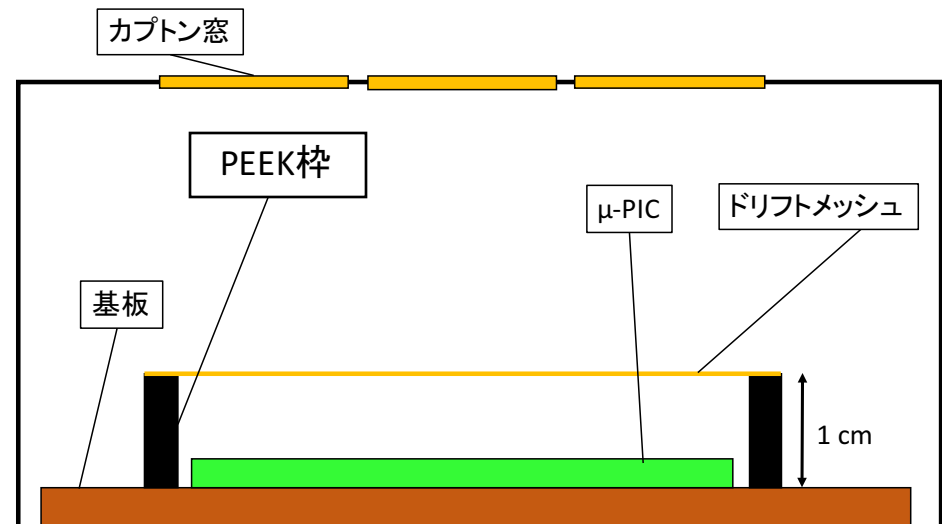
30cm角Low α μ -PIC実機試験



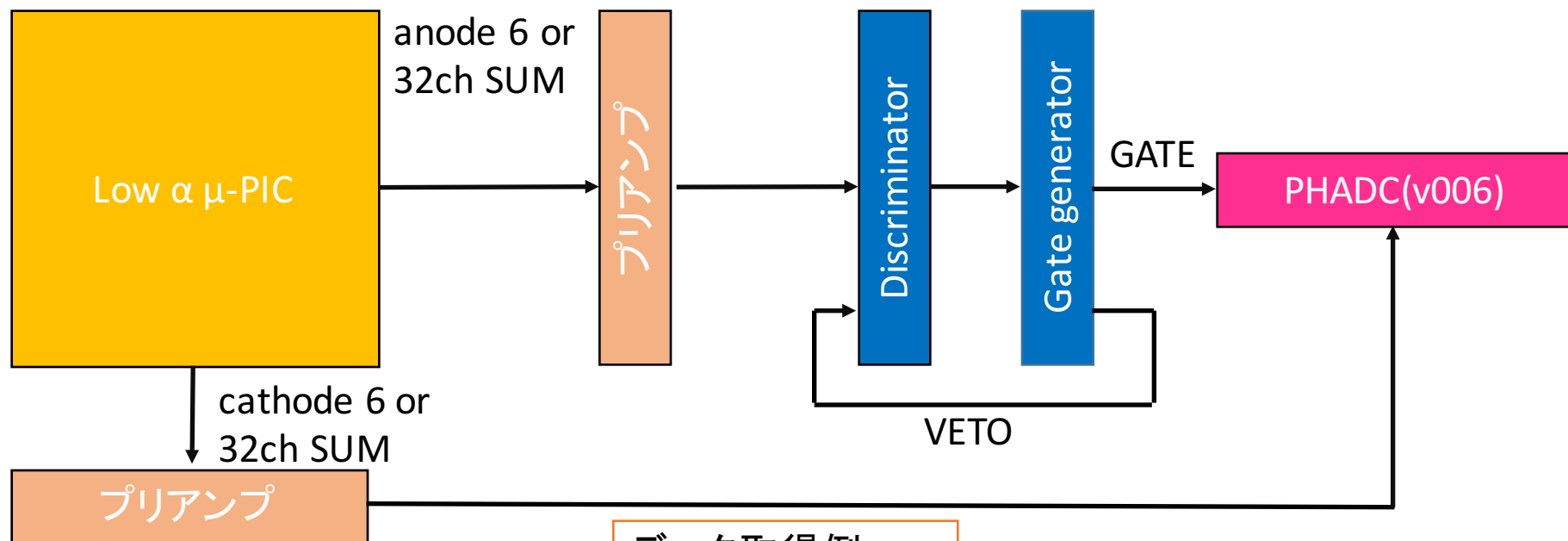
- 10cm角のカプトン窓 × 9
- Ar:C₂H₆をガスフローで試験
- アノードカソード両方から読み出し
 - アノード：プリアンプ(CS515-1):
 - 増幅率: - 0.7 V/pC
 - 立ち上がり時間: 7ns
 - 立ち下がり時間: 10 μ s
 - カソード：プリアンプ+シェーパー (CR110 + LF356N)
 - 増幅率: 8.8 V/pC
 - 立ち上がり時間: 2 μ s
 - 立ち下がり時間: 2 μ s

内容

- ゲインマップ/カーブの測定
- 10cm角Low α μ -PICとの比較



データ収集系



データ取得例
ガス: Ar:C₂H₆=9:1
線源: 55Fe
条件: Anode560V

- アノードの信号をトリガー
- カソードの信号の波高値をPHADCで記録
- ゲインカーブ測定時は6strip、ゲインマップ測定時は32stripまとめてデータ取得

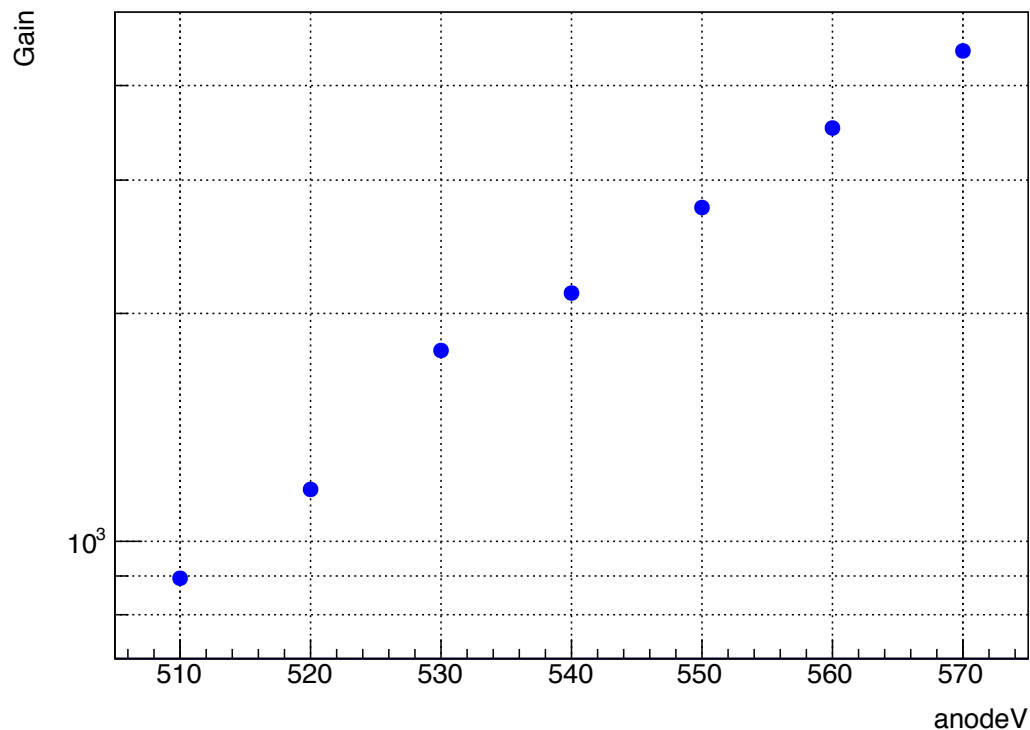
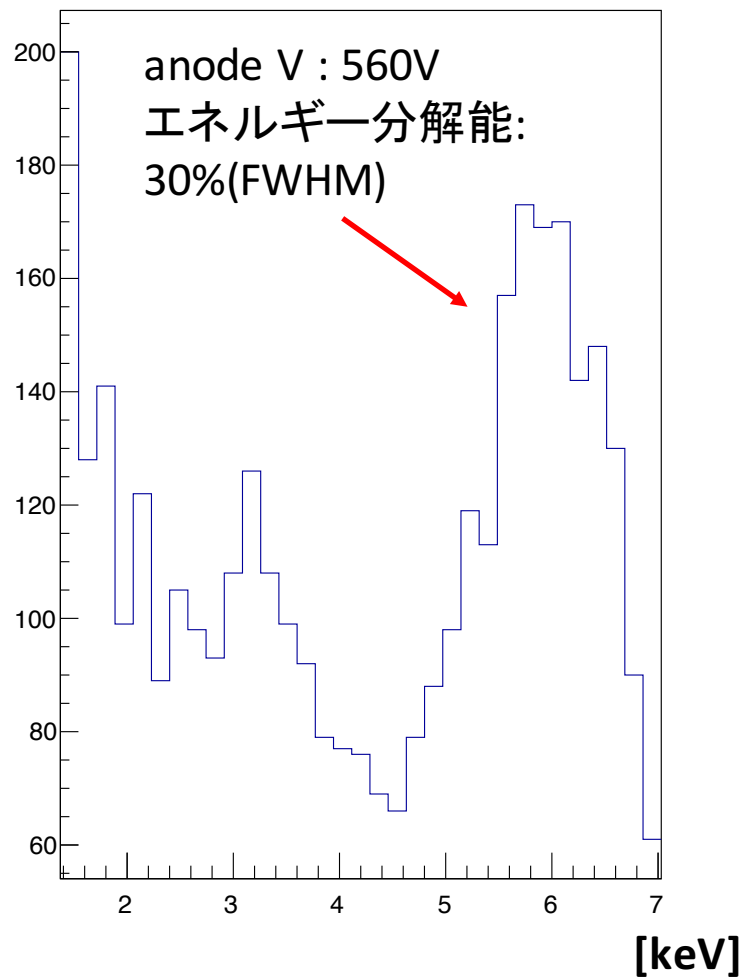


ゲインカーブ

- アノード6stripの信号をトリガー
- カソード6strip信号の波高値をPHADCで記録

Condition

- Ar:C₂H₆ = 9:1, 1atm
- Drift V : -500 V
- Source : ⁵⁵Fe



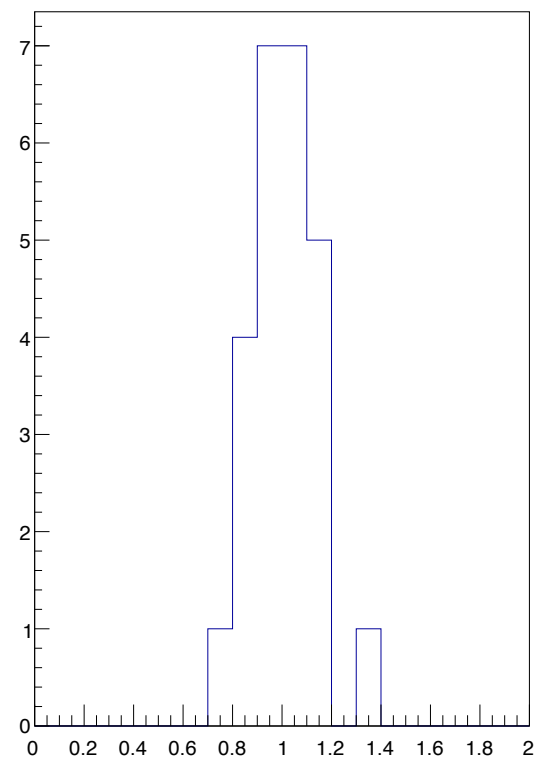
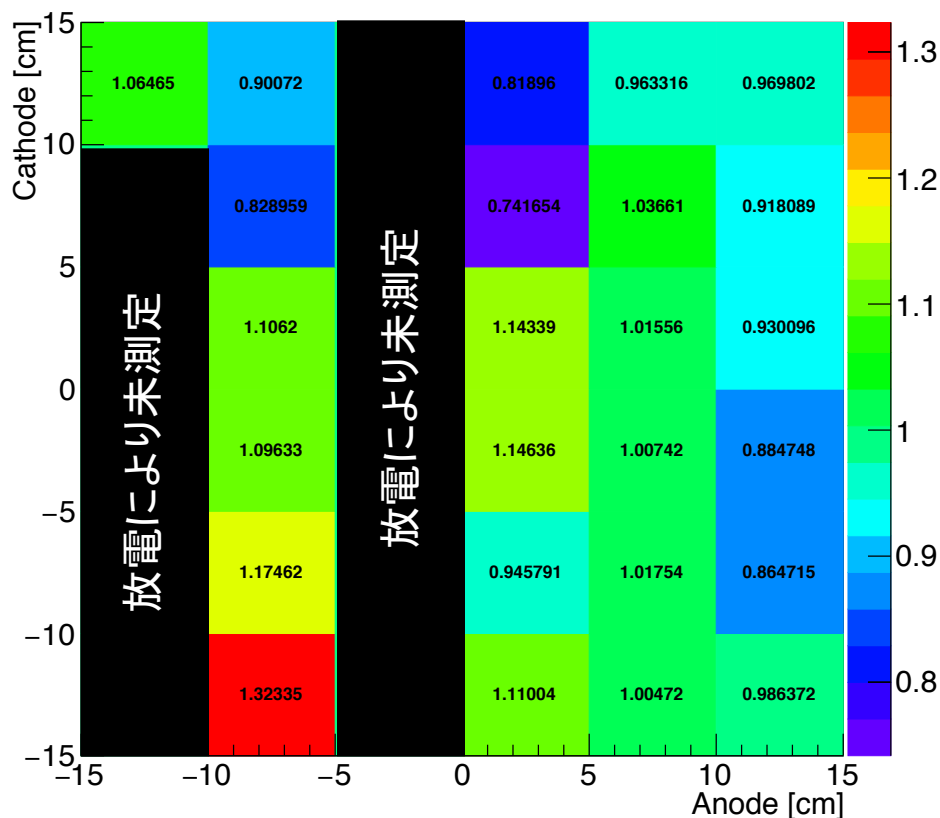
ゲインマップ

- 30cm角Low α μ -PICを6×6に分割(1ブロック:128 ch×128 ch)
- 代表値として1ブロック中の32 ch×32 chでのガスゲインを測定
- ガスゲインの位置依存性: RMSで0.12
 - 10cm角Low α μ -PICは0.20
 - ゲインの位置依存性は測定できた範囲内で同程度以上の結果を得た

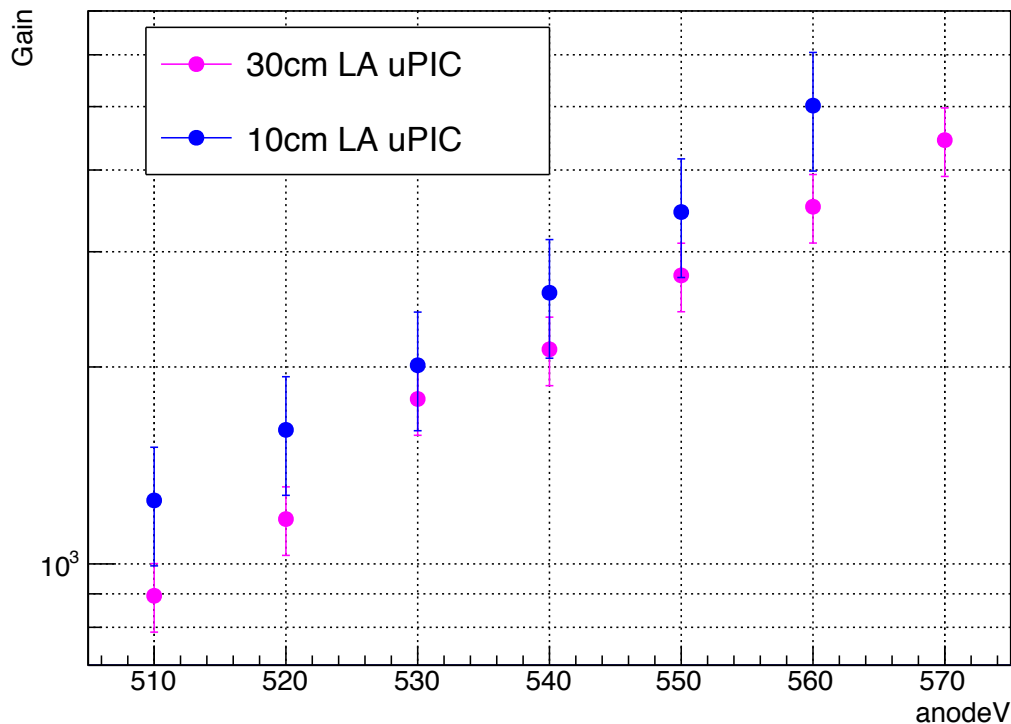
[補足]128ch = 5.12 cm

Condition

- Ar:C₂H₆ = 9:1, 1atm
- Drift V : -500 V
- Anode V : 560 V
- Source : ⁵⁵Fe



ゲインカーブ比較

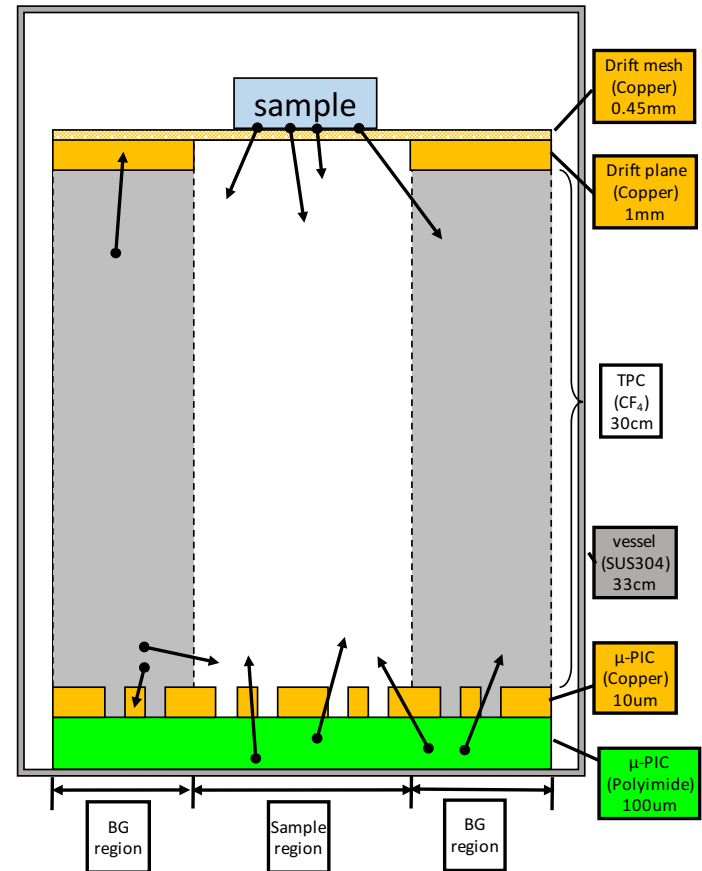
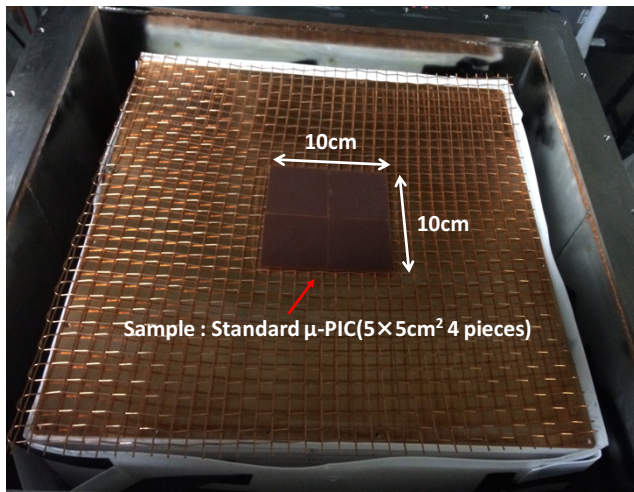
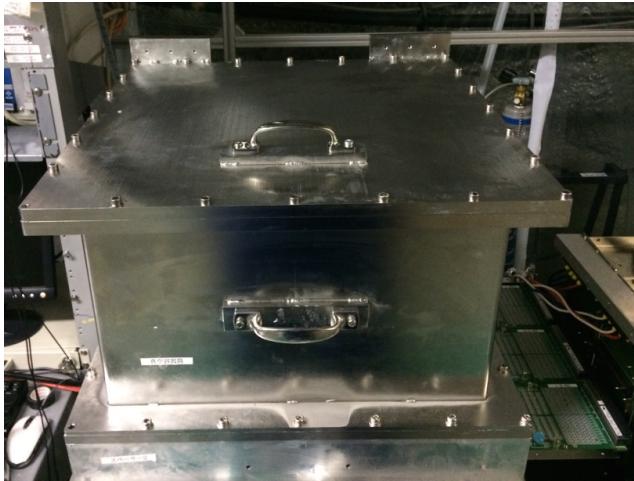


- 10cm角Low α μ -PIC試作機でのゲインカーブと比較
 - 読み出し時の電気容量を10cm角Low α μ -PIC(100pF $\times$ 32strip SUM)に近づけるため、30cm角Low α μ -PICの測定は6strip SUM(680pF $\times$ 6strip)で行った
 - ゲイン測定の上限值は放電、下限値はノイズで制限
- 10cm角Low α μ -PICと誤差の範囲で一致、同程度の性能を示すことができた
- 30cmの方が全体的に小さい原因は現在調査中
 - 読み出しの電気容量に比べて検出器容量が大きい可能性を示唆

表面 α 線量測定

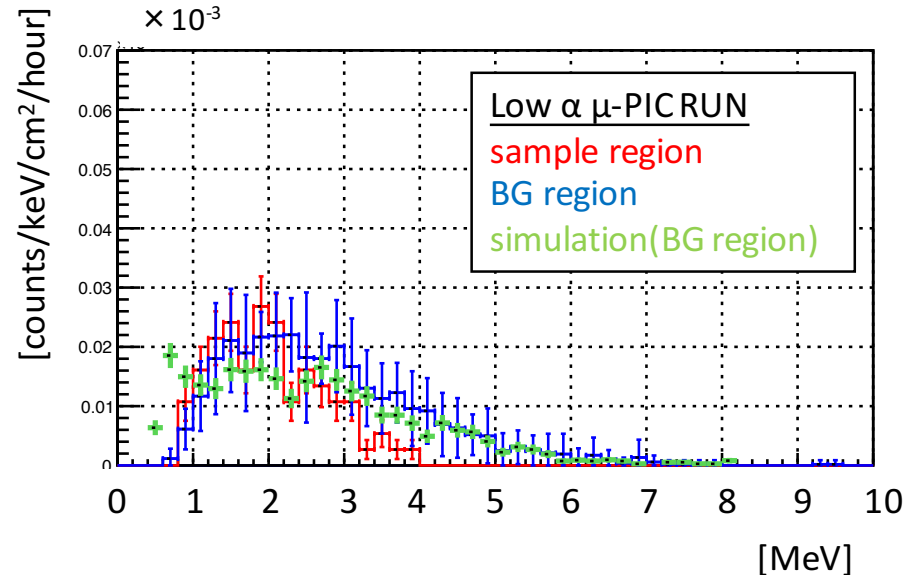
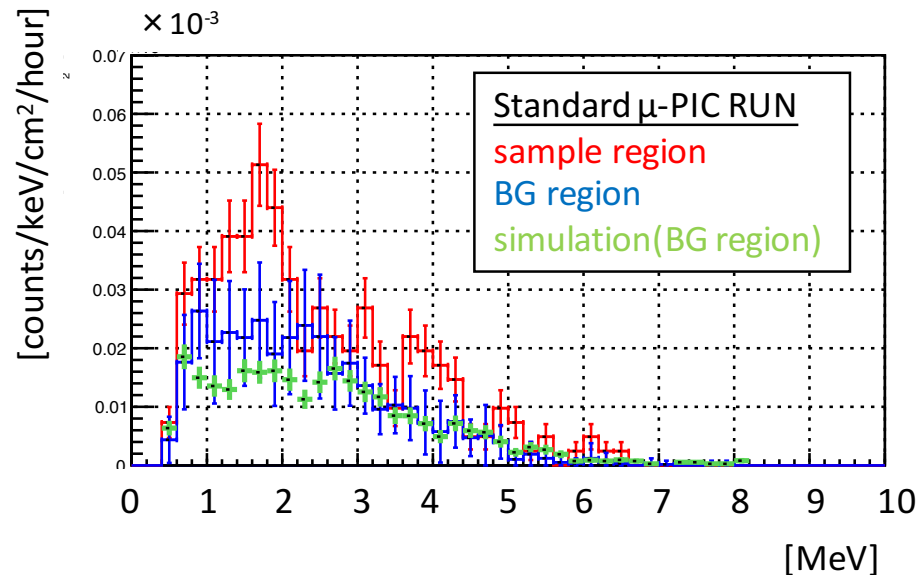
arXiv:1707.0974

@神岡



- ・ マイクロTPCを用いた表面 α 線検出器を立ち上げ、標準 μ -PICとLow α μ -PIC表面から出てくる α 線を測定
- ・ サンプル領域からバックグラウンド領域を引くことで表面 α 線量を算出

表面α線量測定結果



測定試料	表面α線量[α/cm ² /h]	備考
標準μ-PIC	0.28 ± 0.12	現行のμ-PIC
Low α μ-PIC	$< 7.55 \times 10^{-2}$	新材料を用いたμ-PIC

- 表面α線量の測定からもLow α 化していることを確認
- 表面α線検出器の感度を制限しているバックグラウンド源は読み出しで用いている標準μ-PIC
- Low α μ-PICに取り替えることで更なる高感度化を目指す

まとめ

- NEWAGEは方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験
- 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 α μ -PICを製作
- 30cm角 Low α μ -PICの性能評価、10cm角Low α μ -PICと比較
 - ガスゲインの印加電圧依存性：10cm角Low α μ -PICと同程度の性能
 - ガスゲインの位置依存性：現状の測定では10cm角Low α μ -PICと同程度以上の性能
- μ -PICの表面 α 線の測定
 - Low α μ -PICの表面 α 線量が減少していることを確認
- 今後
 - μ -PIC + GEMシステムで暗黒物質探索条件下(CF₄ 0.1気圧)での性能評価
 - 現行 μ -PICを30cm角Low α μ -PIC実機に取り替えて暗黒物質探索(10月中開始予定)