

第一部

方向に感度を持つ暗黒物質探索実験の内部BG低減を目指した低BG μ -PIC開発

神戸大理

石浦宏尚 → 身内賢太郎

2021年12月17日

MPGD&Active媒質TPC 2021研究会

第二部

rubis : ラズベリーパイを用いたスローモニタ開発

身内賢太郎 for 水越慧太

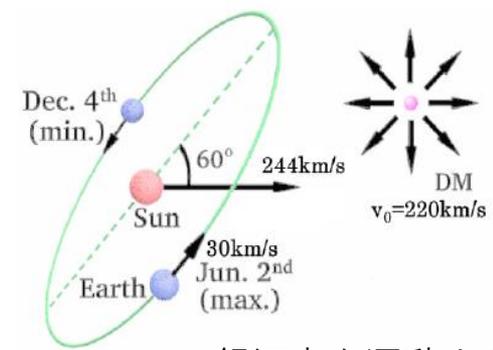
方向感度による暗黒物質探索

➤ 暗黒物質

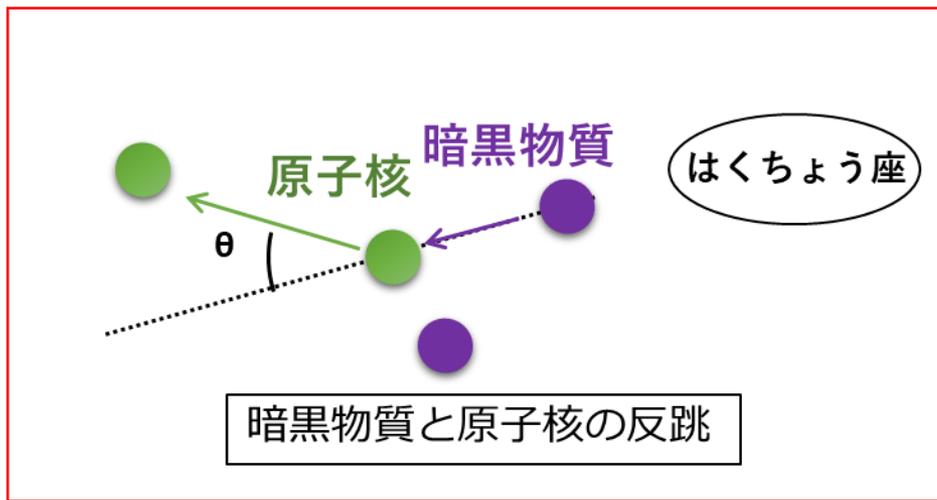
- 観測的証拠 → 存在すると考えられているが未発見
- **直接**・間接・加速器による探索が行われている

➤ **方向感度**を用いた暗黒物質探索手法

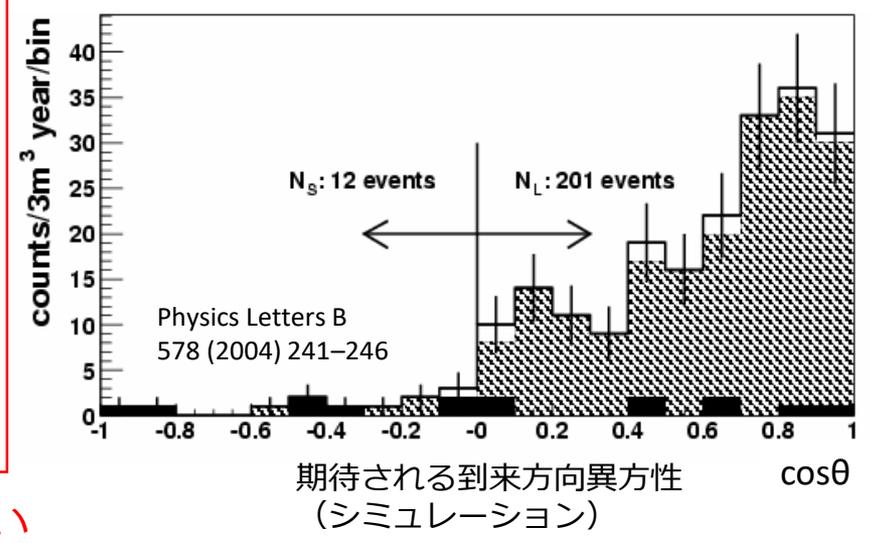
- 太陽系の運動による暗黒物質の「風」をとらえる
- 暗黒物質**到来方向異方性**が**確実な証拠**として期待



銀河中を運動する太陽系のモデル



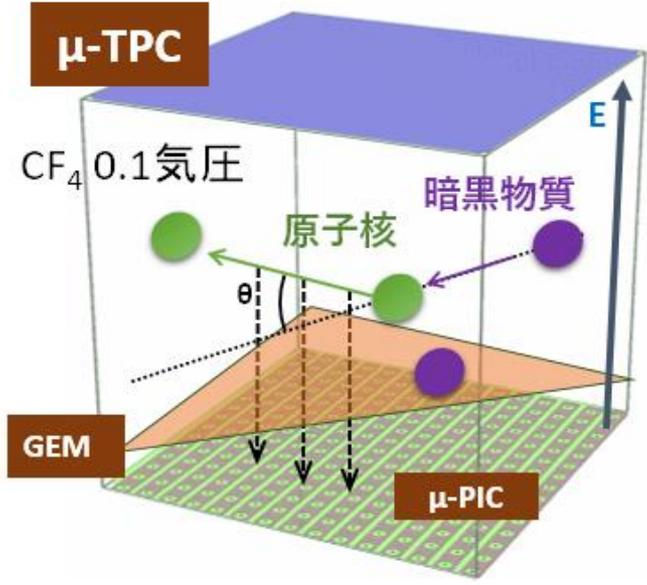
これを捉えて、到来方向を見たい



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

- 方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験
- 暗黒物質により原子核反跳されたフッ素原子核の飛跡をガスTPCでとらえる

3次元ガス飛跡検出器μ-TPC

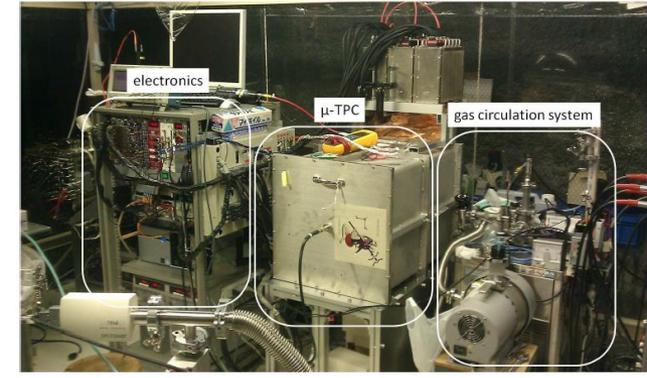


低圧ガス
→ 飛跡長

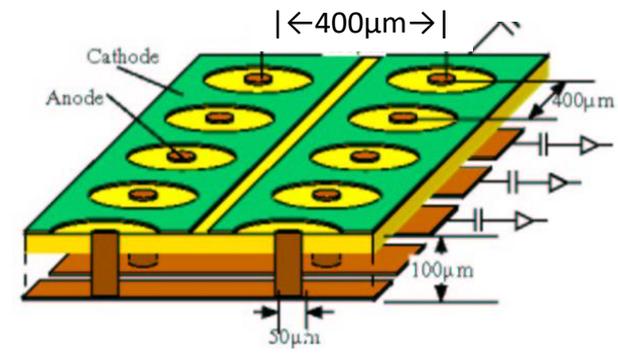
GEM : 前段増幅器

μ-PIC : 400μmピッチ 2次元イメージガス検出器

THIS TALK : μ-PICの低BG (低放射能) 化



0.3b''検出器
神岡地下施設Lab-Bで測定中



μ-PIC模式図

NEWAGE 現状と今後

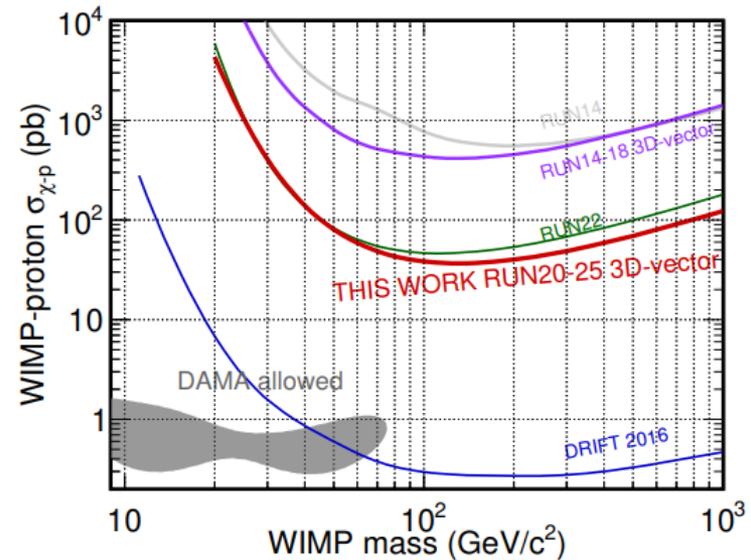
これまで

- 飛跡前後判定解析(RUN14-18) PTEP 2020 113F01
- 検出器の低アルファ線化(RUN22) PTEP 2021 063F01
- 解析改善・高統計(RUN20-25)
 - 2017年12月 - 2020年3月 318日分データ

→ 方向に感度を持つ実験として世界最高感度

NEWAGE現在の感度

島田拓弥 修士論文 神戸大学 2021年2月



残存バックグラウンドとして

- 外部由来
 - 環境 γ 線
 - 環境中性子
- 内部由来
 - ^{222}Rn , ^{220}Rn
 - μ -PIC表面 BG



外部:

- シールドによる低減 (中山 講演)

内部

- 低BG検出器開発(本講演)

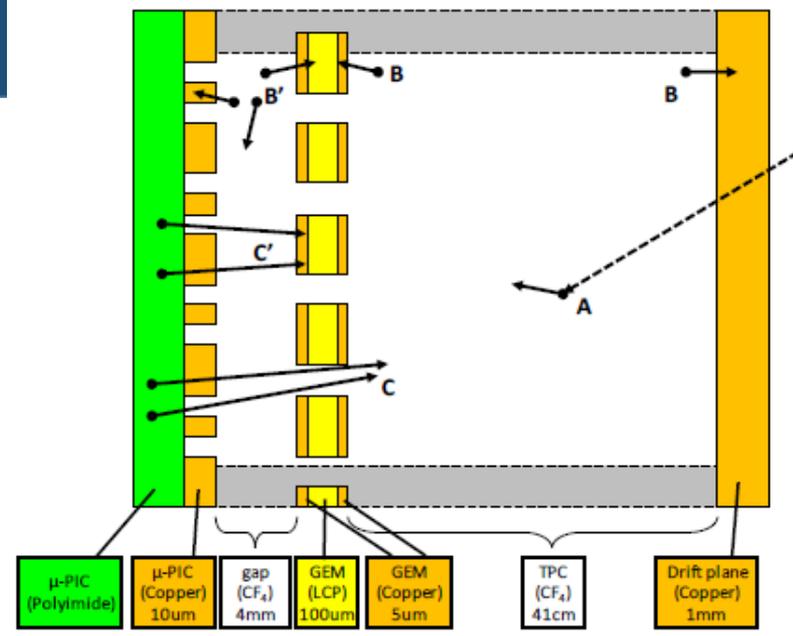
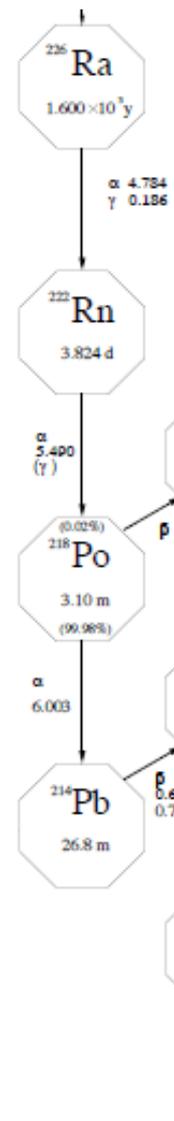
NEWAGE BG

外部由来

- A: 環境ガンマ線
中性子など

内部由来

- B: ガス中ラドン由来BG
- C: 検出器表面 α BG

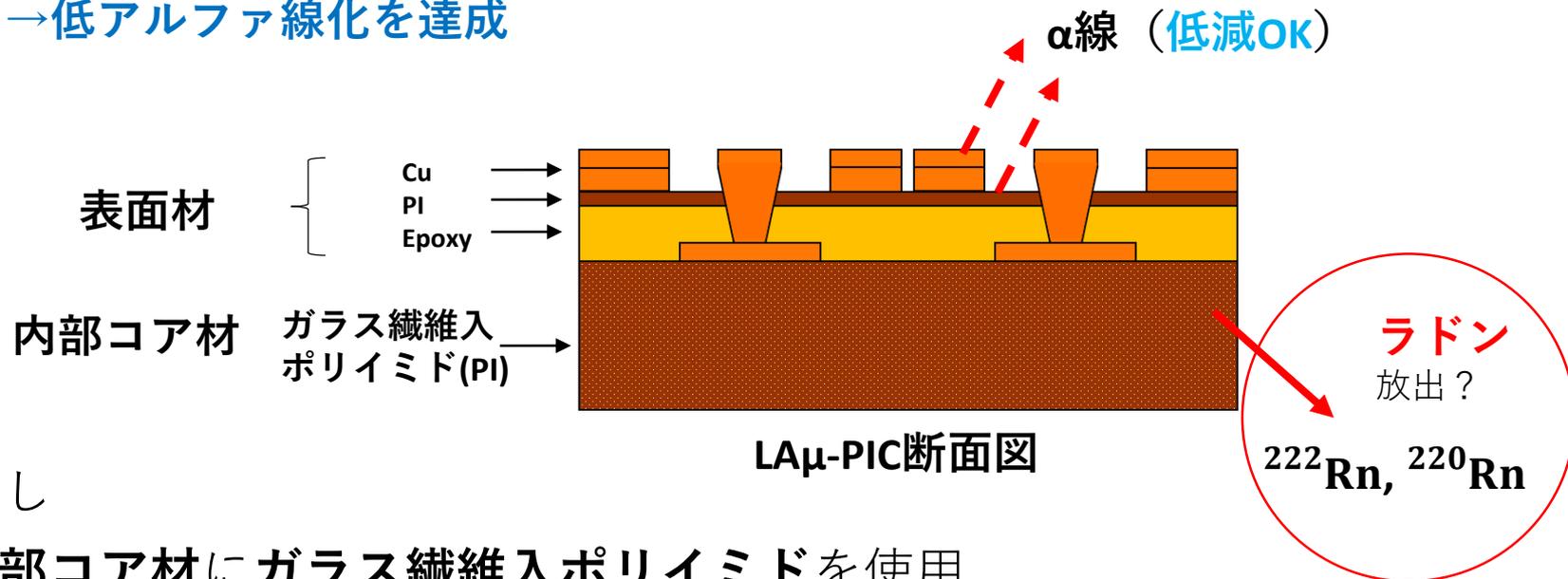


NEWAGE 検出器由来BG

検出器: NIM A 977 (2020) 164285,
暗黒物質探索:PTEP 2021 063F01

現行検出器: **Low- α μ -PIC(LA μ -PIC)**

- 従来 表面材に使われていたガラス繊維を含む材料を含まないものにした検出器
→低アルファ線化を達成



ただし

- 内部コア材にガラス繊維入ポリイミドを使用

- U/Th 系列 ^{222}Rn , ^{220}Rn 放出→恒常的なガス中BGに

- ^{222}Rn 子孫核種 ^{218}Po 以降が検出器表面埋め込み→検出器表面から出る α 線に

→Next : 内部コア材低BG化へ

表面 α 線だけでなくラドン放出量も減らす

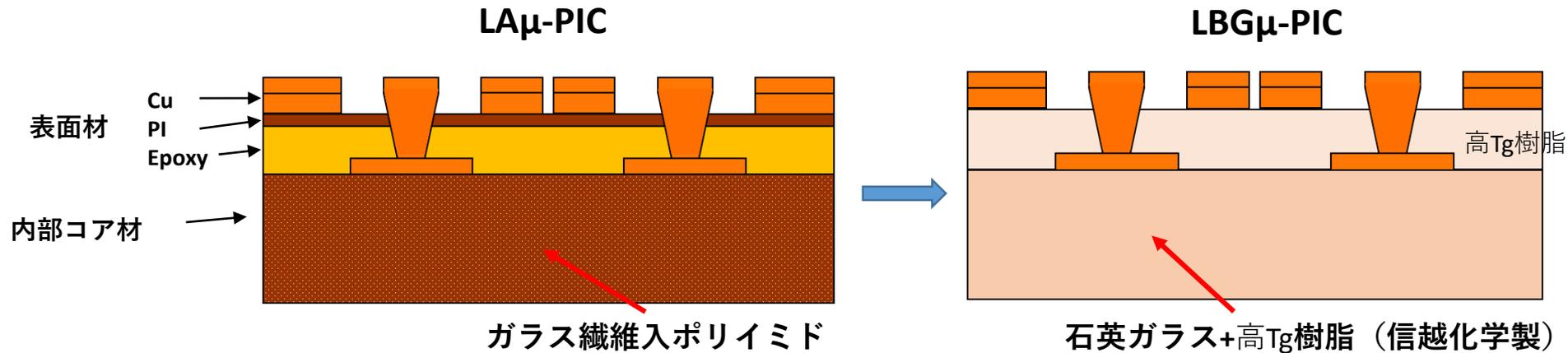
Low Background μ -PIC (LBG μ -PIC)開発

Low Background μ -PIC(LBG μ -PIC)開発へ

新規にLBG μ -PIC を開発、製作(DNP製)

内部コア材も放射性不純物の少ないものに

- ガラス繊維入ポリイミド→石英ガラス+樹脂(信越化学製)へ
- ラドンBGを低減、保管時の ^{218}Po 以降埋め込み由来表面 α も低減



HPGe 測定結果	^{238}U middle(ppm)	^{232}Th (ppm)
LA μ -PIC 内部コア材(従来) ガラス繊維入ポリイミド	$(7.8 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	3.42 ± 0.03
LBG μ -PIC 内部コア材(今回) 石英ガラス+高Tg樹脂	$(5.1 \pm 1.0) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^{-2}$
LAμPIC/LBGμPIC 削減比 (今回) / (従来)	1/150	1/300

→材料ベースで**1/100**以下を達成 BG低減が期待

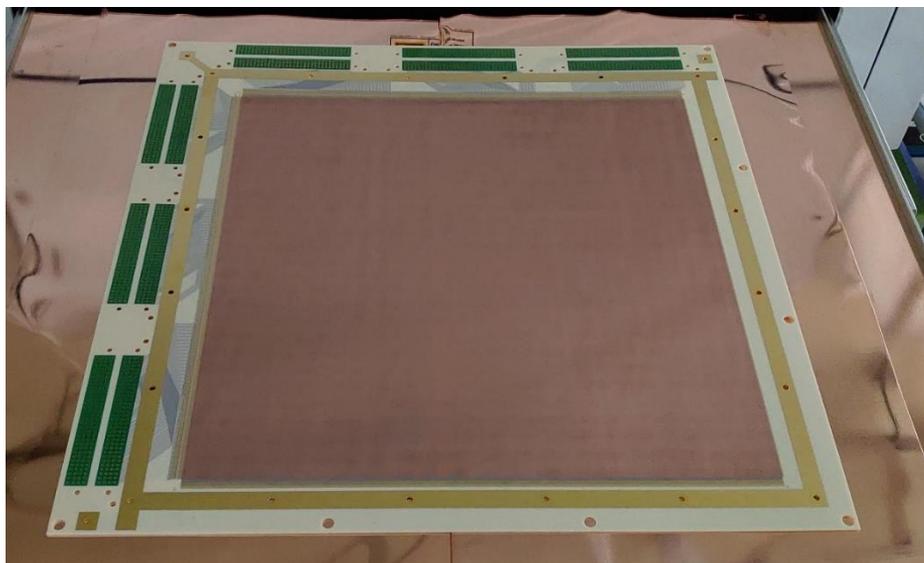
LBG μ -PIC 製作

- 検出器と読み出し部を一体化して製作
 - ワイヤーボンディング、接着等不要に
- ソルダレジスト(SR)→コネクタ周りのみに使用 使用量 1/15に
 - ^{222}Rn , ^{220}Rn 放出源に→将来的には不使用を視野に

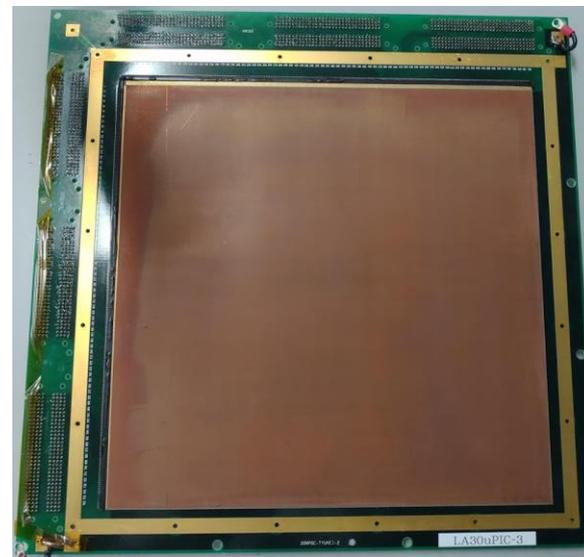
(参考)

HPGe 測定結果	238U middle (ppm)	238U upper(ppm)	232Th(ppm)
ソルダレジスト(SR)	$(3.9 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$< 2.3 \times 10^{-3}$	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$

- 30cm角 LBG μ -PIC 製作(開発期間:2018~2020年) (DNP製)



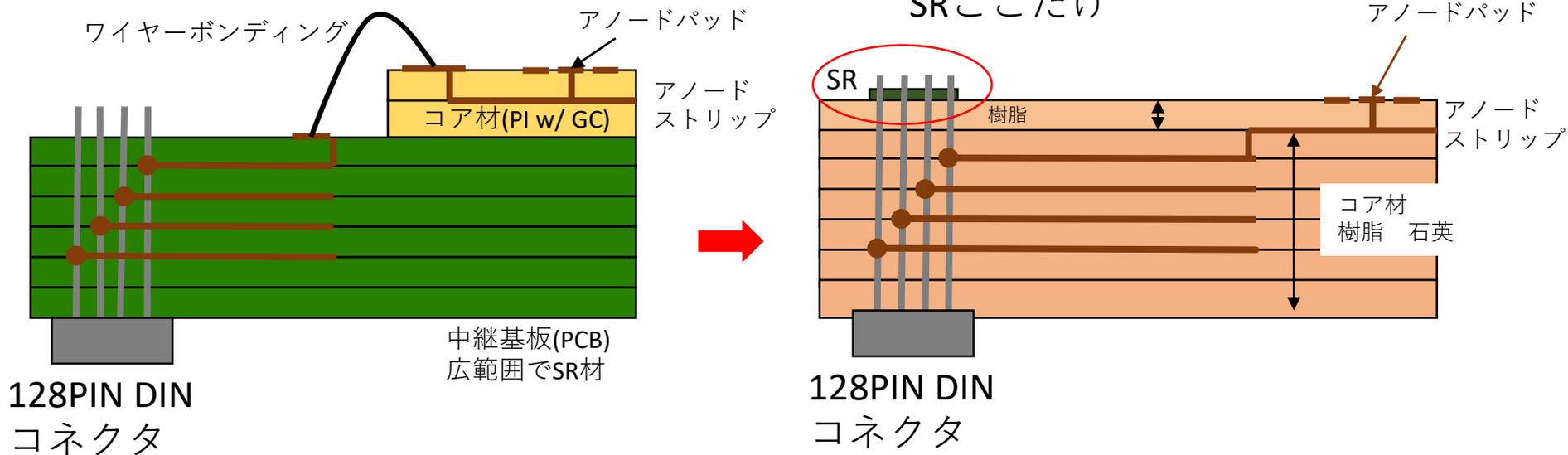
今回製作したLBG μ -PIC



(参考) LA μ -PIC

一体化基板への変更

▶ 断面図



LAμ-PIC 基板断面図 (従来)

LBGμ-PIC 基板断面図 (今回製作)

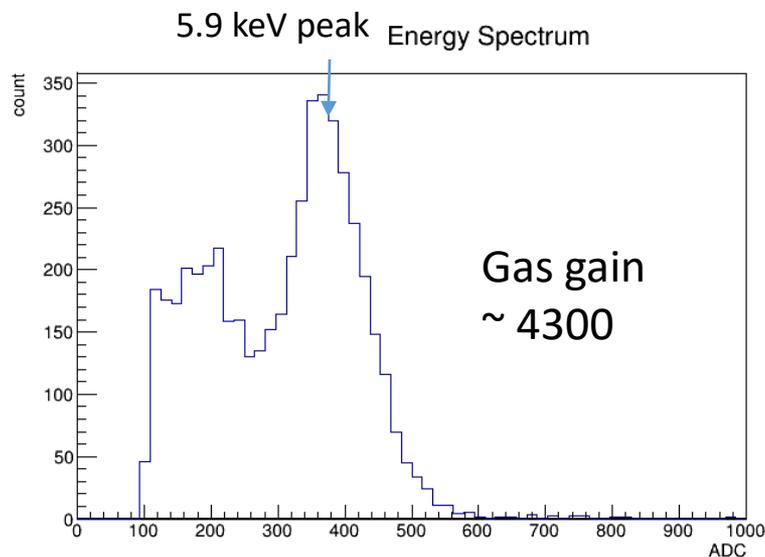
- 一体化することでワイヤーボンディングなどを不必要に
- SR材 (ソルダーレジスト) についても使用量減
 - 将来的に不使用を検討

- 検出器からのラドン放出量測定
 - 1/10 以下の削減を確認
- 表面 α 測定
 - 素材と製作品で同程度 → 製造時混入なし
- 検出器としての動作確認

新規製作したLBG μ -PICの動作試験 & 性能評価を行った

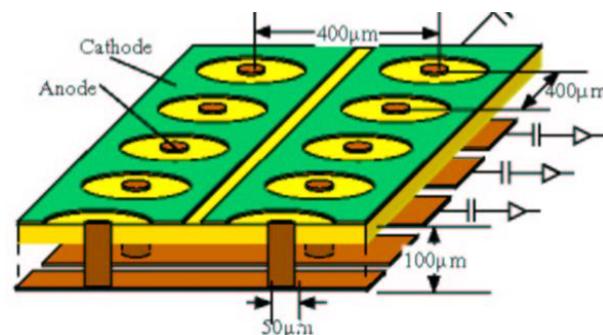
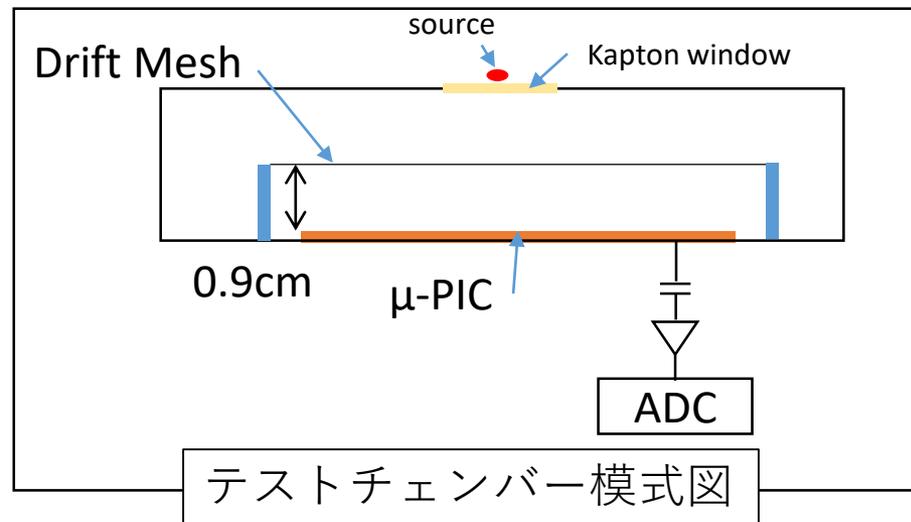
➤ テストチェンバーセットアップ

- Ar+C₂H₆ (9:1) 1atm
- ドリフト電場 0.5 kV/cm
- 線源 ⁵⁵Fe 5.9 keV X線
- アノード 520V 印加



5.9 keV X線由来の信号確認

& エネルギースペクトル取得OK



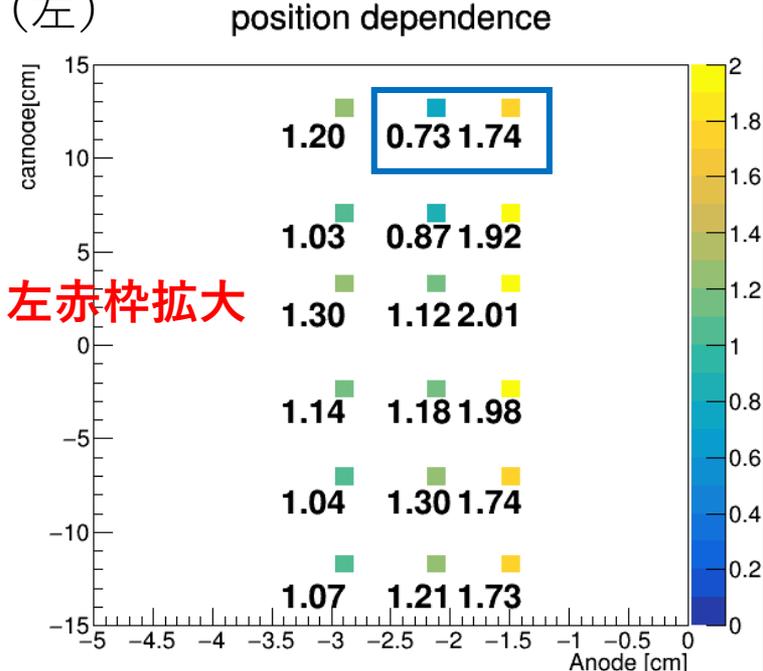
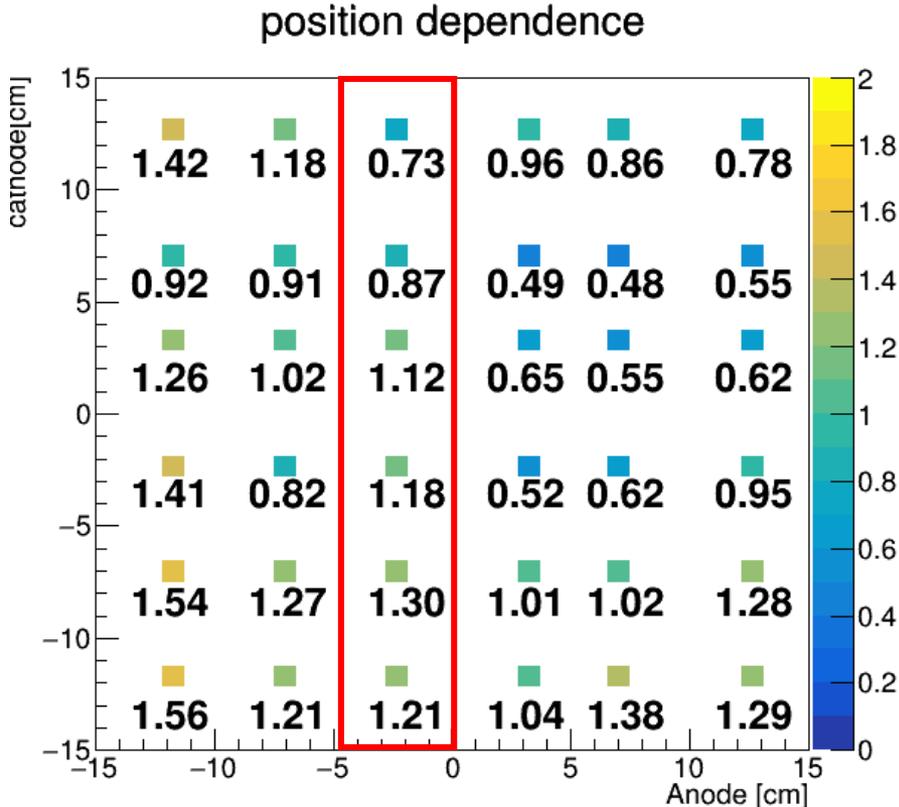
6strip を SUMして測定
カソードをトリガにして
アノードでガスゲイン測定

→動作 OK ガスゲイン位置依存などについて評価

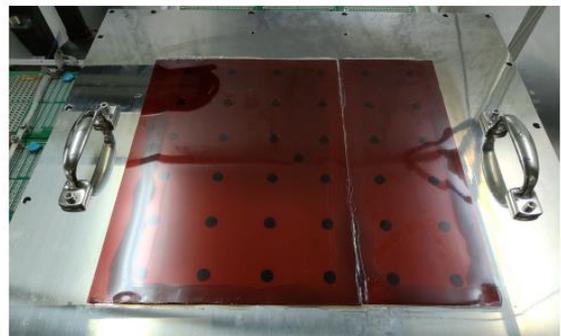
ガスゲイン位置依存性測定

- 位置依存を測定 (1-➔平均)
 - 全体的なサンプリング➔位置依存が見られた (左)
 - ところが狭い範囲でも位置依存性 (右上)

➔顕微鏡観察による調査へ (右上、青枠)



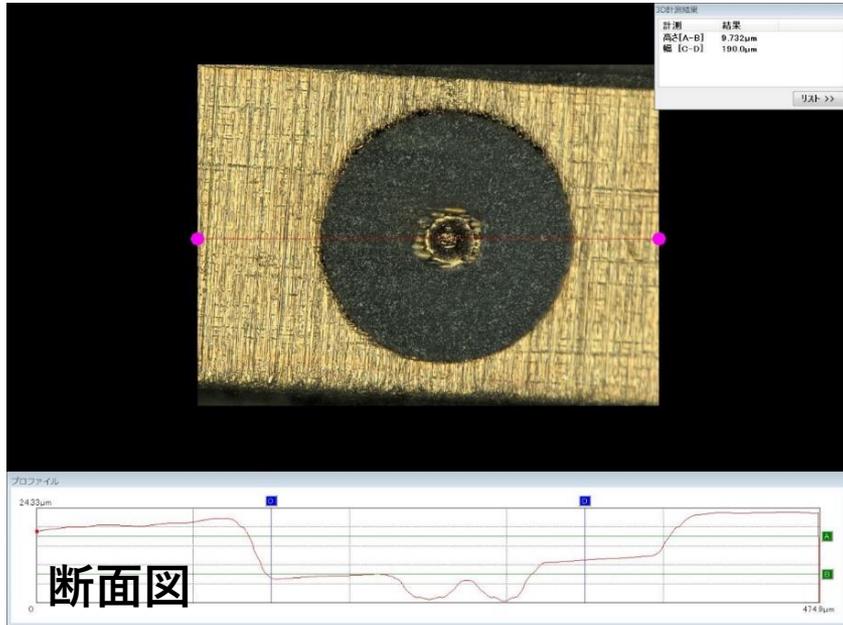
左赤枠拡大



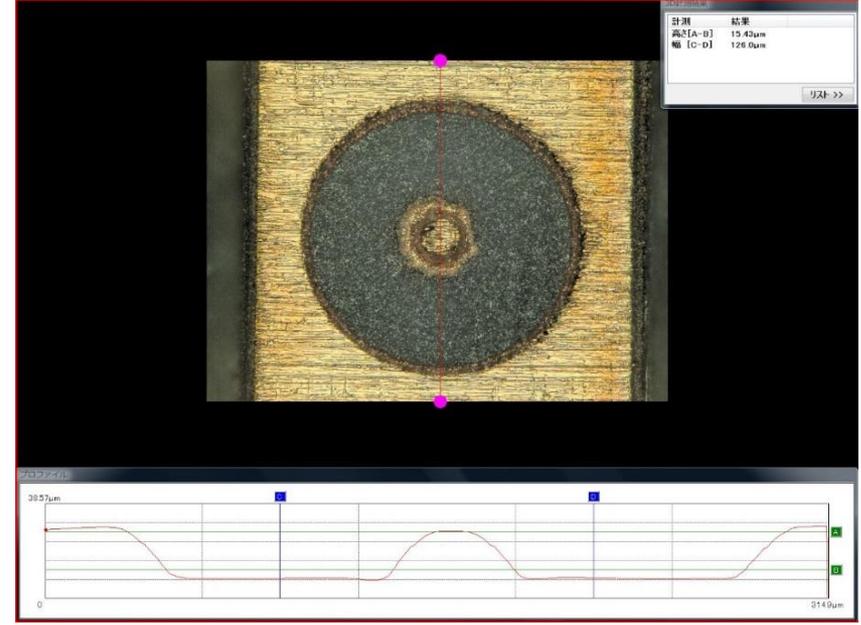
36+1箇所の穴
位置依存測定用セットアップ **13**

検出器電極の形成不良

▶ ゲインの低い/高い箇所を顕微鏡で観察→アノード形状の違いが見られた



前ページ右上図
0.73に対応する箇所



前ページ右上図
1.74に対応する箇所

- ▶ これによりガスゲインが小さい&局所的なばらつきが生じたと考えられる
 - ▶ DNPとやりとり中。アノードのエッチング時の不良? →現在調査中
- ▶ ゲインが高い所=LAuPICと同程度 と

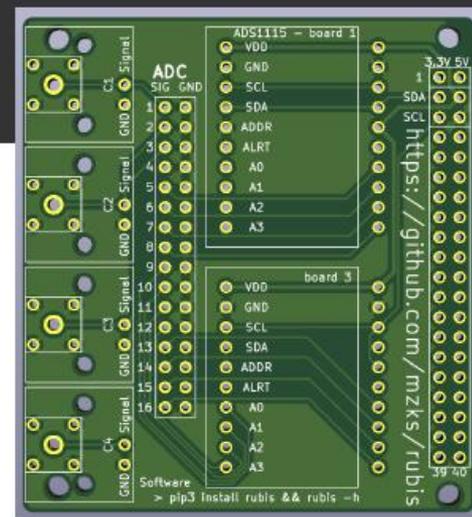
➤ まとめ

- 暗黒物質直接探索実験NEWAGE→検出器の低BG化を推進
- 従来検出器より材料の放射性不純物 1/100以下の
"LBG μ -PIC"を開発製作

- 材料や構造を大きく変更：無事動作した。
 - 一部電極形成不良
 - 来年度実機製作に向けて議論開始

rubis board

- Raspberry Piに載るPCB boardを開発
- ADS1115 (4ch, **16bits Range 5V**)を最大4枚搭載できる → 16 chのモニター
- 1--4 chは特別に lemo, BNC, SMAのコネクタ 接続可能
- 価格
 - PCB (50円/1枚)
 - ADS1115 (2000円/1個) * 1--4
 - ラズパイ (1B以降, Zero対応)
- 3050円 (4ch, raspberry Pi zero) から 15050円 (16ch, Pi 4B) ができる

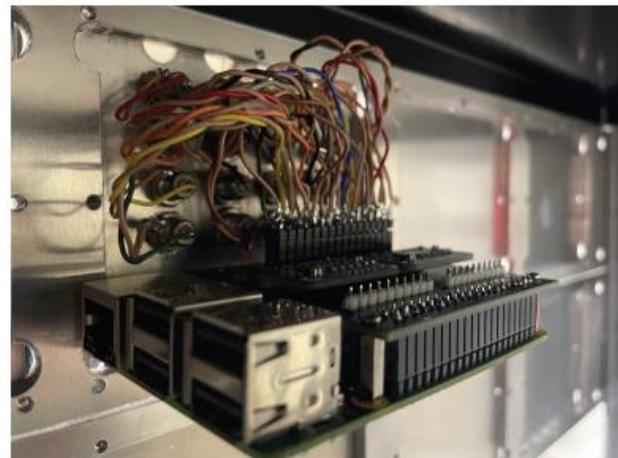
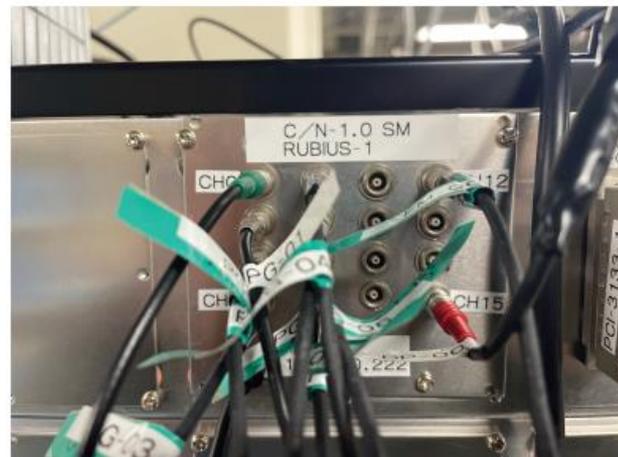
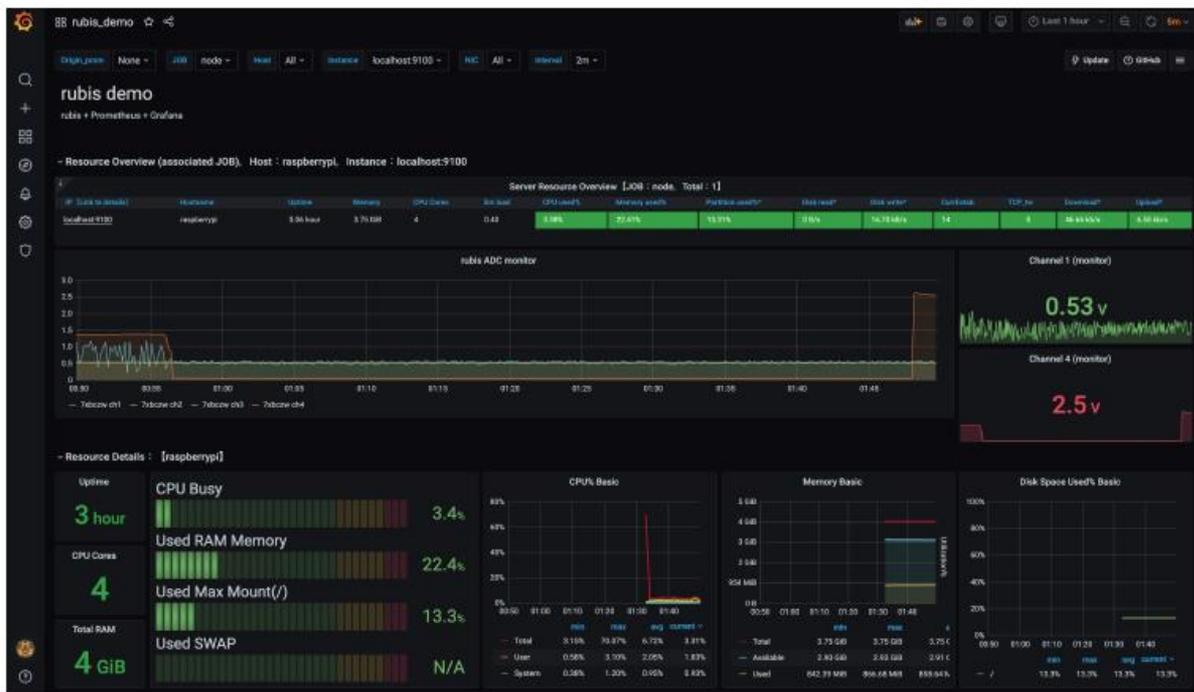


プロトタイプ版

ソフトウェア同梱

- I2Cを有効にして,
> `pip3 install rubis`
これだけでOK
- コンソールで `rubis` コマンドが使える
- > `rubis` (ログ開始)
 - JSON fileで設定 or オプションで制御
 - CSV and/or MySQLにデータを保存
 - ラズパイ本体 or 外部Server
 - JSON file自体も `rubis -g` で簡単に生成
 - Config からHashを生成し, データを管理
 - 詳細資料 → GitHub: github.com/mzks/rubis

オプション
データ取得時間幅
ファイル名の形式
CSVファイルの詳細設定
各チャンネルの出力形式
など多数



- Case 1: (w/ Grafana)ブラウザで監視
- Case 2: ラックにマウントして
汎用モニターとして活用

研究会参加者は無料 !!!

- 今ならrubis ボード差し上げます !!
 - コンタクト: 私 or 身内 or 東野 (神戸大) まで
 - 現在追加発注中 **ver2 出来**
 - ラズパイとADS1115を買って待ってください
- 全ての情報はGitHub上に集約済み
 - <https://github.com/mzks/rubis>
 - ラズパイの設定, インストール方法, 使い方 など
- 開発協力も募集
 - GitHubのIssueやPull request まで

