

NEWAGE実験64: 内部バックグラウンド低減 のための低BG μ -PIC開発

神戸大理, 京大理^A, 東大ICRR^B, 東北大^C, 早大^D

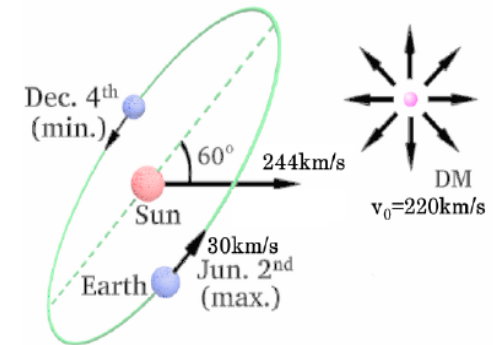
石浦宏尚, 身内賢太郎, 池田智法^A, 東野聡, 窪田諒, 中山郁香
安部航^B, 伊藤博士^B, 中村輝石^B, 市村晃一^C, 小林兼好^D

➤ 暗黒物質

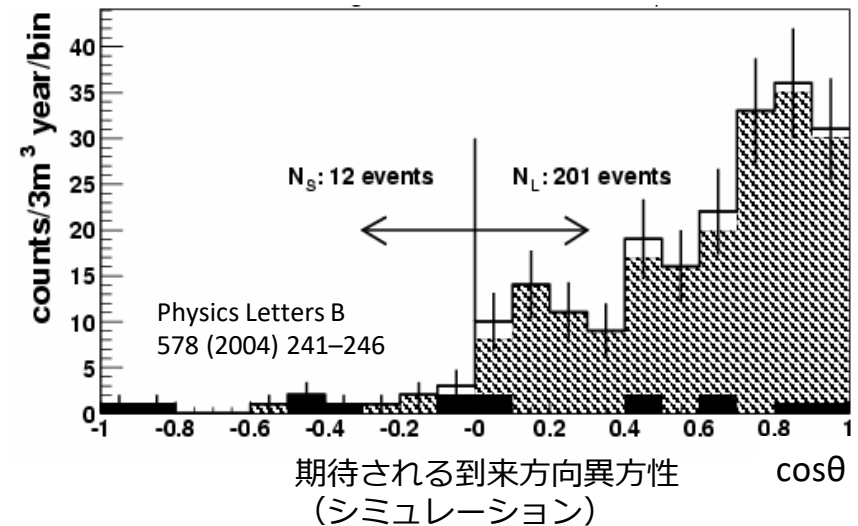
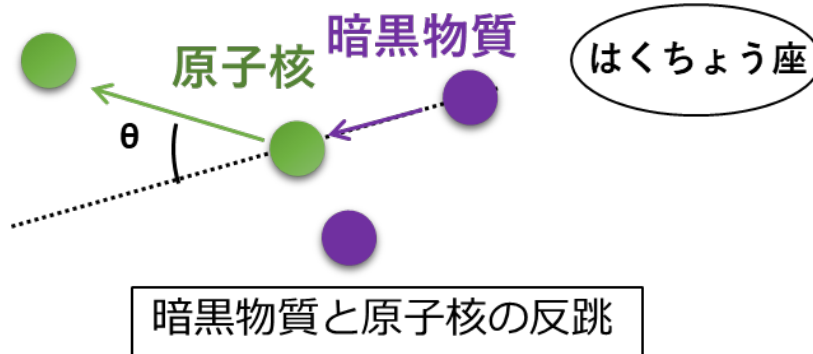
- 観測的証拠 → 存在すると考えられているが未発見
- 直接・間接・加速器 による探索が行われている

➤ 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



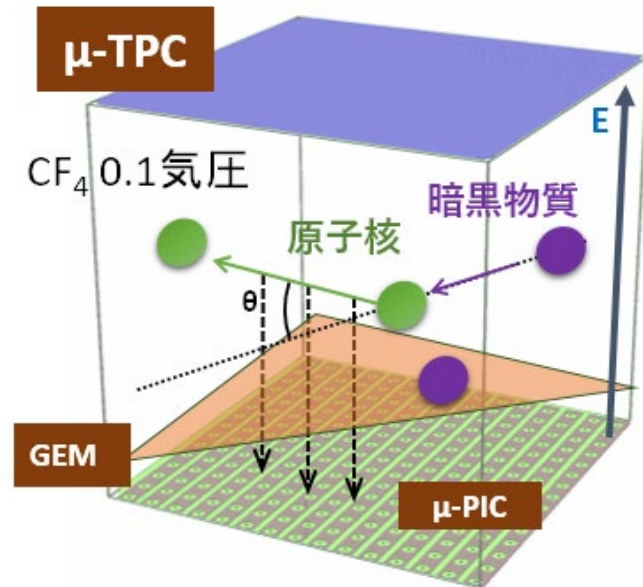
銀河中を運動する太陽系のモデル



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

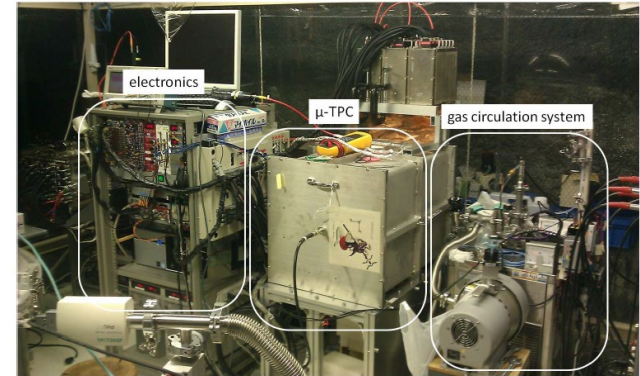
- **方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- 暗黒物質により原子核反跳されたフッ素原子核の飛跡をガスTPCでとらえる

3次元ガス飛跡検出器 μ -TPC



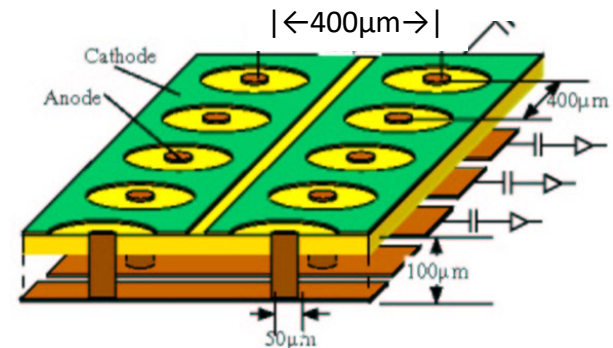
GEM：前段増幅器

μ -PIC：400 μ mピッチ 2次元イメージガス検出器
→今回の講演はこの μ -PICの低BG化の話



0.3b''検出器

神岡地下施設Lab-Bで測定中



μ -PIC模式図

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 現状 & 今後 (東野 講演)

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:

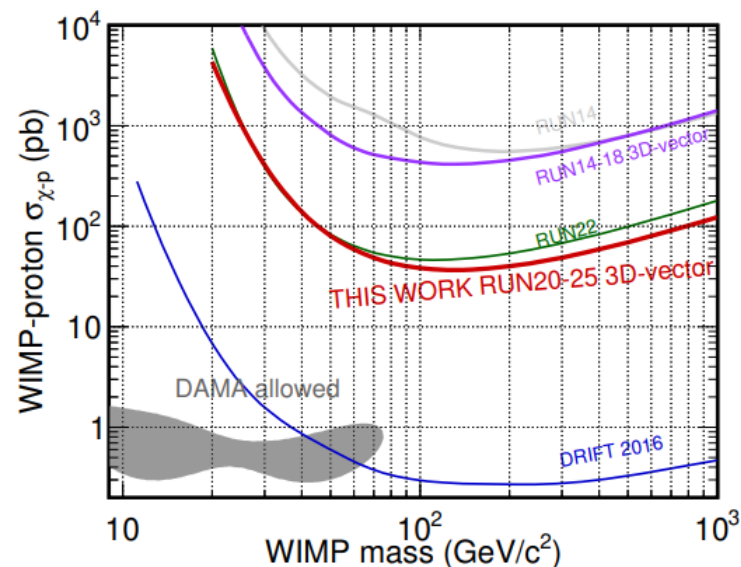
- シールドによる低減 (中山 講演)

内部

- 低BG検出器開発(本講演)

NEWAGE現在の感度

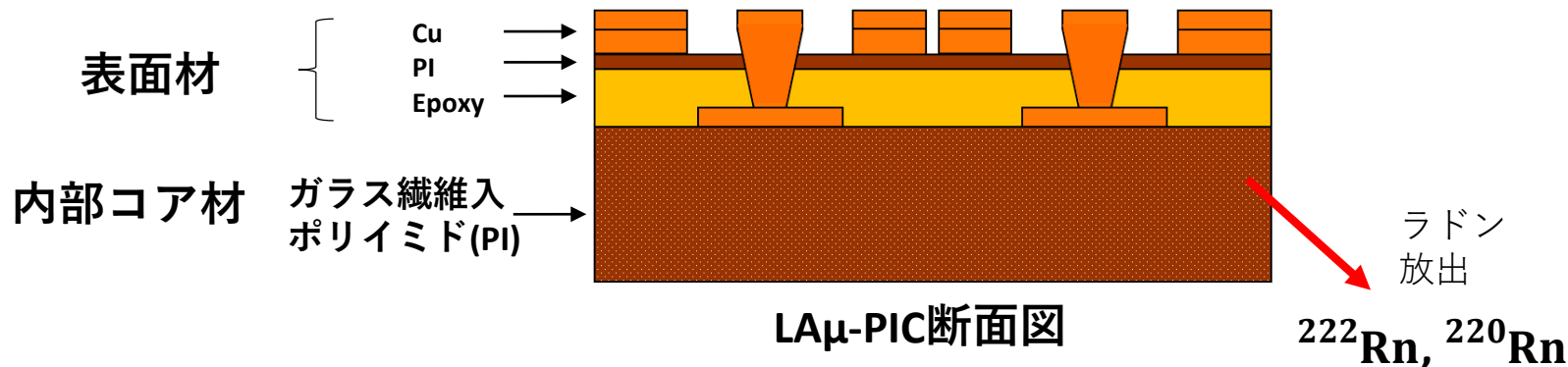
島田拓弥 修士論文 神戸大学 2021年2月



現行検出器: Low- α μ -PIC(LA μ -PIC)

- 表面材にガラス繊維(放射性不純物有)を含まない検出器 → 低アルファ線化を達成

検出器: NIM A 977 (2020) 164285, 物理:PTEP 2021 063F01



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 → 恒常的なガス中バックグラウンドに

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

→Next : 内部コア材低BG化へ

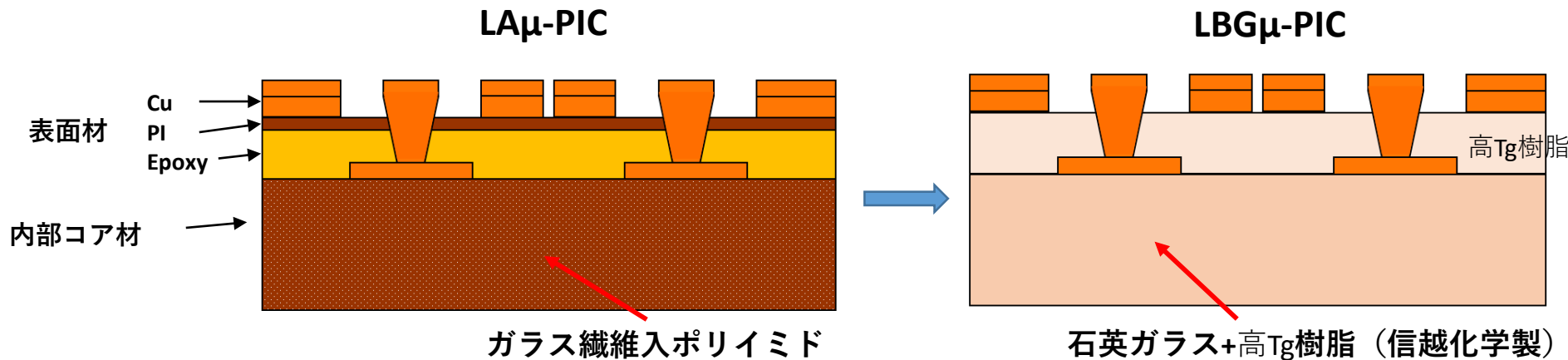
表面 α 線だけでなくラドン放出量も減らす

新規にLBG μ -PIC を開発、製作(DNP製)

JPS2021 年次大会
12pV3-8 などで報告

内部コア材を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 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

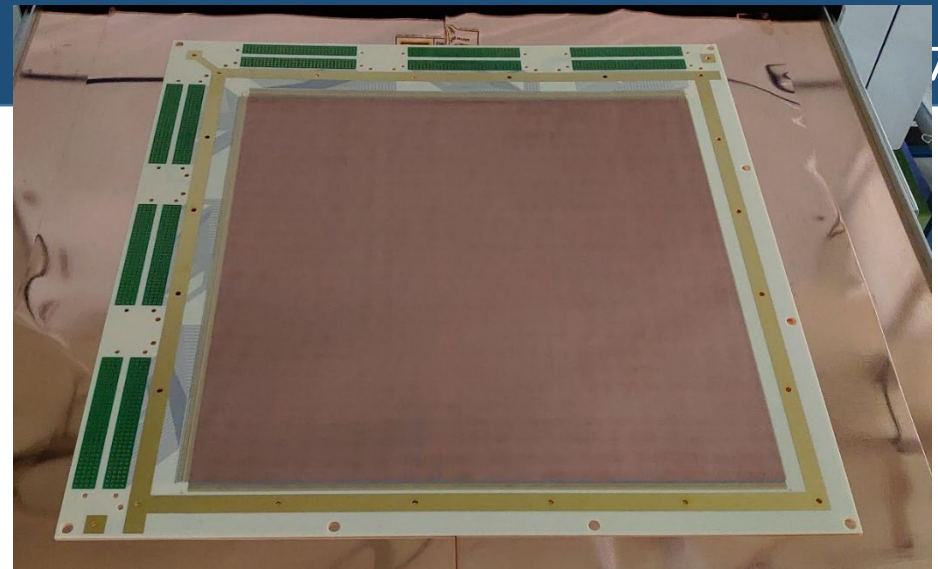
→材料ベースで**1/100**以下を達成 BG低減が期待

製作後評価

30cm角 LBG μ -PIC 製作

(開発期間:2018~2020年) (DNP製)

ソルダーレジストについても
使用量削減した~1/15へ



➤ アルファ線カウンタ UltraLoを用いた表面 α 測定

➤ 素材と製作品で同程度→製造時混入なし

JPS2021 年次大会などで報告

➤ 検出器としての動作確認

➤ ガス検出器としての動作OK

JPS2021 年次大会などで報告

➤ 検出器からのラドン放出量測定 **New!**

ラドン放出量測定

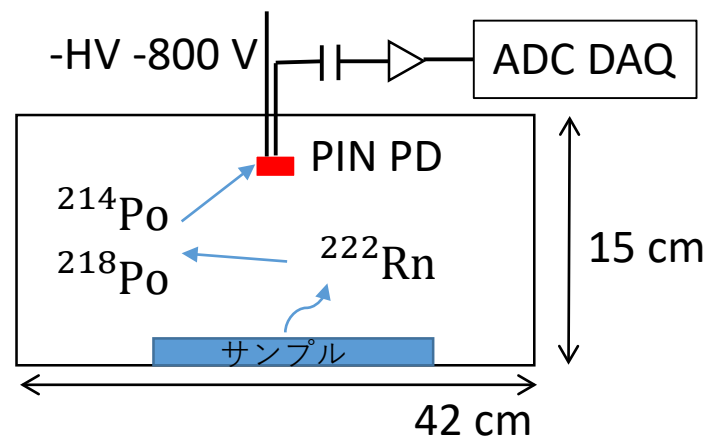
神戸大で新たにラドン計を立ち上げ、 μ -PICのラドン放出量測定を行った

➤ ラドン計

- ステンレス容器（内部電解研磨済）
- Po イオンをPIN Photo Diode (浜松ホトニクス S3590-09)へ静電捕集
→出てきた α 線(^{214}Po 7.687 MeV)を計数
→サンプルからの ^{222}Rn 放出量へ



ラドン計
(検出器テスト用チェンバーを転用)

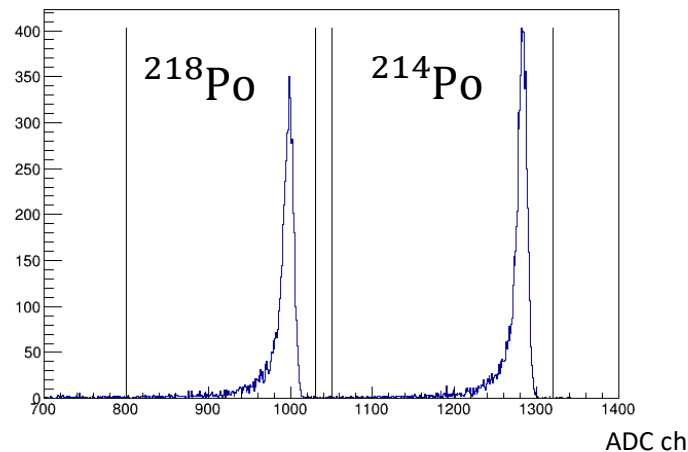
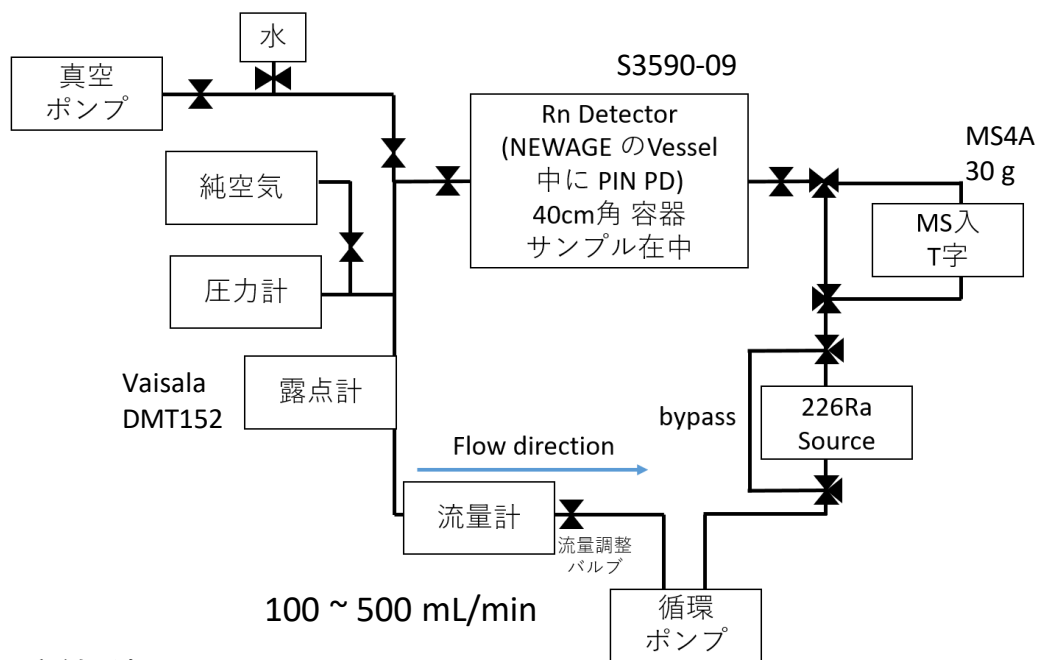


ラドン計 概要図

^{214}Po の計数率[count/day]からラドン濃度[mBq/m³]に換算するため
較正計数 を求めた

➤ 較正手順

- 既知線源強度のラドン源(PYLON RNC ^{226}Ra , 78.3 Bq)を接続、
測定系(左下図)を放射平衡にし、 ^{214}Po 計数率[count/day]を測定
→ Calibration Factor (CF) [(count/day)/(mBq/m³)] 算出



較正時 エネルギースペクトル
(信号波高値より)

系体積 27.5 L

▶ 校正係数 Calibration Factor (CF)

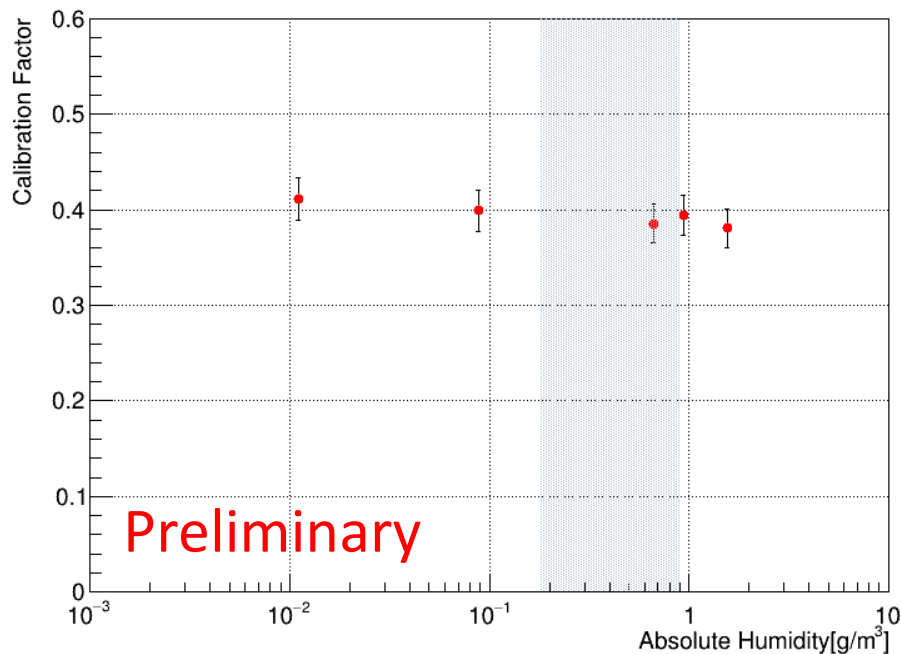
▶ 系内の絶対湿度を変えて校正を行い、CFと絶対湿度の相関を調べた。

▶ CF :

▶ 0.39 ± 0.02 [(count/day)/ (mBq/m³)] at 0.67 [g/m³]

▶ 0.41 ± 0.02 [(count/day)/ (mBq/m³)] at 0.01 [g/m³]

Absolute Humidity vs Calibration Factor

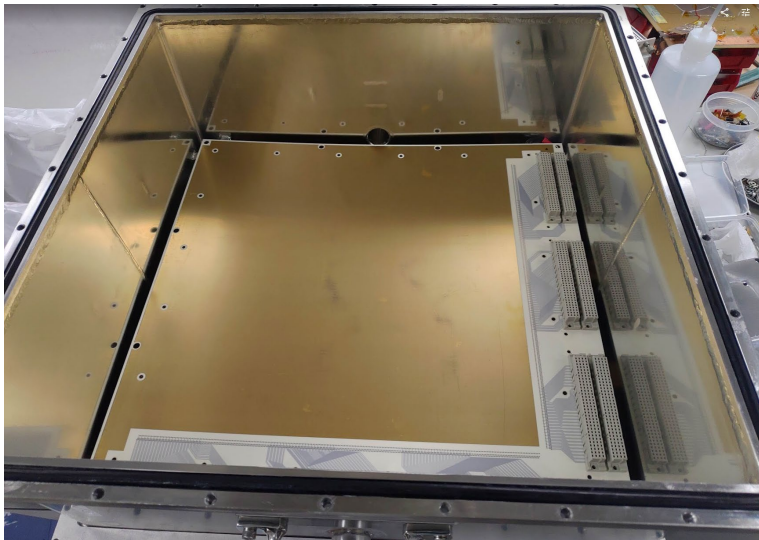


系統誤差項目	誤差
ラドンソース強度	±5%
露点温度精度	±2%
系体積	±2%
合計	±6%

- 今回校正した範囲では校正計数の顕著な低下は見られず
- 網掛け範囲の水分量で測定を行い、ラドン放出量を求めた

2. ラドン放出量測定

- ラドン計へサンプルを入れ、 ^{214}Po 計数率[count/day]を測定
 ^{214}Po 計数率[count/day]と校正係数 CF →ラドン放出量 [mBq/m^3] へ



LBG μ -PIC



LA μ -PIC

2. ラドン放出量測定 - 測定結果(preliminary)

▶ サンプルの測定結果からBGを差し引きラドン放出量を求めた

Preliminary

測定サンプル	測定期間	^{214}Po count rate [count/day] (stat.)
LA μ -PIC	5 days	40.8 ± 4.9
LBG μ -PIC	5 days	7.0 ± 2.1
BG測定(サンプル無し)	5 days	6.2 ± 1.9

Preliminary

BG差し引き後	^{214}Po count rate [count/day]	mBq/m^3	mBq/uPIC
LA μ -PIC	34.6 ± 5.3	86.6 ± 14.2	2.34 ± 0.39
LBG μ -PIC	0.8 ± 2.8	2.1 ± 7.1	0.06 ± 0.19

LBG μ -PIC: 上限値 **0.41** [mBq/uPIC] (90 % C.L.)

- LA μ -PIC→LBG μ -PICでラドン放出量の低減を確認
- 精密な測定のためBG測定、LBG μ -PICの長期測定が必要

➤ 今後

- 長期 BG測定によるLA, LBG μ -PIC ラドン放出量の詳細な評価
- 性能評価（ガスゲイン位置依存性など）
- ソルダーレジストを使わない次世代新 μ -PICの開発
- 論文執筆中

➤ まとめ

- 暗黒物質直接探索実験NEWAGEでは検出器の内部低BG化を推進
- 検出器部材からのBG を減らすため、
内部コア材の放射性不純物材1/100以下にした”LBG μ -PIC”を開発製作
- 30 cm角uPIC ラドン放出量を測定できるラドン計を神戸大で構築、
校正しラドン放出量の低減を確認。