

D01活動報告と領域連携

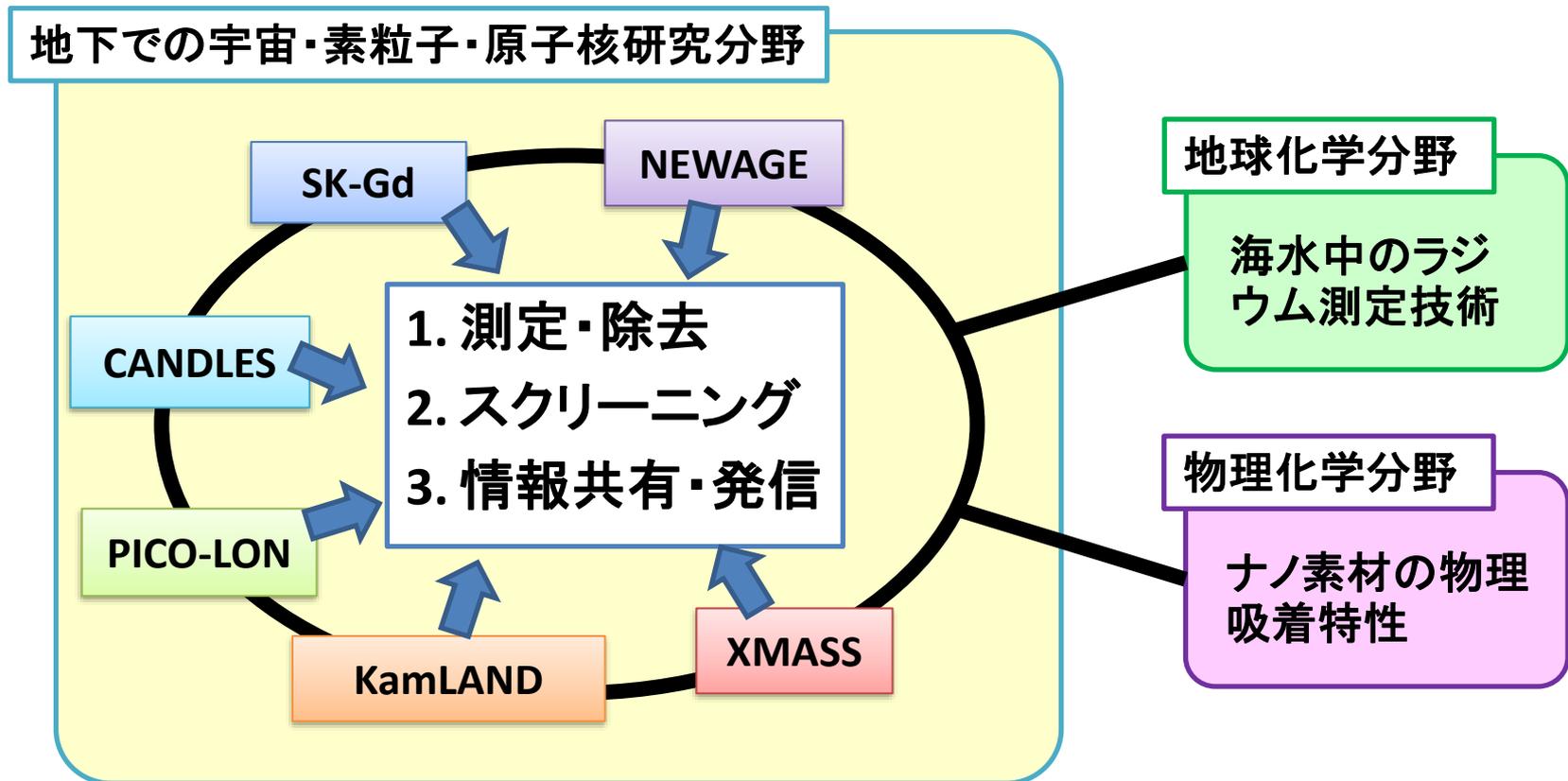


神戸大学 理学研究科 竹内康雄

- D01の活動報告
- これまでの(技術的)連携

計画研究D01の目的

- 「極低放射能技術による宇宙素粒子研究の高感度化」
- 実験グループの枠を超えて技術的な連携を行い、共通の課題である**極低BG技術**を早期に実現することを目指す。



構成員

研究代表者:

- 竹内康雄(神戸大), データベース, Rn検出器

研究分担者: 3名

- 伏見賢一(徳島大), 放射性不純物除去(NaI)
- 関谷洋之(ICRR神岡), スクリーニングシステム(Rn)
- 竹田敦(ICRR神岡), スクリーニングシステム(表面 α)

連携研究者: 11名

- 金子克美(信州大), ナノ素材 (物理化学)
- 井上睦夫(金沢大), 水中Ra (地球化学)
- 松原正也(岐阜大), 計算機技術
- 裕隆太(大阪産業大), 液シン・Ge検出器
- 嶋達志(大阪大), 遮蔽体による高感度化
- 梅原さおり(大阪大), 放射性不純物除去(CaF_2)
- 池田晴雄(東北大), 表面 α 線(膜)
- Lluís Martí Magro (ICRR神岡), 水中Ra
- 小林兼好(ICRR神岡), 表面 α 線, 低Rn娘核環境
- 中野佑樹(ICRR神岡), 水中Rn分析、データベース
- 田阪茂樹(ICRR神岡), Rn検出器

各プロジェクトでの低放射能関連研究者 + 関係分野の専門家

D01活動の概要

- **極微量放射性不純物の測定・除去のR&D**
 - NaI結晶の純化、ラドン分析、、、
- **低BG技術のR&Dを連携して行う場を提供**
 - 地下実験室A (LAB-A)の一部を共同利用
 - 分析装置を整備
- **領域内の低BG情報共有・議論の場を提供**
 - 「極低放射能技術」研究会を年に1度企画
- **分析結果を領域内で共有、外部へ公開**
 - 現在、領域内でデータベースを運用中。

昨年度(まで)の主な進捗

極微量放射性不純物の測定・除去

- 高純度NaI(Tl)の製作: 世界最高レベル(DAMA/LIBRA)と同等
 - ^{210}Pb : $29 \pm 7 \mu\text{Bq/kg}$ 、 ^{226}Ra : $57 \pm 4 \mu\text{Bq/kg}$ 、Th系列: $1.5 \pm 1.9 \mu\text{Bq/kg}$
- 高感度80Lラドン検出器の開発: 論文公表、USのLBNE実験への提供
 - PTEP 2015, 033H01 (希ガス中の性能)
 - “Measurement of Radon Concentration in Super-Kamiokande's Buffer Gas”, Y. Nakano et al., NIM A, in press (DOI: 10.1016/j.nima.2017.04.037)
- 純水中ラドン測定: SK検出器内で $0.4 \mu\text{Bq/kg}$ レベルの測定をした
- キセノン中ラドン分離: 新規素材による吸着・脱離試験を継続中

高純度NaIの現状: Purity of NaI(Tl)

伏見

K.Fushimi et al., arXiv:1705.00110

	DAMA	DM-Ice	Ingot 26~37 (2016)	Goal of PICO-LON	
^{nat}K (ppb)	<20	660	<4	<20	😊
^{232}Th (ppt)	0.5-0.7	2.5	0.3 ± 0.5	<4	😊
^{238}U (ppt)	0.7-10	1.4	4.7 ± 0.3	<10	😊
^{210}Pb ($\mu\text{Bq}/\text{kg}$)	5-30	1470	29.4 ± 6.6	< 30	😊

- U-chain: 1ppt= 12.3 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$
- Th-chain: 1ppt= 4.0 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$
- ^{210}Pb : 1ppt=2.5kBq/kg

DAMA: NIM A592 (2008) 297.

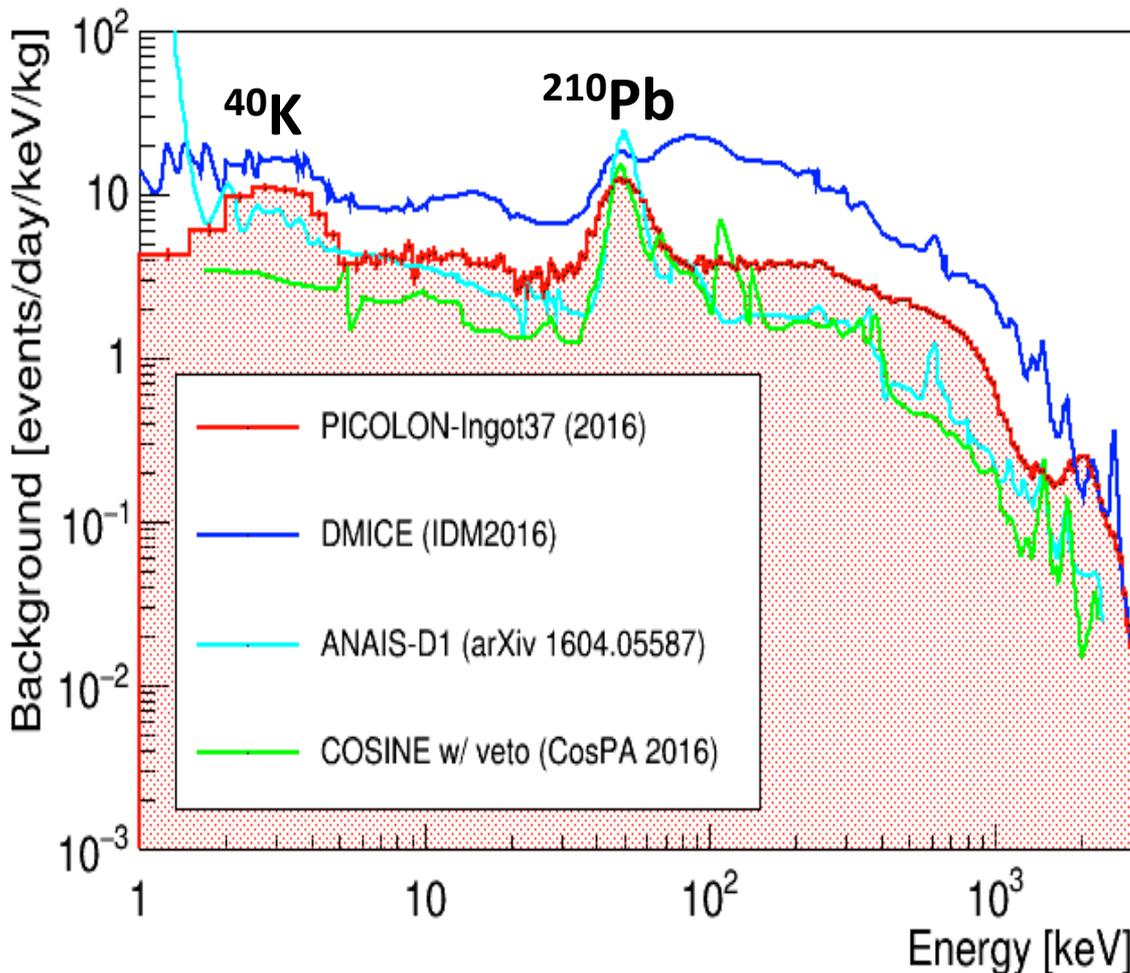
DM-ICE: Phys. Rev. D90 (2014) 092005.

高純度NaIの現状：計数率の比較

伏見

■ PICOLON-Ingot37 (本研究)

- 1.5 keVの低エネルギーしきい値、 ~ 3.5 ev/day/keV/kg @6keV、を達成
- 他の開発グループと同レベル



❖ 国際競争力十分!

❖ (VS ANAIS(西) /
COSINE(韓米英) / DM-
ICE(米) / SABRE(米))

❖ ^{210}Pb の混入とエネ
ルギー分解能を再度
Ingot-#26レベルに戻
せれば**結晶の低BG**
化はほぼ完了

ポスター#13
(平田/徳島大)

D01活動の概要

- **極微量放射性不純物の測定・除去のR&D**
 - NaI結晶の純化、ラドン分析、、、
- **低BG技術のR&Dを連携して行う場を提供**
 - 地下実験室A (LAB-A)の一部を共同利用
 - 分析装置を整備
- **領域内の低BG情報共有・議論の場を提供**
 - 「極低放射能技術」研究会を年に1度企画
- **分析結果を領域内で共有、外部へ公開**
 - 現在、領域内でデータベースを運用中。

Kamioka Underground site

2700 m.w.e.



<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/>

A01/C02: KamLAND



B01/C02:
XMASS



A02: CANDLES



D01: Low-radioactivity R&D (LAB-A, 2015~)

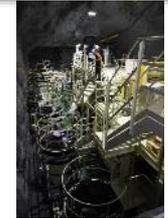


C02: Super-Kamiokande



40m

C01: SK-Gd water system



IPMU
Rn det.
(D01)
APIMS
GC
Ge det.
...



C01: R&D
of SK-Gd



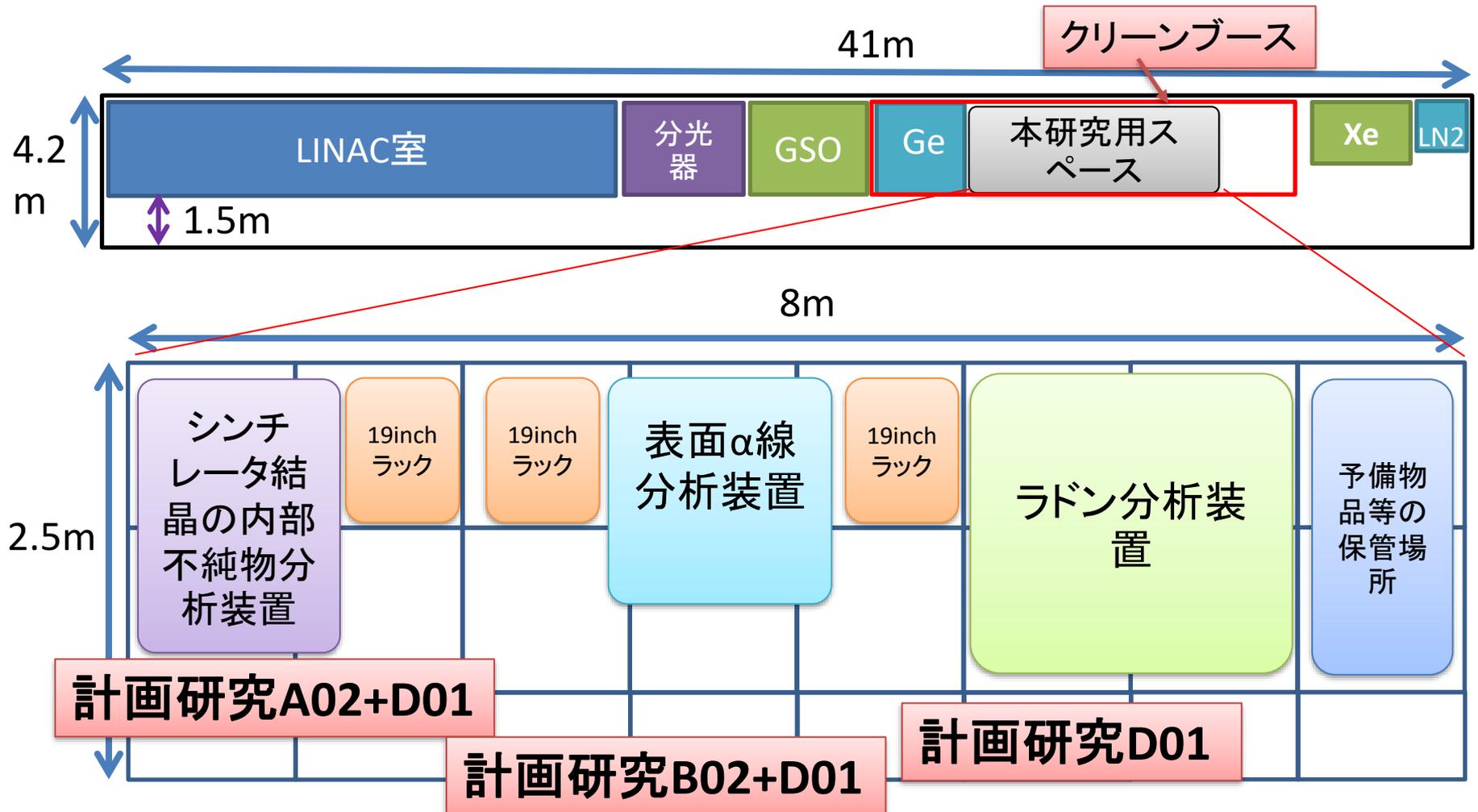
B02: NEWAGE



CLIO (Gravitational
wave exp.)
Laser extensometer
(Geophysics)

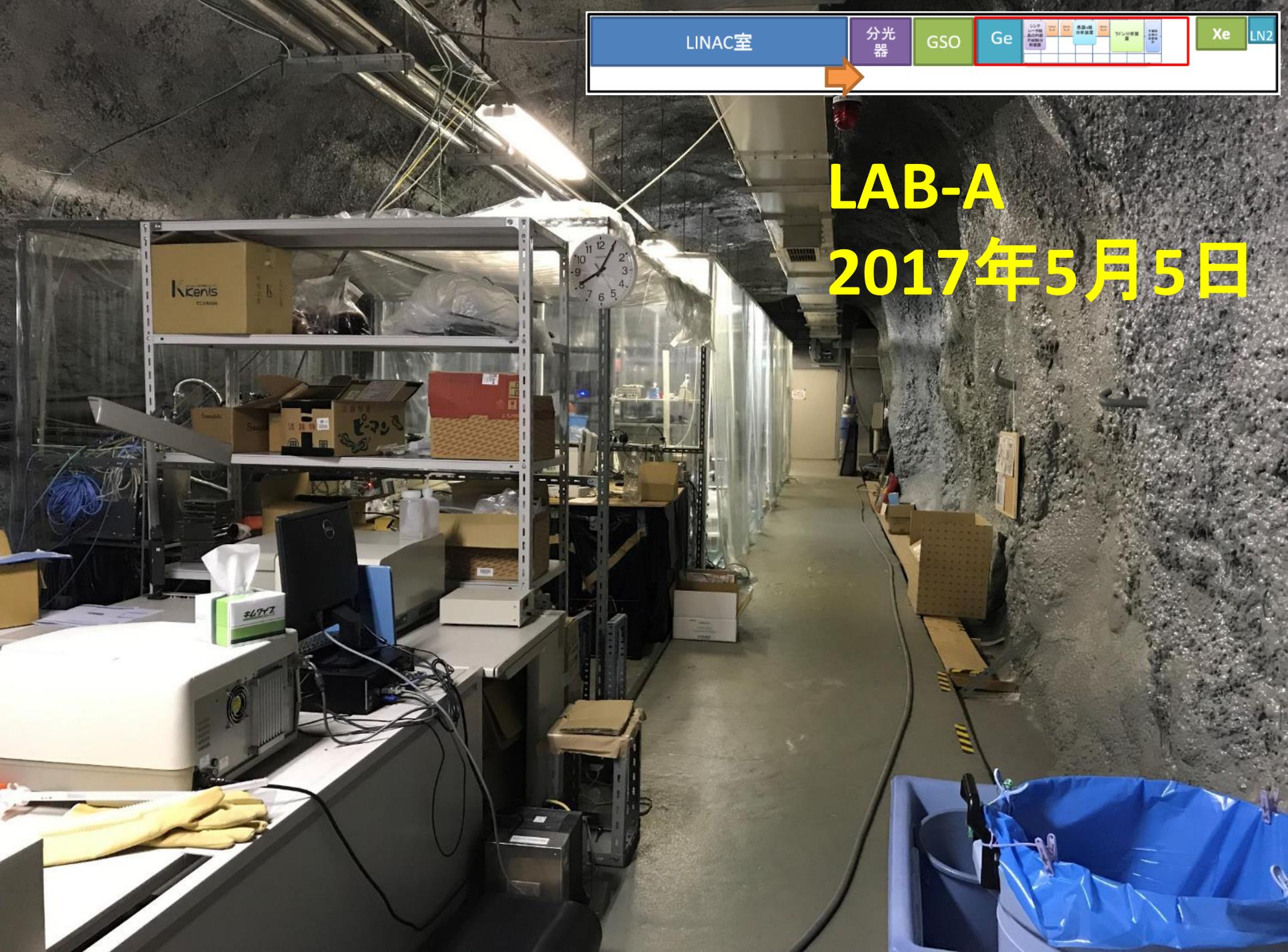
LAB-A: 装置の配置図

- ICRR共同利用で神岡坑内に、以下のスペースを確保し、各種の分析装置を構築中(H27年度～)





LAB-A
2017年5月5日



LINAC室

分光器

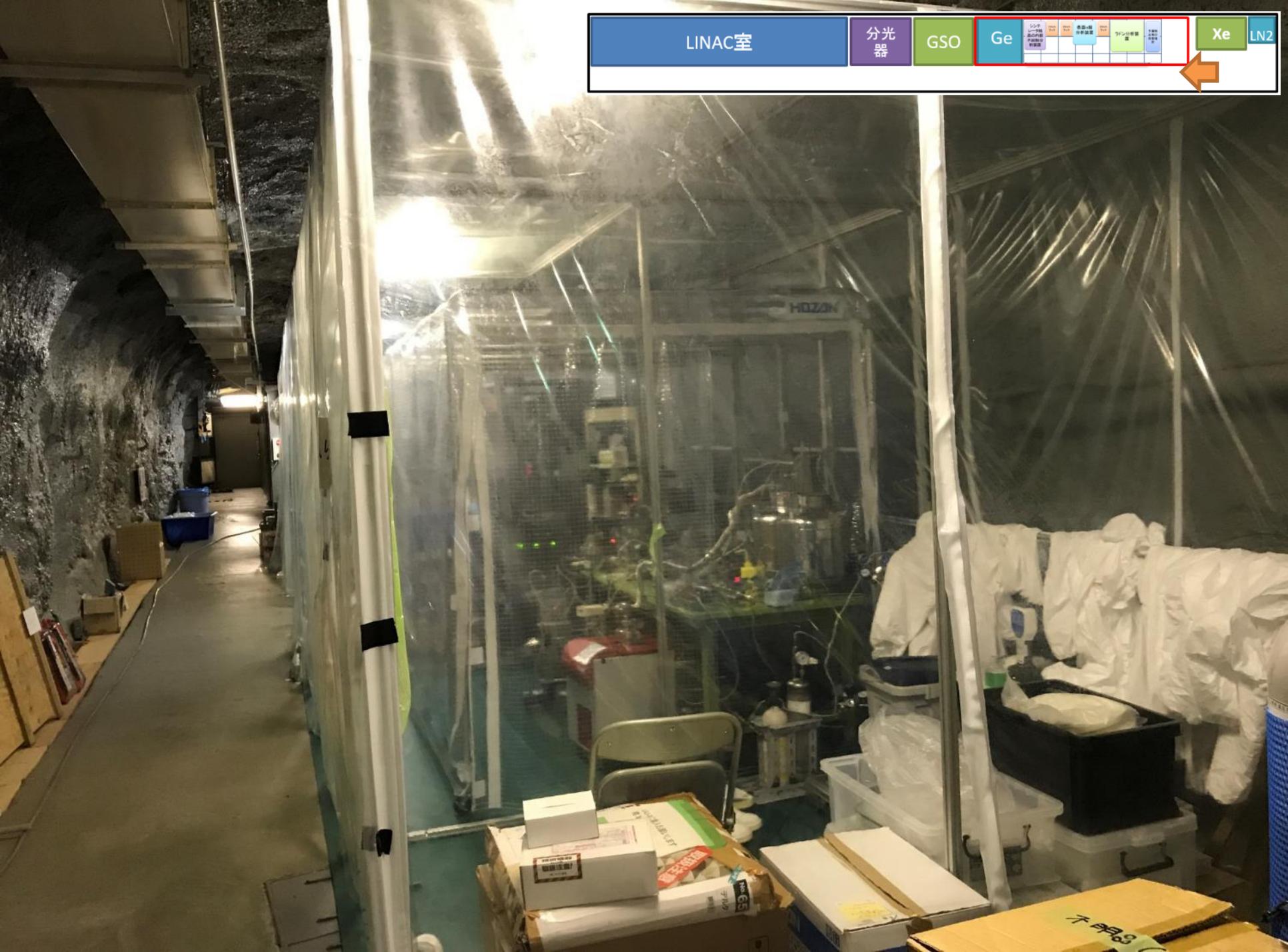
GSO

Ge

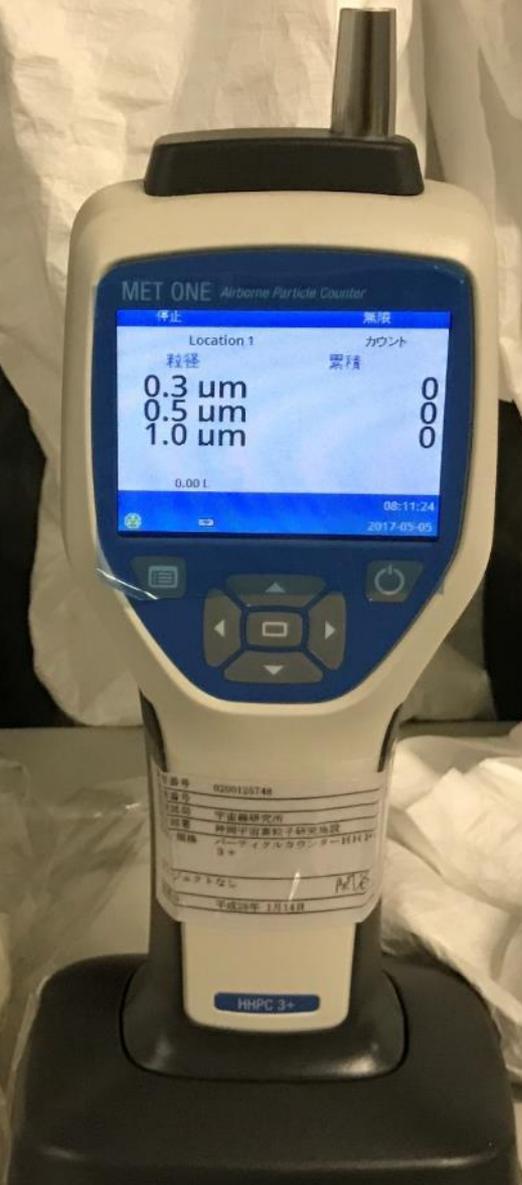
シフト 担当 責任者	担当 責任者	担当 責任者	担当 責任者	担当 責任者	担当 責任者

Xe

LN2



LINAC室 分光器 GSO Ge Xe LN2



MET ONE Airborne Particle Counter

停止 無限

Location 1 カウント

粒径	累積
0.3 um	0
0.5 um	0
1.0 um	0

0.00 L

08:11:24
2017-03-05

装置番号 0200125748

所在地 宇治観研研究所

設置場所 神岡宇宙放射線研究所

所属 宇宙イオン化線センター-11112

3号

コメントなし

平成25年 1月14日

HHPC 3+

和歌山大学

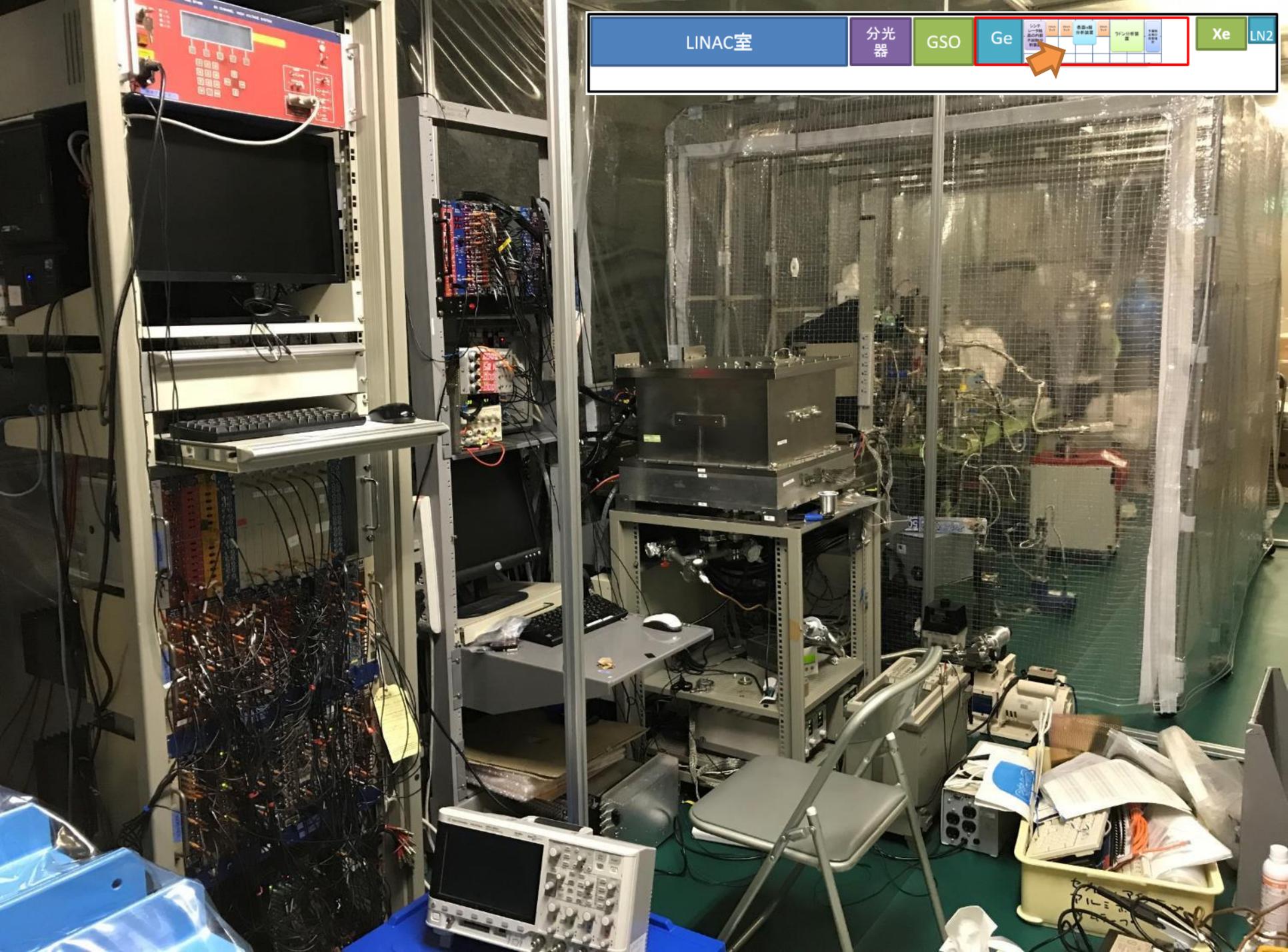
〒640-1101 和歌山県海南市和歌山

TEL.073(485)5793 FAX.073(485)5794

和歌山大学 総務課 電話 073(485)5793

パーティクルカウンターの連続測定モードの維持のお願い

LINAC室	分光器	GSO	Ge	<table border="1"> <tr> <td>シフト</td> <td>電源</td> <td>冷却</td> <td>検出器</td> <td>制御</td> <td>その他</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	シフト	電源	冷却	検出器	制御	その他							Xe	LN2
シフト	電源	冷却	検出器	制御	その他													



LINAC室	分光器	GSO	Ge	<table border="1"> <tr> <td>シフト</td> <td>10時</td> <td>11時</td> <td>12時</td> <td>13時</td> <td>14時</td> <td>15時</td> <td>16時</td> <td>17時</td> <td>18時</td> <td>19時</td> <td>20時</td> <td>21時</td> <td>22時</td> <td>23時</td> <td>24時</td> </tr> <tr> <td>担当</td> <td>〇</td> </tr> <tr> <td>備考</td> <td></td> </tr> </table>	シフト	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時	担当	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	備考																Xe	LN2
シフト	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時																																							
担当	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇																																							
備考																																																						



LINAC室

分光器

GSO

Ge

シフト 担当 責任者	測定 時間	測定 位置	測定 内容	測定 結果	測定 日時

Xe

LN2



結晶内部の不純物測定装置

測定対象：遅延同時計数測定

U-系列

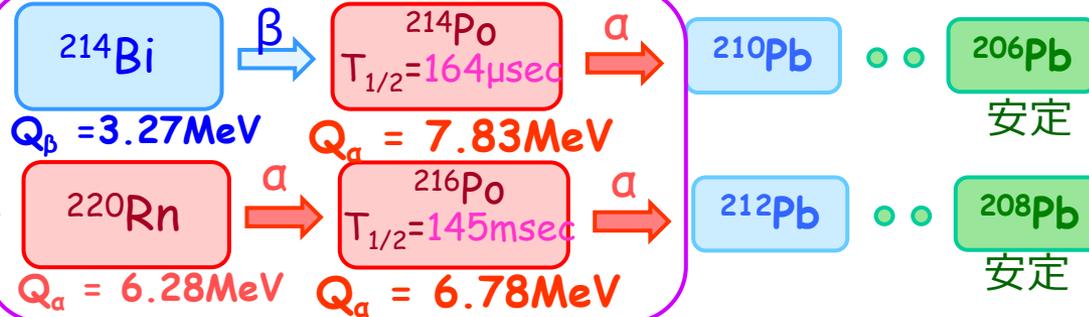
^{238}U

$T_{1/2}=4.5\times 10^9$ 年

Th-系列

^{232}Th

$T_{1/2}=1.4\times 10^{10}$ 年



検出効率

U-系列 : ~90%

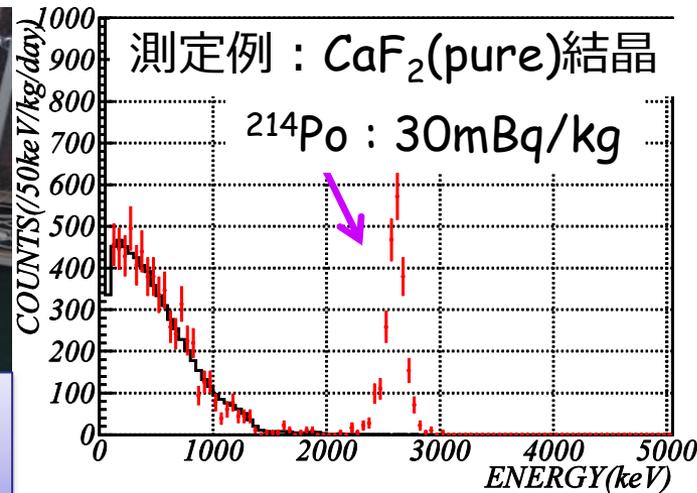
Th-系列 : ~85%

実験室Aでの測定

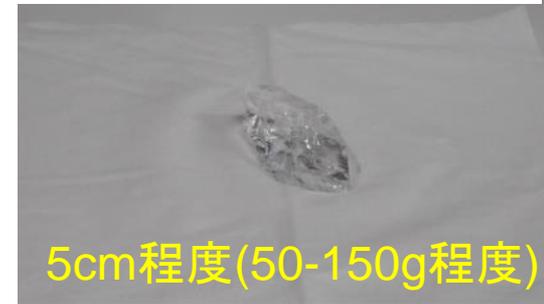


測定装置

結晶+
PMT(1.5inch)



現在測定中のサンプル
 CaF_2 (pure)溶融品



5cm程度(50-150g程度)

- ・測定感度：~ $5\mu\text{Bq/kg}$ (測定時間10日)
- ・現在、 CaF_2 溶融品(CaF_2 結晶原料)の不純物測定中
→より高純度なシンチレーション結晶開発へ

(測定回路は
8PMTまで対応)

マイクロTPCを用いた表面 α 線分析装置

- 表面からの α 線: 暗黒物質・ $\beta\beta$ 実験などで問題
- NEWAGEのマイクロTPCで感度よく測定する
 - 目標: 10^{-4} alpha/cm²/hour (UltraLo-1800カタログ値)

B02+D01

橋本、身内

ポスター#8
(橋本/神戸大)

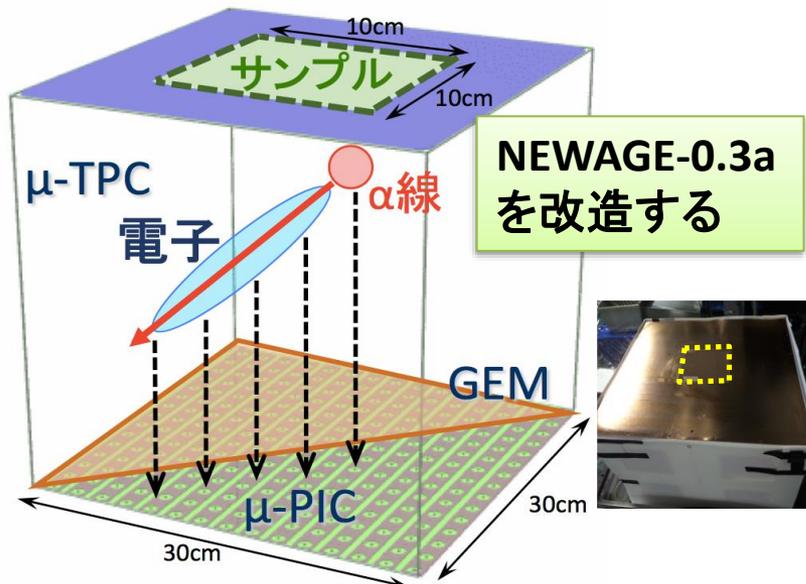
メリット:

- サンプル以外の場所をBGエリアとして引くことが可能
- 絶縁体のサンプル測定可能

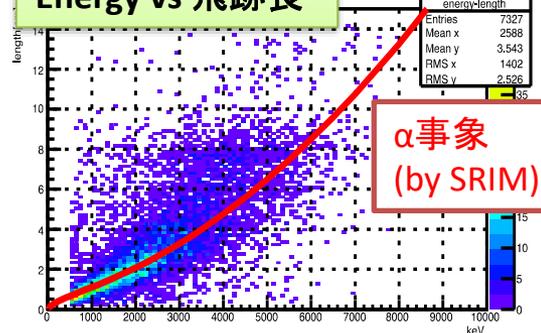
現状:

- サンプル交換対応の外容器を導入した
 - BGレベル: $(1.32 \pm 0.05) \times 10^{-1}$ α /cm²/hr
 - 試験測定(μ -PIC): $(3.6 \pm 1.0) \times 10^{-2}$ α /cm²/hr
- 今後:

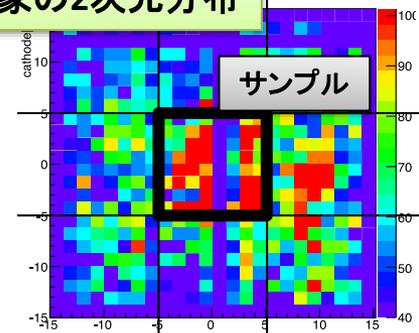
- 冷却活性炭、低BG検出部材、解析手法、等の改善で、測定感度 $\sim 1/100$ が目標



試験測定:
Energy vs 飛跡長



試験測定:
事象の2次元分布



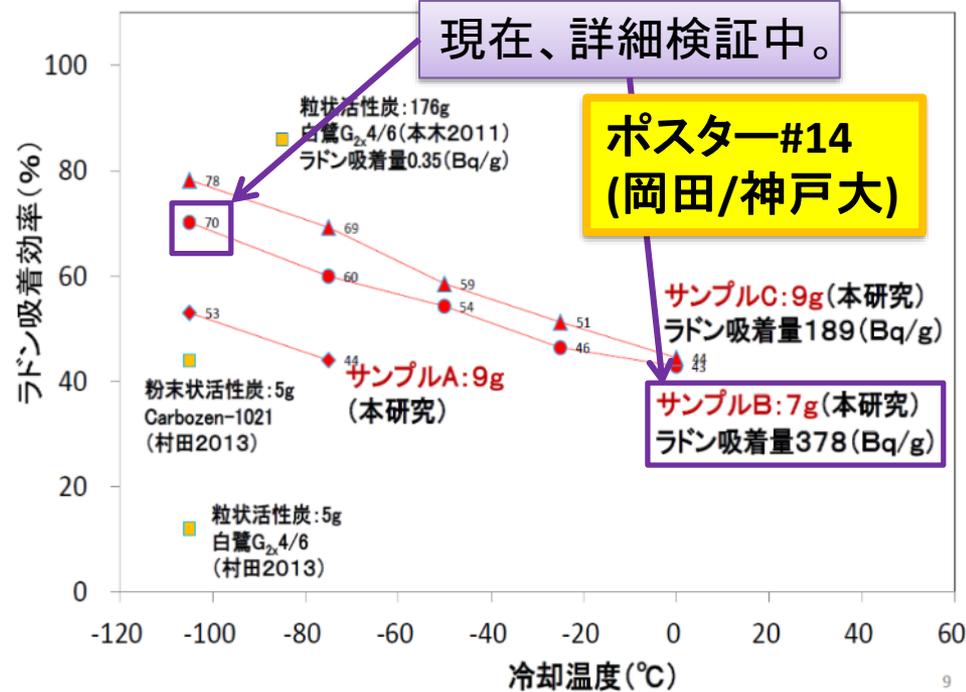
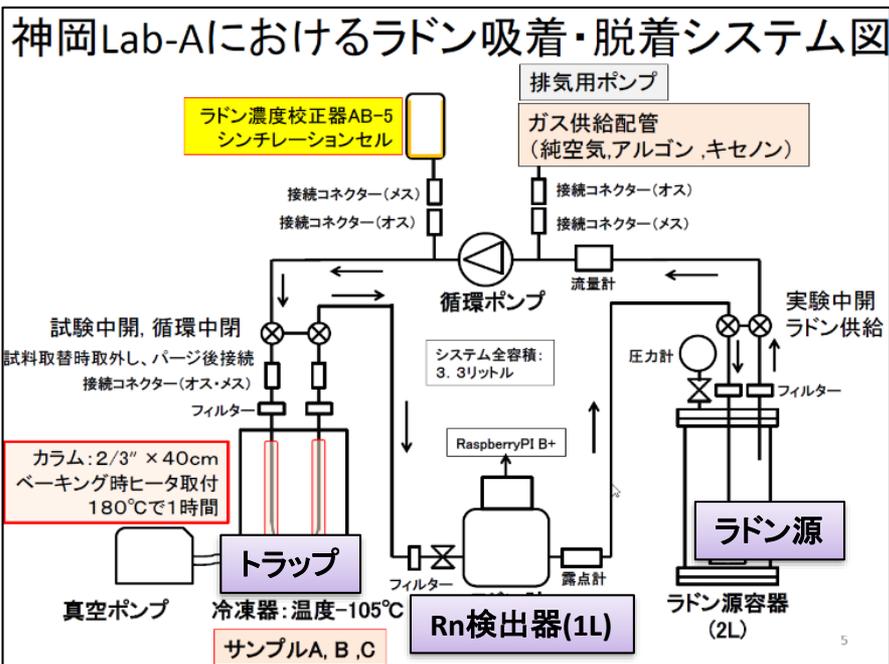
ラドン分析:ラドン吸着試験

D01

- **目的:** 純キセノンから残留ラドンを効率良く分離する技術の開発
 - 次世代の暗黒物質探索実験などで必要
- **試験内容:** 純空気、純アルゴン、純キセノン中のラドンを、冷却トラップ(-105度)で吸着し、効率の良い手法を探す。

田阪@日本物理学会(2016年9月)

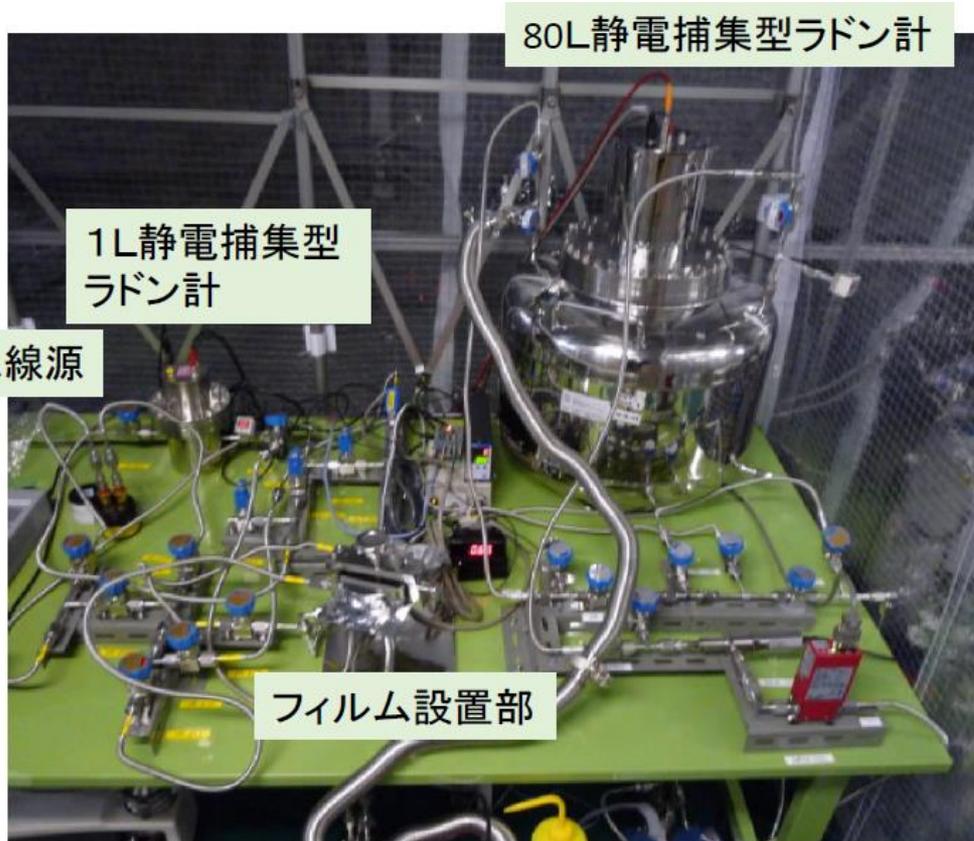
キセノン中のラドン吸着効率



ラドン分析：膜透過率測定

D01

小林、中野

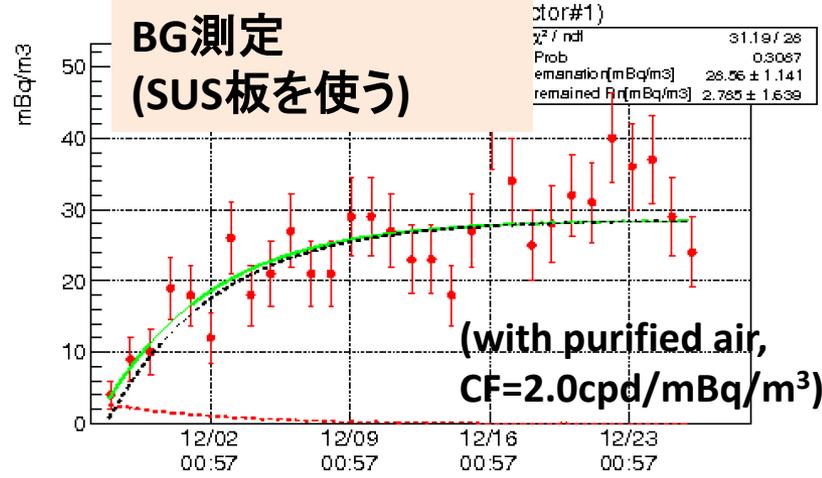
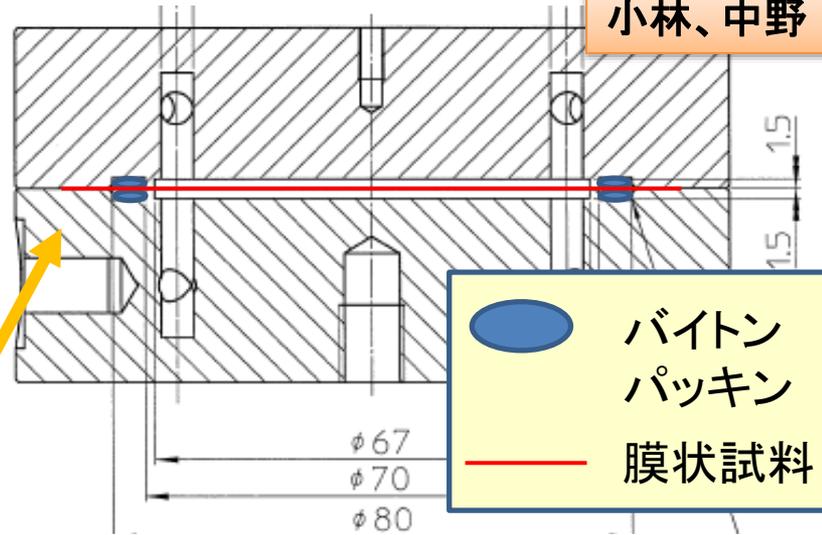
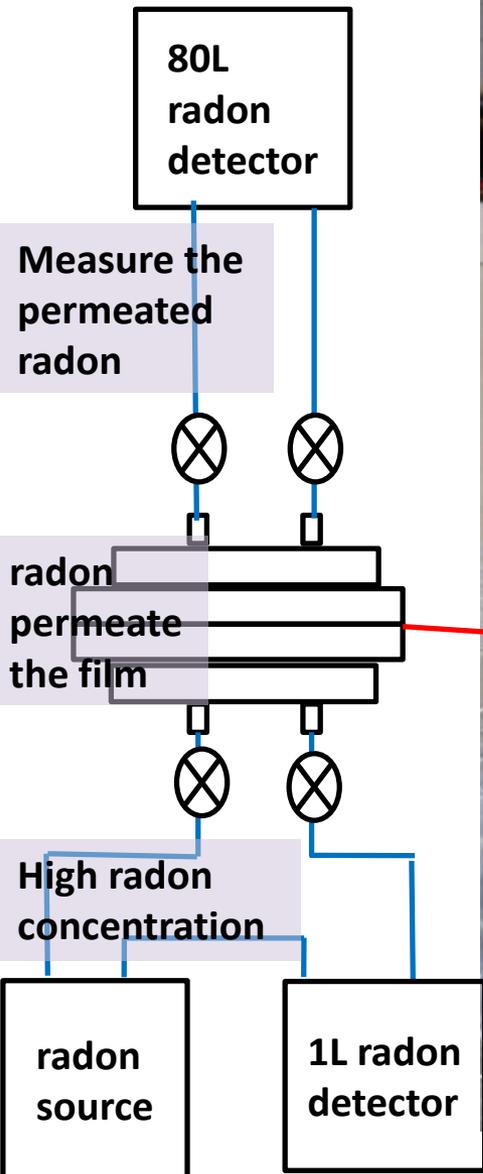


- 空气中ラドン: $10 \sim 100 \text{ Bq/m}^3$
- XMASS中Rn: $\sim 8 \text{ mBq/detector}$
- ラドンの崩壊→娘核イオン化→物質表面に付着→娘核の崩壊→ ^{210}Pb が表面に残留
- ^{210}Pb は半減期が22年と長く、地下素核実験の主要なBG源の1つ
- 検出器材料をラドン濃度の高い環境中(空気中もダメ)におかないことが重要で、ラドンを透過させない保管フィルムが必要。
- フィルムのラドン透過率を測定できる機器がない。
- LAB-Aでラドンのフィルム透過率を測定できる装置を開発した。

ラドン分析：膜透過率測定

D01

小林、中野



- 現在のBGレベル = 29+/-1 mBq/m³
- 10⁵ Bq/m³ → 10⁻² Bq/m³ の測定が可能
- フィルムのラドン防護性能評価に利用可能

D01活動の概要

- **極微量放射性不純物の測定・除去のR&D**
 - NaI結晶の純化、ラドン分析、、、
- **低BG技術のR&Dを連携して行う場を提供**
 - 地下実験室A (LAB-A)の一部を共同利用
 - 分析装置を整備
- **領域内の低BG情報共有・議論の場を提供**
 - 「極低放射能技術」研究会を年に1度企画
- **分析結果を領域内で共有、外部へ公開**
 - 現在、領域内でデータベースを運用中。

「極低放射能技術」研究会

- 採択年度より、**年に1回**、年度末頃に開催。
- 領域内の**全ての**実験系の**計画・公募研究**から、研究報告を行う。
- 進捗のみでなく**課題・問題点**の報告や議論も行う。
- 重要なトピックに着目して**集中的な議論**をする。
 - 第1回：**ラドン**、第2回：**中性子**、第3回：**Ge検出器**

■ 第4回(企画中)

- 日程： 3月7日～9日(?) @東北大近郊 (実行委員長: 細川)
- トピック： **質量分析(ICP-MS, etc.) (?)** **ポスター#18 (伊藤/岡山大)**



第3回(LBGT2017)プログラム

日付	開始時間	終了時間	セッション	座長	場所	発表者	所属	タイトル	
2017/02/19	13:30	13:40	計画研究報	伏見 賢一	流葉山荘1F	竹田 敦	東大	(はじめに、趣旨説明)	
	13:40	14:00				小原 脩平	東北大	KamLANDの報告	
	14:00	14:20				梅原 さおり	東北大	CANDLESの報告	
	14:20	14:40				B. Yang	東大	XMASSの報告	
	14:40	15:00				中 竜大	名大	原子核乾板の低BG化 (キャンセル)	
	15:00	15:20				鈴木 優飛	早稲田大	中性子コンソーシアム	
	15:20	15:40				コーヒーブレイク			
	15:40	16:00				橋本 隆	神戸大	低放射能 μ-PIC の開発	
	16:00	16:20				関谷 洋之	東大	SK-Gd の報告	
	16:20	16:40				伏見 賢一	徳島大	PICO-LON の報告	
	16:40	17:00				岸本 忠史			
	17:00	17:20				小林 兼好	東大	フトン分析装置 (薄膜透過フトン分析)	
	17:20	17:40				橋本 隆	神戸大	表面α分析装置	
	17:40	18:00				中野 佑樹	神戸大	放射能データベースの構築	
17:40	18:00	梅原 さおり	東北大	シンチレーター結晶の内部不純物分析装置					
18:30	21:00	ポスター & レセプション	流葉山荘 2F	ポスター & レセプション					
2017/02/20	9:10	9:30	公募研究報	身内 賢太郎		上島 孝太	東北大	高圧液体キセノンを用いた$0\nu 2\beta$探索の基礎研究	
	9:30	9:50				仁木 秀明	福井大	二重ベータ崩壊実験用Ca同位体のレーザー濃縮	
	9:50	10:10				寄田 浩平	早稲田大	気液2相型Ar光検出器の開発と高感度化	
	10:10	10:30				中村 輝石	京大	暗黒物質探索のための方向感度を持つ高圧キセノンガス検出器の開発	
	10:30	10:50				コーヒーブレイク			
	10:50	11:10				清水 格	東北大	メタルスカベンジャーによる極低放射能化技術の開発	
	11:10	11:30				吉田 齊	阪大	薄膜蛍光フィルムを利用した表面バックグラウンド除去技術の開発	
	11:30	11:50				W.M. Chan	阪大	超低バックグラウンドゲルマニウム検出器を用いたタンタル180mの半減期測定	
	11:50	13:00				昼食			
	13:00	15:30				KAGRAツアー 又は 自由討論			
	18:00	21:00				バンケット	流葉山荘2F	バンケット	
2017/02/21	9:00	9:30	HPGe (高感)			P. Guillaume	東大	Radon monitoring in Kamioka mine	
	9:30	10:00				安部 航	東大	LAB-1, LAB-A の Ge 検出器	
	10:00	10:20				コーヒーブレイク			
	10:20	10:50				市村 晃一	東大	LAB-C の Ge 検出器	
	10:50	11:20				A. Kozlov	IPMU	KamLAND エリアのGe検出器	
	11:20	11:50				Discussion			
	11:50	12:00				井上 邦雄	東北大	総括	

計画研究

分析装置・技術

公募研究

ピックアップ
(Ge検出器)

D01活動の概要

- **極微量放射性不純物の測定・除去のR&D**
 - NaI結晶の純化、ラドン分析、、、
- **低BG技術のR&Dを連携して行う場を提供**
 - 地下実験室A (LAB-A)の一部を共同利用
 - 分析装置を整備
- **領域内の低BG情報共有・議論の場を提供**
 - 「極低放射能技術」研究会を年に1度企画
- **分析結果を領域内で共有、外部へ公開**
 - 現在、領域内でデータベースを運用中。

情報共有・発信システム：放射能データベース

中野、他

検索画面：結果をリスト表示

Persephone
Material Assay Database

Grouping	Name	Isotope	Amount	Isotope	Amount
▶ BetaCage	Noryl frames	Th-232	0.47 mBq/kg	U-238	1.83 mBq/kg ...
▶ BOREXINO (2002)	Aluminum for dynodes structure	Th-232	2.4e-7 g/g	U-238	9.6e-8 g/g ...
▶ BOREXINO (2002)	Amersham radon scrubber, Durathen C28	Th-232	2.6e-7 g/g	U-238	1.2e-7 g/g ...
▶ BOREXINO (2002)	Amersham radon scrubber, Durathen C28	Th-232	2.6e-7 g/g	U-238	1.2e-7 g/g ...
▶ BOREXINO (2002)	Amersham radon scrubber, Durathen C28	Th-232	2.6e-7 g/g	U-238	1.2e-7 g/g ...
▶ XENON100 (2011)	Stainless steel, 316Ti, NIRONIT				
▶ XENON100 (2011)	Surface mount precision plate, SM5D, 700 Mo...				
▼ XMASS	GORE-TEX	Th-232	14 mBq/kg		

Sample	Description
	GORE-TEX, filling gaps

Measurement	Results
	U-238 65 (10) mBq/kg
	Th-232 14 (9) mBq/kg
	Co-60 4.2 (4.3) mBq/kg
	K-40 -182 (93) mBq/kg

Institution	ICRR Tokyo Univ.
Technique	HPGe
Date	to
Practitioner	A. Shinozaki Tokyo Univ.
Description	Material : PTFE, Sample mass : 81 g, livetime : 6

Data	Reference
	A. Shinozaki Tokyo Univ. master thesis(2011)
Data entry	Y. Nakano ynakano@phys.sci.kobe-u.ac.jp on 201
Notes	Automatic Entry via importCSV.py python script. (Wise of SMU.) For more information go to radiopur

ポスター#17
(中野/ICRR)

- Web baseのシステム
- 先行研究(radiopurity.org)と共通のデータ形式を採用
- インターフェースの改良(CSVの対応強化、検索機能改善)を行った
- 本領域独自のデータ210件入力済み
- 各実験グループに測定データの提供を引き続き依頼中
- 現在は、新学術の範囲で情報を共有

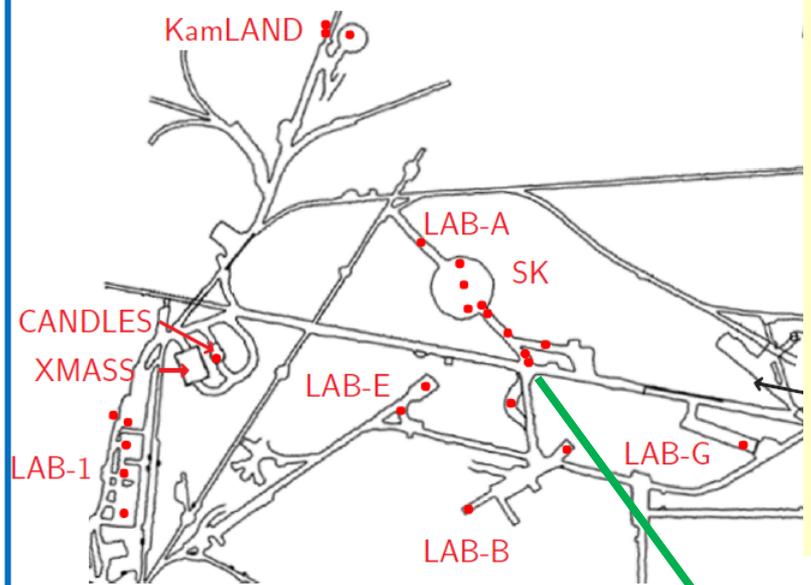
クリックで詳細を表示：測定試料の詳細、測定手法、測定結果、測定者、参考文献などの情報を有する

情報共有・発信システム: 坑内ラドンモニター

G. Pronost、他

坑内マップ

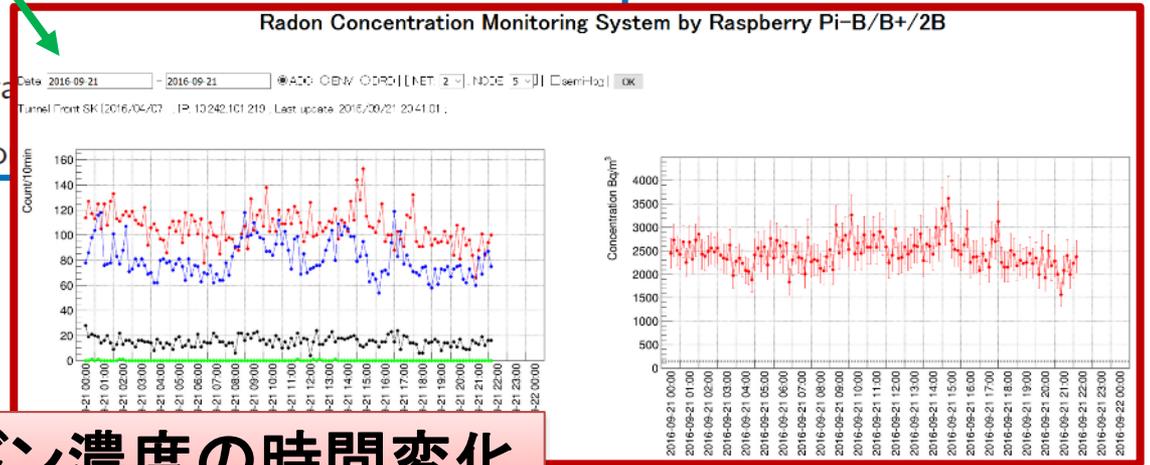
Radon detectors map in Kamioka mine



- Web baseのシステム
- スーパーカミオカンデ、カムランド、キャンドルズ等の実験エリアに1Lラドン検出器を設置し、ラドン濃度を連続測定
- 現在は、新学術の範囲内で情報を共有

- ▶ 27 Rn detectors used to monitor the radon concentration
- ▶ with 22 using the Raspberry Pi electro

赤点(測定点)をクリックして、測定結果を表示



ラドン濃度の時間変化

これまでの(技術的)連携

これまでの連携:1/3

■ キセノン蒸留装置(A01,B01)

- XMASS用の蒸留装置 → KamLAND-Zen

■ クリーン環境(A01,B01)

- XMASSでのノウハウ → KamLAND-Zenのミニバルーン製作環境
- KamLAND-Zenのスーパークリーンルーム → XMASSの高度化に活用

■ 液体シンチレータ純化装置(A01,A02)

- KamLANDの純化装置 → CANDLES

■ 低放射能環境・電子回路(A01,C02,D01)

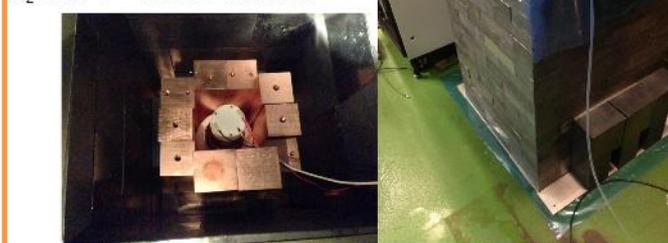
- KamLANDエリアの環境・装置 → NaI結晶開発

Example of improvements



東北大スーパークリーンルーム
(井上@DBD16)

Shield construction
KamLAND area
OFHC 5 cm
Old lead 20 cm
 N_2 flow → ^{222}Rn was reduced



低放射能環境@カムランドエリア
(伏見@DBD16)

これまでの連携:2/3

■ 高純度素材(酸化シリコン) (B01,C01,D01)

- XMASS, SK-Gd, PICO-LONで酸化シリコン粉末情報を共有。PICO-LONからの素材→SK-Gd

■ 高純度素材(低BG合金)(B01,B02)

- XMASS, NEWAGEで、Coを含まない低BG合金の開発

■ Ge検出器(金沢大低レベル放射能実験施設)での放射能分析(C01,D01)

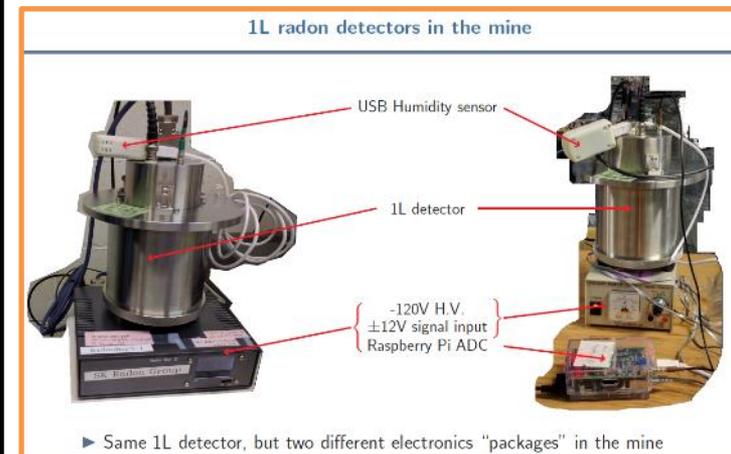
- 水中Ra測定@D01 → イオン交換樹脂の評価@C01

■ 坑内Rnモニター (B01,C01,D01→A01,A02)

- SK-Gd/XMASS用の環境ラドンモニター用1Lラドン検出器をD01で改良し、KamLAND, CANDLESエリアに配置



Ge検出器@金沢大低レベル放射能実験施設
(http://chem.s.kanazawa-u.ac.jp/j/faculty/10_rf.html)



▶ Same 1L detector, but two different electronics "packages" in the mine

1Lラドン検出器
(Pronost@LBGT2017)

これまでの連携:3/3

■ 中性子測定コンソーシアム (A,B,C,D) ポスター#10 (水越/大阪大)

- ノウハウを結集し、若手を中心に中性子測定を行う

■ 蛍光熱量検出器のR&D (A02,B02,D01) ポスター#1,2 (鉄野,李/大阪大)

- 希釈冷凍機の導入などで協力

■ 若手研究会(A,B,C,E)

- 若手が企画・運営する。合同の研究会も開催。

■ 他領域との連携

- 「重力波天体」、「地下素核」、「中性子星核物質」の新学術3領域合同研究会の開催
- 新学術「ニュートリノ」との連携

Bolometer development

Dilution refrigerator

- We will use the dilution refrigerator which was developed for the dark matter search with LiF by the Univ. of Tokyo, and was customized to low BG measurement.
- Cooling power is $2\mu\text{W}$ @ 20mK

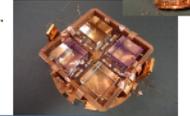
Target

- 2cm cube of CaF₂ crystal (25 g) in the initial stage.
- Temperature rise at Q-value is 1.43×10^{-1} K at 10 mK.
- Neutron Transmutation Doped Germanium(NTD-Ge) thermistors borrowed from the Univ. of Tokyo.

Schedule

Please see Tetsuno's poster

- | | | |
|------|--|--------|
| 2016 | • Achieve low temperature (~a few K) | Done!! |
| | • Achieve ultra low temperature (~10mK) | |
| | • Detect heat signal | |
| 2017 | • Add a light detector to bolometer and achieve the simultaneous detection of heat and light signals | |
| | • Increase crystal size and number | |



蛍光熱量検出器のR&D (飯田@DBD16)



若手研究会(の一部)

まとめ

- 地下素核実験の進展には**低BG技術**は不可欠。
- **D01の特長・取り組み:**
 - **各実験グループの専門家が参加**
 - **低BG技術のR&D**
 - **領域内の技術連携の推進**
 - **坑内地下実験室の共同利用**
 - **「極低放射能技術」研究会の開催**
 - **各種データベースによる情報共有・公開**
- 地下素核新学術では、**多方面の連携が進行中。**