

KamLANDとKERNELの現状

石徹白晃治 (東北大学 RCNS)

第10回「極低放射能技術研究会」 | 2025年3月7-8日, 富山大学

宇宙における物質-反物質の非対称性

初期宇宙:物質と反物質が等量生成

今の宇宙:物質だけから構成 (物質優勢宇宙)

物質宇宙の鍵は ν のマヨラナ性

A01: $0 \nu \beta \beta$ 崩壊探索

A01班の研究計画

高感度 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索

KamLAND-Zen 800の解析向上

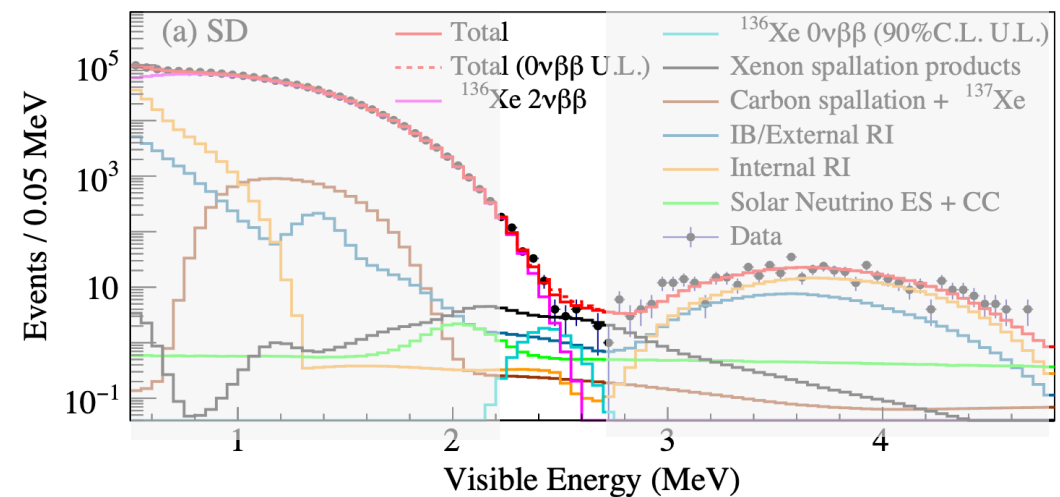
次期 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索の準備

KamLAND2-Zenの準備

関係する低放射能技術開発

天体および地球 ν 研究の高度化

Background	Estimated	Best-fit
$^{136}\text{Xe } 2\nu\beta\beta$	-	27.60
Residual radioactivity in Xe-LS		
^{238}U series	0.08 ± 0.01	0.08
^{232}Th series	-	1.35
External (Radioactivity in IB)		
^{238}U series	-	6.61
^{232}Th series	-	0.04
Neutrino interactions		
^8B solar νe^- ES	3.57 ± 0.09	3.57
Spallation products		
Long-lived	$17.82 \pm 1.30^\dagger$	19.39
^{10}C	0.00 ± 0.05	0.00
^6He	0.54 ± 0.27	0.56
^{137}Xe	0.72 ± 0.60	0.72



A01班の研究計画

高感度 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索

KamLAND-Zen 800の解析向上

次期 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索の準備

KamLAND2-Zenの準備

関係する低放射能技術開発

+ **KERNELの現状**

神岡極稀現象研究拠点

天体および地球 ν 研究の高度化

KamLAND-Zen

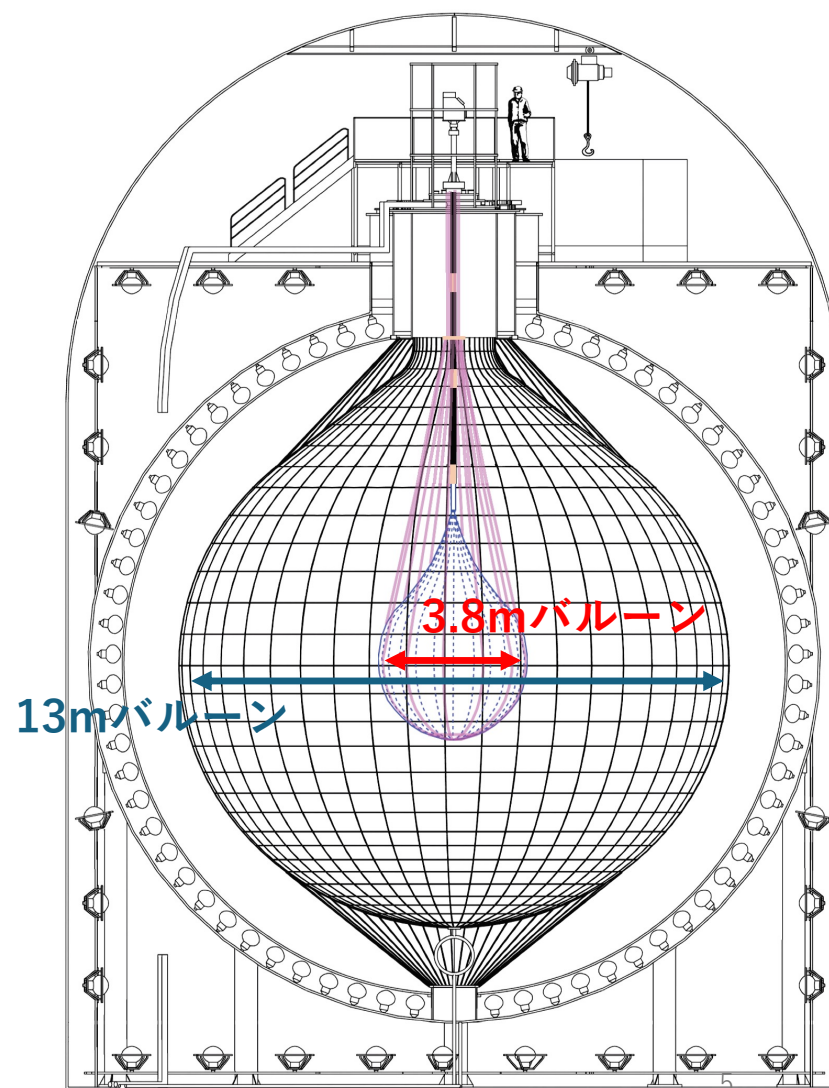
^{136}Xe の $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索 ($Q=2.46\text{ MeV}$)

特徴

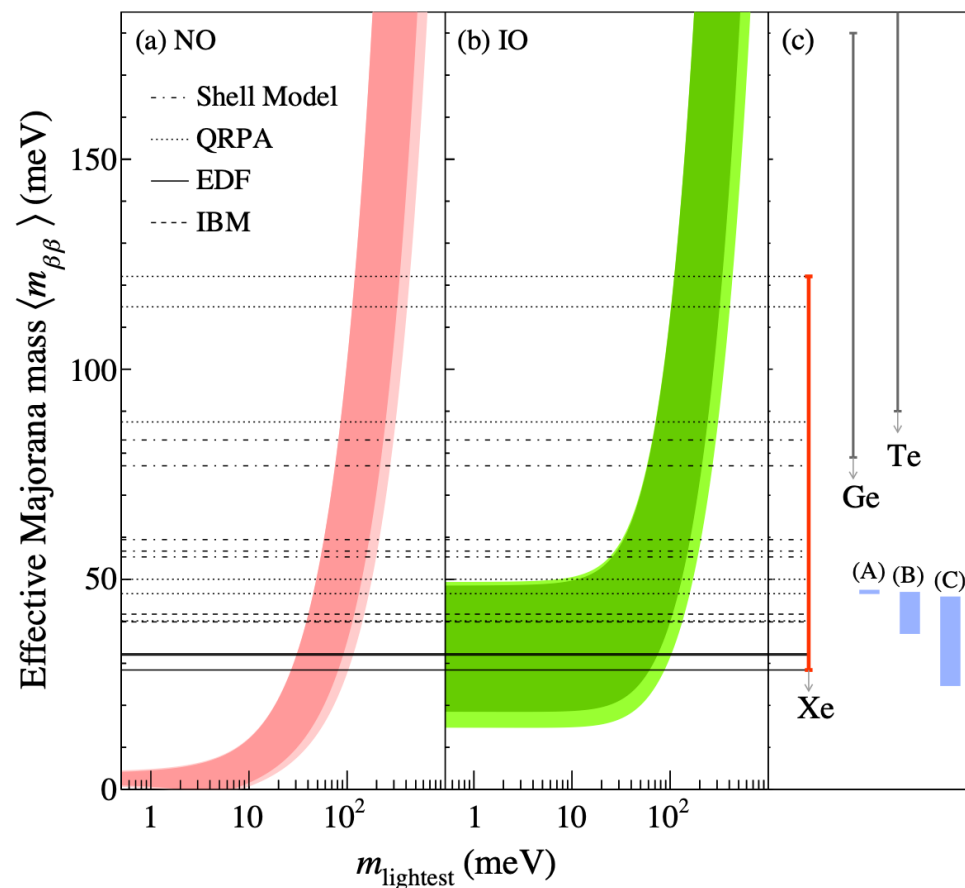
- 保証された低放射能環境
- 高い拡張性
- Xeの純化
- On/off測定

Zen 400: 2011年11月 – 2015年5月
濃縮Xe 320 – 383 kg

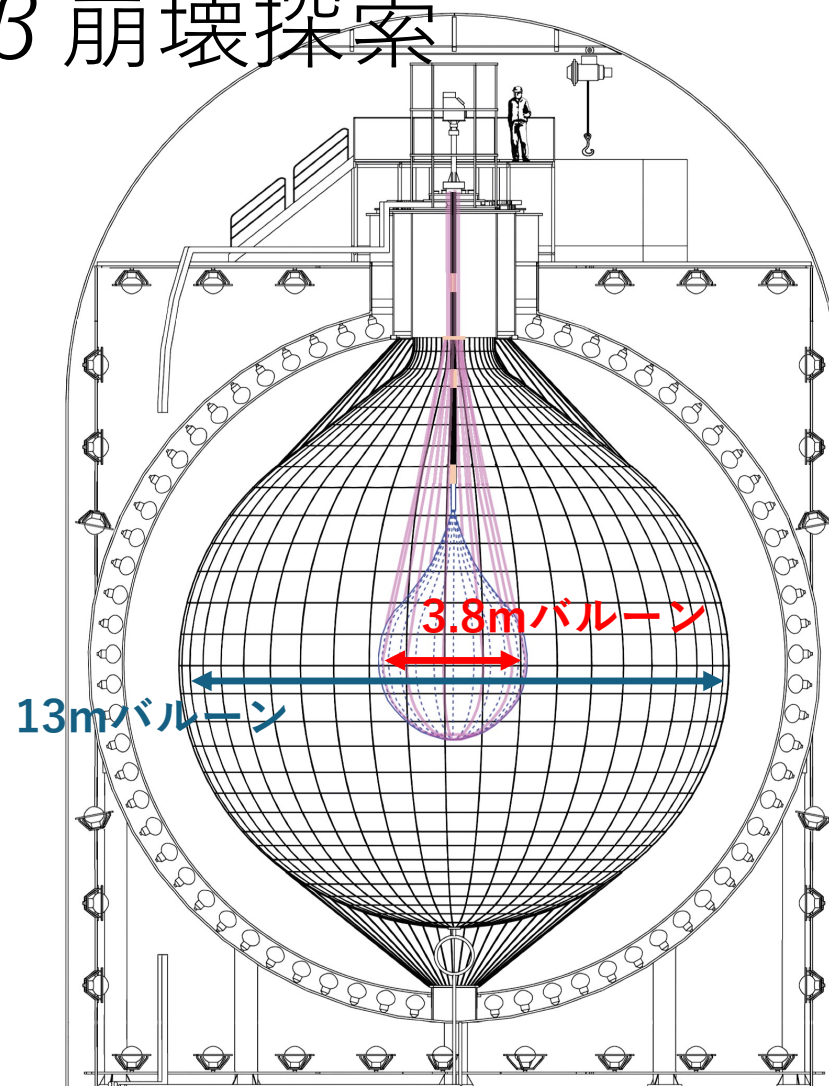
Zen 800: 2019年1月 – 2024年1月
濃縮Xe 745kg



KamLAND-Zenによる $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索



$$\langle m_{\beta\beta} \rangle < (28 - 122) \text{ meV} \quad (90\% \text{ C.L.})$$



検出器解体とKamLAND2-Zenへの道筋

KamLAND2-Zen: $2\nu\beta\beta$ と核破砕バックグラウンドの低減

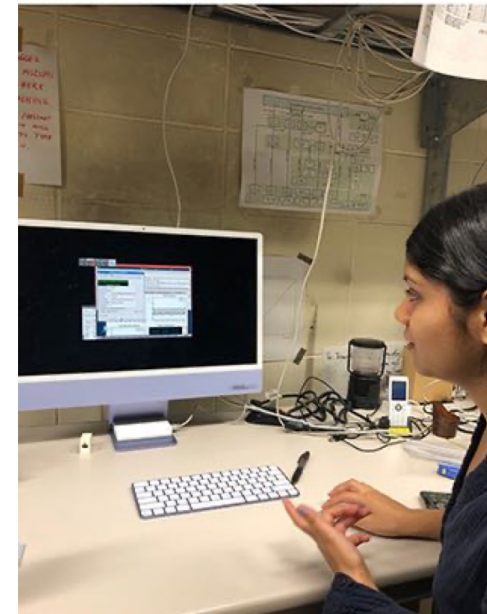
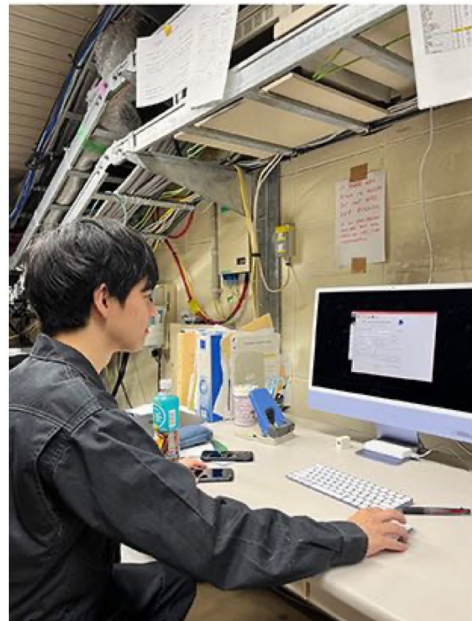
KamLAND-Zenの終了

- $745 \pm 3\text{kg}$ 中 747 kg (N_2 含む)のXe回収に成功
- ミニバルーンの安全な引き上げ

一部を領域研究会 (2024,7/5-6)で報告

KamLAND

- OD PMT取り出し
- KamLAND LS排出
- ID解放
- バルーン解体
- ID解体&再建
- バルーン導入
- 電子回路
- LS入れ



8/27 学生によるDAQ停止の瞬間

ミニバルーンの底にあった不純物

and ^{232}Th mentioned here assume secular equilibrium for comparison with the previously reported values. In the earlier period of the dataset, we found an increase in the background rate at the IB bottom, possibly due to the settling of dust particles containing radioactive impurities. To avoid this possible background, we tag and remove this high-background period from the dataset using machine learning algorithms, as discussed in Ref. [3, 18].

arXiv:2406.11438

ミニバルーンの底にあった不純物

and ^{232}Th mentioned here assume secular equilibrium for comparison with the previously reported values. In the earlier period of the dataset, we found an increase in the background rate at the IB bottom, possibly due to the settling of dust particles containing radioactive impurities. To avoid this possible background, we tag and remove this high-background period from the dataset using machine learning algorithms, as discussed in Ref. [3, 18].

arXiv:2406.11438

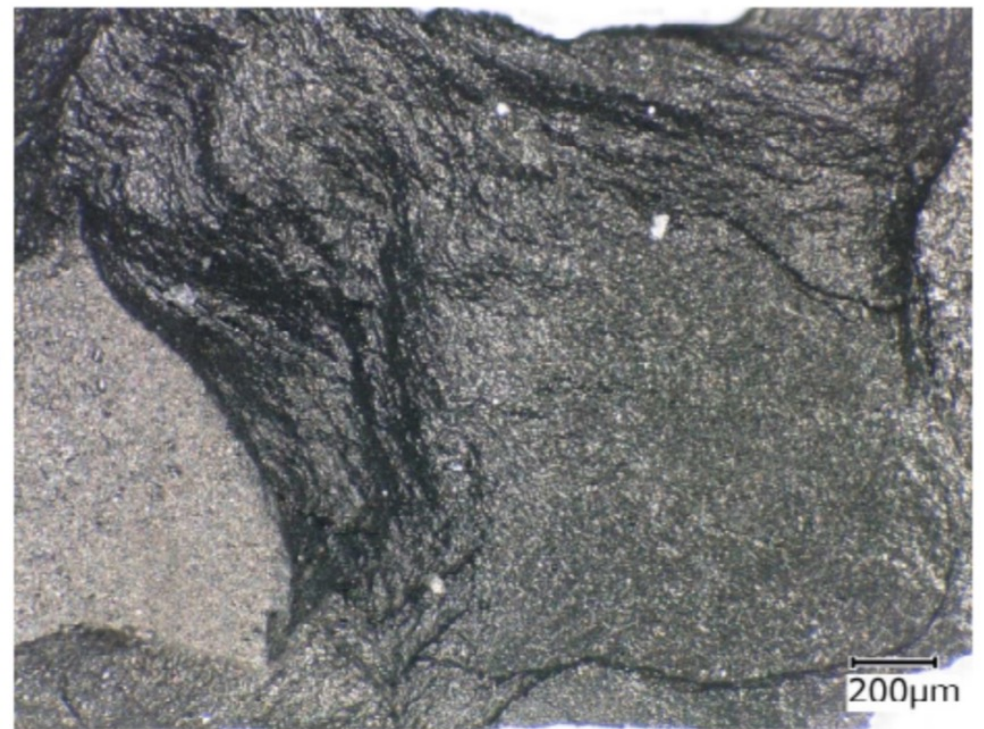


本当にダストがあった

ミニバルーンの底にあった不純物

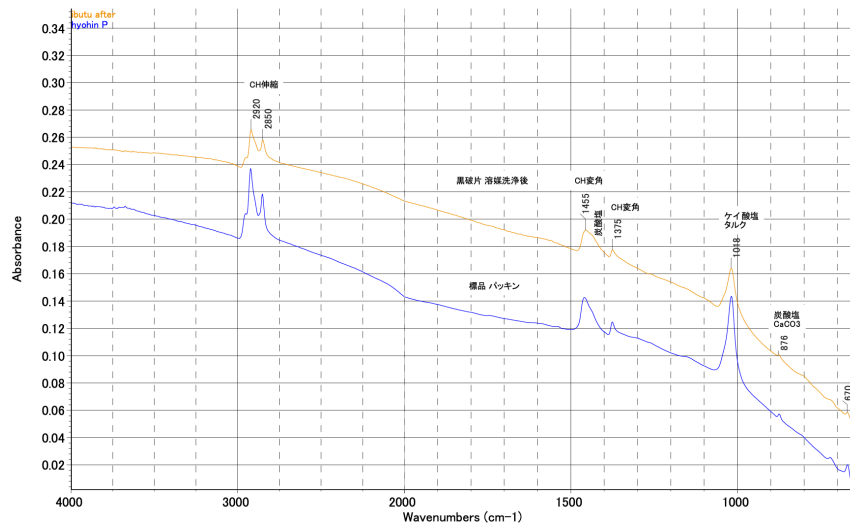


拡大

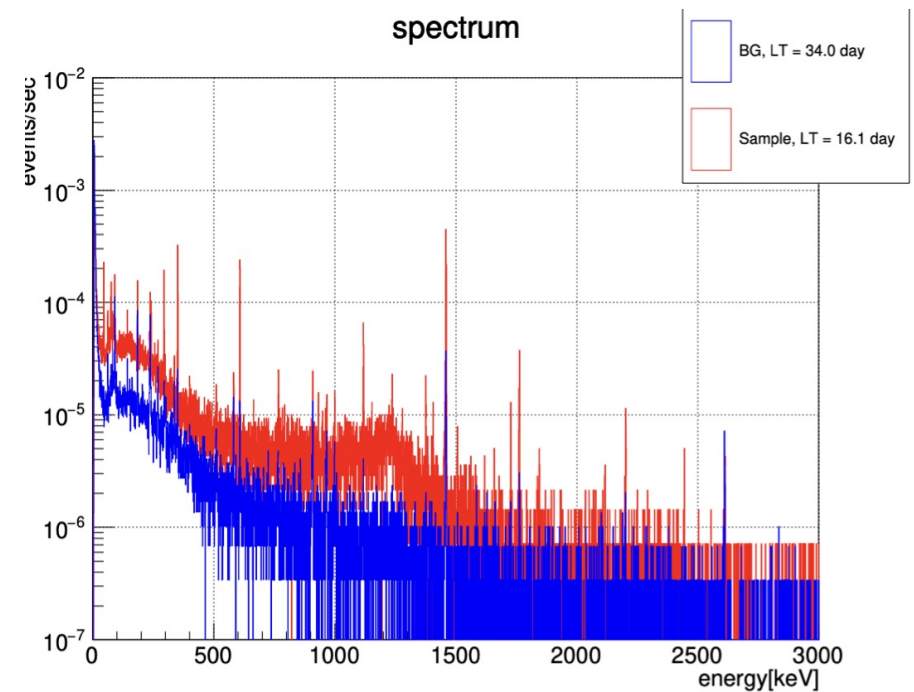


ミニバルーンの底にあった不純物

顕微 FT-IRによる分析 -> ガスケットと一致



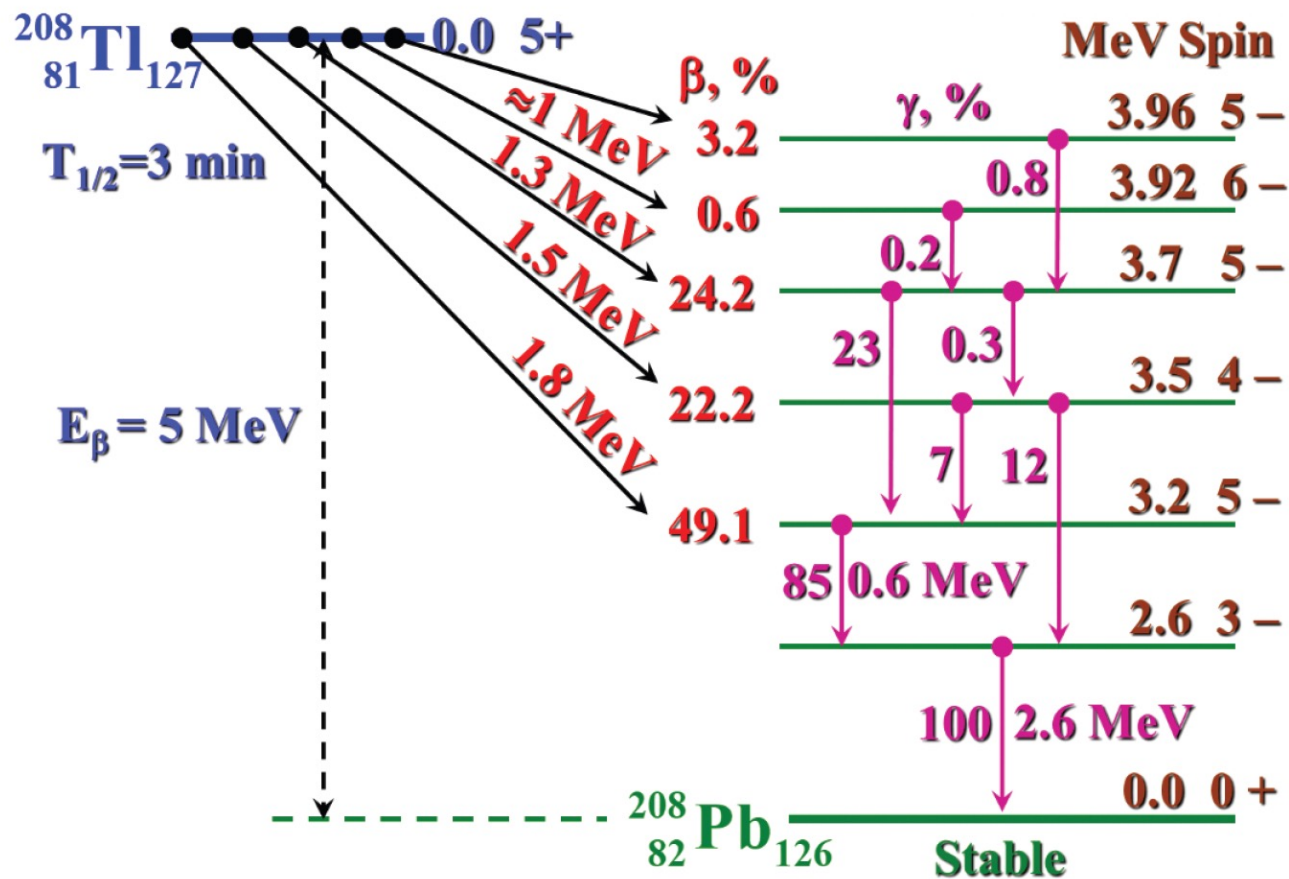
HPGeによる放射性不純物測定 (by 細川)



有限の²⁰⁸Tlを確認
16.12 ± 5.76mBq/kg

208Tlの評価

Nuclear Energy and Technology 8(2): 121–126
DOI 10.3897/nucet.8.87814



次のステップ: 形状などを仮定したシミュレーション

OD PMTの取り外し

ODからの水漏れ対策 -> PMTの取り外しが必要不可欠
2024, 8-9および2025, 1-2に実施（主担当: 蜂谷）



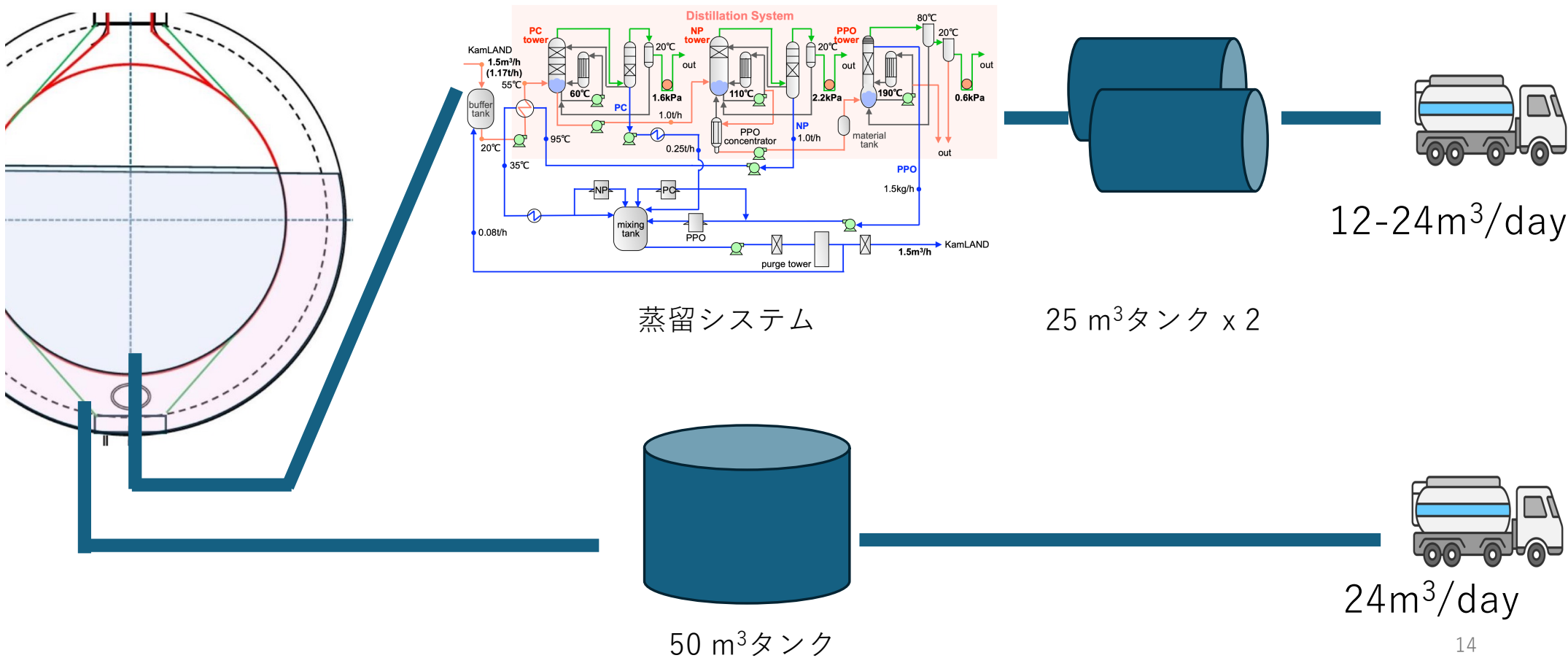
2024, 9月



2025, 2月

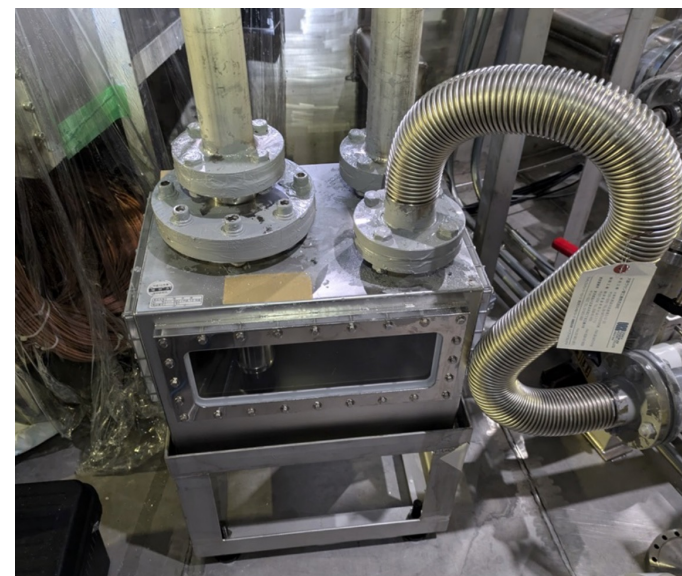
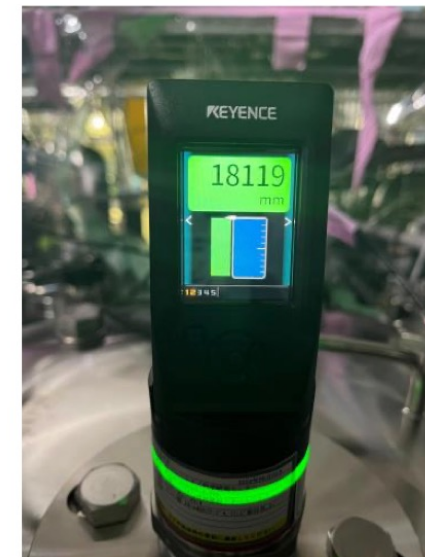
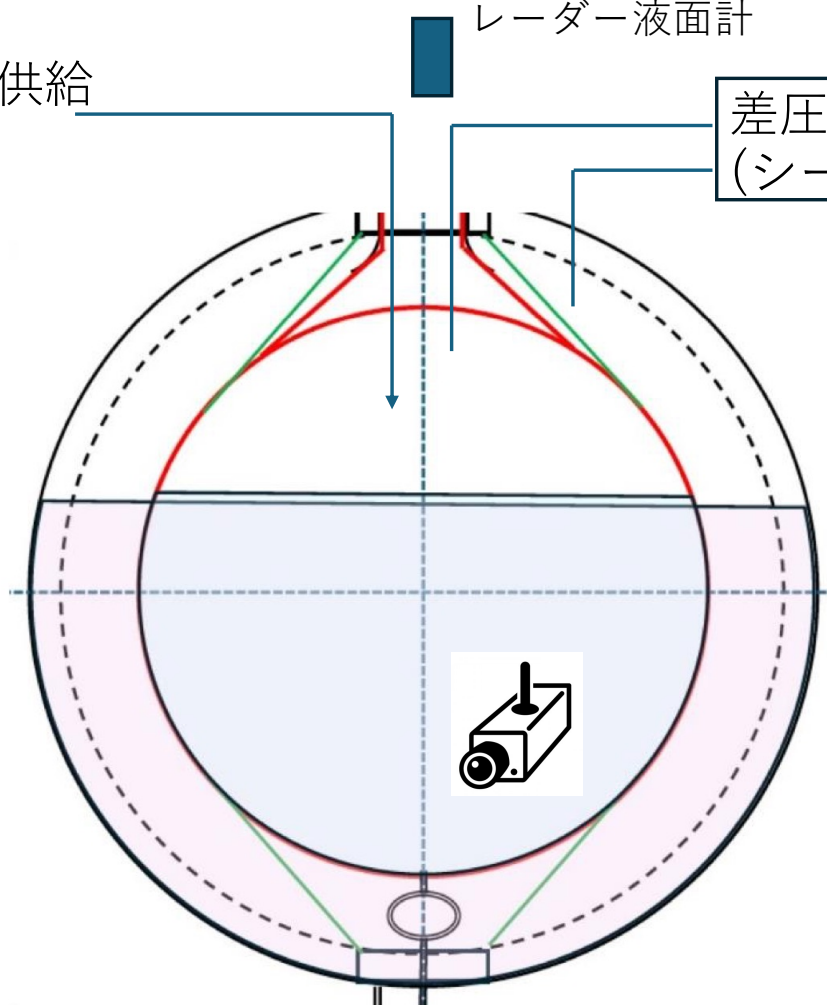
KamLAND LS排出

(主担当: 岸本、清水)

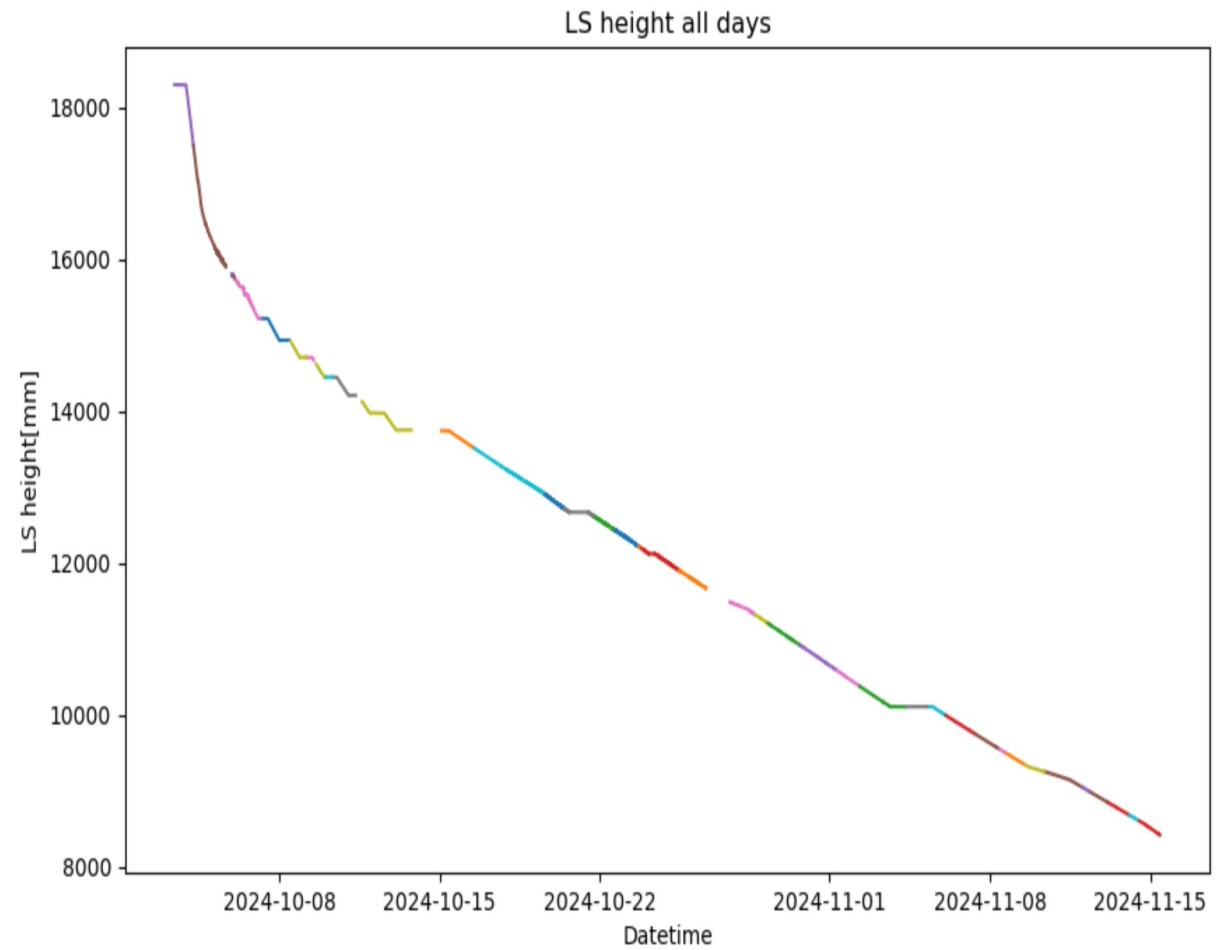
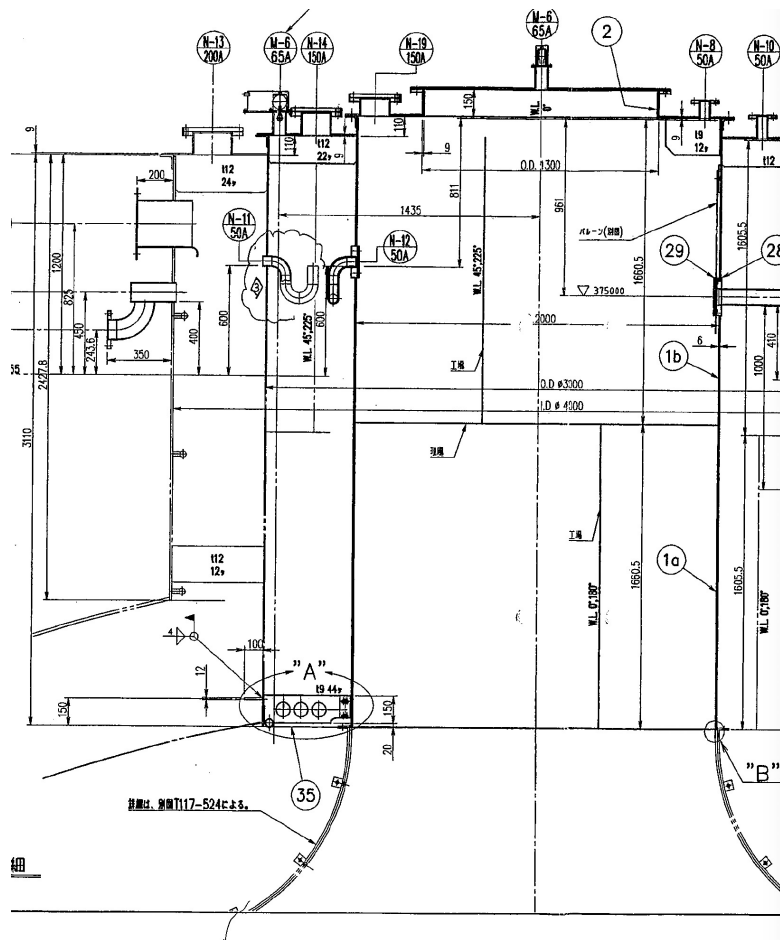


N2供給

差圧計
(シールポット)



KamLAND LS排出モノ二タ一

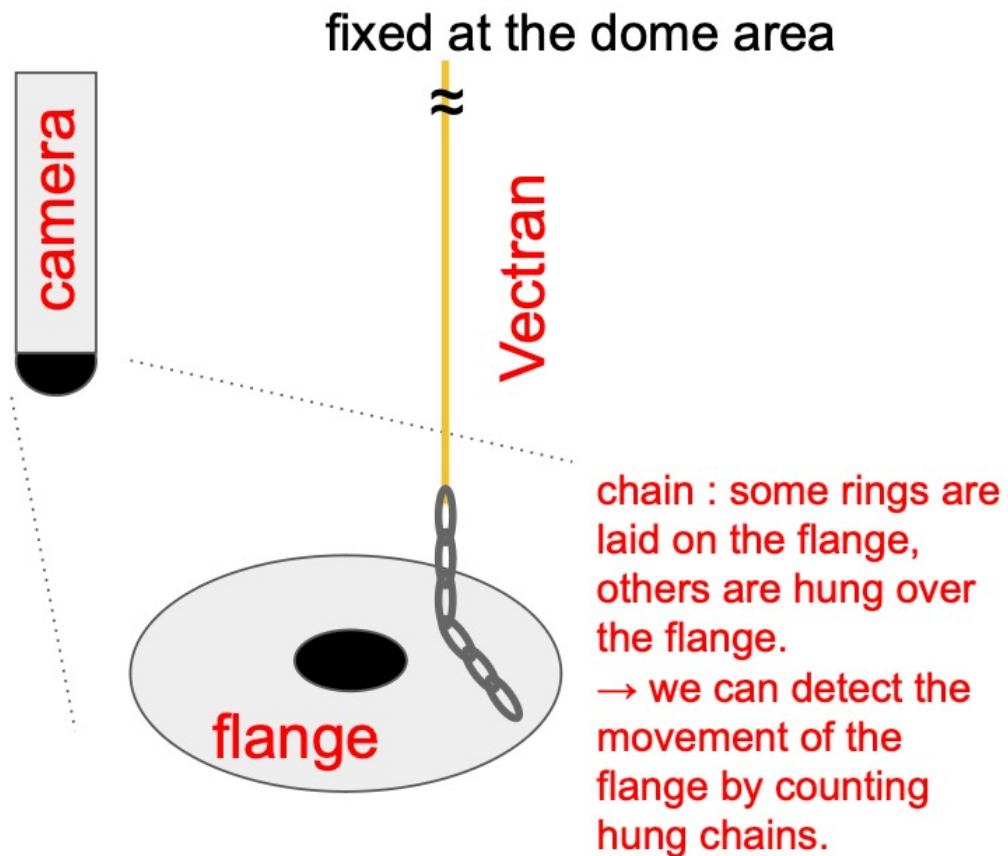


KamLAND LS排出モニター

バルーンボトムが激しく上下 → 吸い込み口を塞ぐ可能性



KamLAND LS排出モニター



Installed chain and vectran



(竹内先生の主導)

KamLAND LS排出

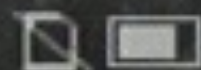
大雪 → 最短で12月末終了予定が1月中旬まで延長



Camera 02



- 17°



0.00m

12:00
16.04.25

2025/1/16 11:57:40

IDの蓋開け

(主担当: 市村、細川、竹内)



2/11 下部解放



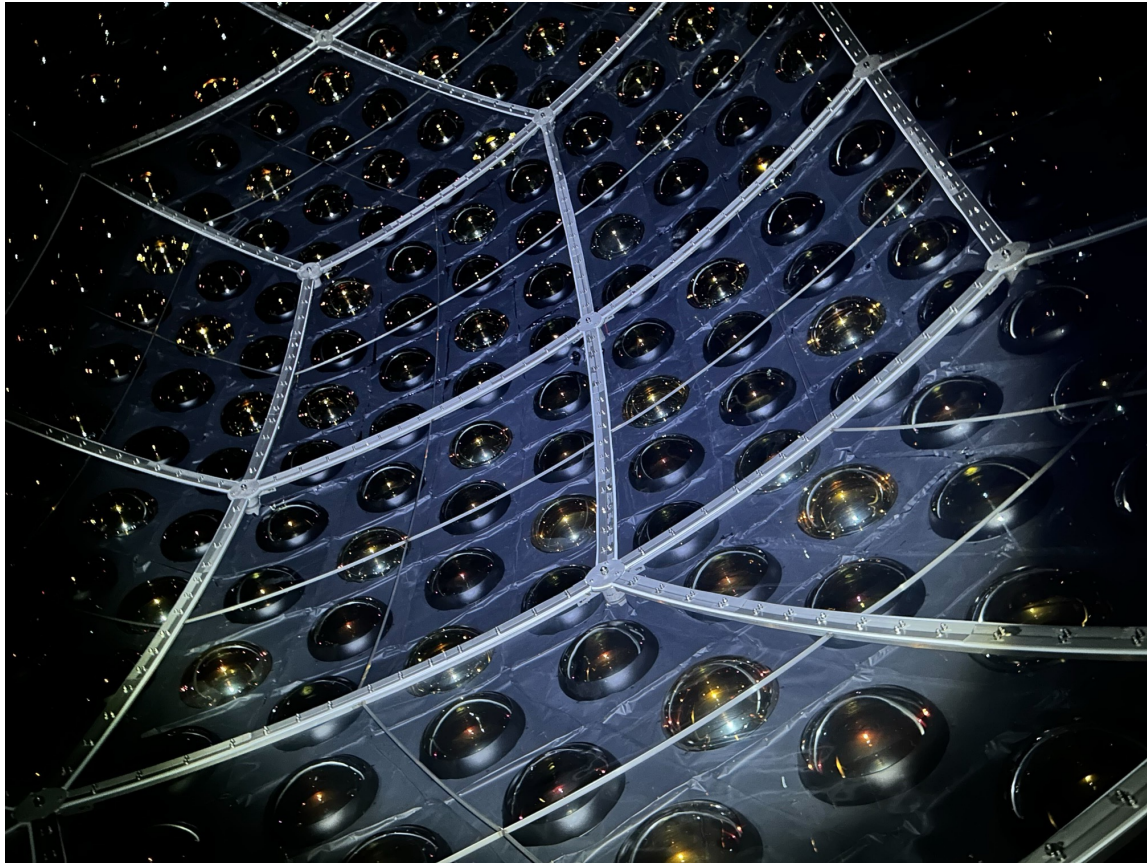
2/13 閉止板開放後

IDの蓋開け



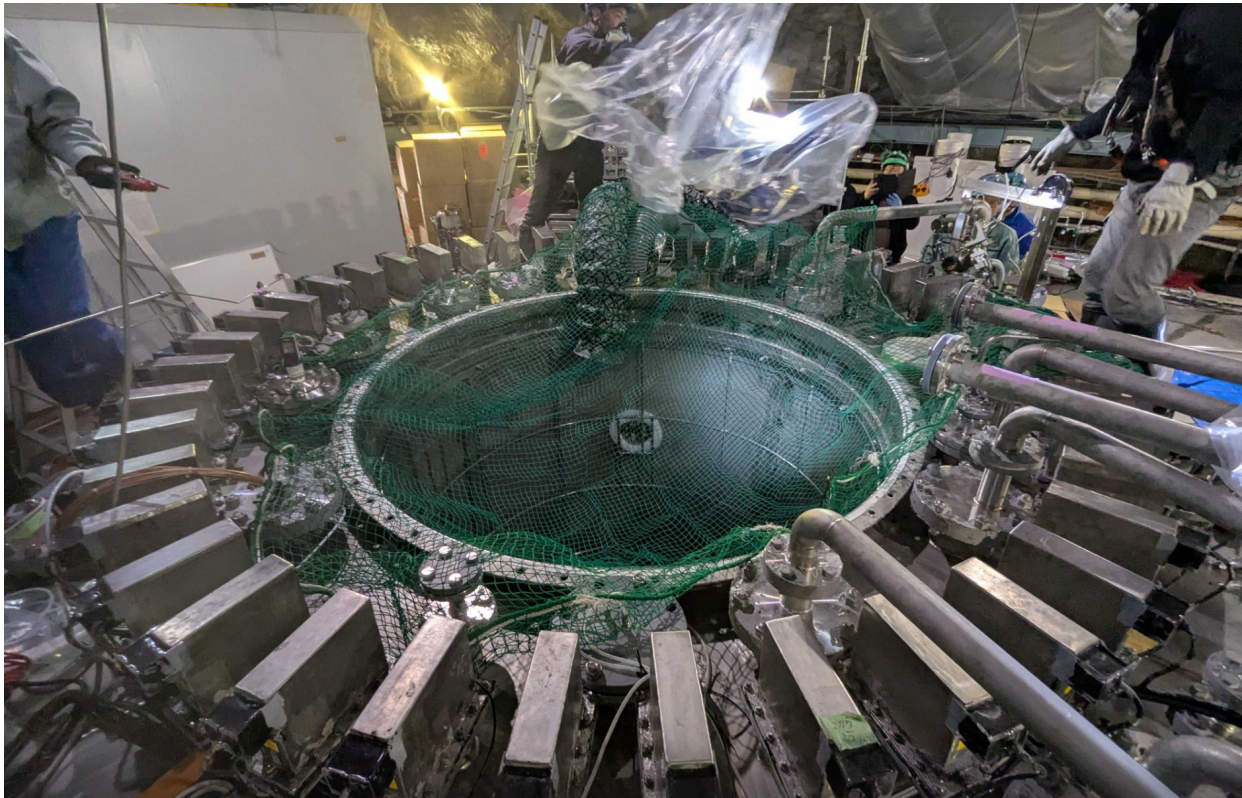
2/17 嚴重装備で内部へ侵入

IDの蓋開け

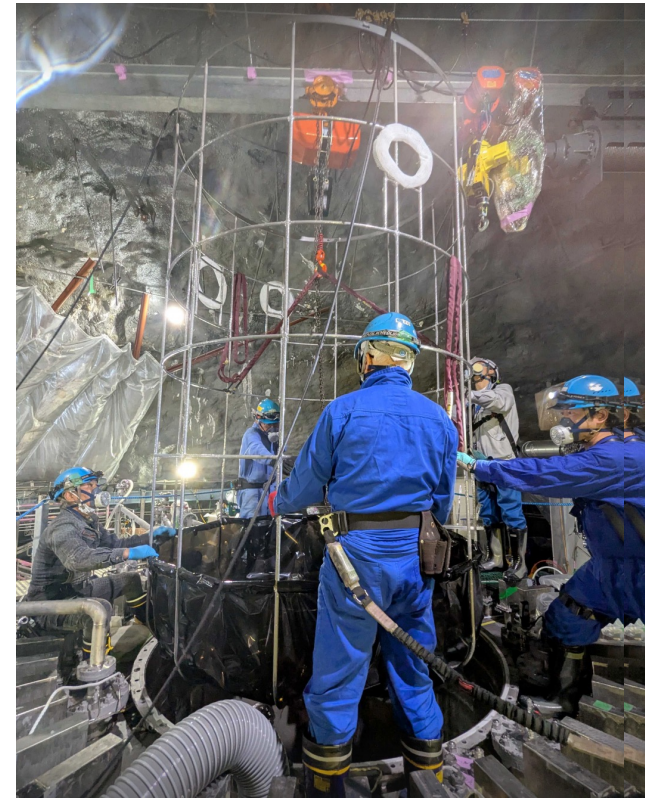


バルーンサンプル

IDの蓋開け



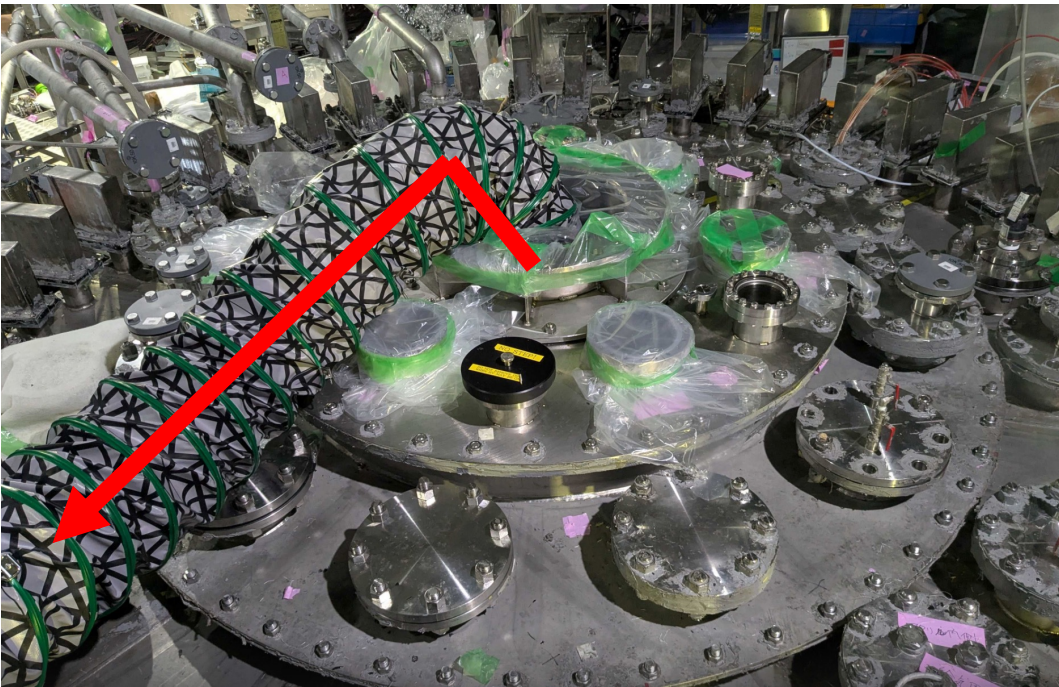
2/14 上部蓋解放



2/18 内部構造物の取り出し

IDの蓋開け

換気中

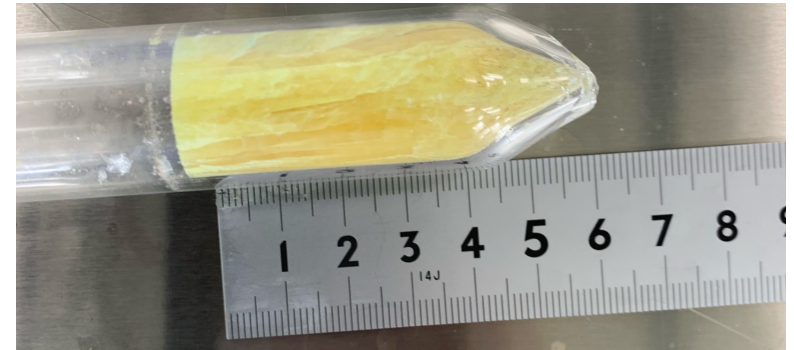


その他の準備状況

発光材BisMSBの結晶化による純化

綺麗なバルーン的制作方法確立

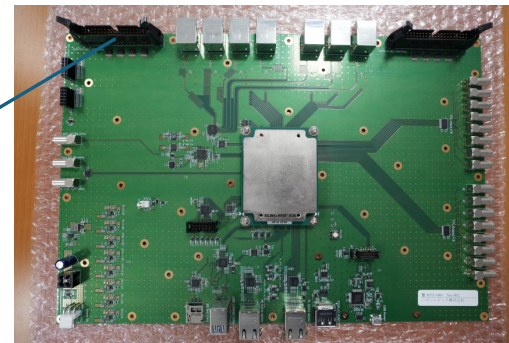
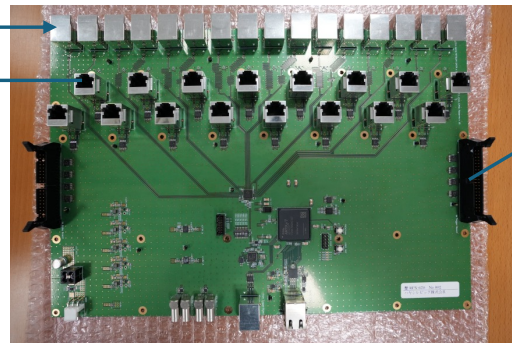
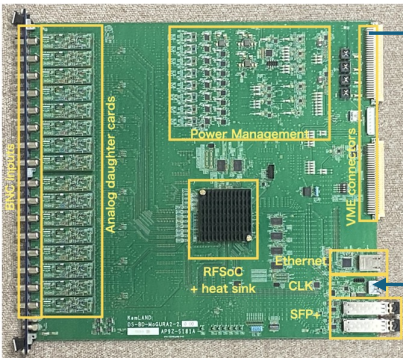
小幡さんのポスター発表



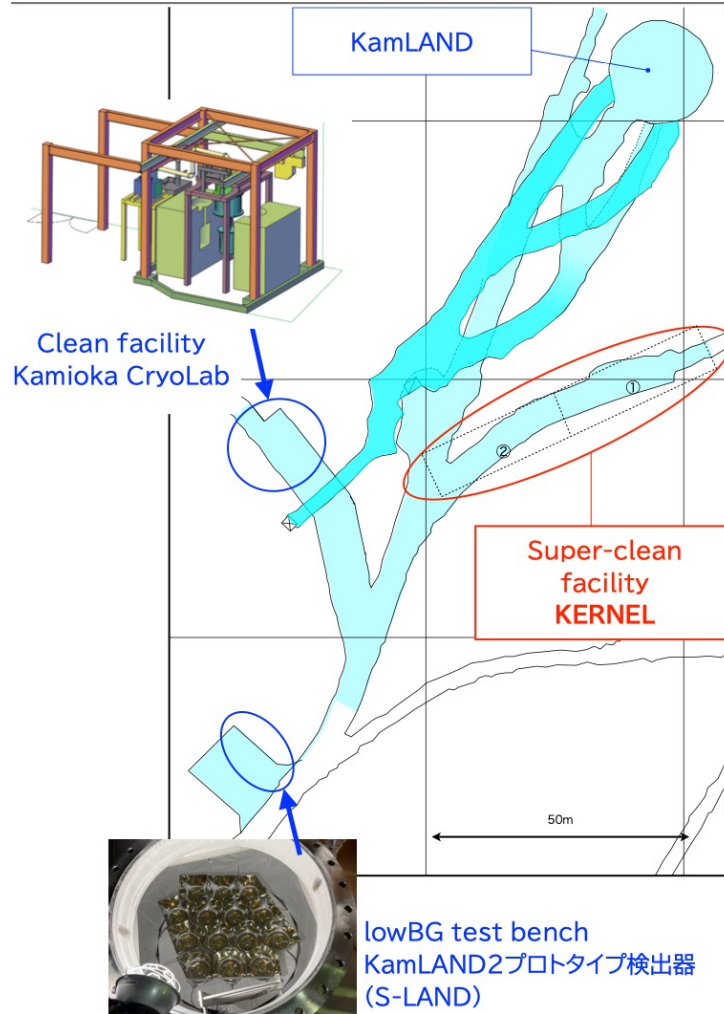
中性子検出効率向上のための機械学習トリガー開発

遠藤くんのポスター発表

トリガー電子回路の開発



KERNEL



カーネル (KERNEL)とは

- 神岡極稀現象研究拠点 (**K**amioka **E**xtrremely **R**are phenomena and **NE**utrino research **L**aboratory) の英語を取ってきたもの
- Kernel : 核とか核心とかを意味する英単語
- これまでの新学術「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」での成果をベースに, 今年度東北大学RCNSと大阪大学RCNPの大学間連携拠点として発足
- ゆくゆくはLow BGコミュニティの共同利用・研究拠点に
- 長期的なコミュニティの発展のための人材育成や極低放射技術の継承, 技術革新の場として活用していきたい
- KamLAND2-Zenの成功にも必要不可欠

2024, 7月 領域研究会の市村さんのスライドより

カーネルの構成要素の紹介

- Experimental apparatus
- Utility for mine safety
- Utility for experiments



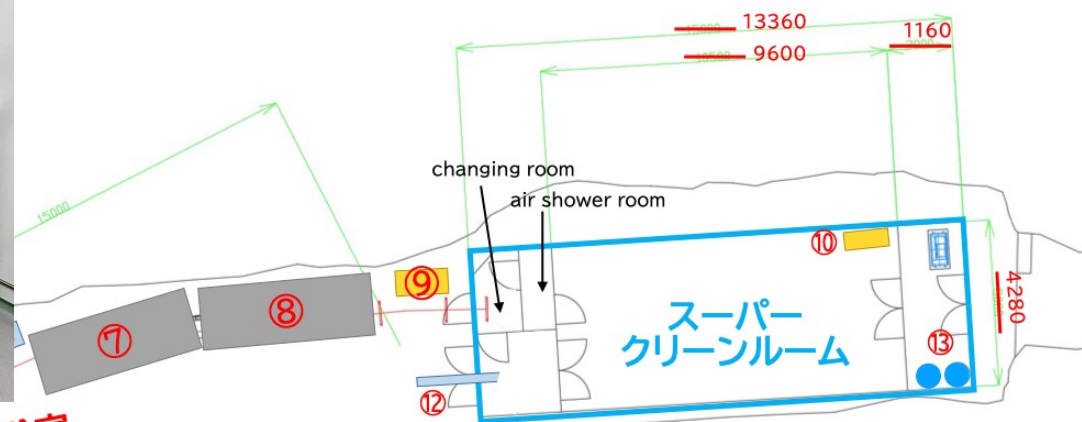
2024, 7月 領域研究会の市村さんのスライドより



2/25の様子

ルの構成要素の紹介

- Experimental apparatus
- Utility for mine safety
- Utility for experiments



2/25の様子

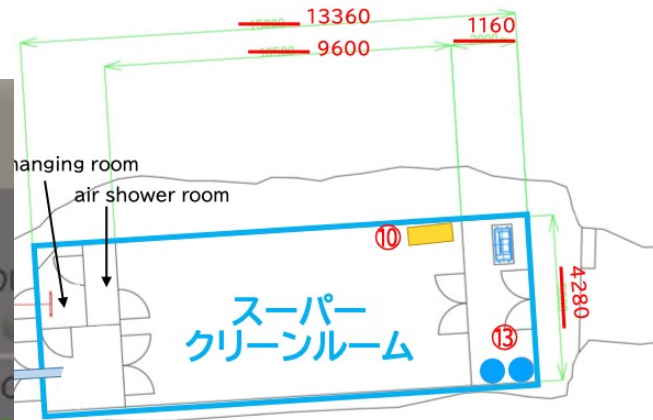


2/25の様子



ルの構成要素の紹介

- Experimental apparatus
- Utility for mine safety
- Utility for experiments



2025-02-27	Measured
10:41:39	
2025-02-27	10:40:33
Size μm	Count (Cumulative)
0.1	0
0.15	0
0.2	0
0.3	0
0.5	0
Loc 00	Meas Time 00:01:00
	NextStart 00:00:04
UNIT	DIFF
OFF	ALM

CONTRAST

F1

F2

F3

F4

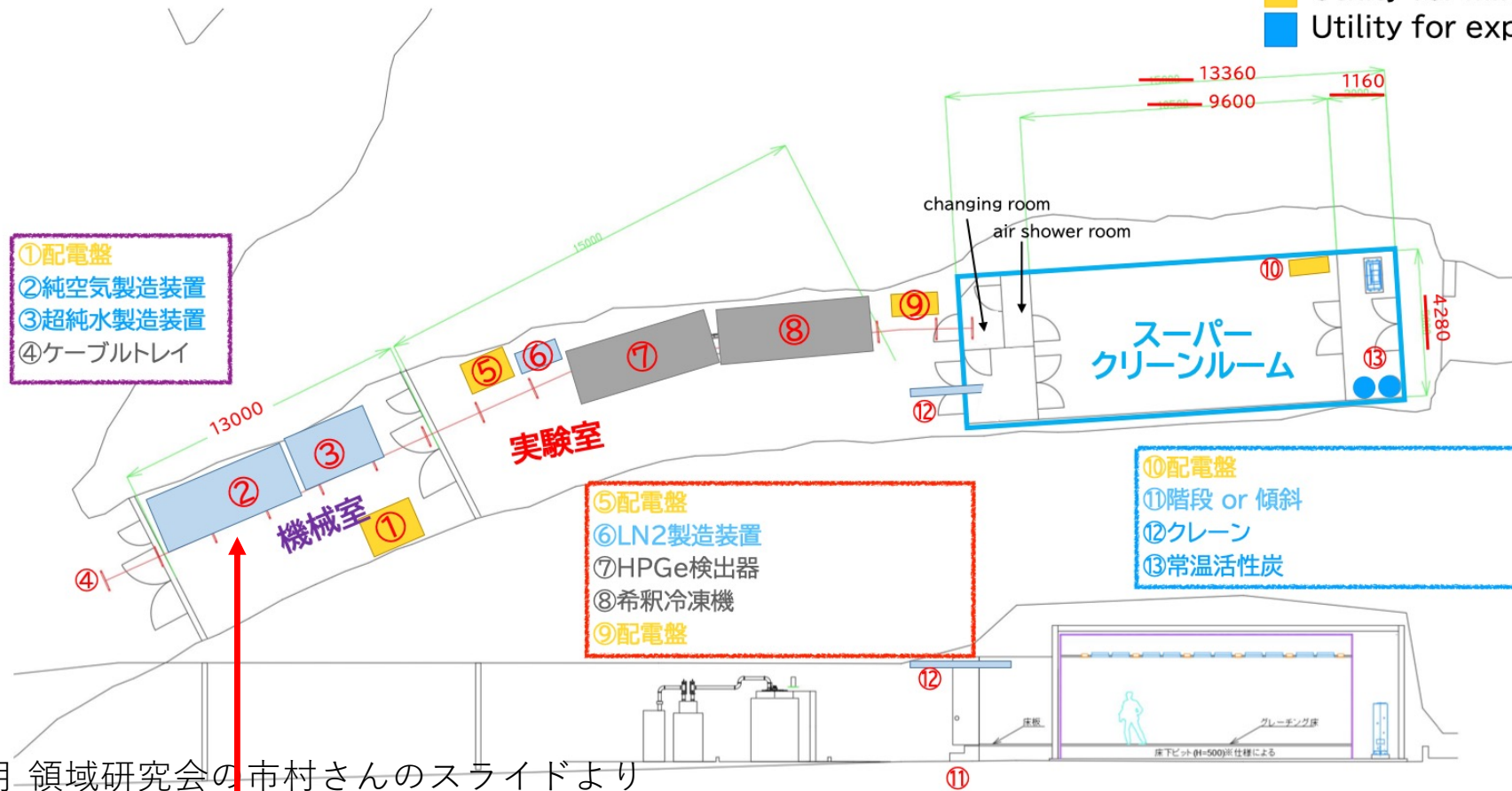
2/25の様子



2/25の様子

カーネルの構成要素の紹介

- Experimental apparatus
- Utility for mine safety
- Utility for experiments



2024, 7月 領域研究会の市村さんのスライドより

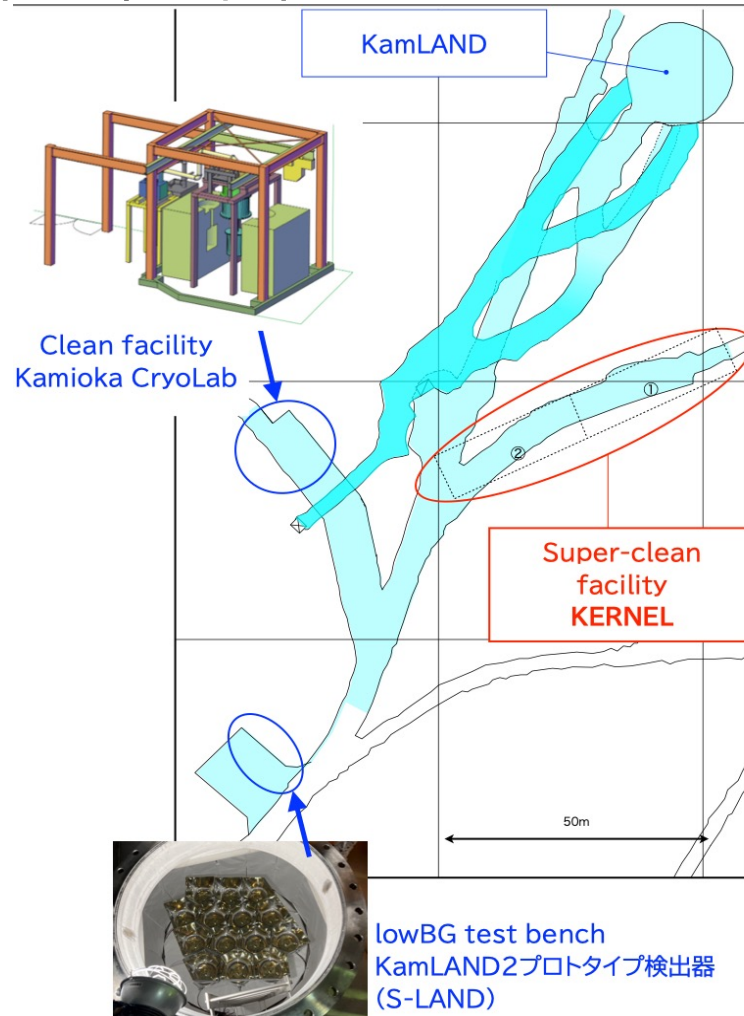
Rn除去システム

冷却活性炭 (250kg), 200 m³/hr

銀ゼオライトにも興味有り
80L Rn計も整備予定
(D01に協力をお願い)

Rn計の準備状況
(見上くんのポスター発表)

希釈冷凍機@KERNEL



東北大RCNS-KEK QUPのMoUベース
2024,11月希釈冷凍機の設置



中性子バックグラウンド評価
(見上くん、川浪くんのポスター発表)

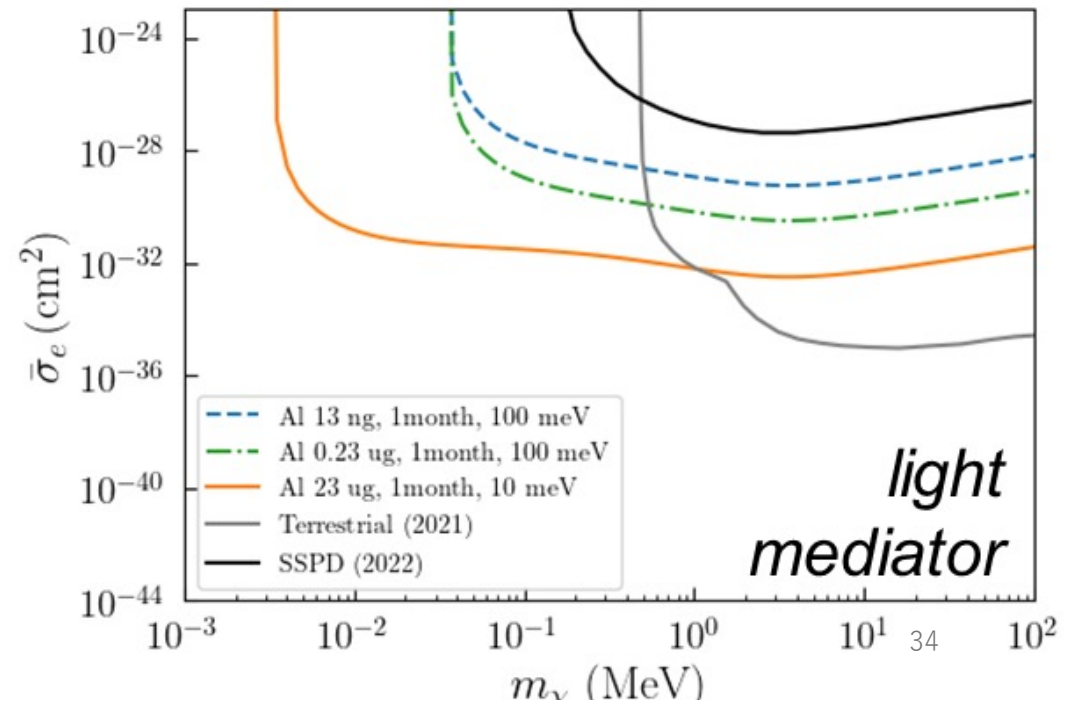
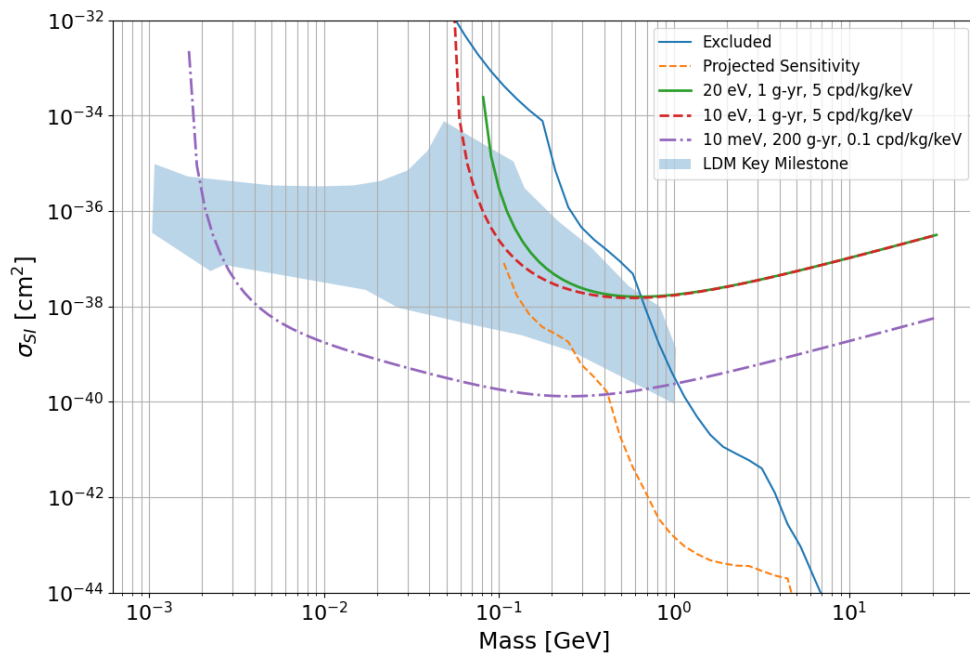
希釈冷凍機での稀事象探索

HeRALD (Helium Roton Apparatus for Light Dark matter):

He原子核ターゲットによるSub-GeV DM探索

光TES:超伝導電子をターゲットにしたMeV DM探索

γ 線TES: 二重電子捕獲, 非弾性反応を利用したDM探索



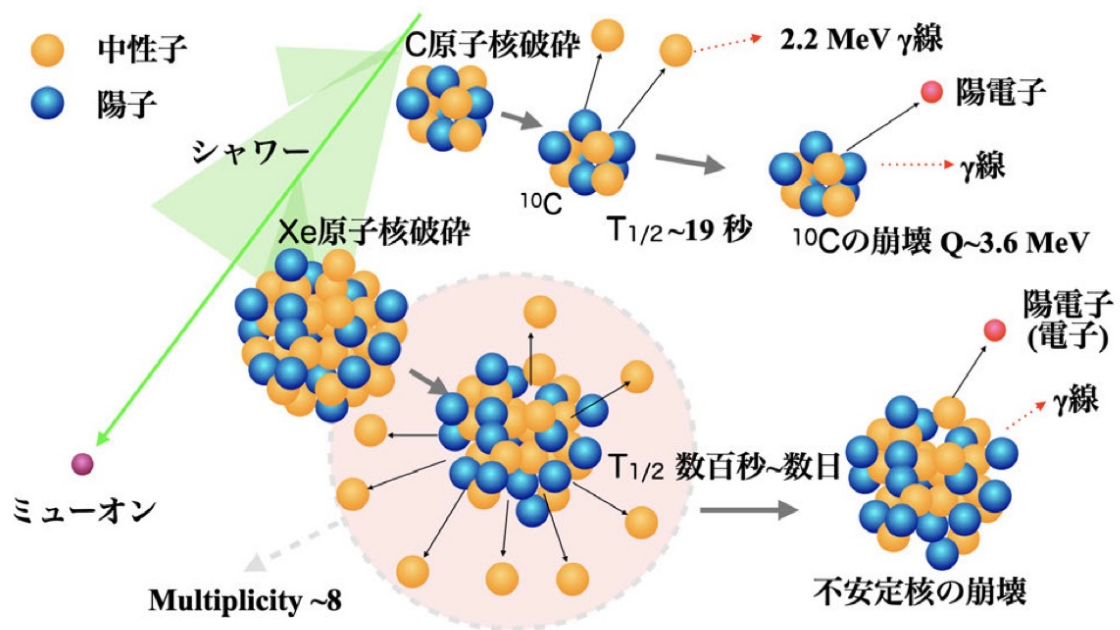
まとめ

次期 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索の準備 + KERNELの現状

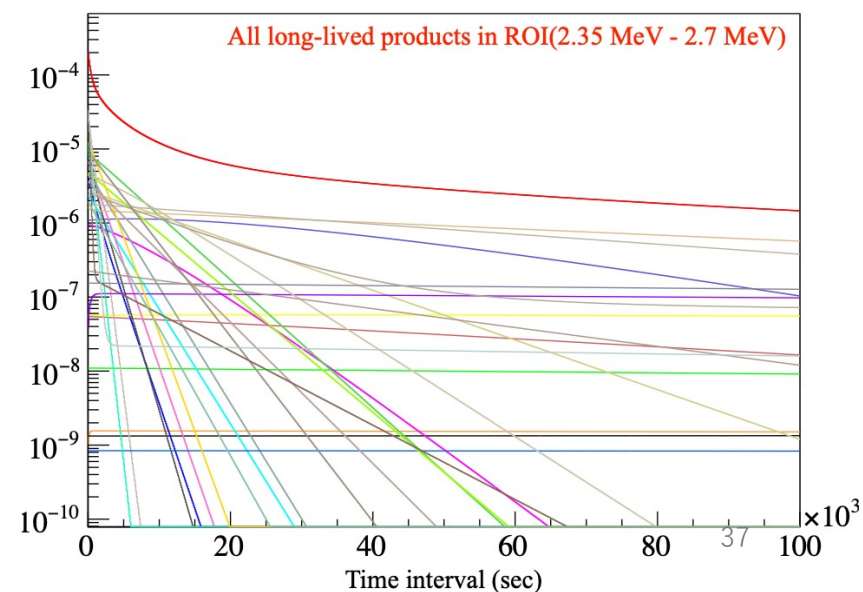
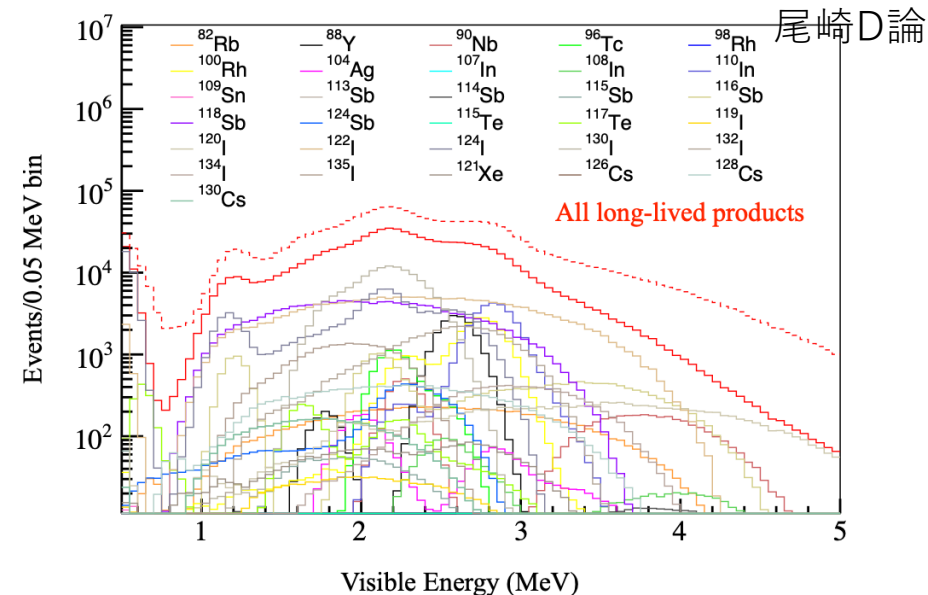
OD PMT取り出し(2/21終了)
KamLAND LS排出(1/23終了)
ID解放(2/19終了)
ID PMT交換(換気中)
バルーン導入
電子回路導入
LS入れ
DAQ再開(2027年度中)
高い中性子検出効率の実証

スーパークリーンルーム建設(目前)
純水システム(目前)
Rn除去システム(目前)
80L Rn計組み立て(4月以降)
銀ゼオライトの導入
希釈冷凍機の移設(11月終了)

長寿命の ^{136}Xe 破砕生成物



中性子数, 距離, 時間を用いたlikelihood解析



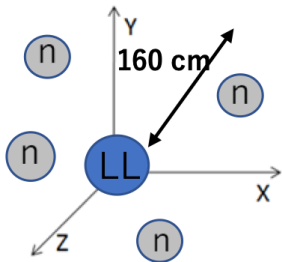
尾崎D論

機械学習による高度化

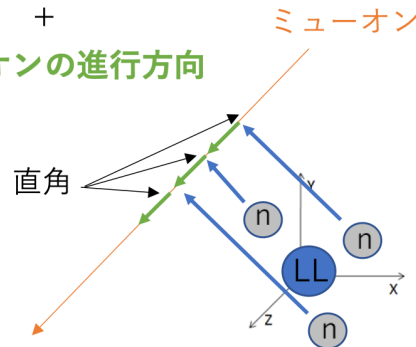
• PointNet <https://arxiv.org/pdf/1612.00593.pdf>

使用例：センサー等で得られた3次元の点群で物体検出

- ① 160cm以内の
中性子座標 + dT



- ② 各中性子からミュオン
までの3次元方向
+
ミュオンの進行方向



- ③ 各中性子の垂線の足から一定
の幅 dE/dx を積分したもの

