

KamLAND-Zen800

実験ミニバルーン送液管 の準備と導入

三宅 春彦, 他 KamLAND-Zen Collaboration
東北大学 RCNS

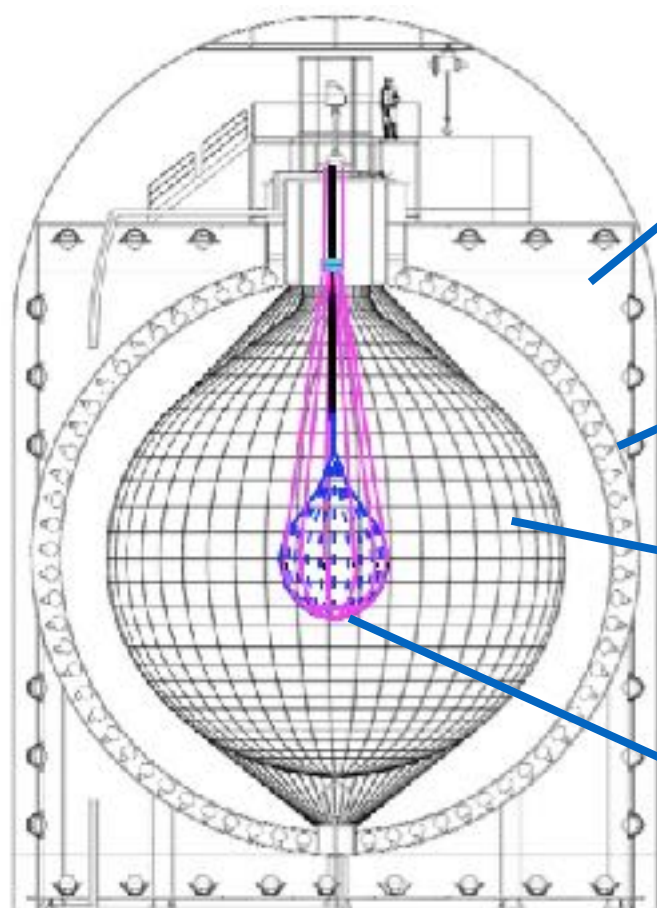
新学術A班 若手研究会2018 (11/8, 9 @京都大学)

液体シンチレータ反ニュートリノ検出器KamLANDを用いた
ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)の探索実験

- ・ ニュートリノのマヨラナ性の証明(宇宙物質優勢の鍵?)
- ・ ニュートリノの質量階層構造へ制限

一早く世界最高感度を達成、 ^{136}Xe での $0\nu\beta\beta$ の半減期を最も厳しく制限

$$T_{1/2}^{0\nu} > 1.07 \times 10^{26} \text{ yr (90\% C.L.)}$$



外水槽

- ・ 3200 m³の純水

光電子増倍管(PMT)

- ・ 合計1879本の17"及び20"PMT

液体シンチレータ(KamLS)

- ・ 溶媒：ドデカン、プソイドクメン/発光剤：PPO

^{136}Xe 含有シンチレータ(XeLS)

- ・ ^{136}Xe ：二重ベータ崩壊核/ミニバルーン中に封入

ミニバルーン送液管

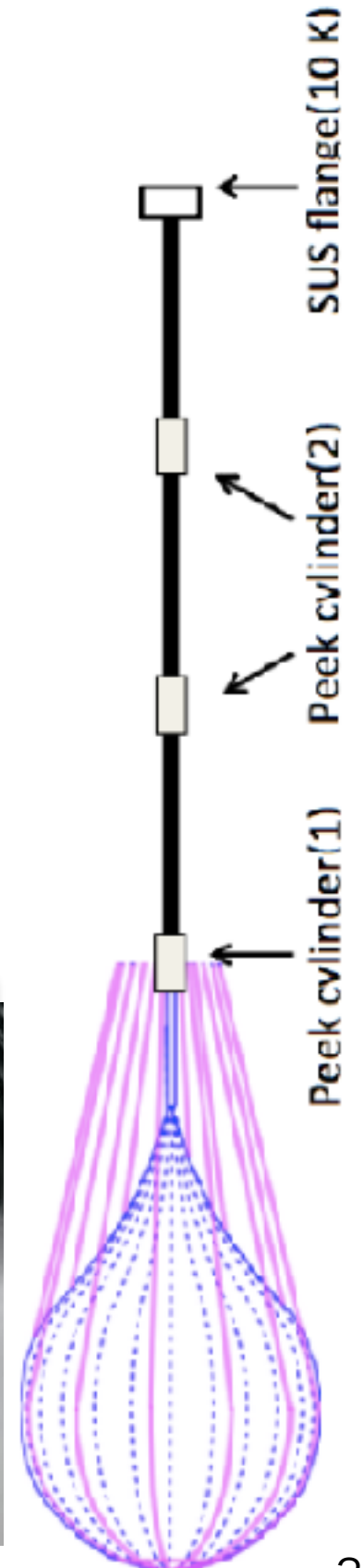
- ・ ミニバルーン内へのXe-LSの輸送（供給・回収）経路
- ・ ミニバルーンをKamLANDの中心に保持しておく支柱としての役割

送液管に対する要求

KamLAND上部の狭い空間での作業→柔軟性が必要
0 ν 観測のBGとなるU, Thが不純物として含まれない
→「コルゲート管」と呼ばれるナイロン製の管を採用
(土木や電気工事などでよく使われるもの)

洗浄の必要性（表面不純物の除去）

Zen400での ^{110m}Ag 由来BGは外部からの混入が疑われている
2mに切断して内部も洗浄
PEEK材製のシリンダーで連結して使用



HPGe検出器による測定

使用するコルゲート管に含まれる放射性物質の測定を事前に実施

^{40}K イベントが支配的

U.L. 1325 mBq/sample

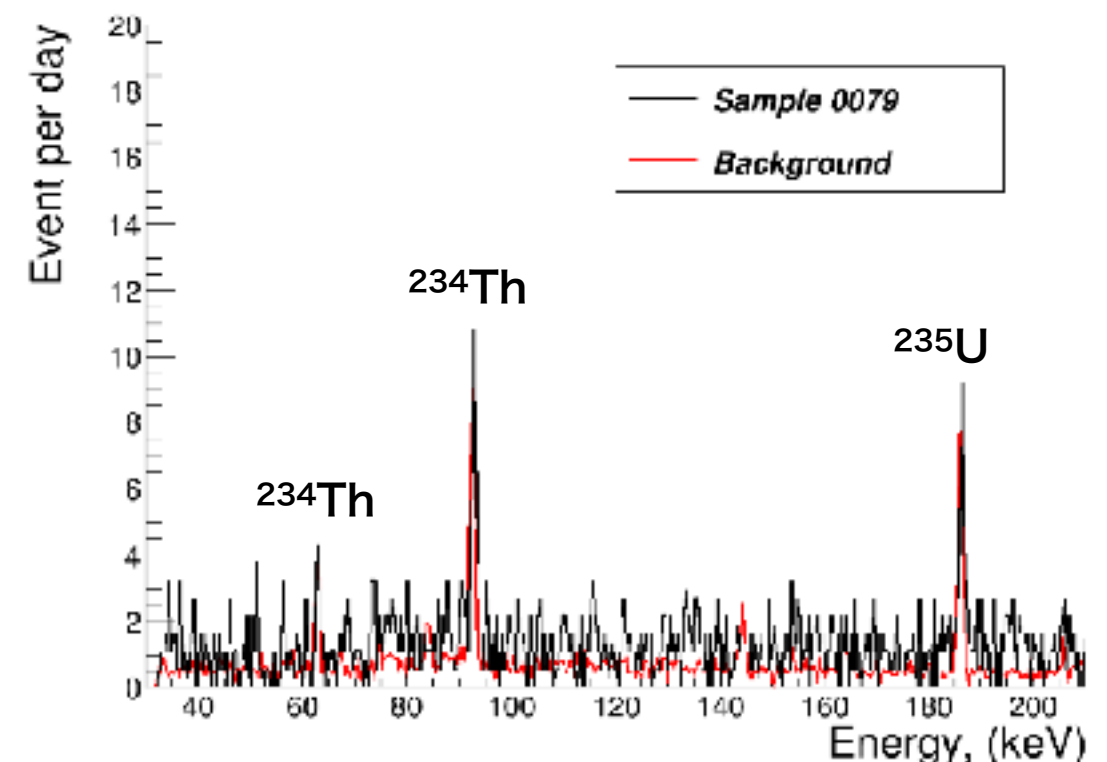
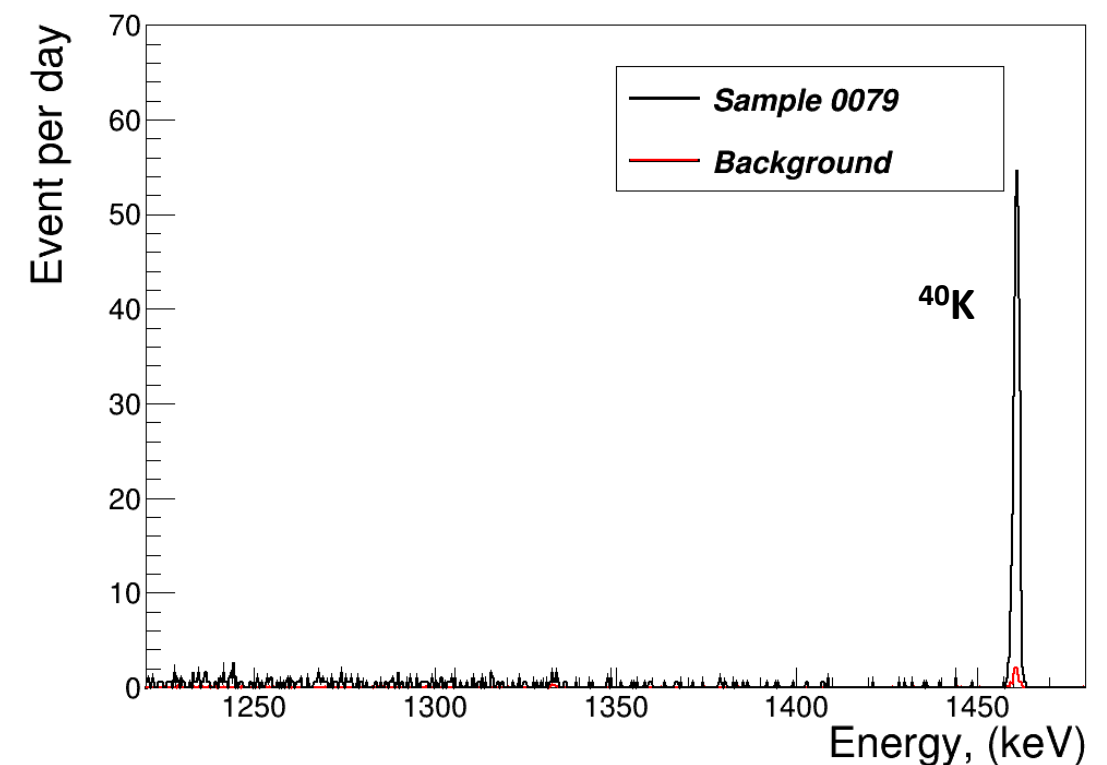
L.L. 1139 mBq/sample (90% C.L.)

この値は**純水と洗剤**による洗浄で変化しなかったため、原因は付着物ではないと考えられた（顔料由来か？）



実は洗浄方法はインストール直前になって変更された（**エタノール**を使った洗浄が必要になった）

Corrugated tube (1.8d exposure)



落としきれていなかった汚れ



- ・ 洗浄済みのコルゲート管の溝をエタノールで拭いたところ汚れが付着
- ・ この汚れが0.1の観測にどれだけ効くかはわからない（調べる時間的余裕もなかった）ものの、発見した以上再洗浄が必要

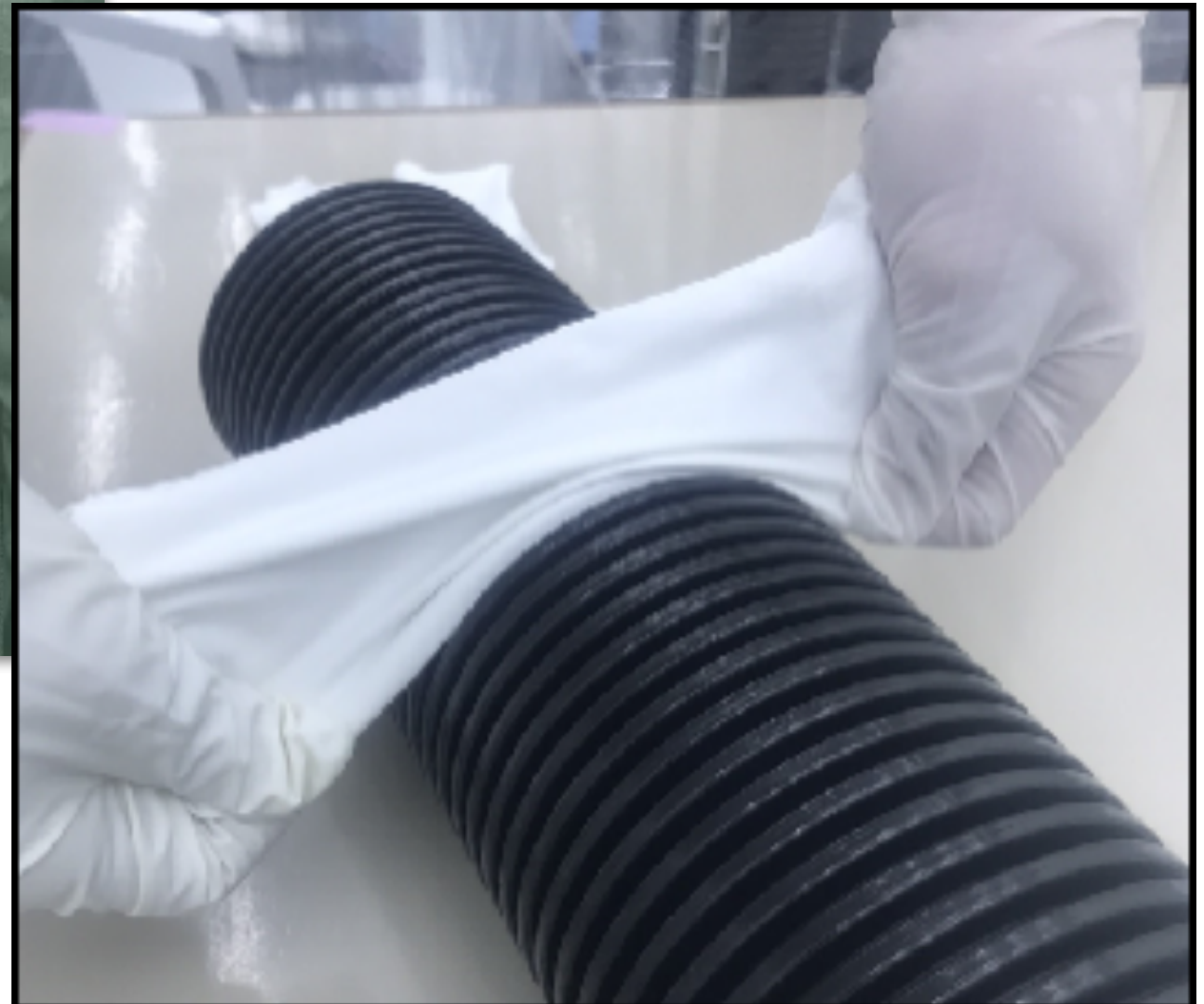
外側表面の洗浄(1)

エタノールを含ませた布で汚れがつかなくなるまでゴシゴシ拭く
(汚れを発見したときの方法をそのまま踏襲)

→**辛過ぎた(手の皮が剥ける、翌日は筋肉痛)**

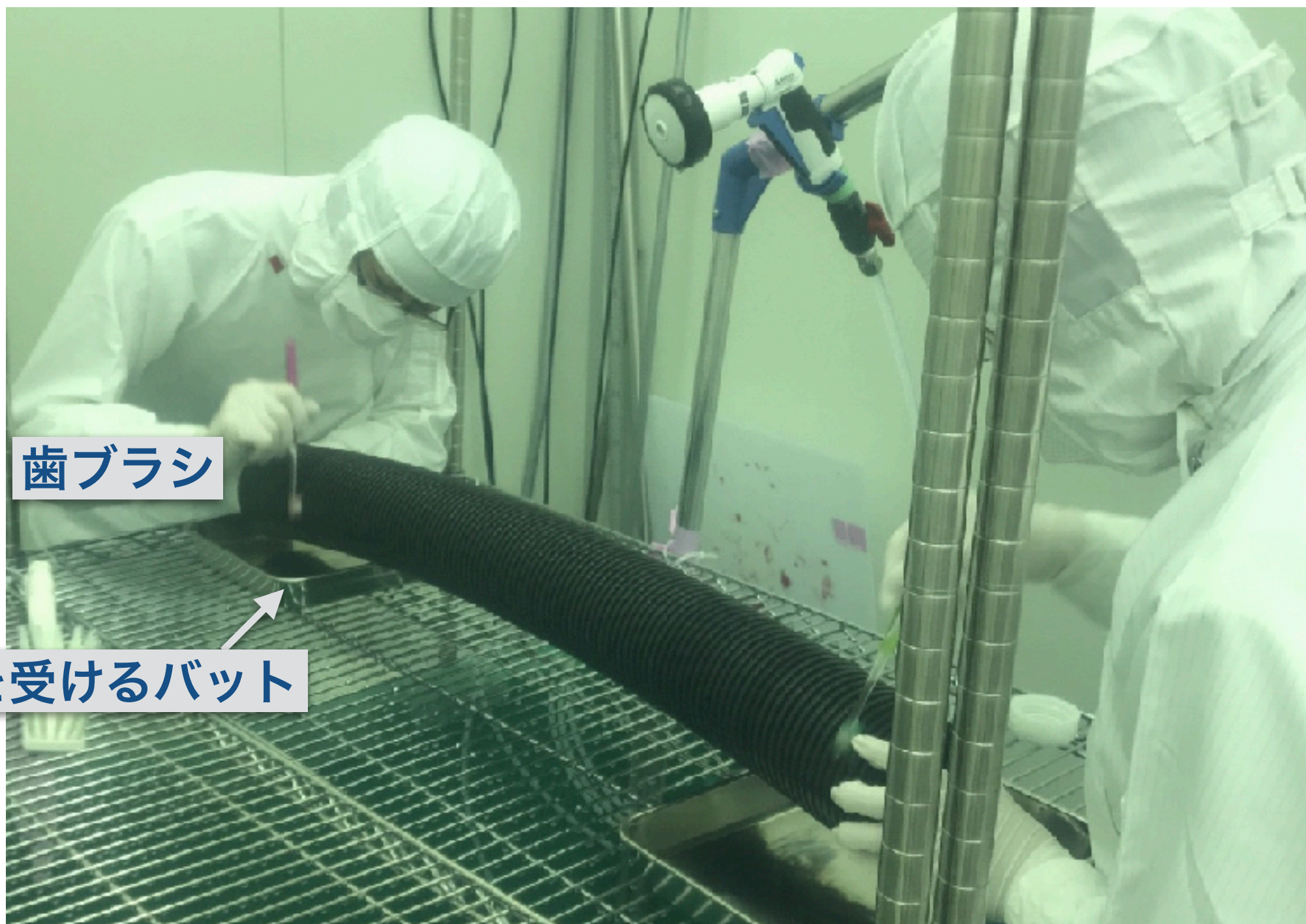


押さえるひと



外側表面の洗浄(2)

クロスで拭く前にエタノール掛け流し＋歯ブラシで洗うことに
→その後布で拭いて最終確認（作業の省力化に成功）



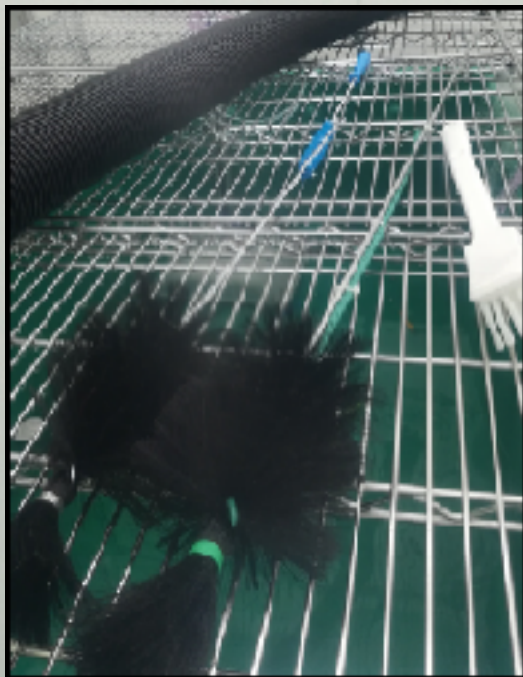
歯ブラシ

廃液を受けるバット

内側表面の洗浄

- ・ 内側は布で拭くことができないため、片側を塞いでエタノールを溜めた状態でブラシで洗浄
- ・ 廃液を回収するとコロイド状の濁りが見られた

エタノールを流し込んで
ブラッシング (30分)



片側をビニール袋で塞ぐ

超純水＋超音波洗浄器で仕上げの洗浄

- ・ 洗浄に使ったエタノールを完全に落としきるために超音波洗浄機を使用





- ・ LS への水の混入は厳禁
- ・ ステンレスラックに立てかけて乾燥
- ・ クリーンルーム内はダウフローがあるため比較的短時間で内側も乾燥
- ・ セイデンドクリスタルで側面を覆うことで埃の再付着を防止

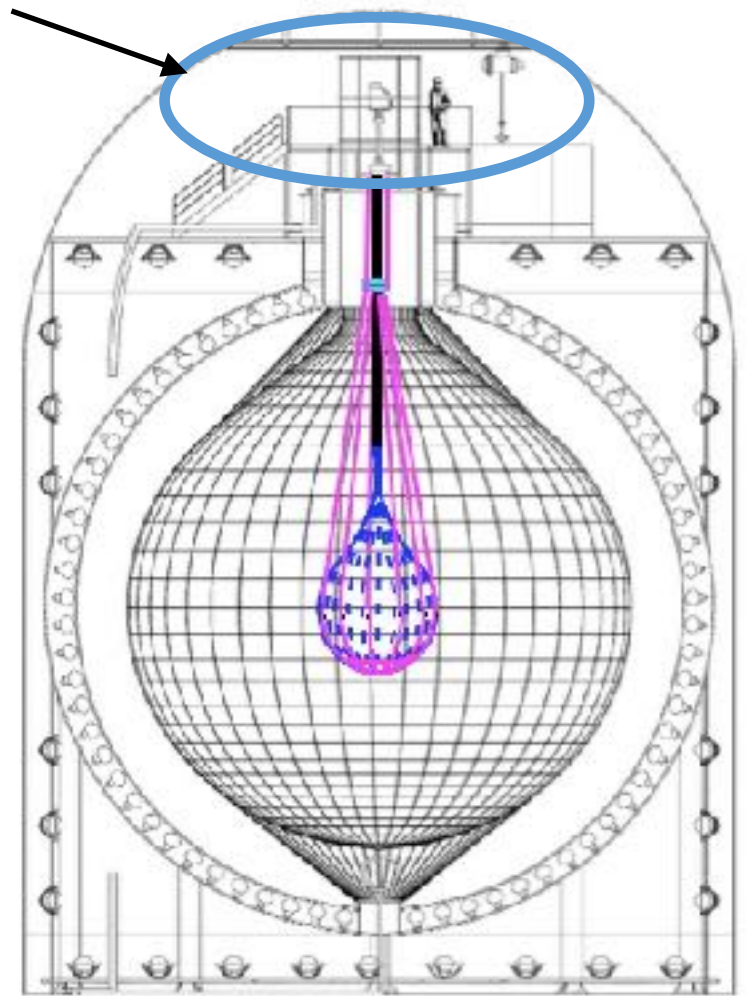


組み立て式ステンレスラック

KamLANDエリアでの組み立て作業



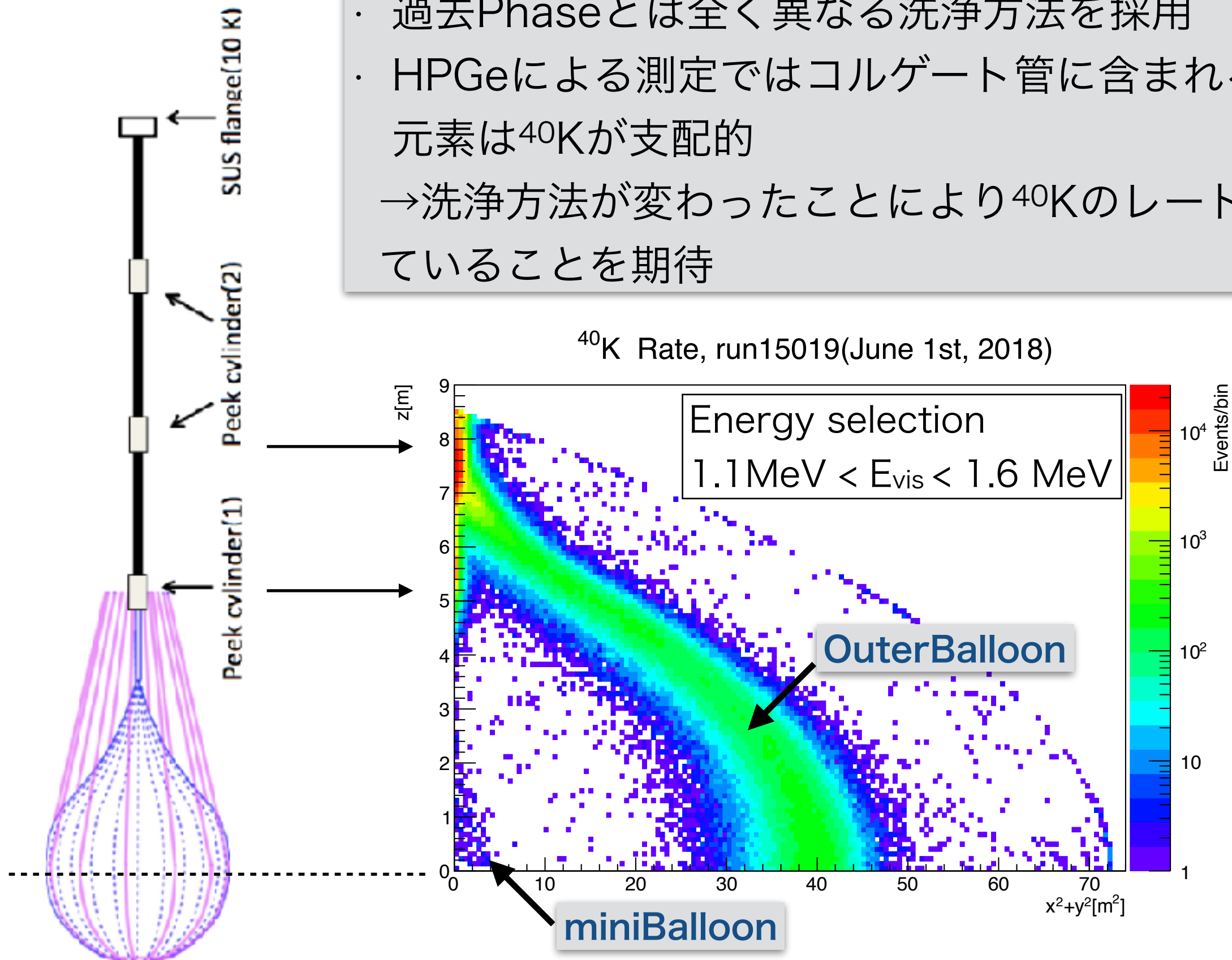
KamLAND上部のクリーンルーム



- ・ 組み立て作業時にも埃が付着しないよう養生をしながら作業
- ・ 工具類も仙台で洗浄したものを神岡へ搬送して使用

エタノール洗浄の効果

- ・ 過去Phaseとは全く異なる洗浄方法を採用
- ・ HPGeによる測定ではコルゲート管に含まれる放射性元素は ^{40}K が支配的
→ 洗浄方法が変わったことにより ^{40}K のレートが減少していることを期待



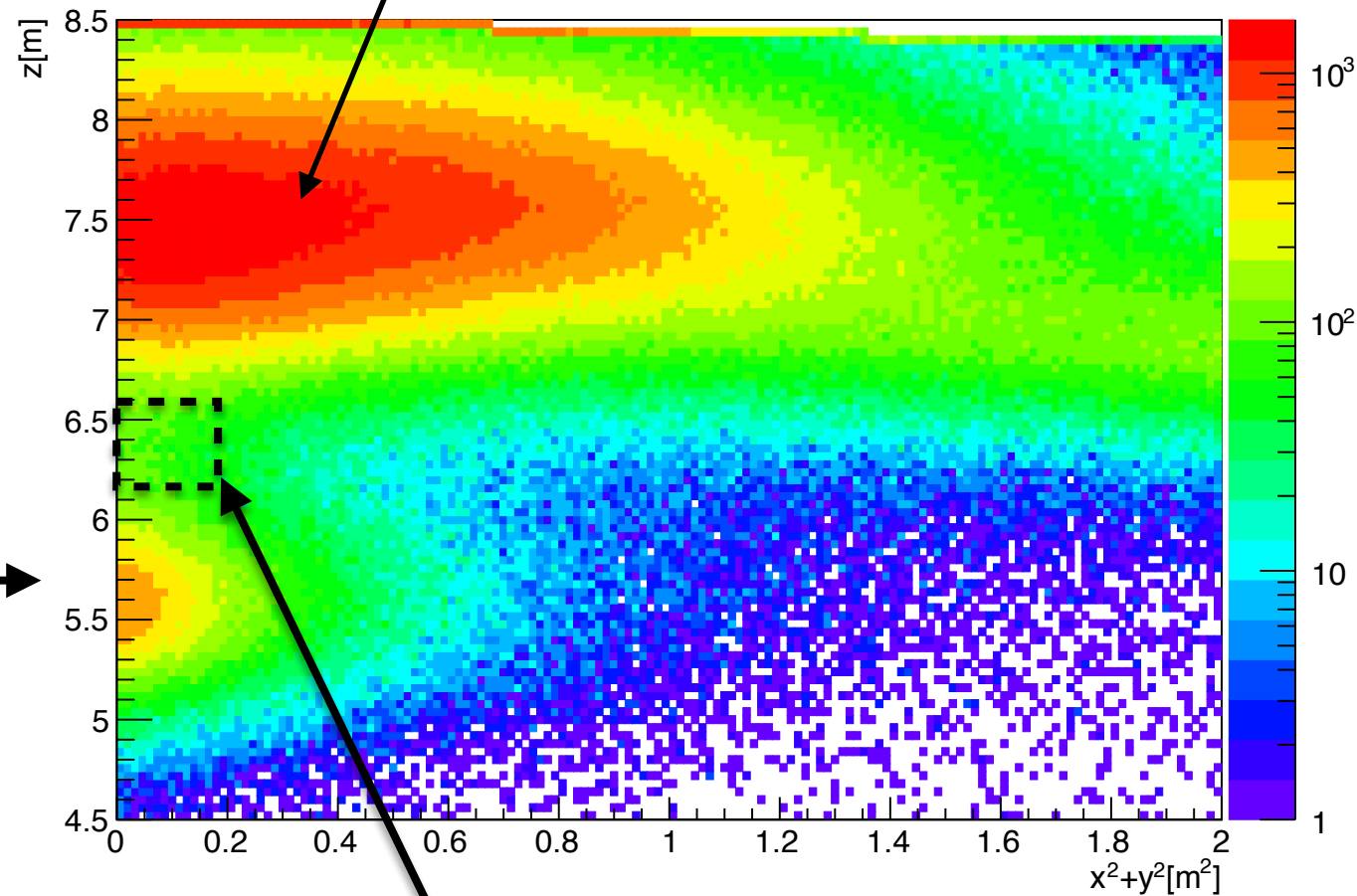
中心軸部分を拡大

カメラが配置されているため高レート

run15019(June 1st, 2018)

Energy selection

$1.1 \text{ MeV} < E_{\text{vis}} < 1.6 \text{ MeV}$

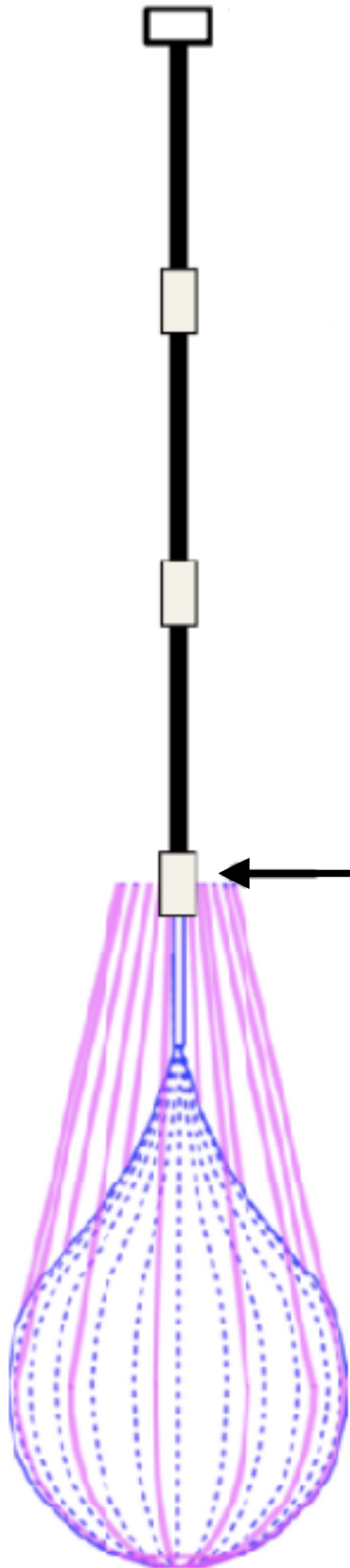


高レート部分の染み出しを避けた

$$6.1 \text{ m} < z < 6.6 \text{ m}$$

$$x^2 + y^2 < 0.2 \text{ m}^2$$

の部分の⁴⁰Kイベントレートを調べた。

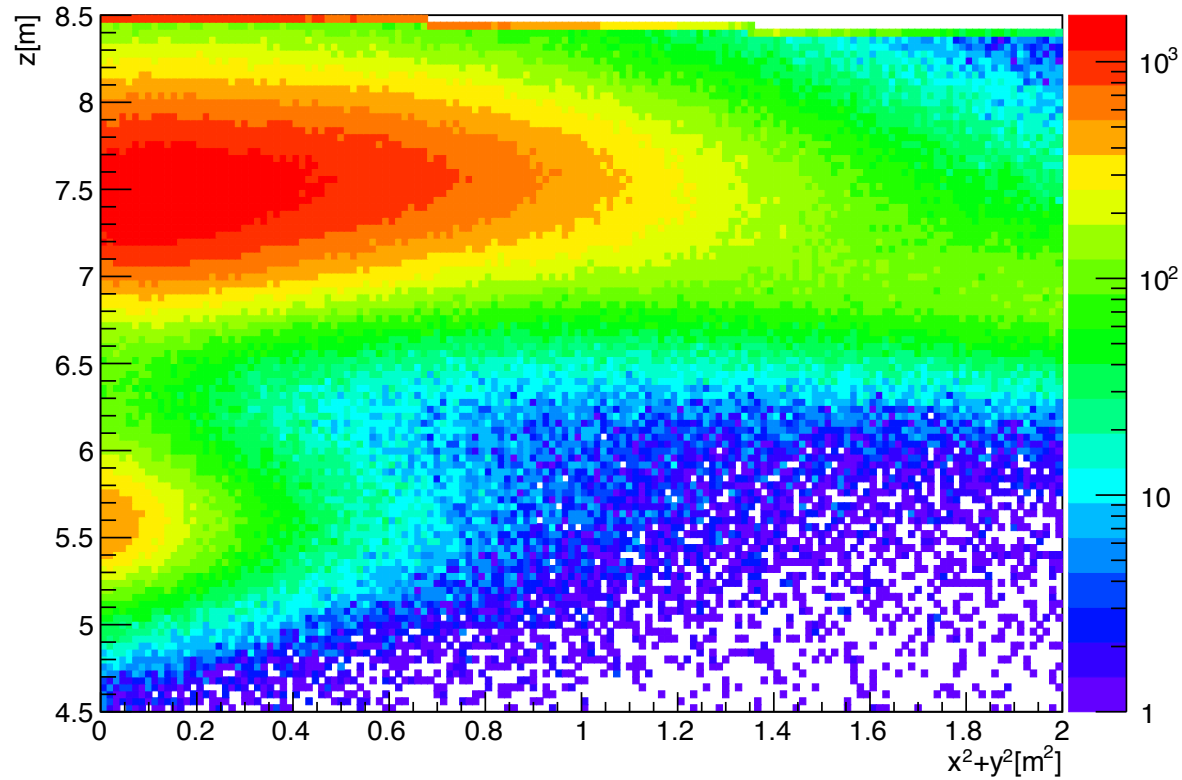


過去のPhaseとの比較

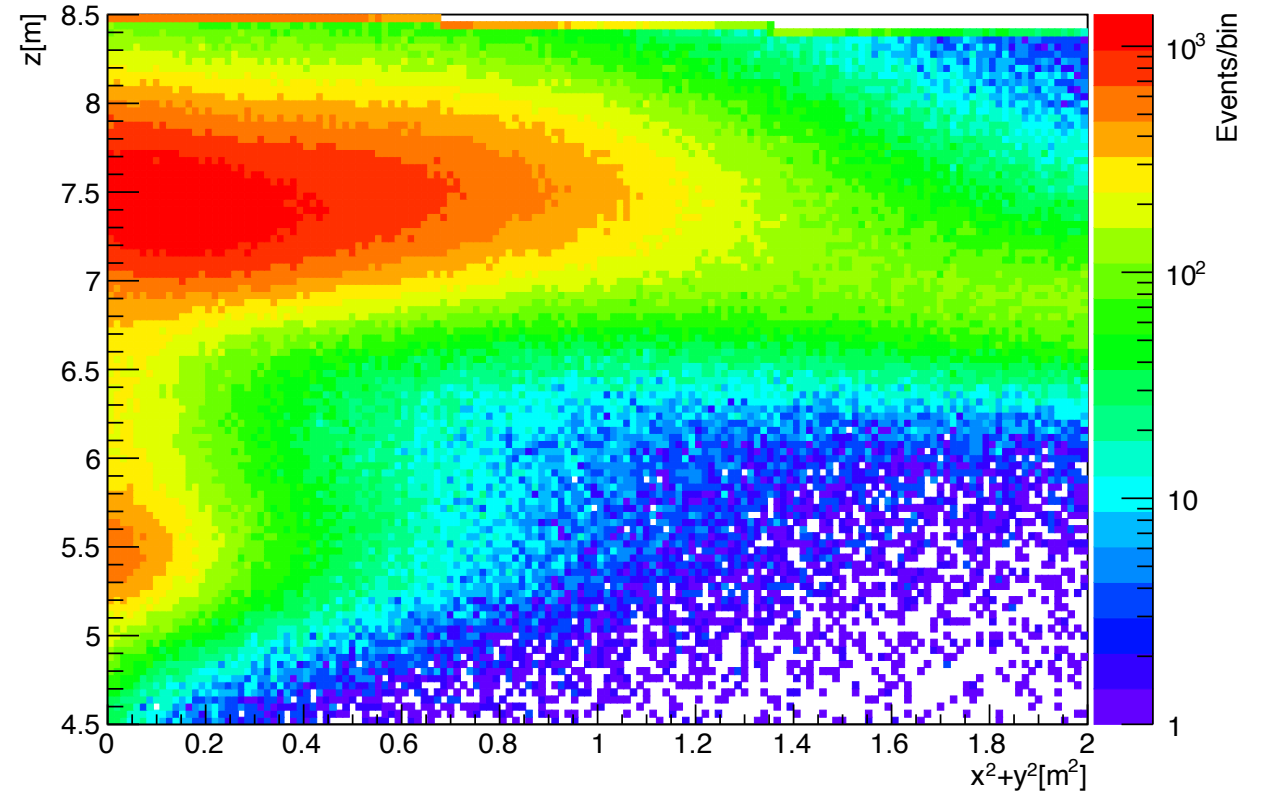
Energy selection
 $1.1 \text{ MeV} < E_{\text{vis}} < 1.6 \text{ MeV}$



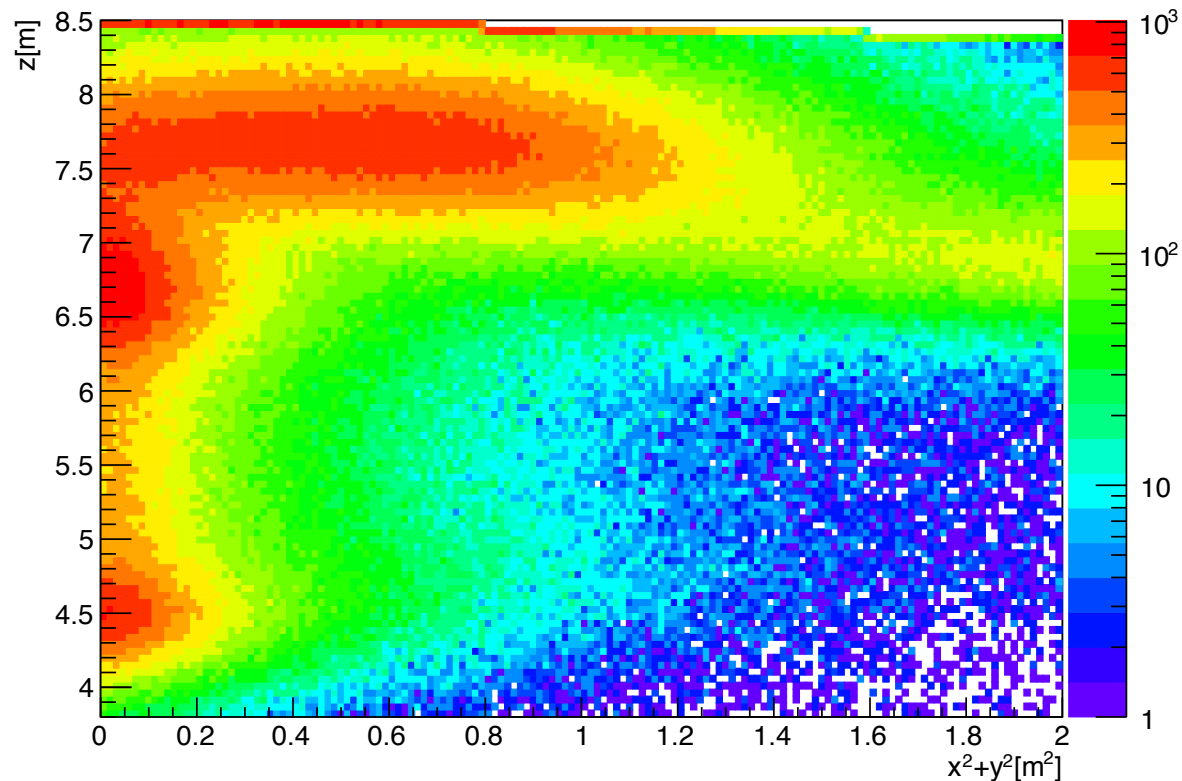
run15019(June 1st, 2018)



run13921(Failed 800)



run13069(zen 400)



Phase	Zen800	Failed800	Zen400
^{40}K rate [mHz/10cm]	19.7	57.0	56.2

^{40}K のレートが1/3程度に減少！

- ・ KamLAND-Zen 800のための送液管は仙台のクリーンルームにて徹底的な洗浄を実施.
- ・ 組み立て時の不純物の付着にも細心の注意を払って作業
- ・ 粗い評価ながらエタノールによる再洗浄は効果的だったと思われる
 - ・ ^{40}K のレートが1/3程度に減少
 - ・ HPGeで検出された ^{40}K は洗剤で落としきれていなかった表面の汚れが原因であった可能性を示唆
 - ・ ただしエタノール洗浄をしたサンプルはHPGeで測定していない
- ・ 0ν 観測に影響のあるU, ThのBGレート評価
 - ・ 特にバルーンと送液管を繋ぐPEEKシリンダー周囲(0ν 解析の有効体積に近い部分)の解析を急ぐ

Backup

Corrugated tube (1.8d exposure)

Provider: RCNS, Tohoku University

Experiment: KamLAND-Zen

Material: Corrugated tube PMA CYLG-95B
for KamLAND-Zen 800 (**sample #1**)

Chemical formula: $C_6H_{11}NO$

Dimensions: Corrugated tube, inner
diameter 91.9 mm, outer diameter 106.0
mm, length ~100 mm

Mass: 64.8 g

Density: 1.1 g/cm³

Date of assembling: 25/10/2017

Data live time: 159574 s



The corrugated tube to be used for the KamLAND-Zen 800 mini-balloon.

RI in corrugated tube (1.8d exposure)

Isotope	Energy, keV	Signal, events	Background, events	UL, 90%CL (mBq)	LL, 90%CL (mBq)
^{40}K	1460.8	502	18	1325	1139

Comment: we stopped data taking since ^{40}K was main source of RI. This activity corresponds to a 10cm of corrugated tube.

Corrugated tube flange (3.5d exposure)

Provider: RCNS, Tohoku University

Experiment: KamLAND-Zen

Material: Two grip pieces PMA GRIP 95
for **KamLAND-Zen 800**

Chemical formula: $C_6H_{11}NO$

Dimensions: Ring, inner diameter 97.0
mm, outer diameter 129.0 mm, thickness
27.0 mm

Mass: 67.35 g

Density: $\sim 1.5 \text{ g/cm}^3$

Date of assembling: 27/10/2017

Data live time: 305267.05 s



RI in corrugated tube flange (3.5d exposure)

Isotope	Energy, keV	Signal, events	Background, events	UL, 90%CL (mBq per sample)	LL, 90%CL (mBq per sample)
^{40}K	1460.8	1425	35	2277	2082
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1001	12	11	109	0
^{228}Ac	911.2	738	11	367	325
^{214}Bi	609.3	1949	8	421	390
^{208}Tl	583.2	1049	12	119	107
^{212}Pb	238.6	3031	39	367	345

PEEK (5.8d exposure)

Provider: RCNS, Tohoku University

Experiment: KamLAND-Zen

Material: PEEK material for **KamLAND-Zen 800**

Chemical formula: $C_{21}H_{18}O_3$

Dimensions: Irregular shape in opened S-size container

Mass: 36.6 g

Density: 1.32 g/cm^3

Date of assembling: 31/10/2017

Data live time: 503457.46 s

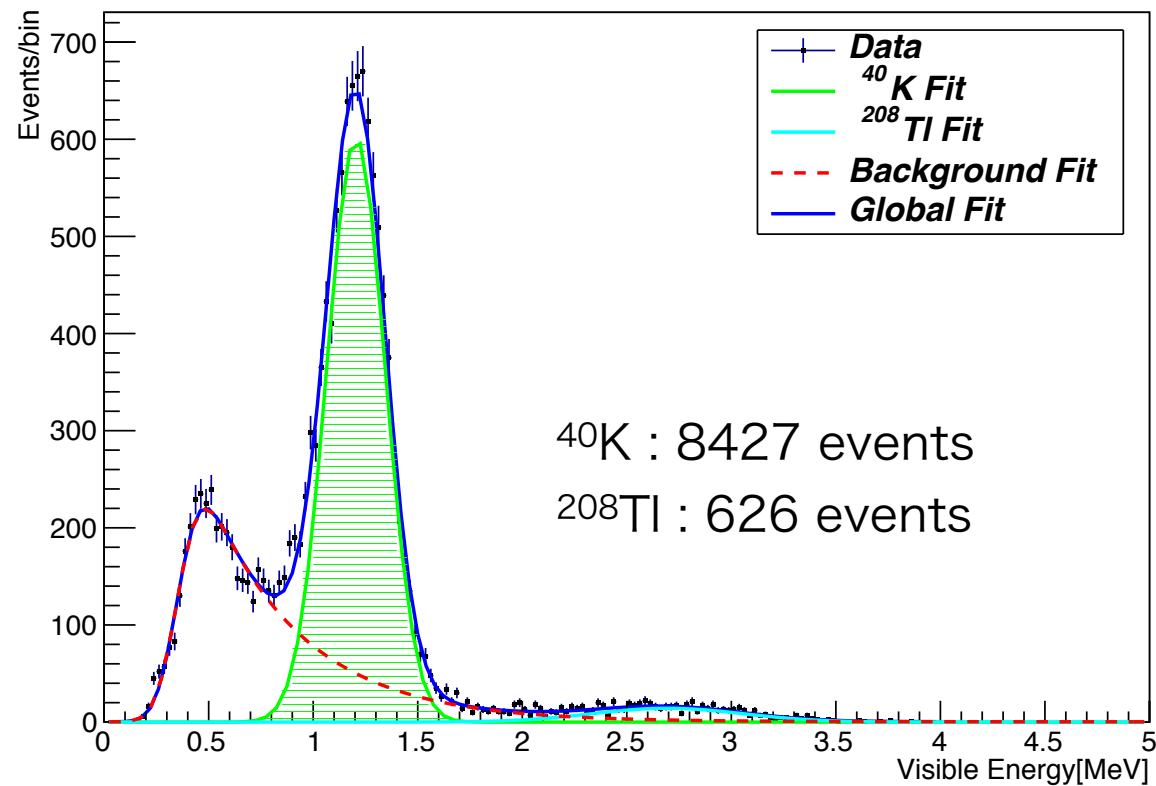


RI in PEEK (5.8d exposure)

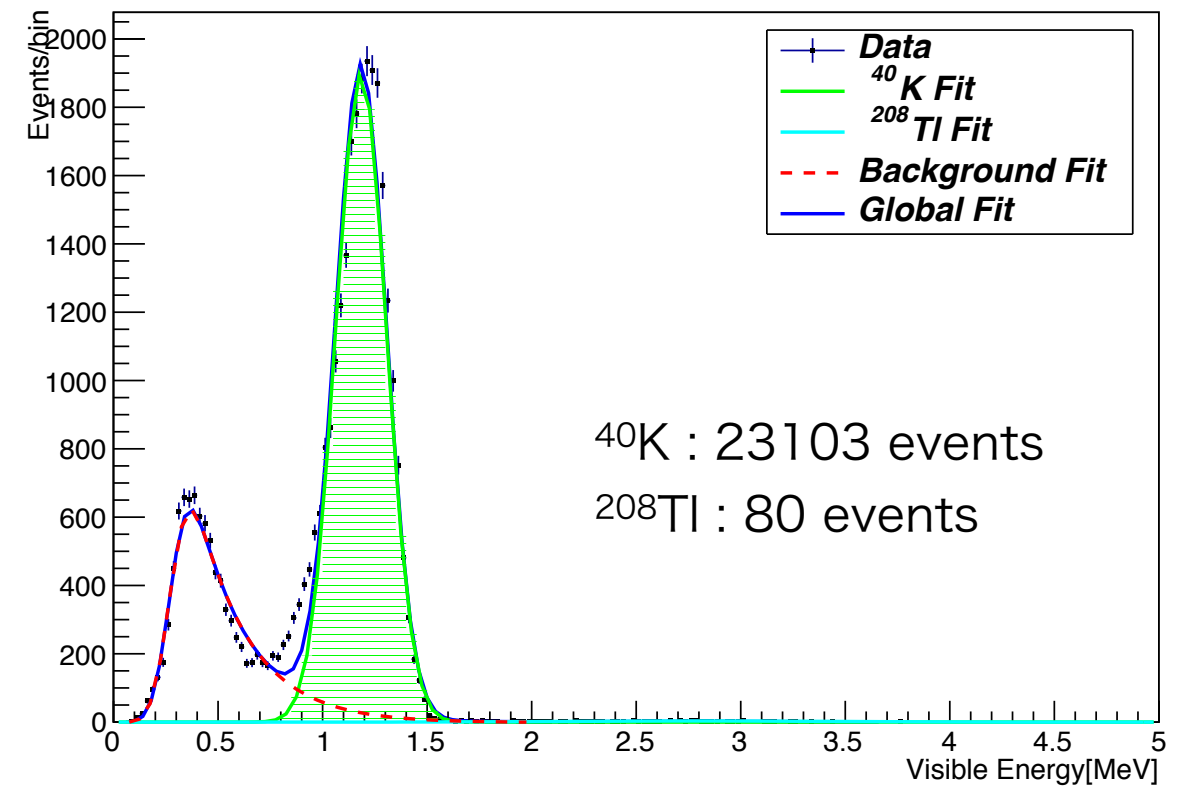
Isotope	Energy, keV	Signal, events	Background, events	UL, 90%CL (mBq per sample)	LL, 90%CL (mBq per sample)
^{40}K	1460.8	61	58	11	0
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1001	11	18	12	0
^{228}Ac	911.2	19	18	1.6	0
^{137}Cs	661.7	7	7	0.3	0
^{214}Bi	609.3	18	13	1.1	0
^{208}Tl	583.2	24	19	0.65	0
^{212}Pb	238.6	78	64	1.3	0.14
^{235}U	185.7	153	131	1.2	0.16
^{234}Th	63.3	38	62	1.1	0

Energy Spectrum around corr.tube

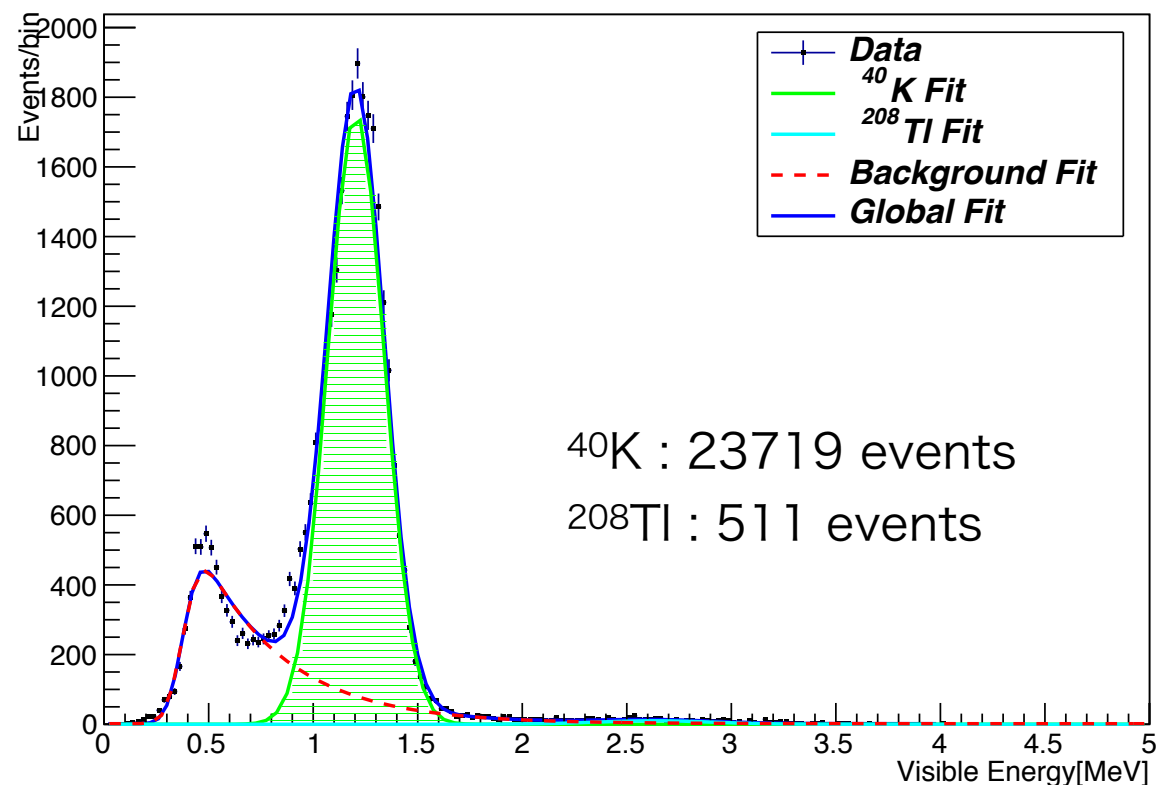
Energy Spectrum (corr.tube/Zen800/run015019)



Energy Spectrum (corr.tube/Zen400/run013069)



Energy Spectrum (corr.tube/Failed800/run013921)



Event selection criteria

^{40}K : green area events

^{208}Tl : $2.2\text{MeV} < E_{\text{vis}} < 5.0 \text{ MeV}$