

# 液体シンチレータを用いた 神岡地下環境中性子測定

小津龍吉、田中雅士、寄田浩平、山本康平<sup>A</sup>、吉田齊<sup>A</sup>  
他中性子測定コンソーシアム

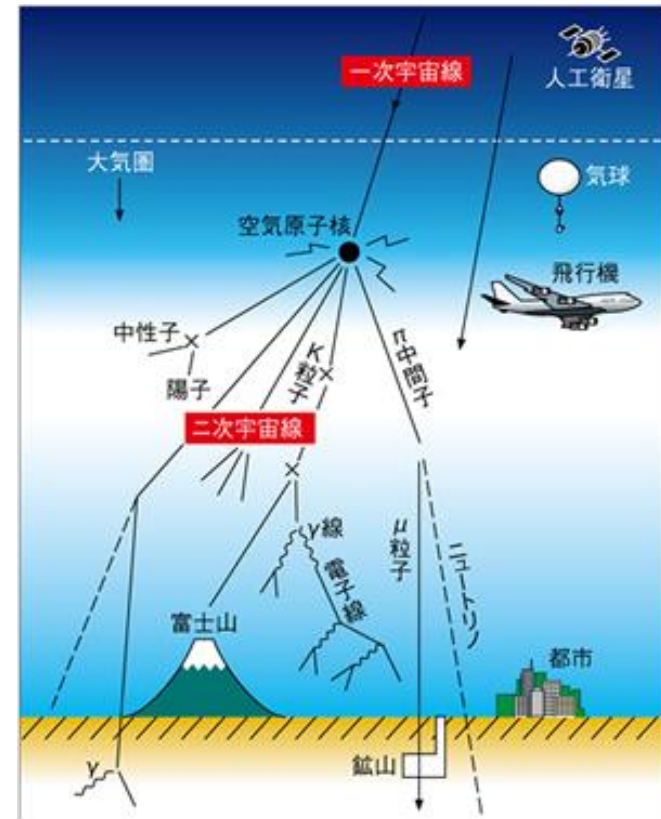
早大理工、大阪大学<sup>A</sup>

# 環境中性子

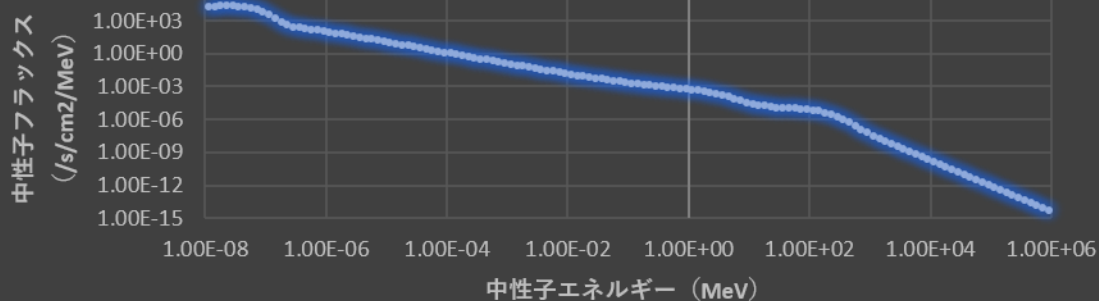
- 極低バックグラウンド環境下での稀事象探索実験（暗黒物質,  $0\nu\beta\beta$ , etc.）において環境中性子は主要なバックグラウンドの一つとなる。
- 環境中性子は宇宙線起因の中性子と岩盤起因の中性子がある。

- 宇宙線起因：二次宇宙線、 $\mu$ の核破砕
- 岩盤起因：U,Th系列の自発核分裂、放射性核種の $\alpha$ 線が岩盤と起こす（ $\alpha$ 、n）

□ 地上では、宇宙線起因が優勢。



EXPACSより生成した地表面における中性子フラックス



□ 地下では、岩盤起因が優勢。但し、地上の $\sim 1/1000$ 。

- 岩盤の組成は場所ごとに異なるのでその地点で測定が必要。

# 環境中性子

- 本研究は中性子測定コンソーシアムの一環で行われている。

## • 中性子測定コンソーシアム

### • 7つの実験グループ：

- 大阪大学:CANDLES
- 神戸大学:NEWAGE
- 東京大学:XMASS
- 東北大学:KamLAND
- 名古屋大学:NEWSdm
- 早稲田大学:ANKOK
- 横浜国立大学:SK-Gd

(中性子の)「フラックス、エネルギー分布、時間依存、場所依存、飛来方向等の詳細な理解が暗黒物質直接探索感度向上のためには重要となる」

### • 5種類の中性子検出器：

- 液体シンチレータ
- $\text{BF}_3$  比例計数管
- $^3\text{He}$  比例計数管
- 原子核乾板
- $^6\text{Li}$  ドーププラスチックシンチレータ

**「実験グループを跨ぎ測定技術・機材などを共有し、測定手法を確立したうえで、多地点・長期間の測定を行いその結果を公表・共有することを目的としている」**

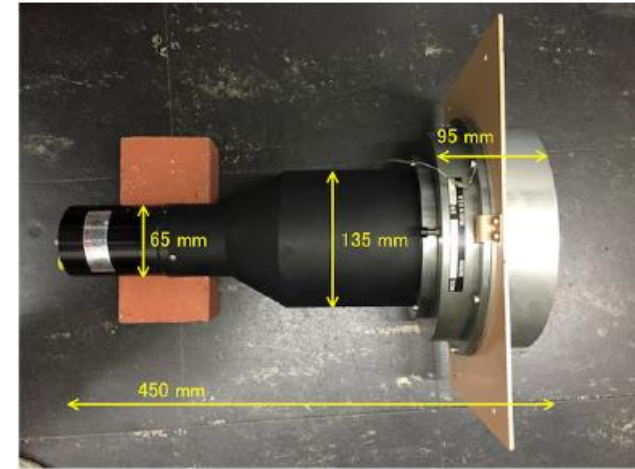
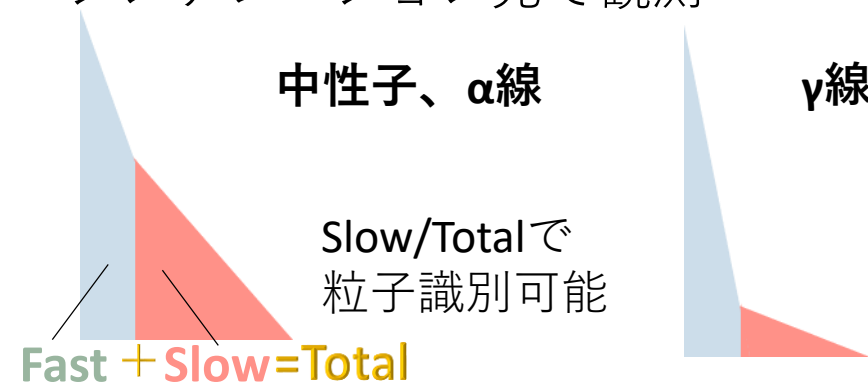
# 液体シンチレータ検出器

2016年度鈴木修論

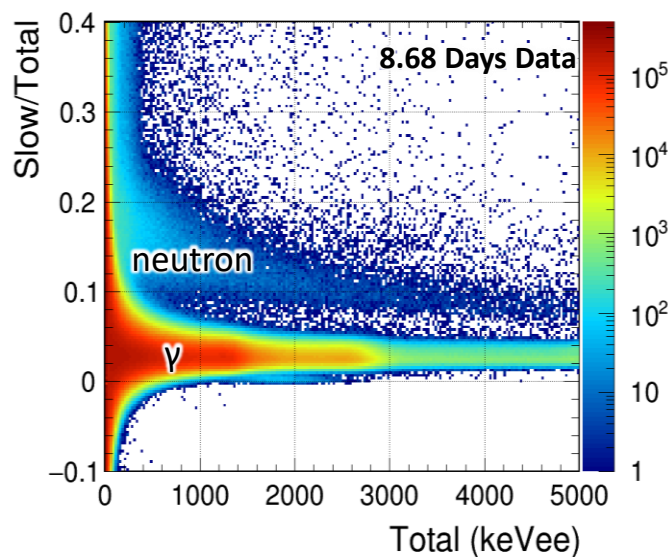
## 検出原理 (粒子識別)

液体シンチレータ(BC-501A)容積5L

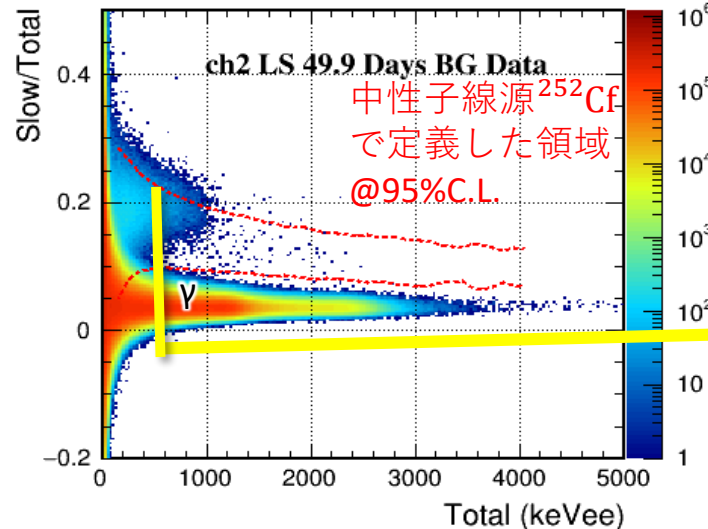
- 中性子が原子核 (主に水素) を反跳したときのエネルギーをシンチレーション光で観測



早稲田地上のデータ



神岡鉱山 (地下1000m) のデータ



地下では、  
中性子領域に別の  
クラスタを確認

検出器部材の  
U/Th系列のα線

⇒低減する

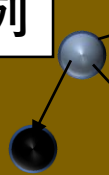
# 早稲田の環境中性子測定の実史

## α線バックグラウンドの仕組み

地上

地下

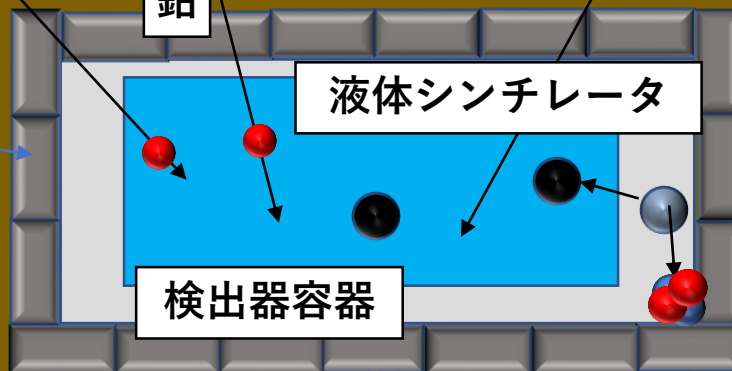
U,Th系列



鉛



γ線



液体シンチレータ

検出器容器

中性子

大気Rnガス

α線

フェイズ (目的)	期間	達成点	改善点
①ANKOK実験 (気液二層型Ar光検出器) と独立に地上環境中性子を理解すること  <u>地上</u>	2013-2016	粒子識別能力の評価、反跳エネルギースペクトルの相互較正、エネルギースペクトルのUnfolding	—
②地下環境中性子エネルギースペクトルの理解  <u>地下</u>	2016-2018	神岡坑内@Lab-Bにおける地下環境中性子のフラックス算出	中性子領域にいる(U,Th)系列のα線BG低減( $n/\alpha \sim 1/100$ )
③〃	2019-	(検出器の改良)	これを話します

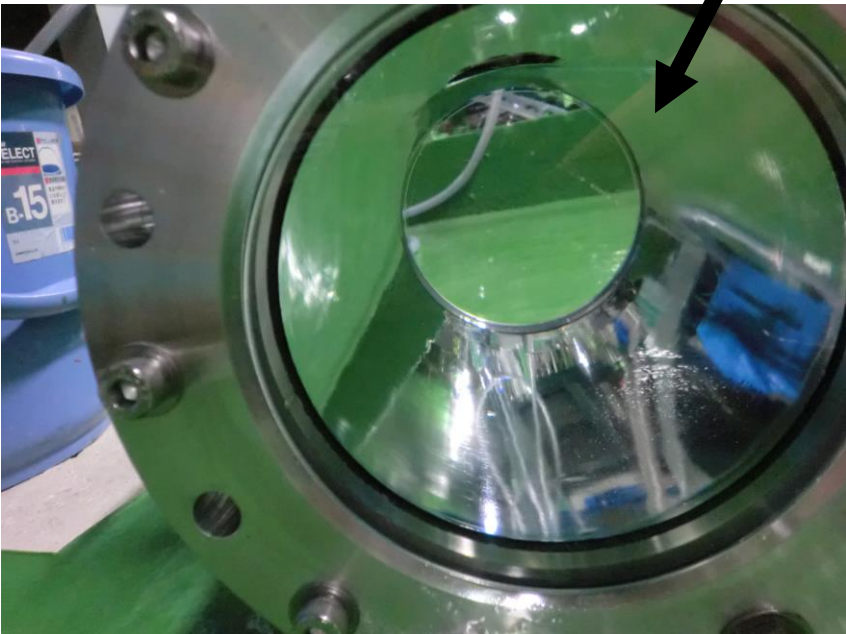
# 検出器の改良 (一回目)

Yoshida, Yamamoto (Osaka Univ),  
Hosokawa, Wada (Tohoku Univ.),  
Mizukoshi (Kobe Univ.),  
Sasaki (Yokohama National Univ.)

## ● 検出器容器

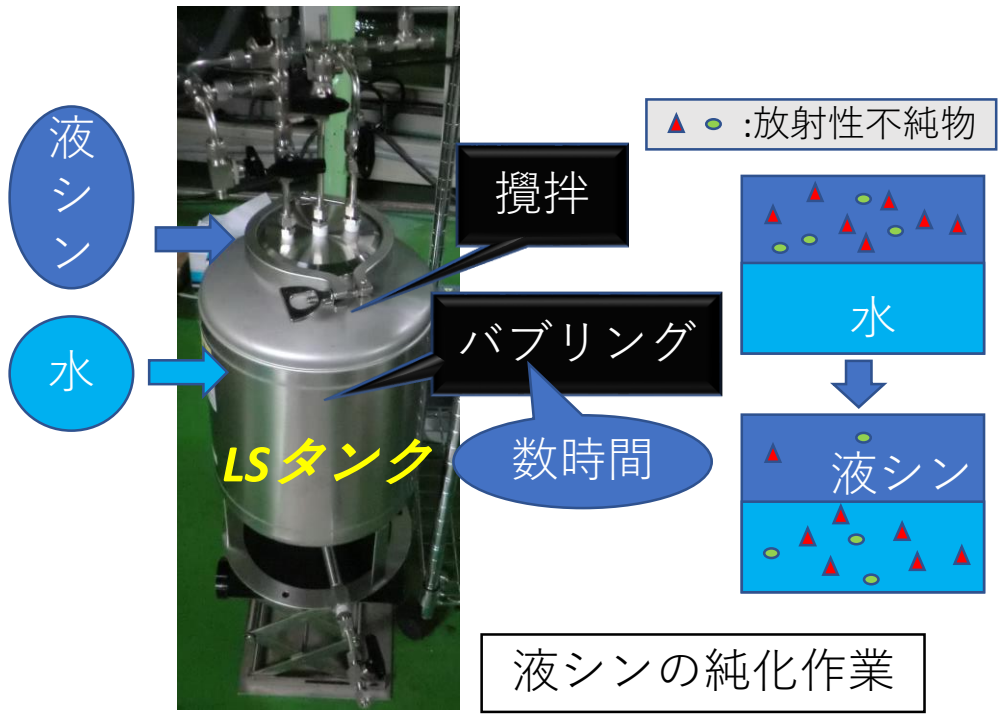
- SUS容器 (4L) φ14cm × L30cm
- 不純物の多い反射材の使用を控え電解研磨で代替
- アウトガスも低減

ガラス窓



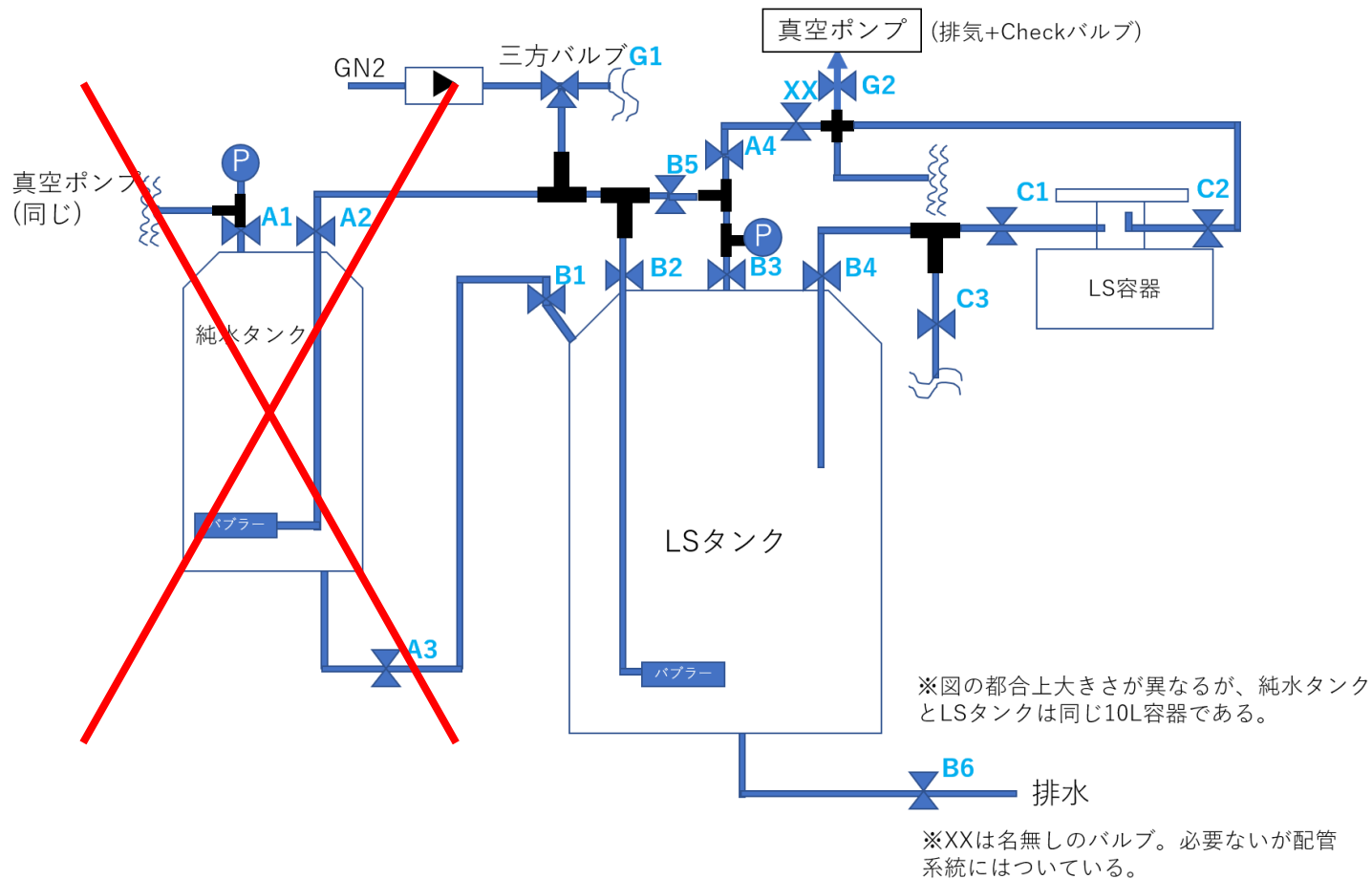
## ● 液体シンチレータ

- BC501A: キシレン (溶媒)、蛍光体、波長変換材
- 純化、放射性不純物等除去 @ 神岡坑内



# 検出器の改良 (一回目)

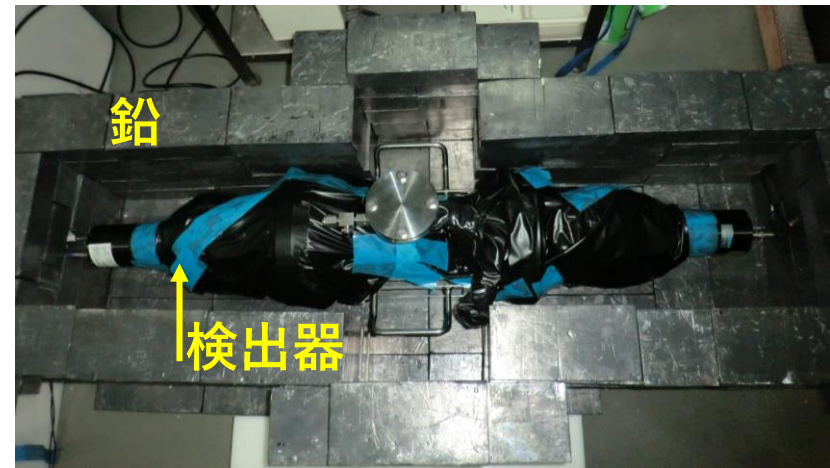
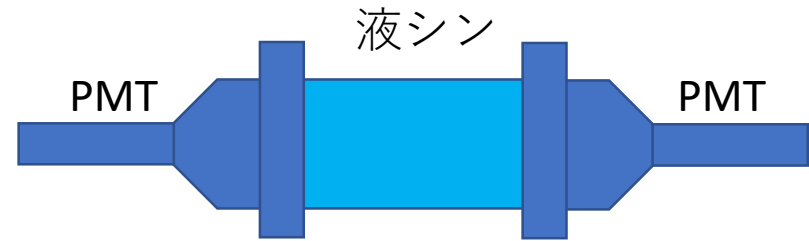
- 後半にも改良の話 (二回目) があります
- 純化用の配管系統図。一回目は純水タンクを用意しなかった。



- 超純水を加えるときはLSタンクのふたを開けて入れ (外気に触れる)、攪拌、バブリングと行っていた。

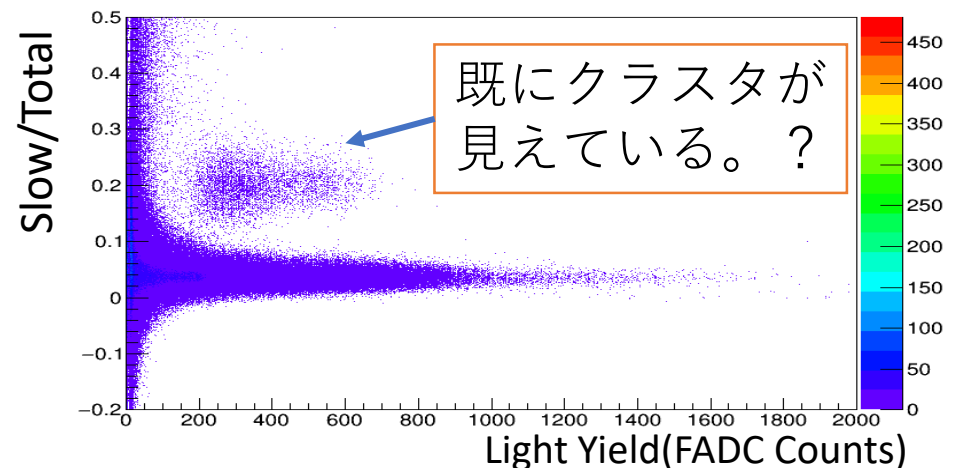
# 測定手法

- 検出器
  - PMT両読み  
(Hamamatsu H6527  $\phi$ 142mm)
- 測定地点
  - 神岡鉱山@Lab-B
- シールド
  - 鉛+銅で環境 $\gamma$ 線を遮蔽



シールド組み上げの様子

- トリガー
  - FADC 2Ch ORのSelf Triggerで測定

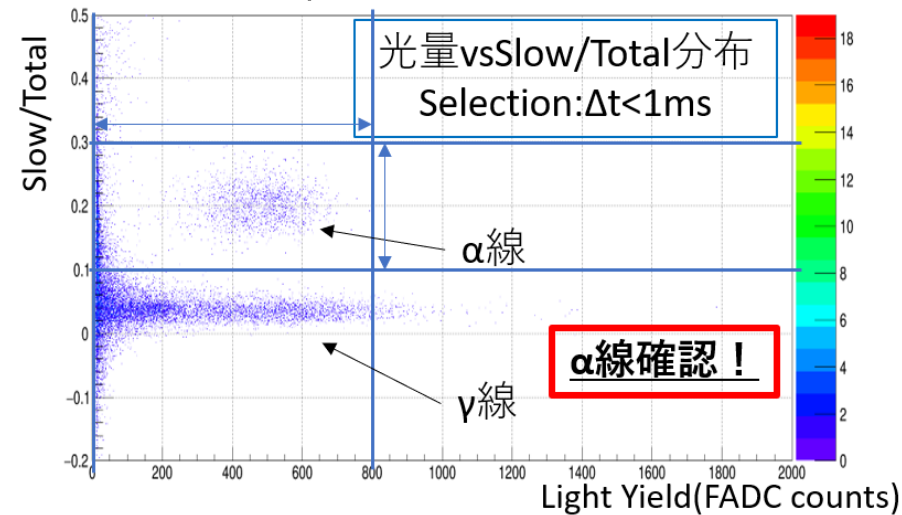




# $^{214}\text{Bi} - ^{214}\text{Po}$

- U系列:  $^{214}\text{Bi} \Rightarrow ^{214}\text{Po} \Rightarrow ^{210}\text{Pb}$   
 ー半減期164 $\mu\text{s}$

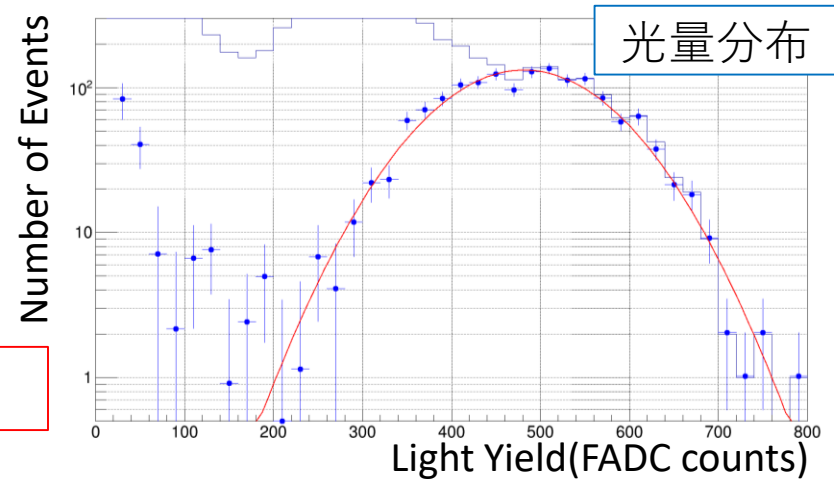
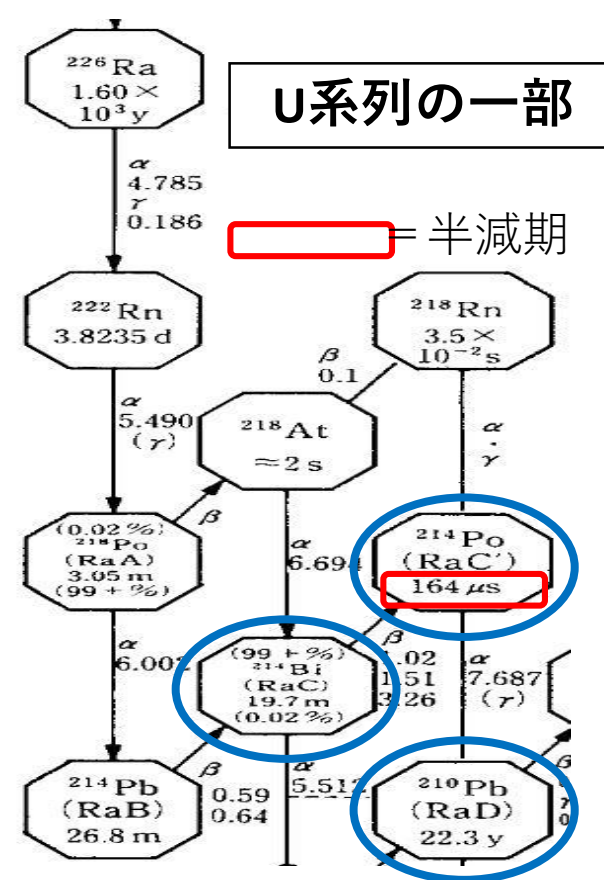
- time stampの間隔  $\Delta t < 1\text{ms}$



- Selection

- ー  $-0.1 < \text{Slow}/\text{Total} < 0.3$
- ー  $\Delta t < 1\text{ms}$  (Eff.98.5%)

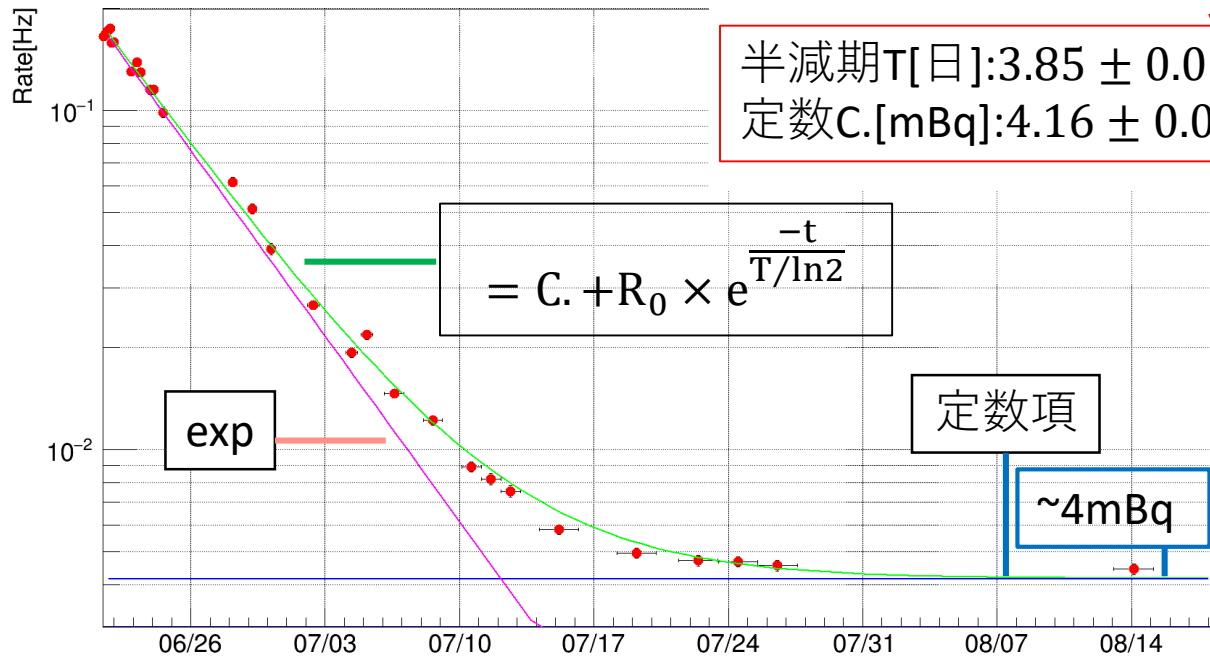
$^{214}\text{Po}$ のα線量を算出



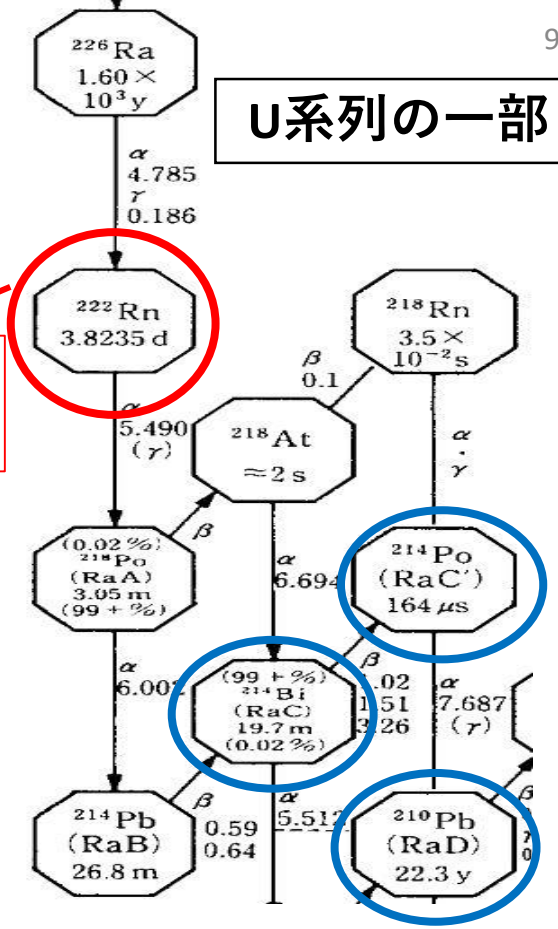
# Bi-Poレートの時間変化

- Bi-Poの時間変化を見る。

## $^{214}\text{Po}$ $\alpha$ 線事象の時間変化



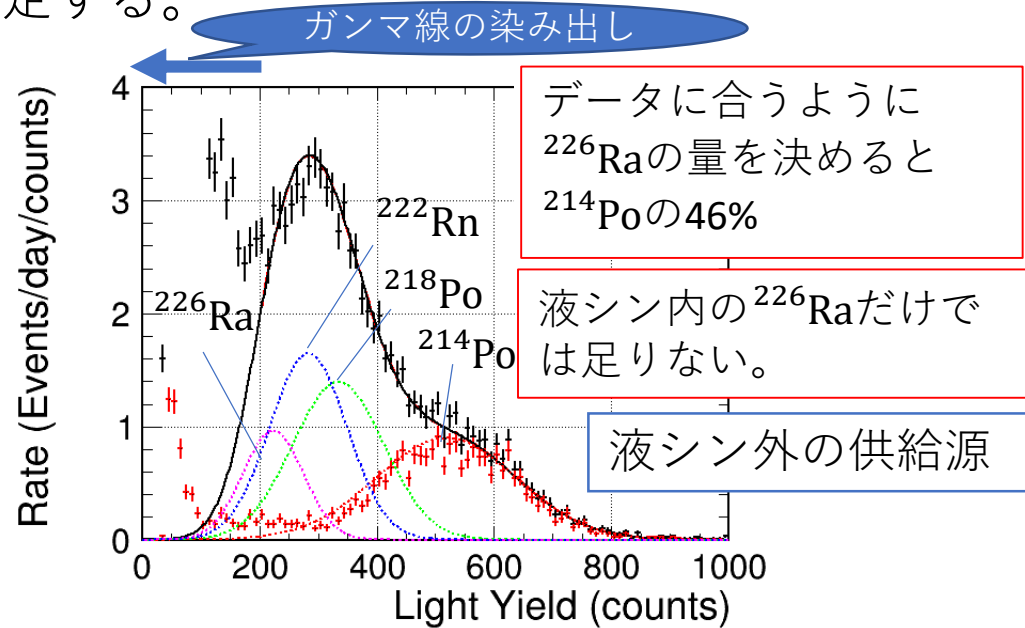
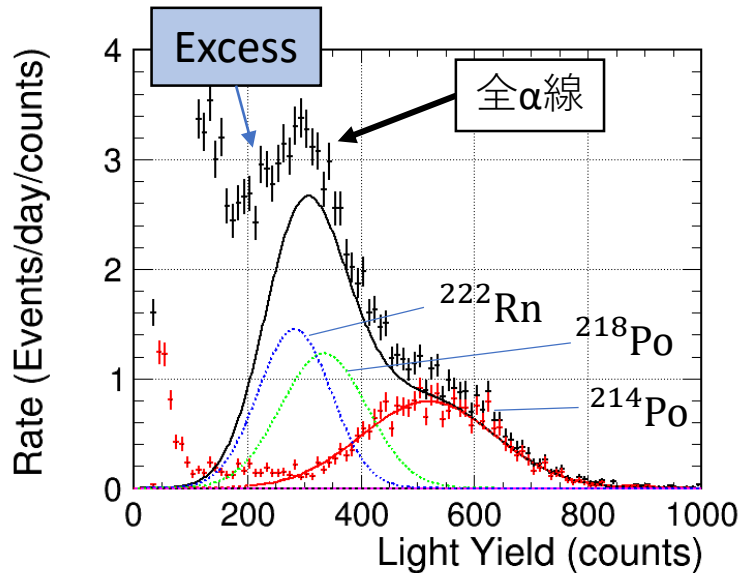
## U系列の一部



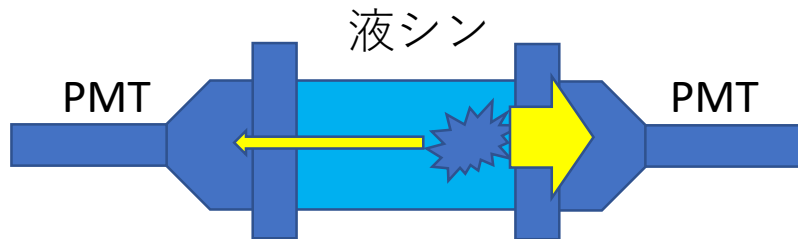
- 放射性核種特有の半減期をFitから求める。
- 半減期3.8日の $^{222}\text{Rn}$ が液シンに溶け込んでいた。
- しかしRnガスだけなら4mBqは残らないはず。Bi-Po上流にRnガス以外の起因。特定して低減する。

# $\alpha$ 線の起因

- $^{214}\text{Po}$ の上流に対して放射平衡を仮定する。



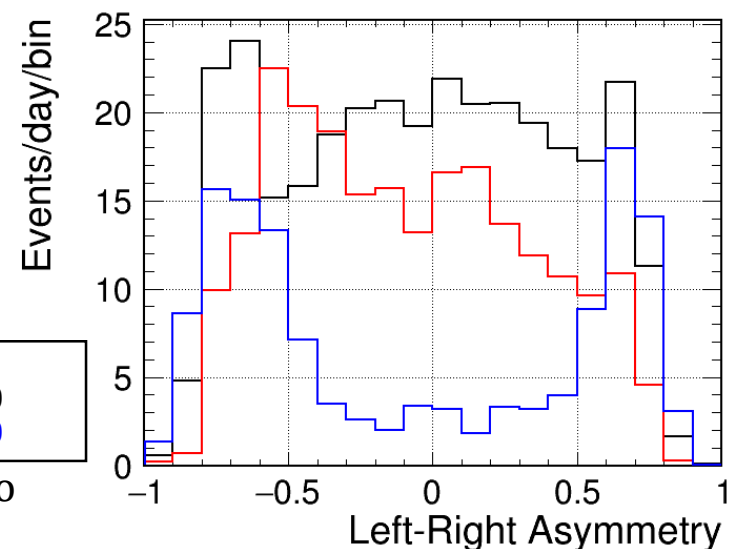
- 但し、Excessが発光した位置を考える。



— LR Asymmetry = (Left-Right)/(Left+Right)を定義する。

- 赤 Bi-Po tagged event
- 黒 Bi-Po anti-tag &  $300 < \text{Light Yield} < 500$
- 青 Bi-Po anti-tag &  $150 < \text{Light Yield} < 200$

— ExcessのLR Asymmetryは検出器内一様に存在するBi-Poと異なり、発光位置が左右に寄っている。ガラス窓？



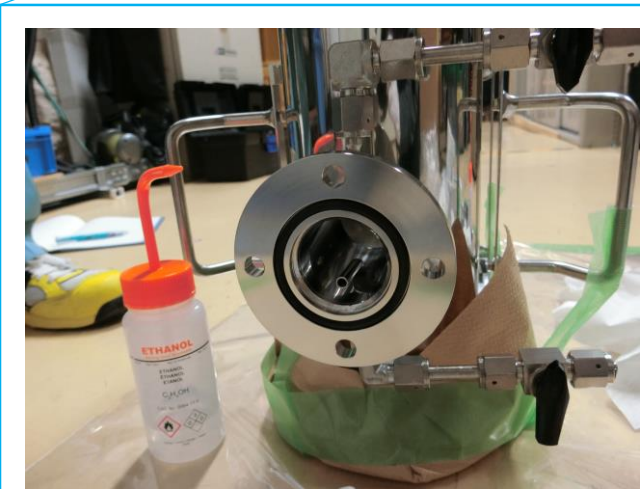
# $\alpha$ 線BGの低減 (二回目)

Yoshida, Yamamoto (Osaka Univ), 11/18  
Takeda (ICRR, Tokyo Univ.)

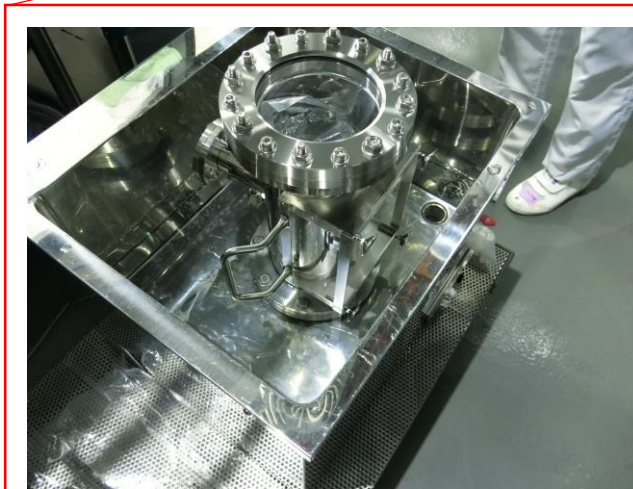
1. BG源と考えられるガラス窓を**石英窓に交換**、
2. 検出器 (液シン容器, ネジ, 石英窓など) を**超音波洗浄**して、
3. 液体シンチレータを**再純化**。

## 超音波洗浄

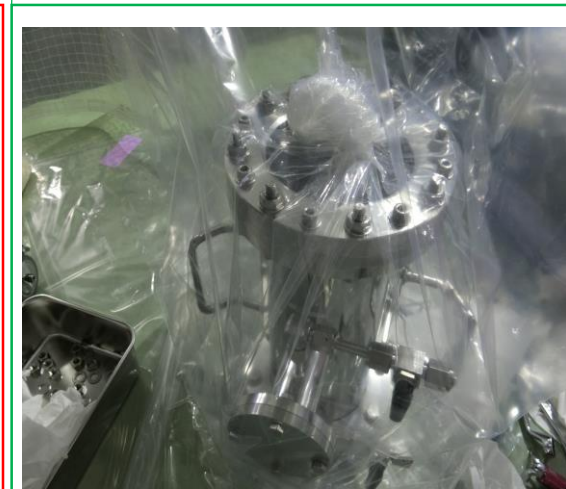
工程: 検出器部材を拭く (残ったLSを拭く)  $\Rightarrow$  アルコール洗浄  $\Rightarrow$  汚染されないように保管



検出器上部のフランジを  
拭いている様子



検出器内面を洗浄  
している様子



EVOHシートに  
包んで保管

# 超音波洗浄

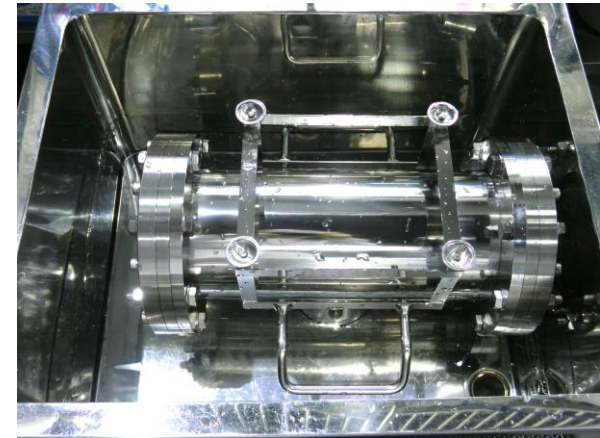
## ◆ 洗浄手法



基本的にLab-Cの  
クリーンルーム内で作業



ネジなどの小物類の  
洗浄(inビーカー)



LS容器本体の洗浄

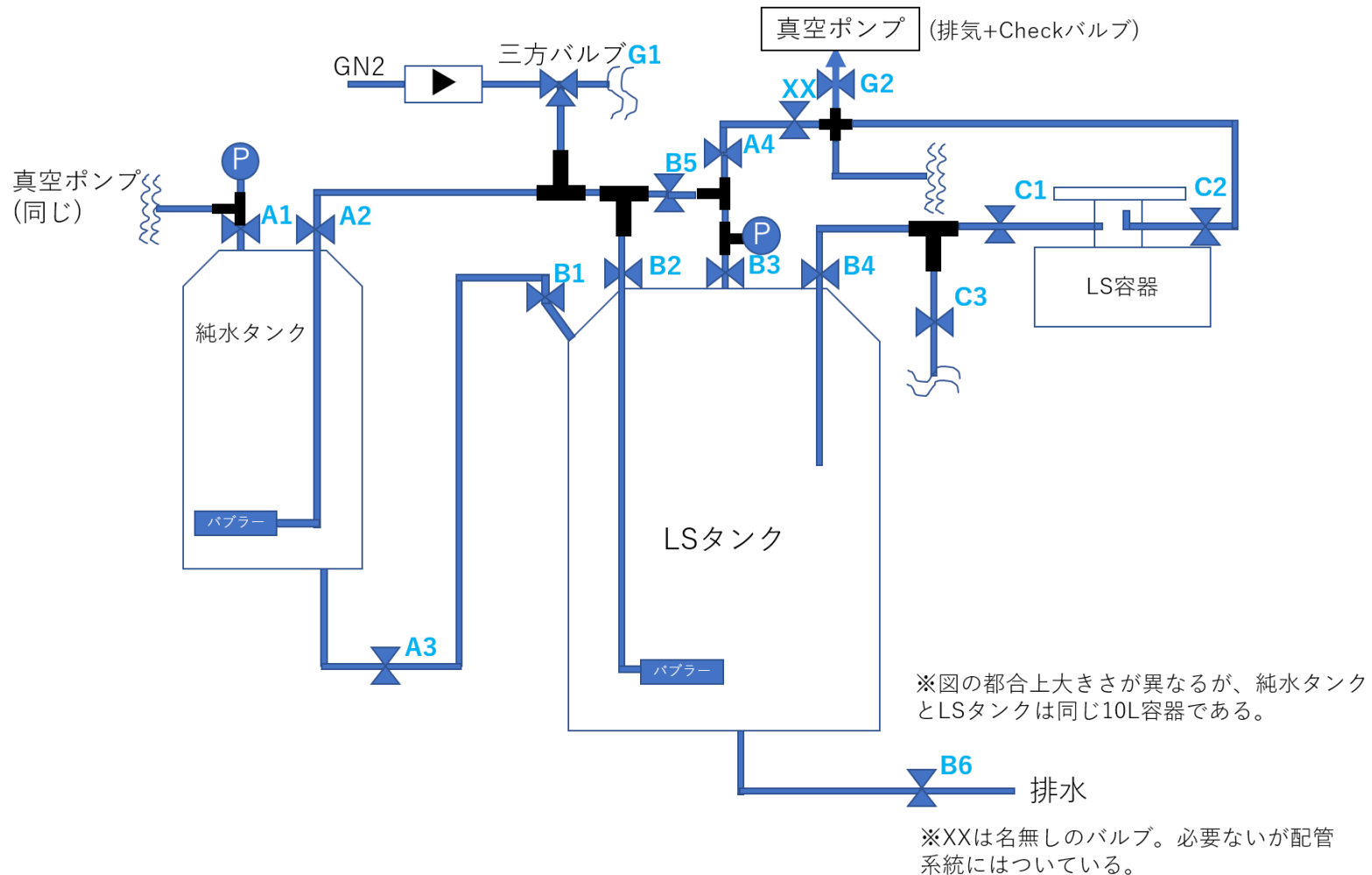
- ・ 小物類は10min×2回
- ・ 容器本体は15min×6回

基本的に1回ごとにアルコールを取り換えて洗浄。

# 液体シンチレータ再純化（二回目）

## ・ 1回目の純化との相違点

蓋を開けて超純水をLSタンクに加えていたが、純水タンクを用意して、外気に触れさせず差圧で輸送した。(Lab-Dでの作業)



# 液体シンチレータ再純化 (二回目)

## ◆純化の様子

配管はBA管とナフロンチューブ

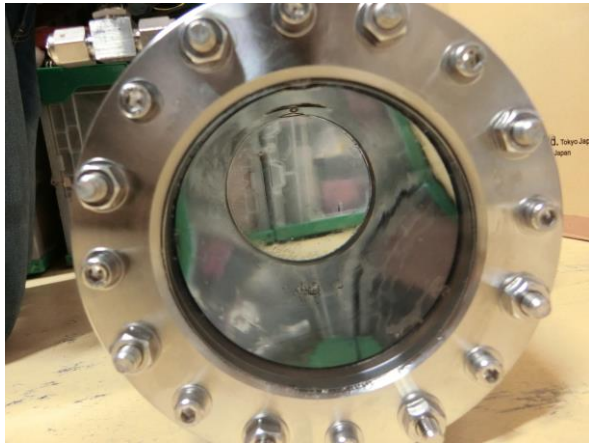
純水タンク内の超純水を窒素で一晩バブリング

純水タンク→LSタンクに超純水を移送。油とバブリングして分離するまで一晩放置。



# 液体シンチレータの移送

LSタンクからLS  
容器への輸送



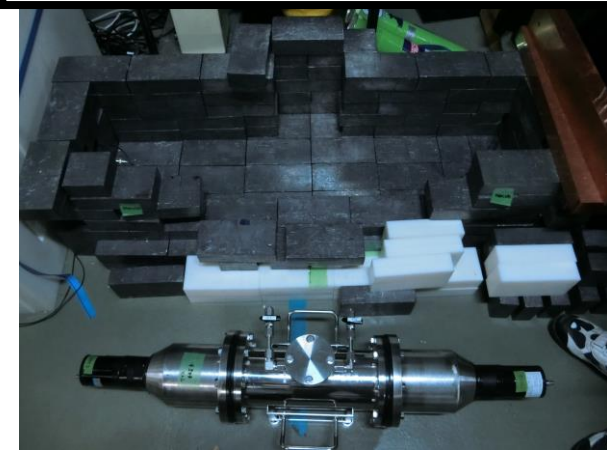
LS容器は負圧に  
せず差圧で輸送

PMTをマウント



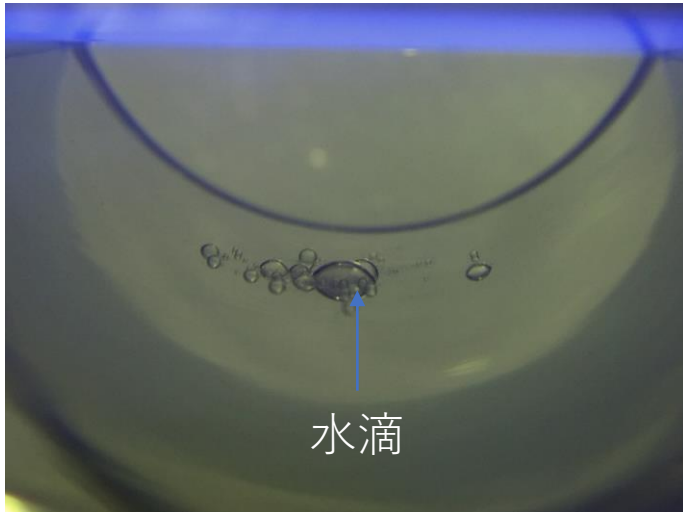
グリスをなじませるために  
一晩放置。

FADC 2Chのコインシデンス  
でトリガー



LSタンク to LS容器へ  
輸送する管はあらかじめ  
窒素を流し水が入らない  
ように試みた。  
しかし、水滴が入った。  
改善点。

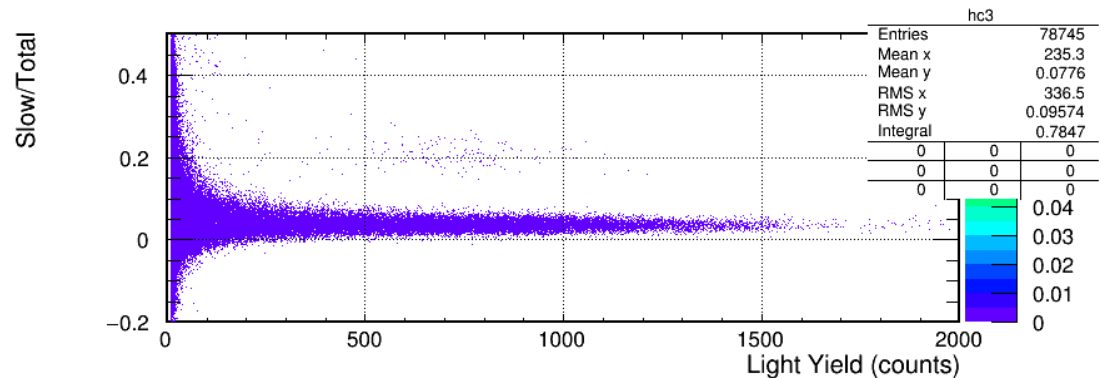
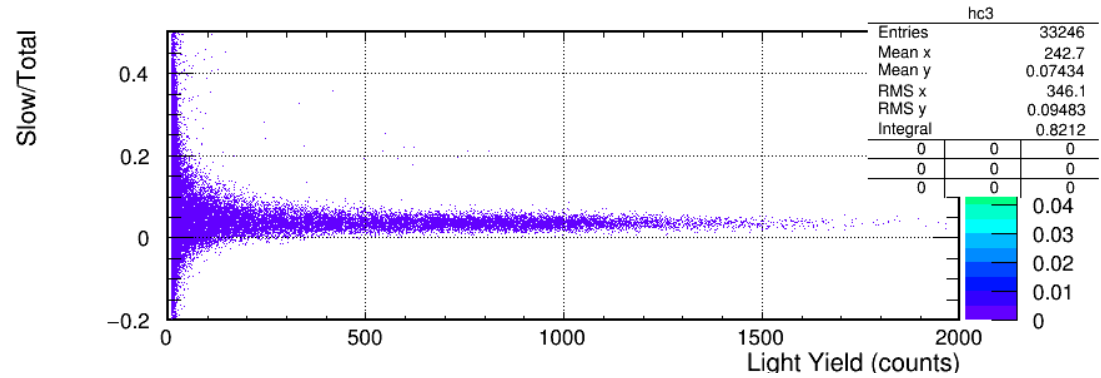
水滴





# $\alpha$ 線レートの時間変化

- $dt < 1ms$  Selection後のPSD分布
- 純化直後半日以内のデータ
- 純化1か月後のデータ



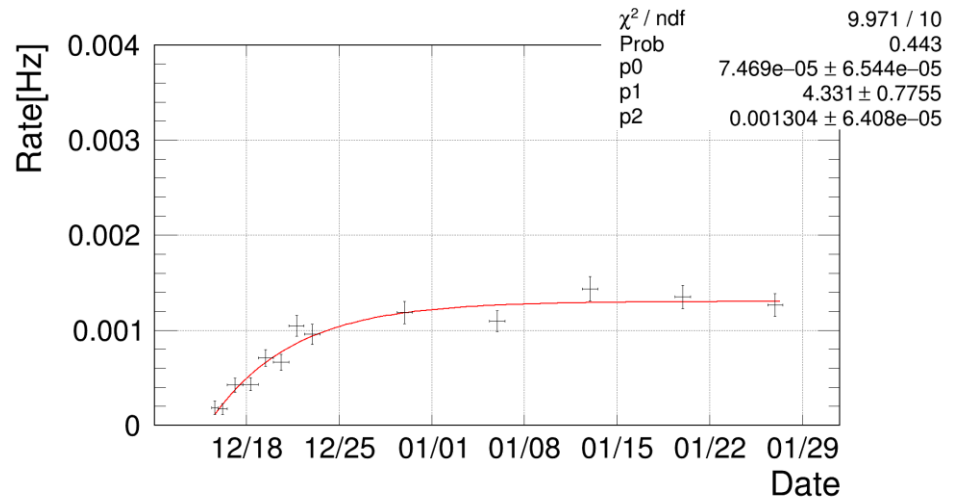
## Bi-Poレートの時間変化

初期の液シンデータから $\alpha$ 線レートは  
0.2mBq程度。

1.3mBq程度でサチっている。

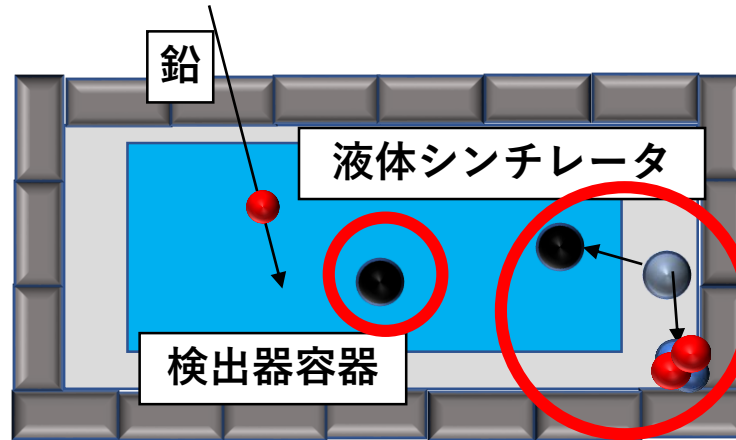
増加は $^{222}\text{Rn}$ の半減期3.8日と

コンシステント。

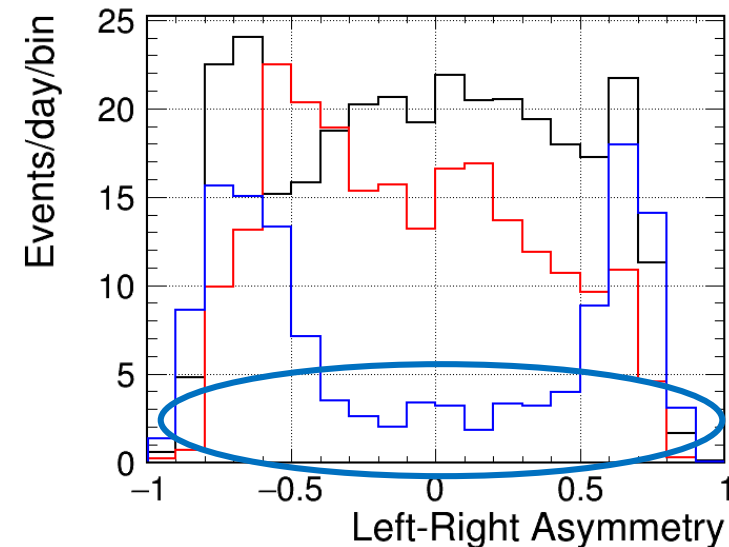


# $\alpha$ 線レートの時間変化

- $\alpha$ 線の増加はRnガスによるものと考えられる。  
Rnガスは検出器部材に含まれるU/Th系列が崩壊すると生成される。



- 今回、青色の左右の成分を石英窓に交換することで低減できたと考えている。
- 但し、検出器部材表面の $\alpha$ 線成分がある。  
フラットな分布が存在を示唆し、低減が必要。  
(例、 $^{226}\text{Ra}$ )
- そのため、Rn源の特定と高純度容器（他実験実績あり）の選定が進行中。
- 初期のデータより環境中性子みえるか？
- On going effort!!

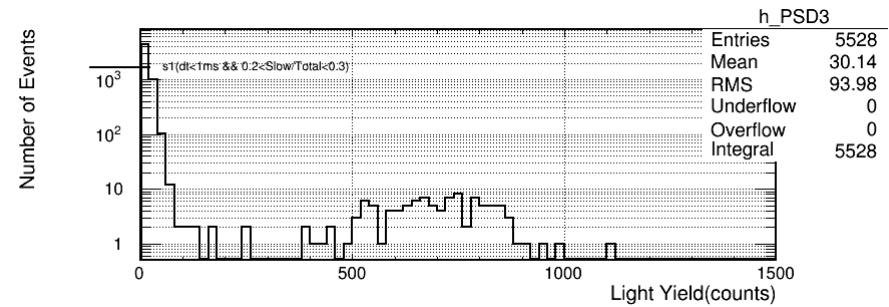
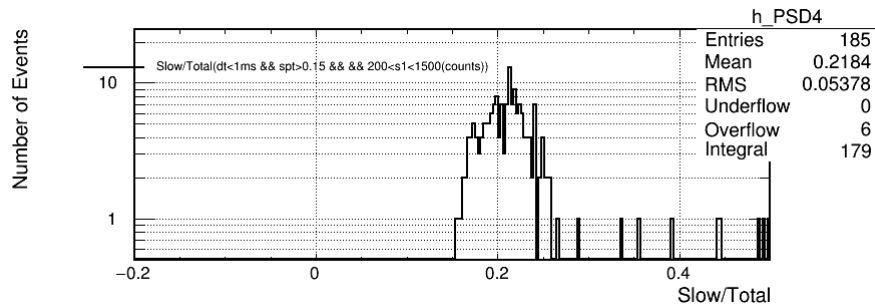
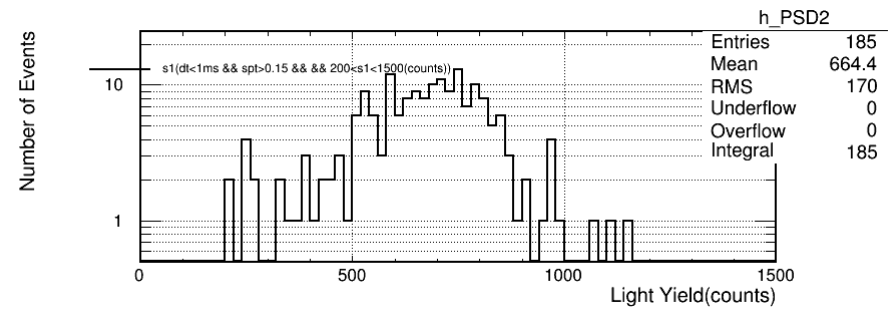
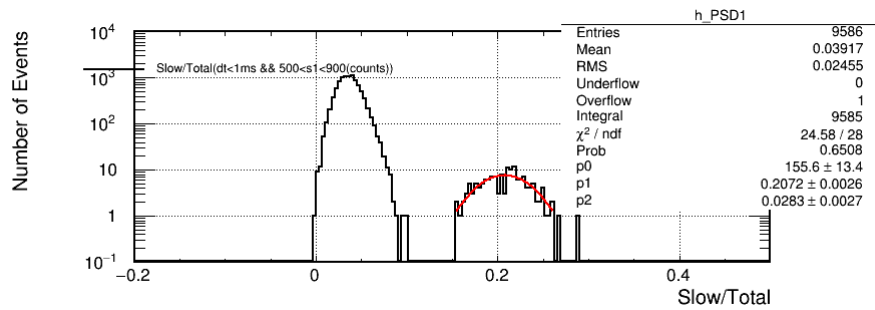
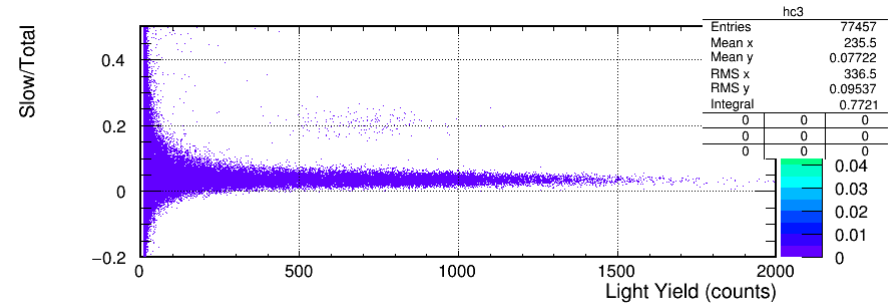
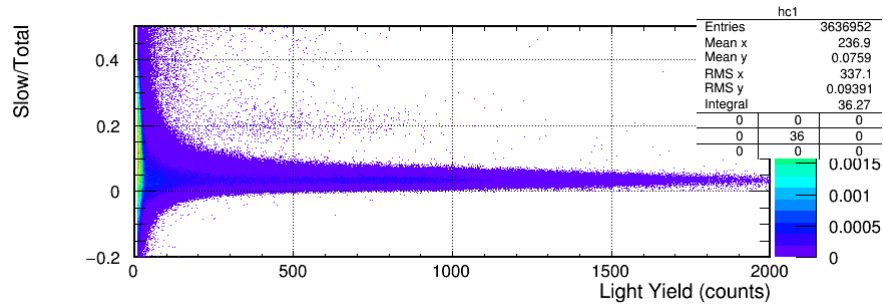


# まとめ

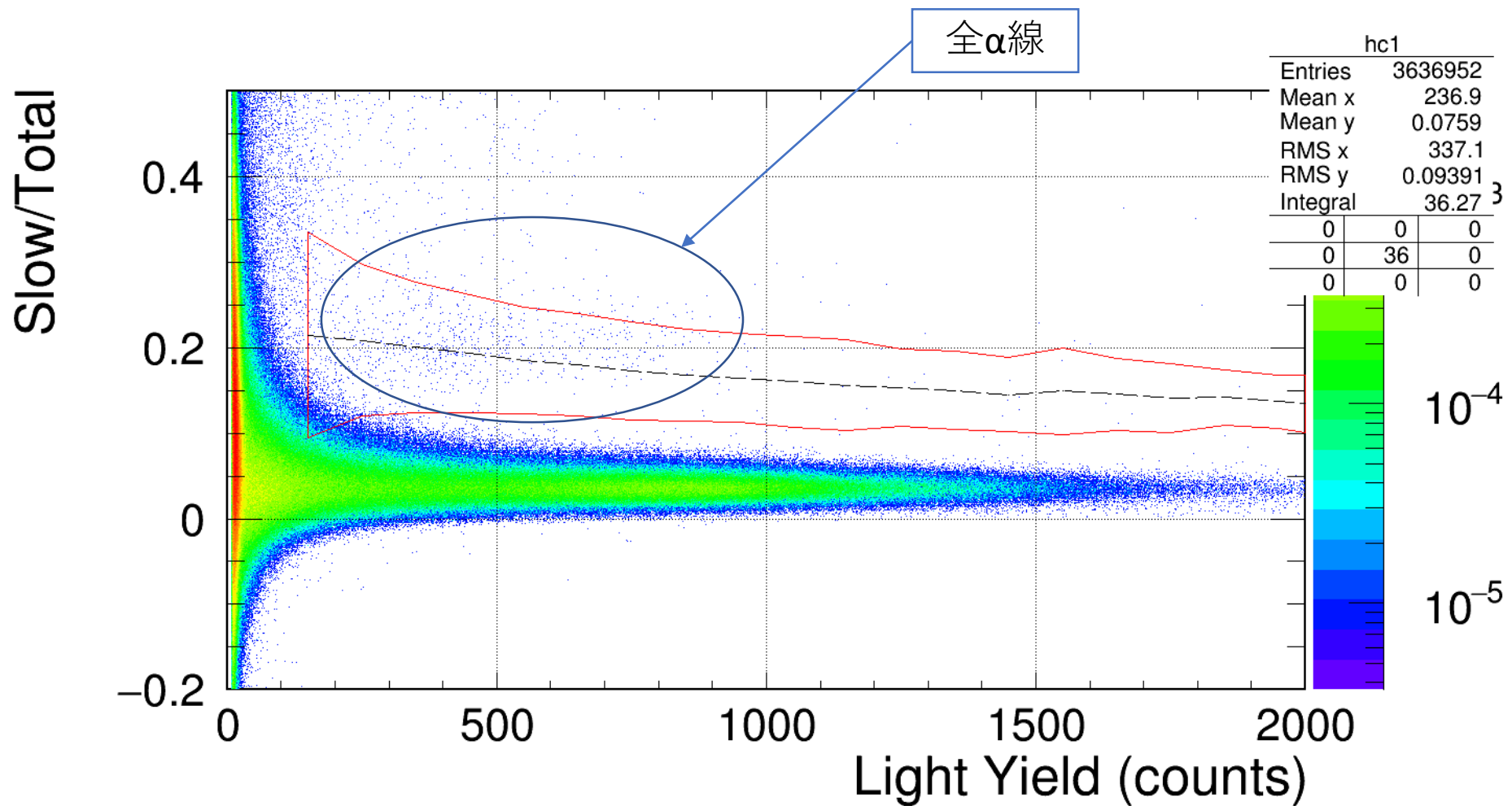
- 液体シンチレータの純化を行った。
- $\alpha$ 線低減にはまだ工夫が必要だったが、低エネルギー側の事象でLR Asymmetryが大きい（=発光位置が左右に寄る）ことが分かった。
- ガラス窓から不純物が来ていると考え、石英窓への交換を行った。
- ◆純水タンクを追加して外気に触れないように、液体シンチレータの再純化を行った。
- ◆純化直後のデータから液シンが綺麗になっていることを確認できた。  
1.3mBqでサチった。増加のレートはRnガスの半減期とコンシステント。
- ◆増加は容器からのしみだしと考えられる。今後は容器本体の交換も視野に入れてアップデートを続けている。初期のデータで環境中性子引き出す。

Back up

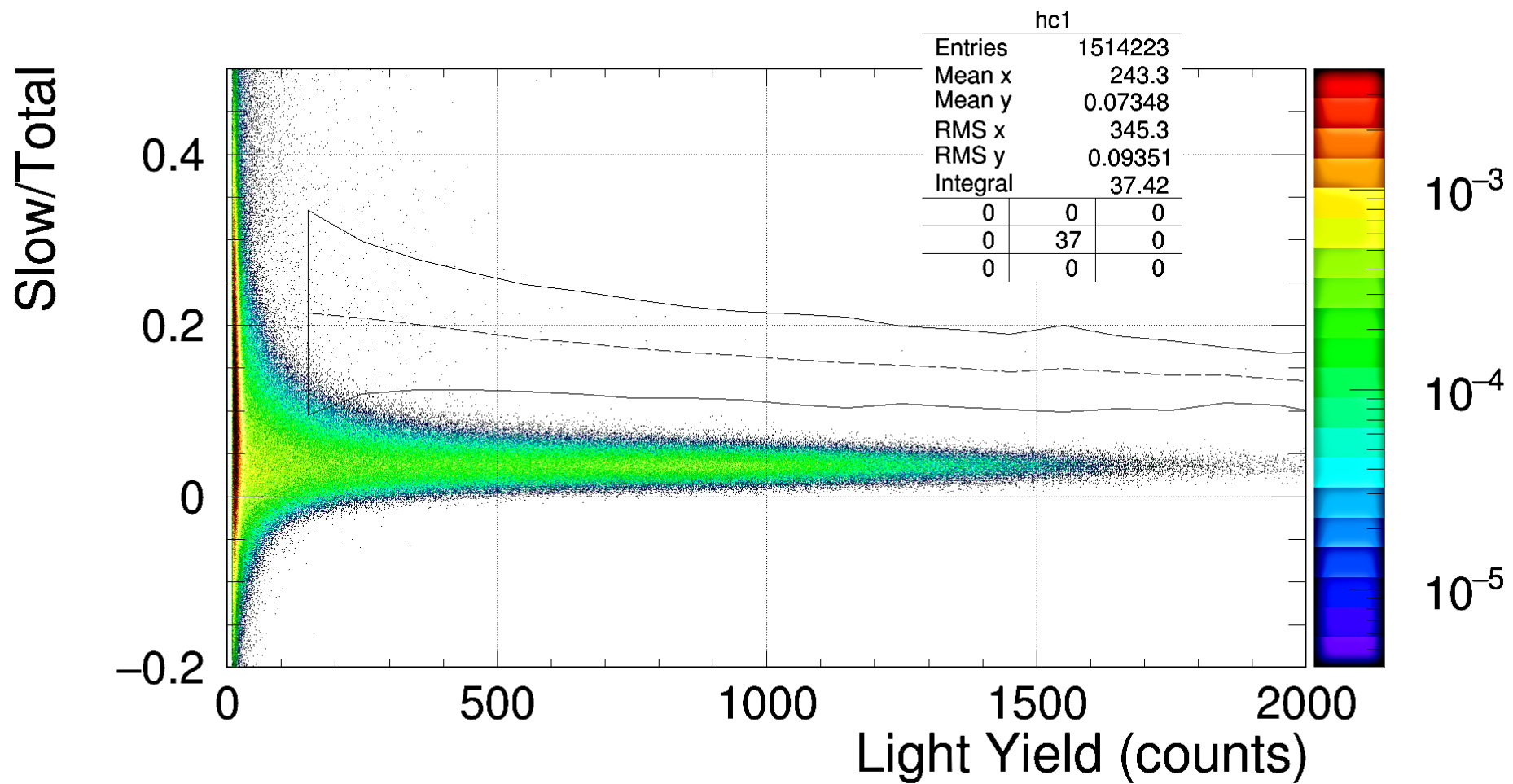
# 純化後1か月後のデータ



# 純化直後1か月後のデータ



## 純化直後8時間のデータ



# 純化直後半日以内のデータ

