

# ジルコニウム96を用いたニュートリノを 放出しない二重ベータ崩壊事象の探索 XIV ～ZICOS用液体シンチレータのエネルギー分解能測定～

Supported by Grant-in-Aid for Scientific Research (c) 18K03664 and Grant-in-Aid for  
Scientific Research on Innovative Areas 19H05093

日本物理学会 2019年秋季大会

山形大学小石川キャンパス

2019年9月18日

宮城教育大学教育学部

福田善之、安齊太亮\*、亀井雄斗\*、  
那仁格日樂\*、小畑 旭\* (\*は卒業生)

東京大学宇宙線研究所

森山茂栄、平出克樹

福井大学工学部

小川 泉

東京理科大学理工学部

郡司天博、塚田 学、速水良平

東北大学金属材料研究所

黒澤俊介

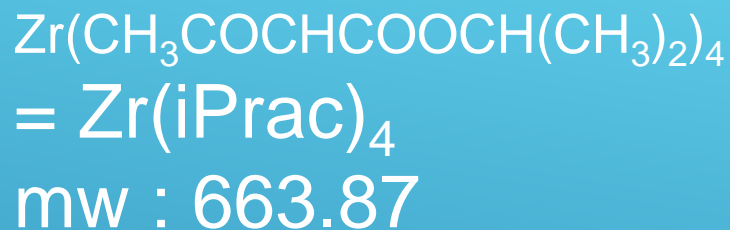
# 発表の内容

- 残念なお知らせ
- これまでの測定
- 60%集光率のライトガイドの作成
- 新規シンチレータサンプルの調製とセットアップ
- 測定結果
- 今後の計画

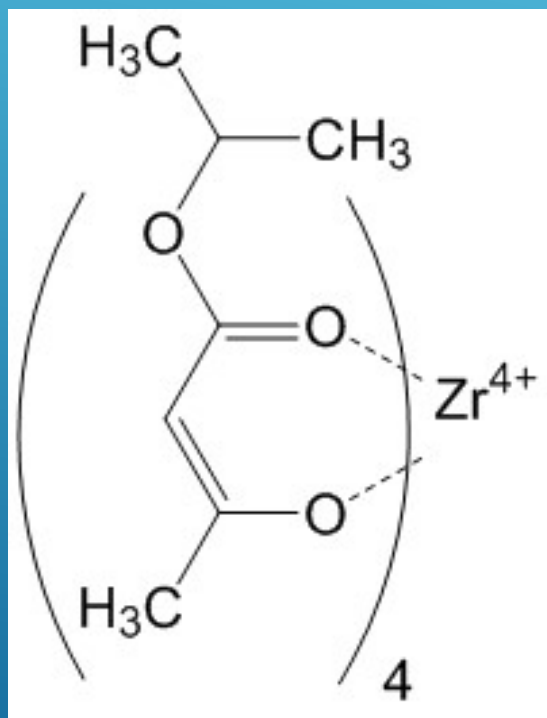
## 残念なお知らせ

DAQ用コンピュータのハードディスクが壊れたため、立ち上がらなくなり、現状ではエネルギー分解能の測定ができなくなった。(しかし、パルス波形観測は別のセットアップなので稼働中である)

# Zr(iPrac)<sub>4</sub> を溶解させたZICOS用液体シンチレータ

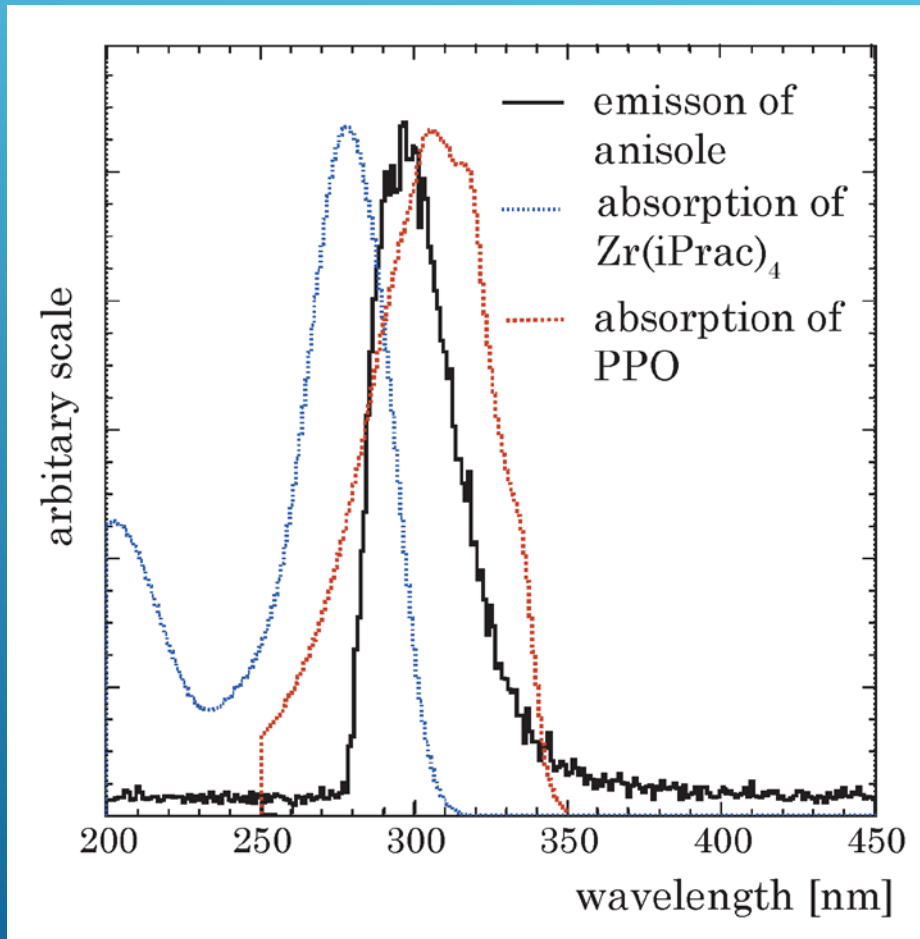


Zr(iprac)<sub>4</sub> 2242mg, PPO  
999mg and POPOP 10mg  
solved in 20mL Anisole



**> 70g/L of Zirconium could be solved in anisole.**

# Zr(iPrac)<sub>4</sub> とPPOの吸光度波長依存性



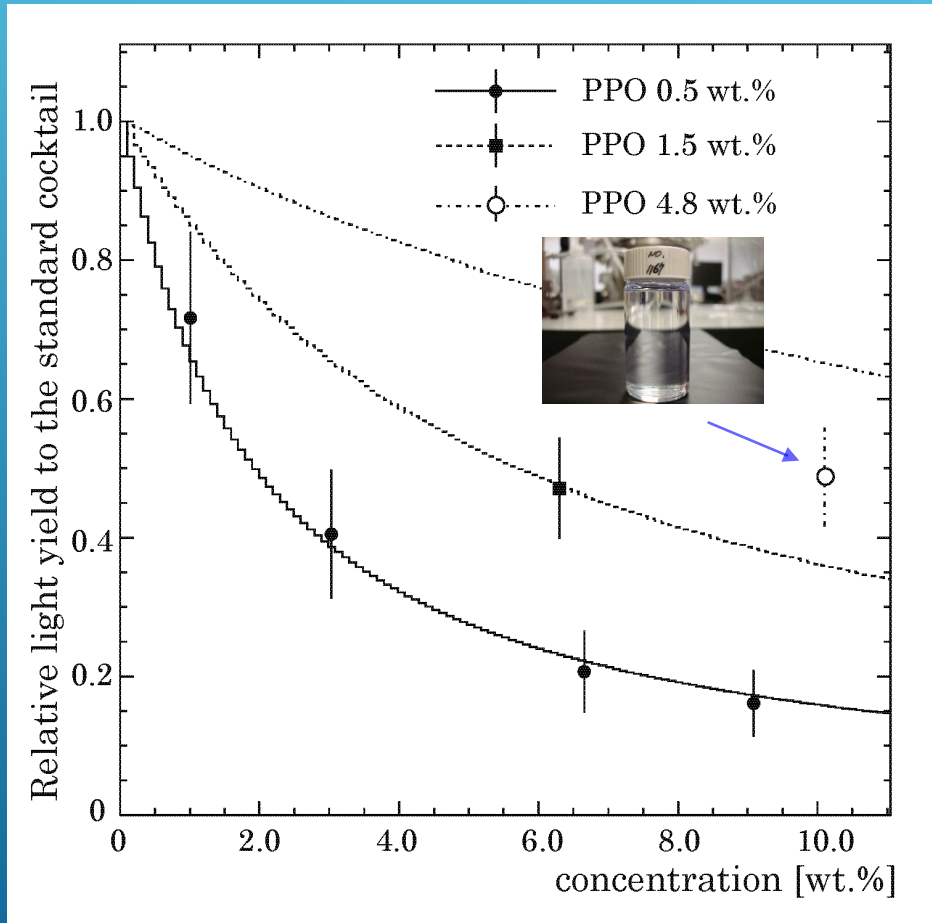
Absorption peaks of Zr(iPrac)<sub>4</sub> and PPO found around at 278nm and 310nm, respectively.



PPO may cover the emission of Anisole, in spite of absorption of Zr(iPrac)<sub>4</sub>.

# PPO濃度による光量の回復(2015年)

Measured at several conditions of PPO concentration



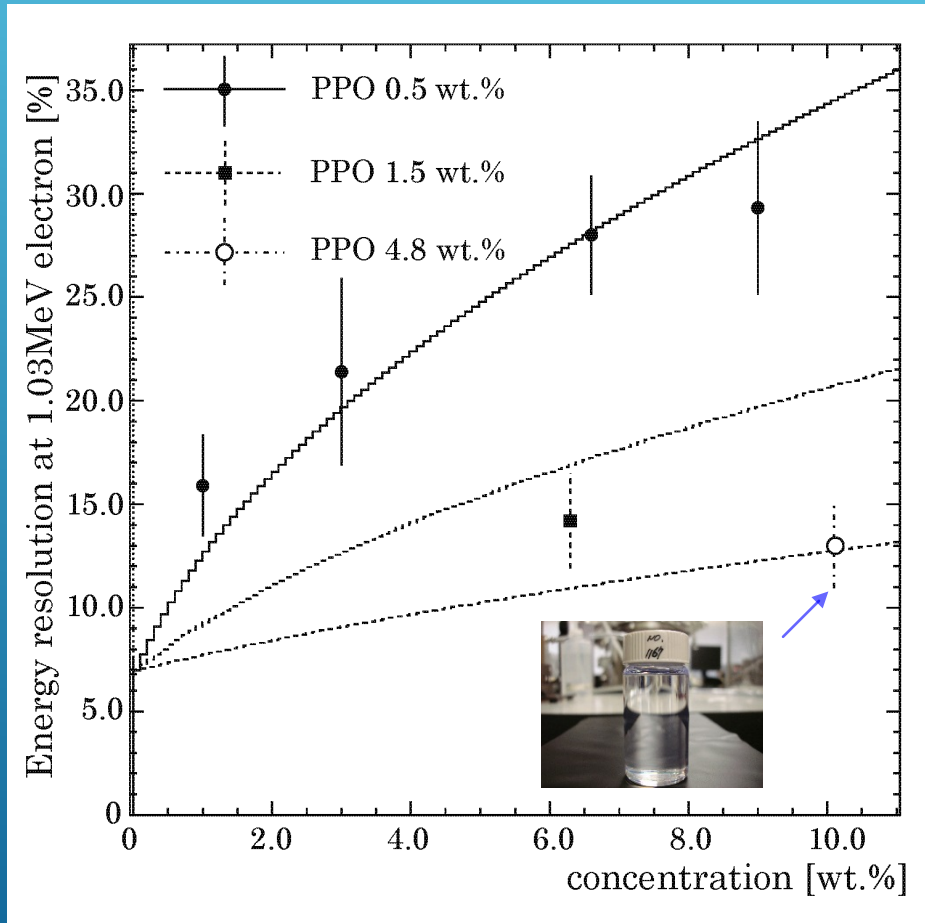
5wt.% PPO helps actually recovering the scintillation light yield.



**48.7 ± 7.1% light yield to standard cocktail was obtained at 10wt.% concentration.**

# PPO濃度によるエネルギー分解能の改善

Measured at several conditions of PPO concentration



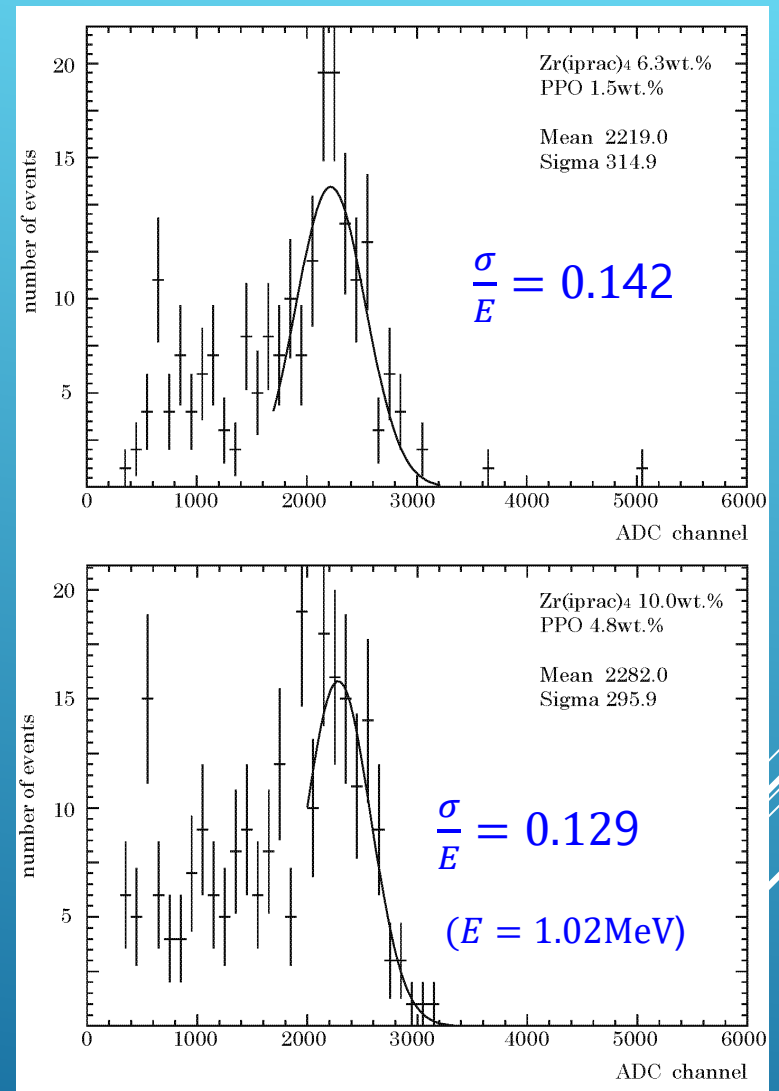
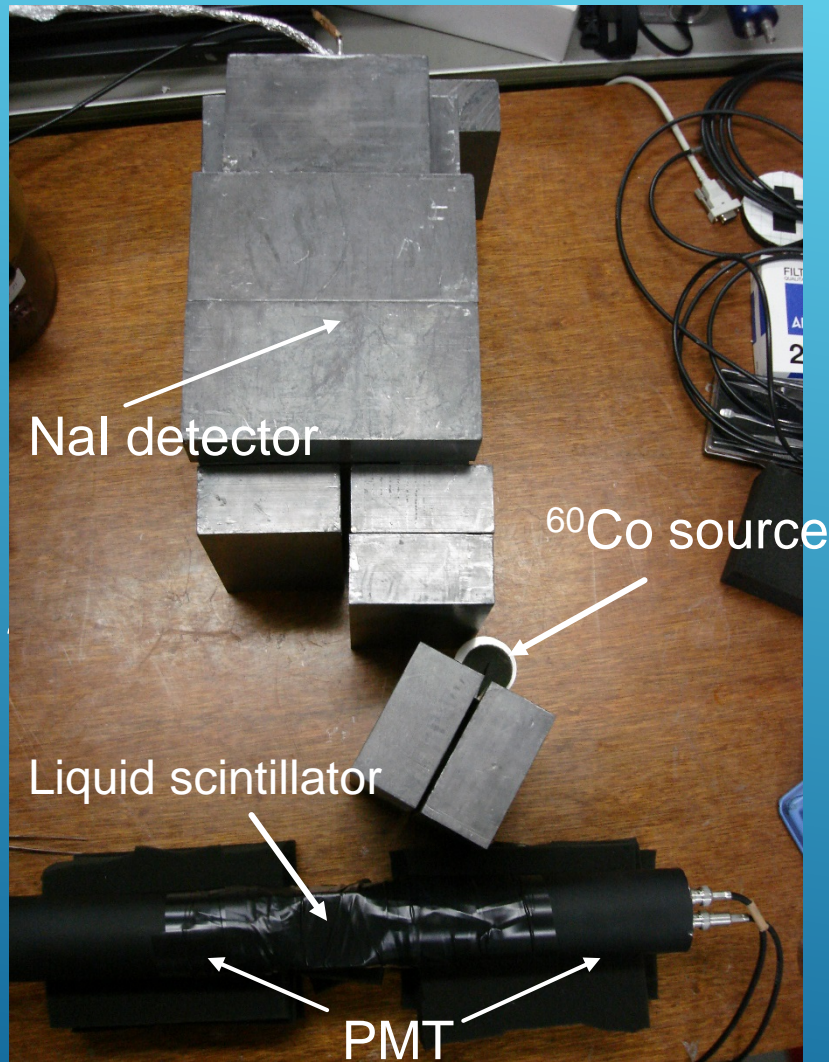
5wt.% PPO helps again the energy resolution 35% → 13%. at 10wt.% of Zr(iprac)<sub>4</sub>.

$$\frac{13.0 \pm 2.0\%}{\sqrt{(64\%/9.2\%) \times (3.35\text{MeV}/1.03\text{MeV})}} = 2.7 \pm 0.4\% \text{ at } 3.35\text{MeV} \text{ with } 64\% \text{ photocoverage}$$

**Almost achieved goal !  
(not confirmed yet)**



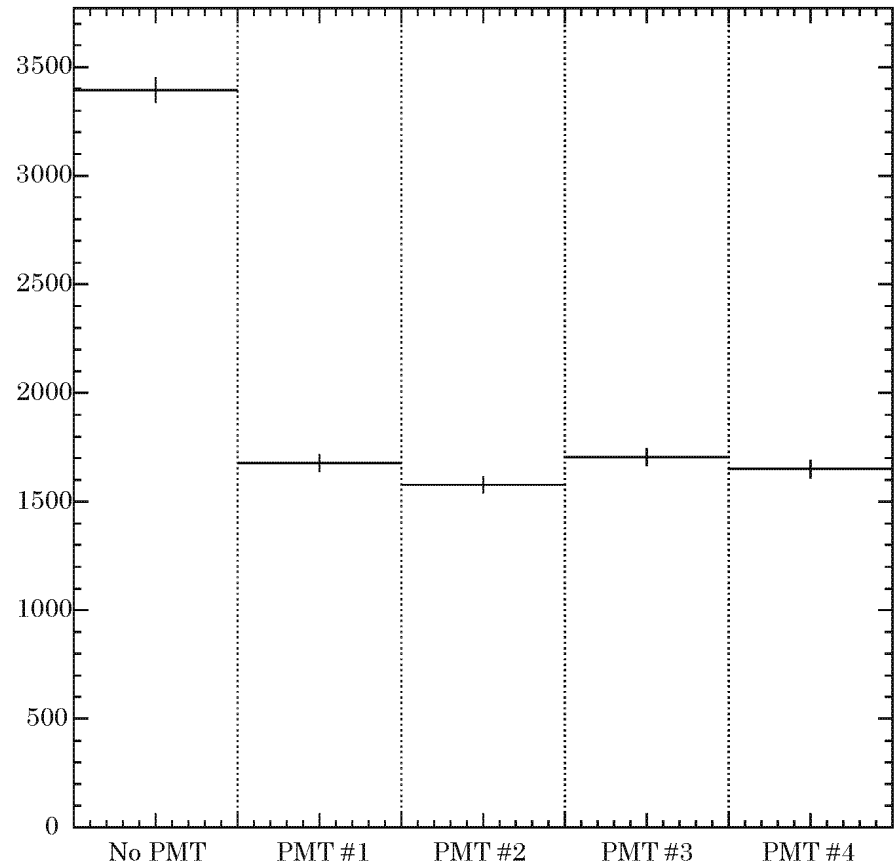
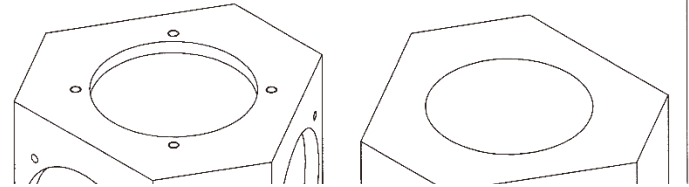
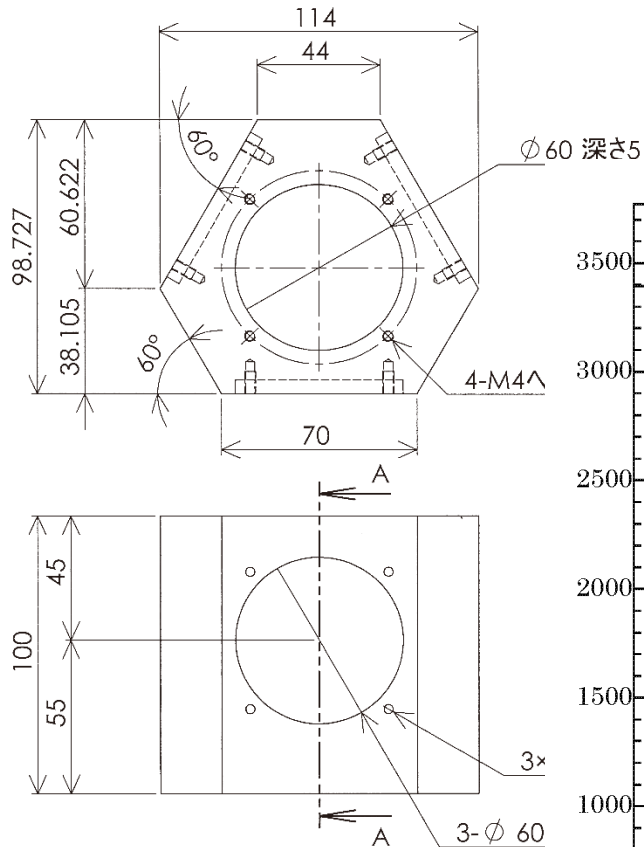
# 20mLバイアルによるエネルギー分解能の測定



集光率～8%の測定

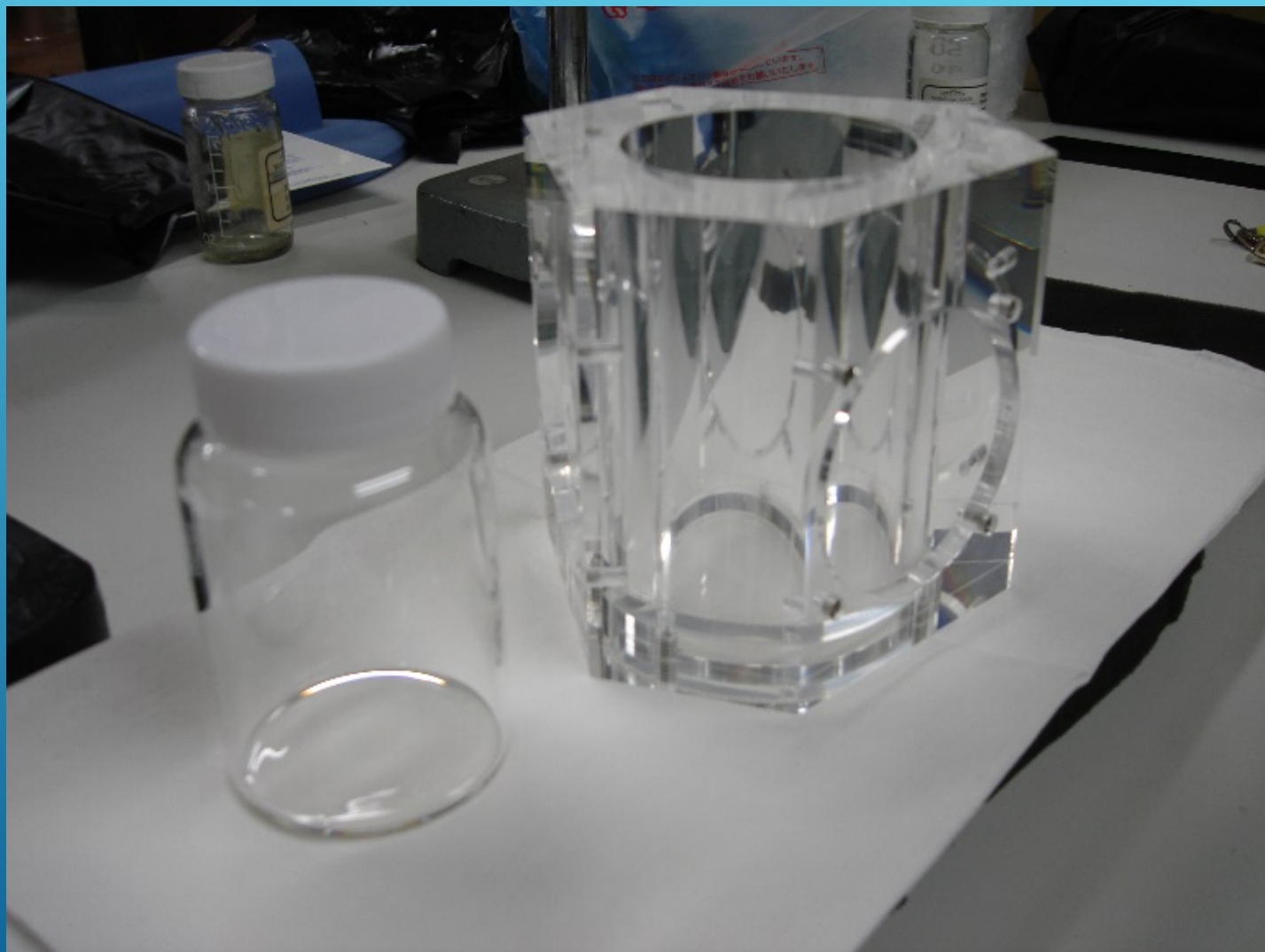
# 60%集光率のライトガイドの作成

指示なき角部、稜線は糸面取りのこと

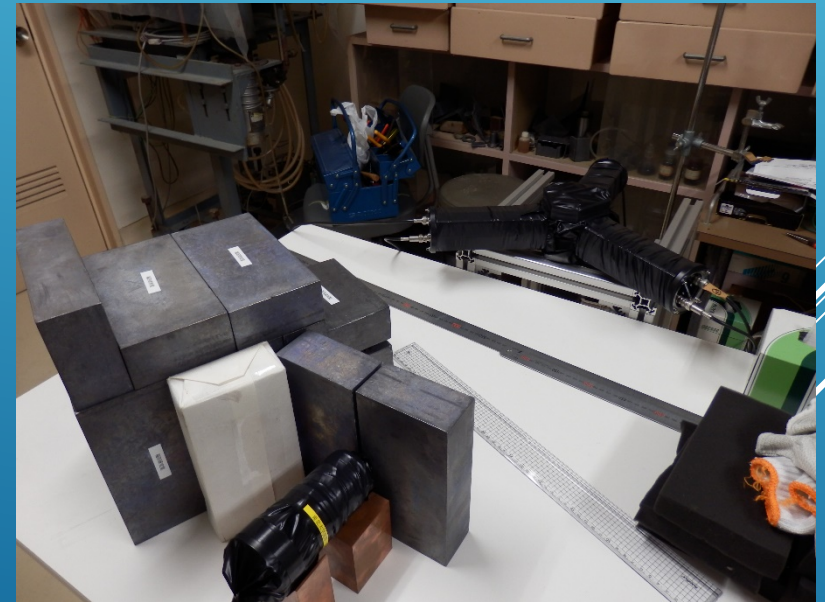
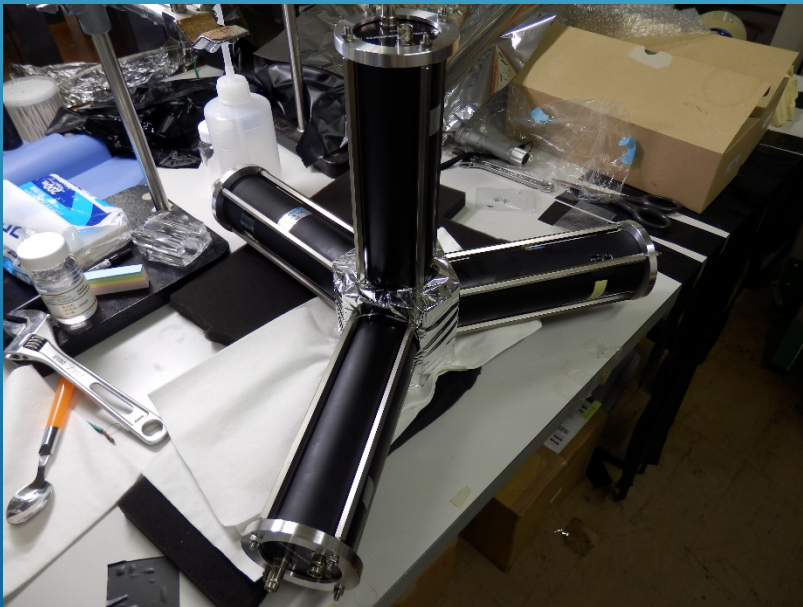
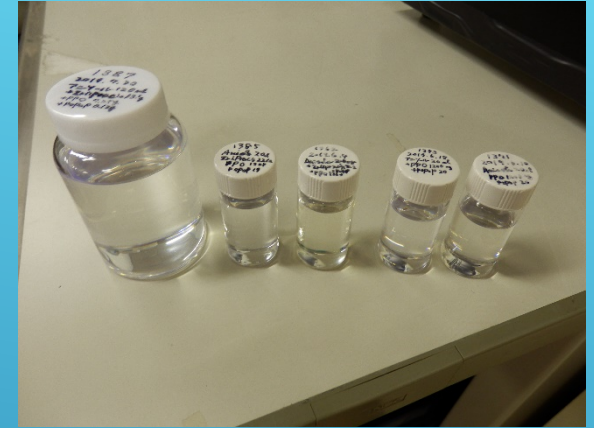
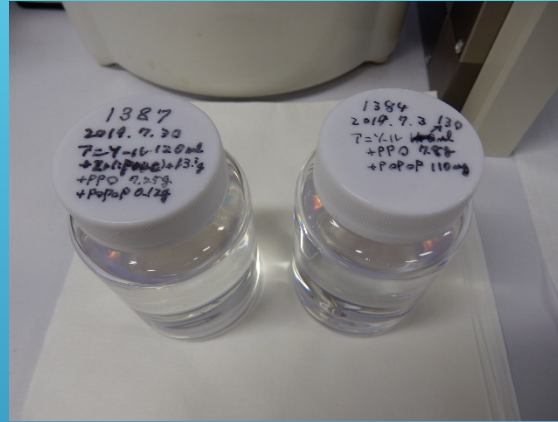
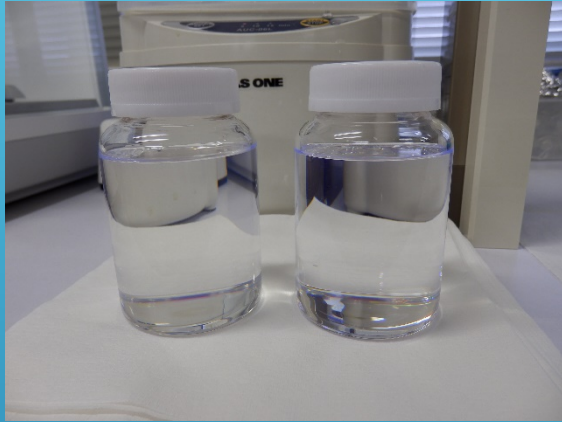




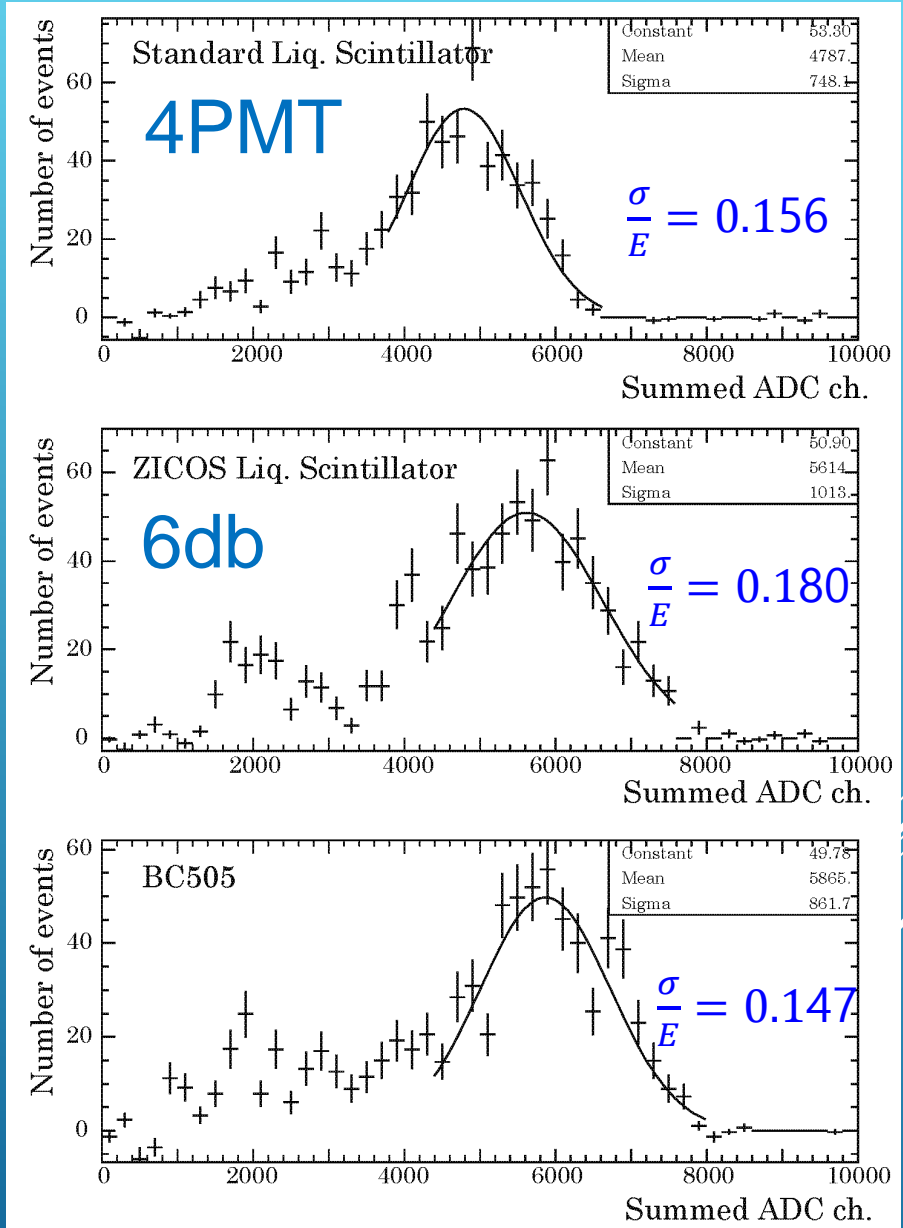
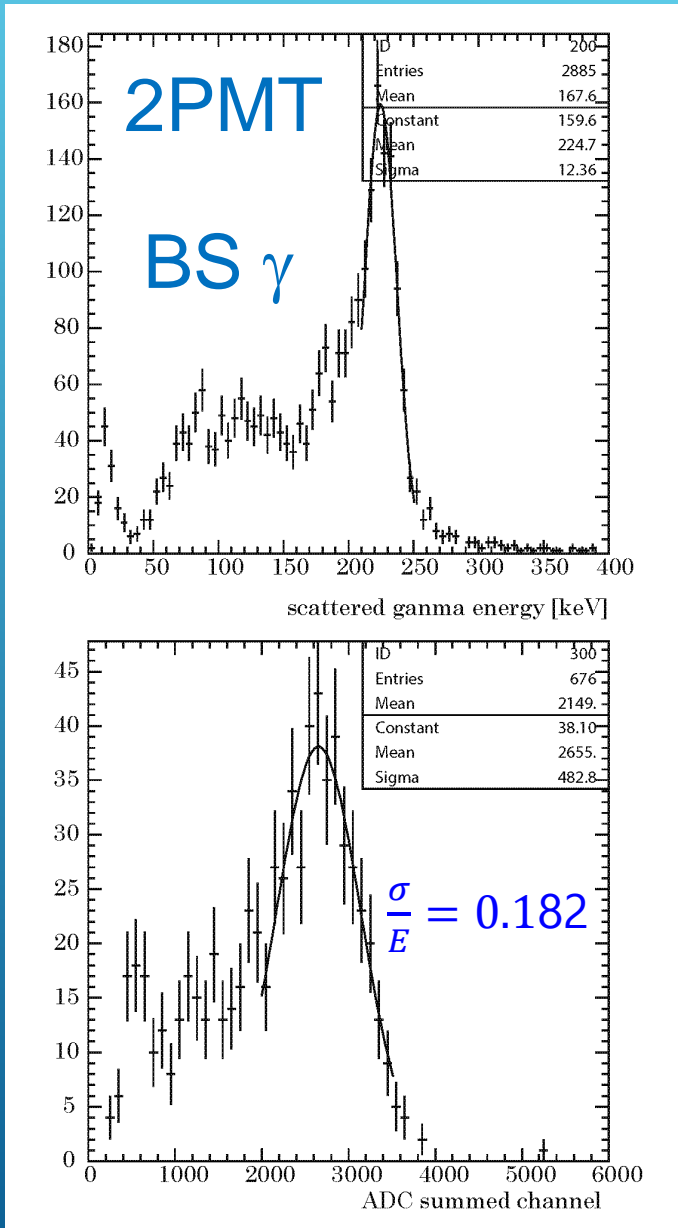
# 作成した60%集光用ライトガイド



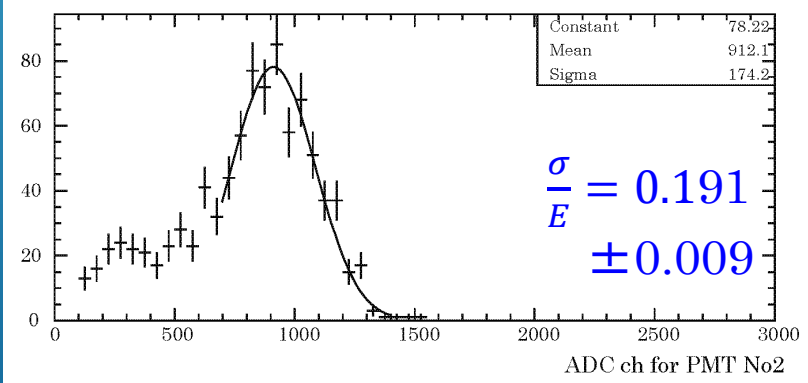
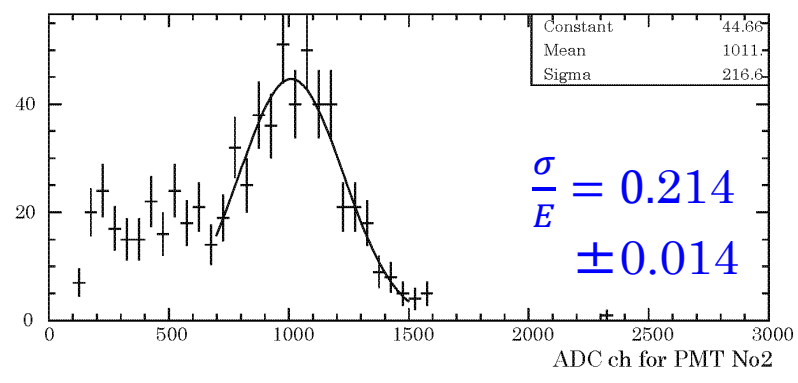
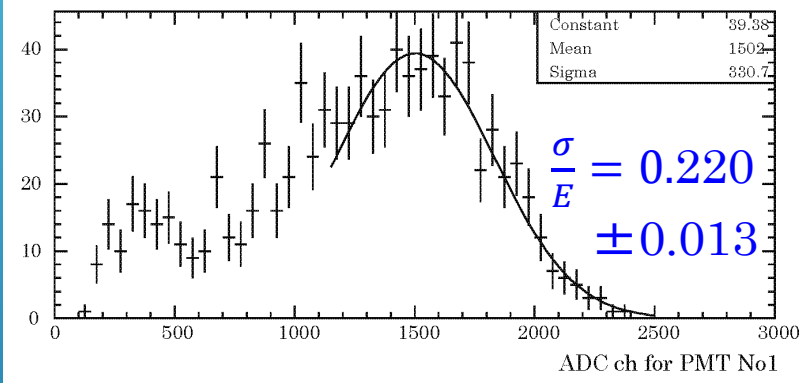
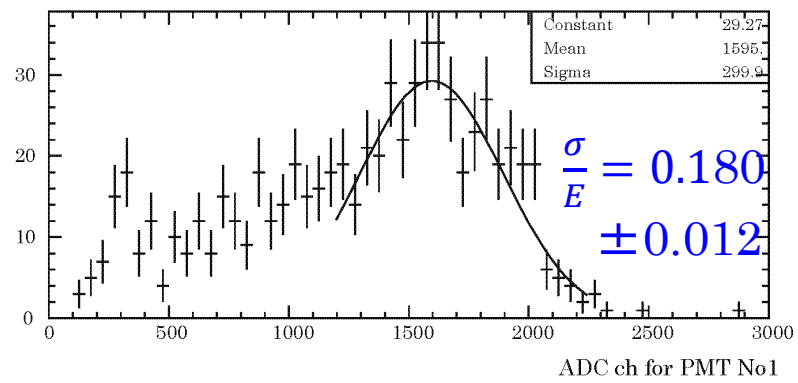
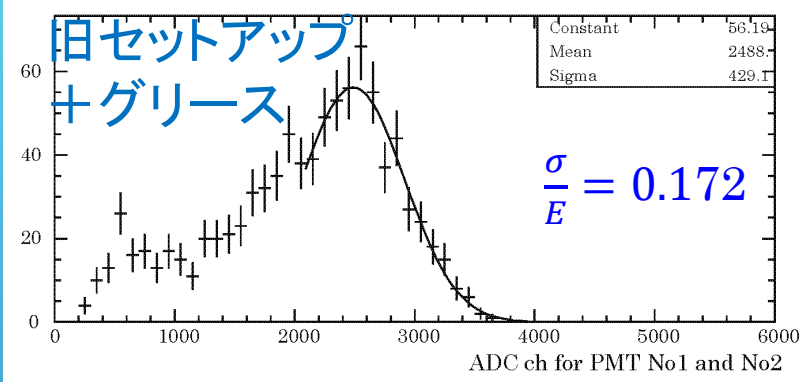
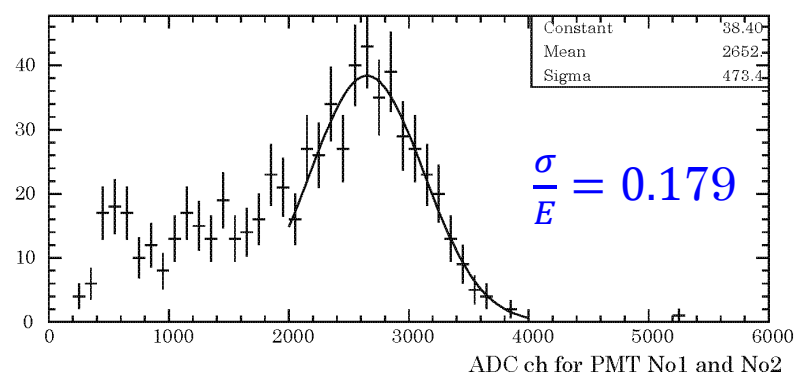
# 新規サンプルの調製と測定の設定アップ



# 10MBq $^{60}\text{Co}$ ガンマ線源による観測(1)

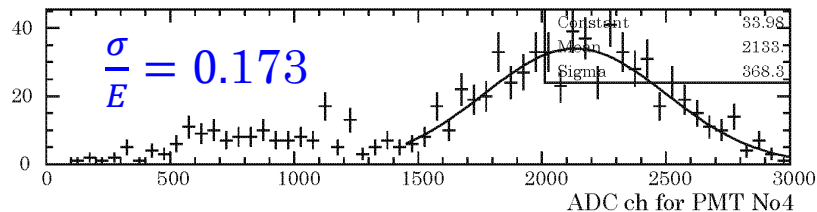
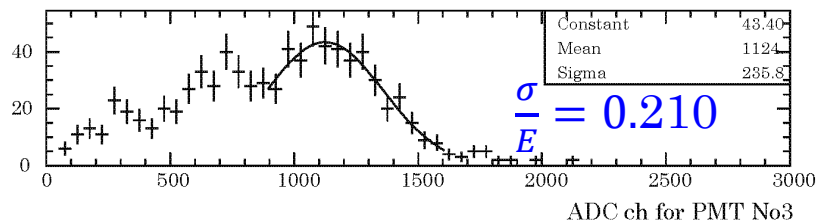
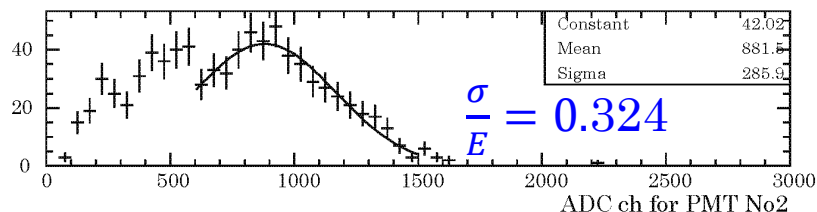
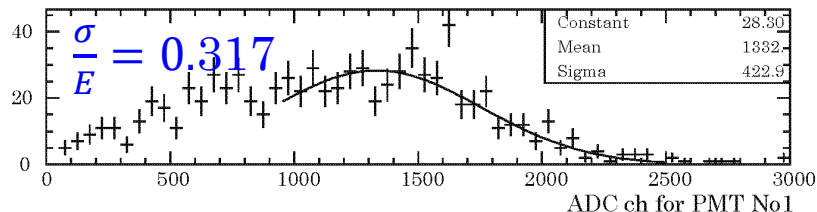
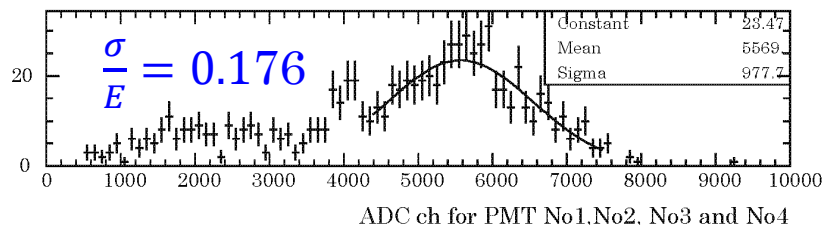


# 10MBq $^{60}\text{Co}$ ガンマ線源による観測(2)





# 10MBq $^{60}\text{Co}$ ガンマ線源による観測(3)



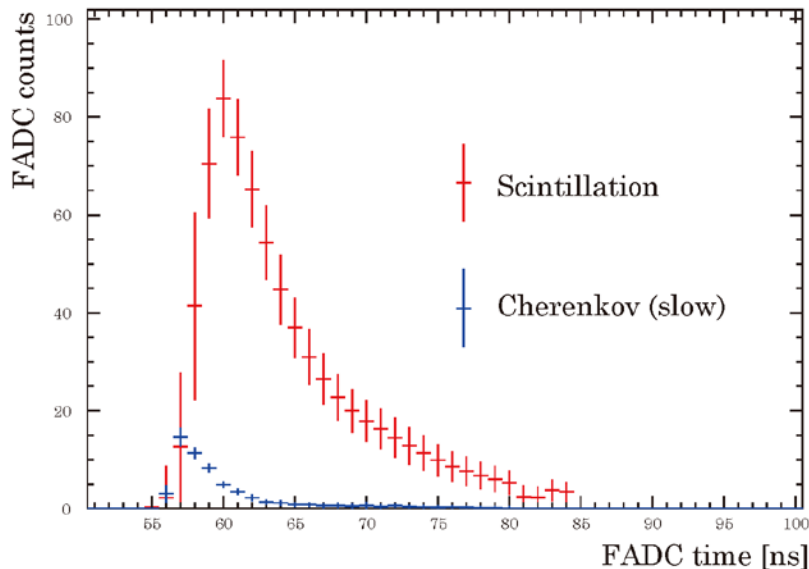
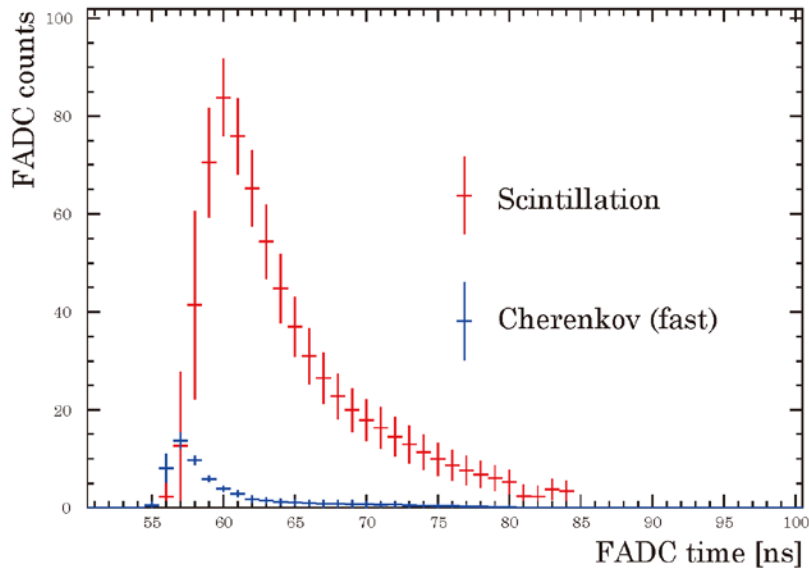
1. 以前のデータを再現できない？(元々18%だったのか？)
2. 60%集光率のライトガイドでは、手前2本のPMTの分解能が約30%と悪い
3. 奥のPMTの分解能はそれほど悪くない
4. 底面は光量も多く分解能も悪くない(距離が近い？)
5. 再測定が必要

# エネルギー分解能測定のみとめ

- 10MBqの $^{60}\text{Co}$ 線源を用いるため、放射線管理区域内でセットアップを行った。
- 新規に60%集光率のライトガイドを作成した。
- 新規ライトガイド用の液体シンチレータサンプル (PhOMe:120mL  $\text{Zr}(\text{iPrac})_4$ :13.3g PPO: 7.2g POPOP: 1200mg)を調製した。
- 旧型ライトガイドの測定ではエネルギー分解能が18%となり、以前のデータを再現できない？(元々18%程度だった可能性)
- 60%集光率のライトガイドでは、手前の2本のPMT (No.1を含む)の分解能が約30%と悪く、正しいエネルギー分解能が測定できていない。
- DAQ用コンピュータを修理し、再測定が必要。



# 今後の計画(1)シンチレーション光とチェレンコフ光の平均波形分布差によるパルス波形分別法を開発(今年度)

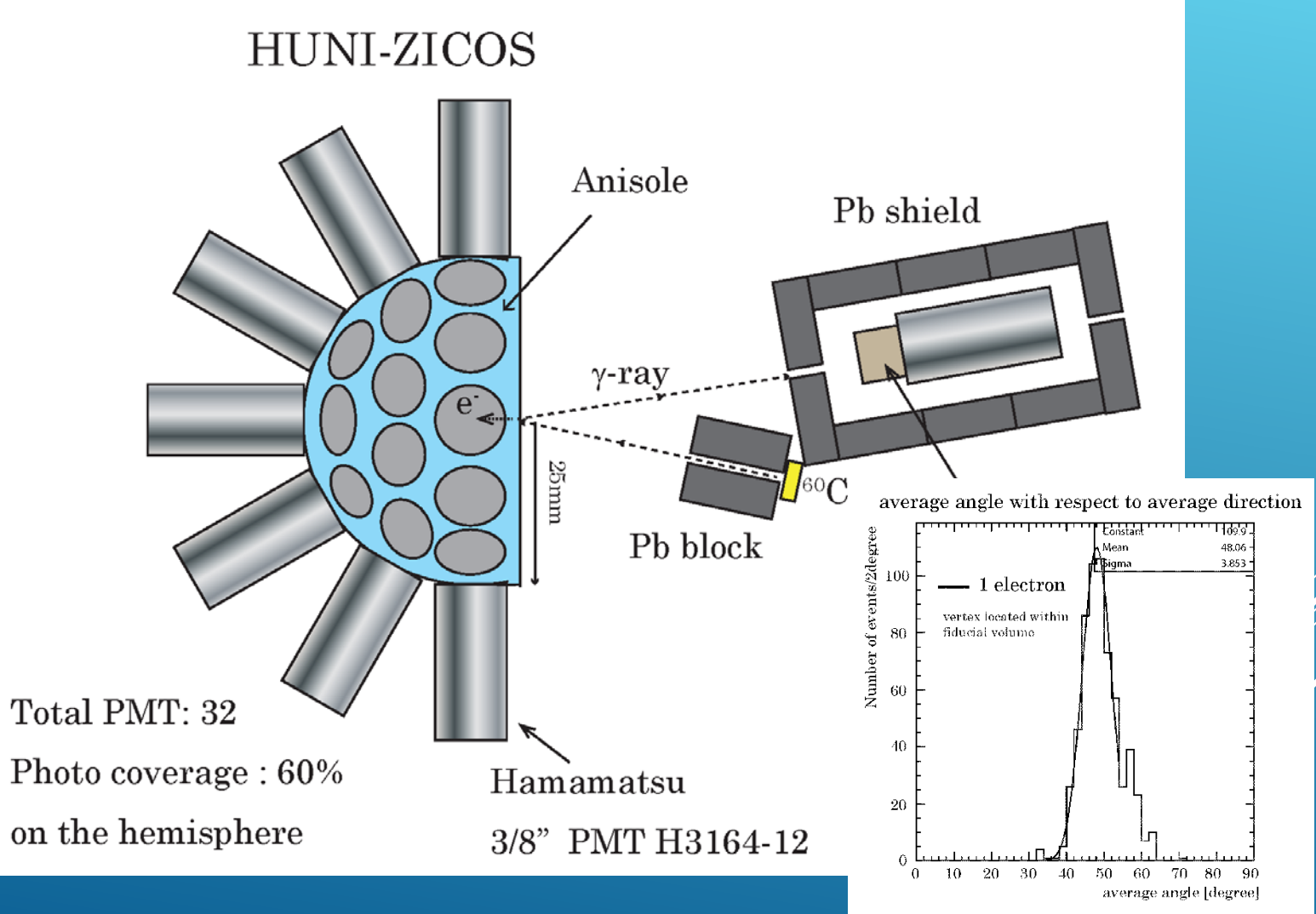


- シンチレーション光の上昇時間は1.2nsec
- チェレンコフ光の上昇時間は0.6nsec  
(ここで上昇時間とは、最大値の1/e倍に達する時間)
- 0.5nsecの時間幅だと、最初の4binで勝負！

0.5nsecの時間分解能のV1751を用いたチェレンコフ光によるパルス波形分別法を開発

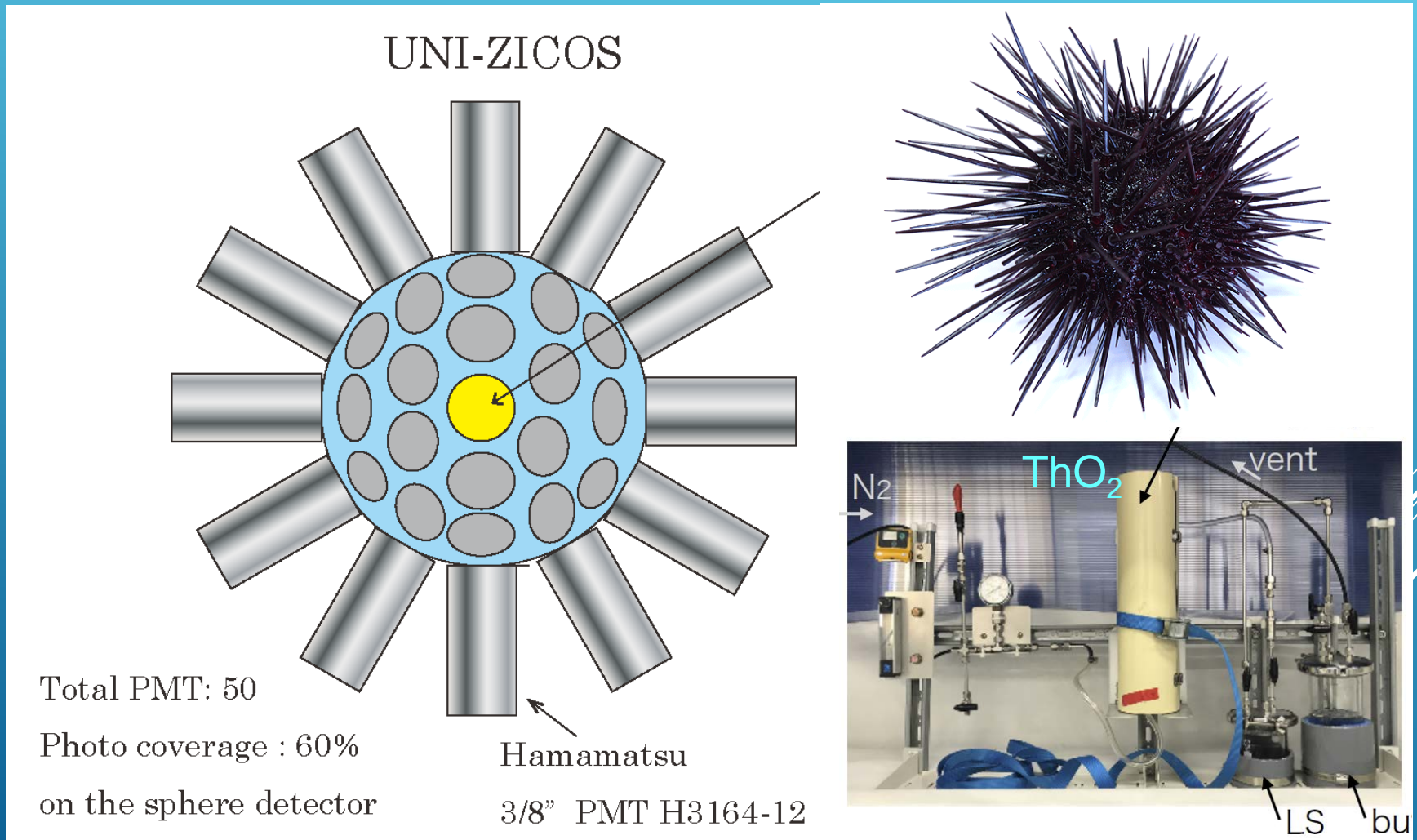
# 今後の計画(2)位相幾何学情報の測定(来年度)

- Measurement of averaged angle by HUNI-ZICOS



# 今後の計画(3)位相幾何学情報を用いた $\beta\gamma$ 事象の除去率の測定 (fundされれば、2021年度)

- Direct reduction for  $\beta\gamma$  events by UNI-ZICOS



# 物理測定

## ① ZICOS-I (2022~26)

- 2" PMT proto-type detector (R~35cm)
- 6.5kg Zr(iPrac)<sub>4</sub> ~80g of <sup>96</sup>Zr (Nat.)
- Use water tank (which available in Kamioka?)
- <sup>96</sup>Zr 2νββ measurement  $T_{1/2}^{2\nu} \sim 2.1 \times 10^{19} \text{y}$
- <sup>96</sup>Zr 0νββ update NEMO3  $T_{1/2}^{0\nu} > 9.1 \times 10^{21} \text{y}$

## ② ZICOS-II (2027~)

- Goal :  $T_{1/2}^{0\nu} > 10^{27} \text{years}$  :  $m_\nu \sim 3 \text{meV}$
- Need radius 10m water tank! In Kamioka mine
- Need first timing (rise time 0.3ns) 20" PMT
- <sup>96</sup>Zr enriched Zr(iPrac)<sub>4</sub> (laser/electric/cenrehuge)
- Total budget (10M\$~100M\$ depends on enrich)
- Need other physics such as Astro-particle.

# BACKUP

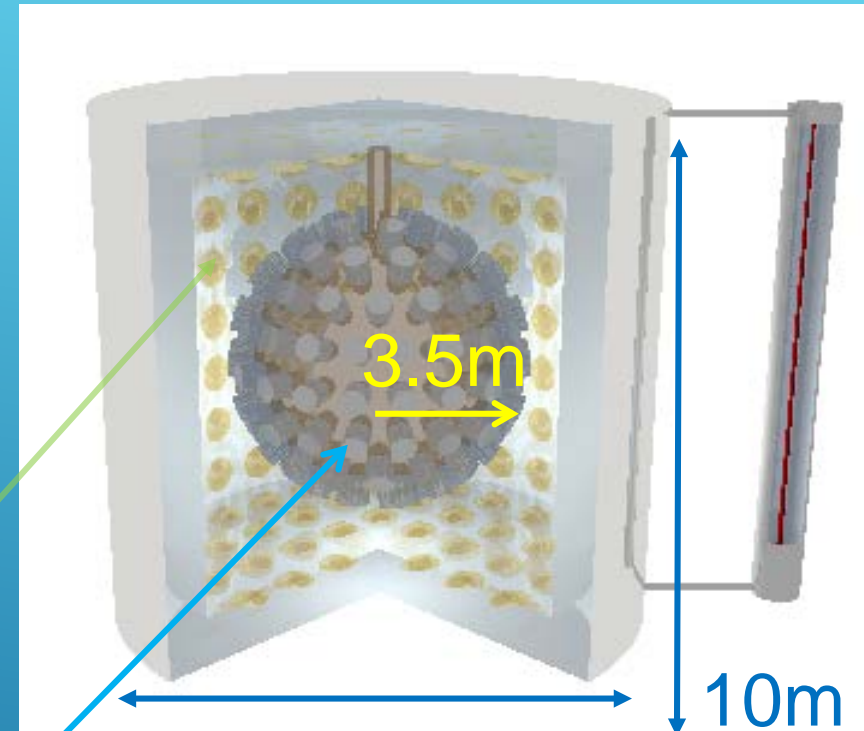
# $^{96}\text{Zr}$ を用いたニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊 事象探索実験-ZICOS実験

## Liquid Scintillator:

- (1) 10 wt.%  $\text{Zr(iprac)}_4$  loaded in anisole
- (2) 2.5% at 3.35MeV of energy resolution with 64% photo coverage and long attenuation length.

Pure water surrounding inner detector in order to veto muons and external backgrounds.

Inner detector with ~64% photo coverage 20" PMT including 1.7ton Zirconium loaded 113 tons LS in fiducial volume. (Total vol. : 180 tons)



10m

## 目的

- ①  $0\nu\beta\beta$ 事象の観測
- ② 複数の原子核による観測で核行列要素の不定性を抑える