

# ワイヤー電極を用いた 比例蛍光読み出しによる XMASS実験感度向上のための研究

菅澤佳世、伊藤好孝、増田公明、関谷洋之<sup>A</sup>  
名大ISEE、東大宇宙線研<sup>A</sup>、他XMASS collaboration

2016/9/22  
日本物理学会 2016年秋季大会  
宮崎大学

# 本研究のモチベーション

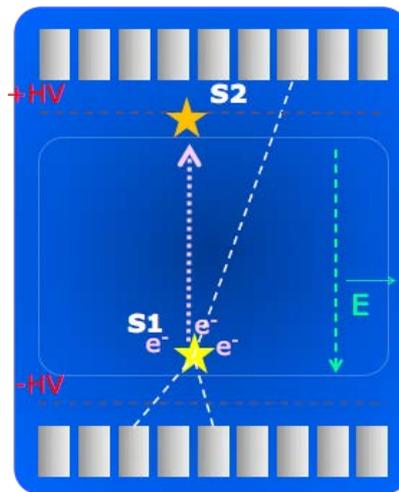
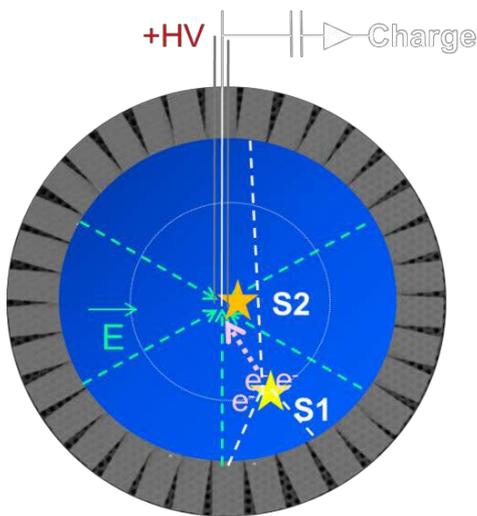
TPCを用いてXMASSの感度向上を目指す

現在、1相式液体XeTPCのテストベンチで実験を行っている

1相式液体XeTPCのメリット:

- S1、S2信号を使うことで反応位置をより正確に再構成、BG識別
- 検出器の形状が自由、液面管理不要

ワイヤー電極を用いて、液体Xe中でのS2の観測実験を行ったのでその結果を報告する



S1: 直接蛍光

S2: 比例蛍光

S1発生時に生じた電子を電場でドリフト、さらに高電場で発光

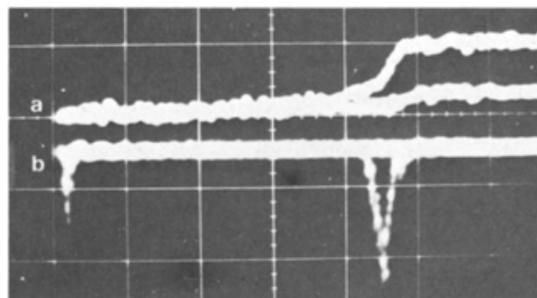
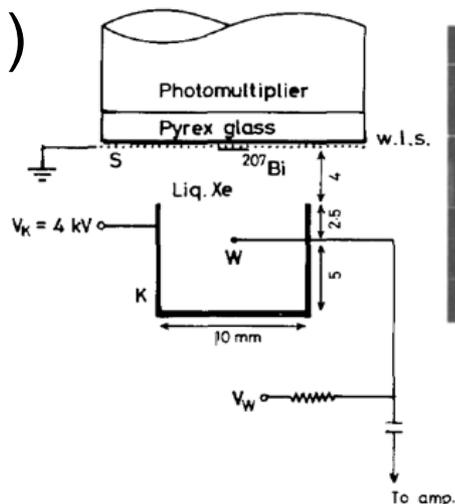
S1とS2の時間差 → ドリフト方向の位置

S1/S2比 → nuclear recoilとe/ $\gamma$ を区別

# 先行研究 - 液体Xe中でのS2発光

液体Xe中でワイヤーに電圧を印加しS2を観測

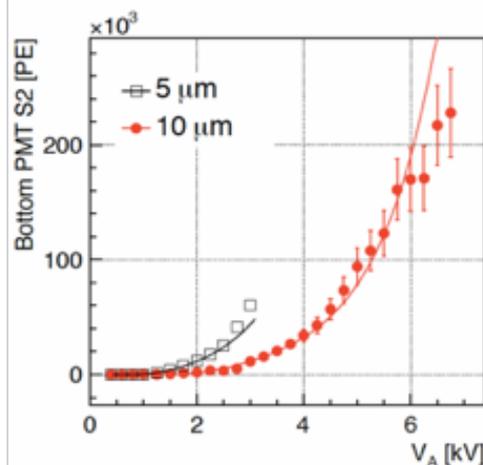
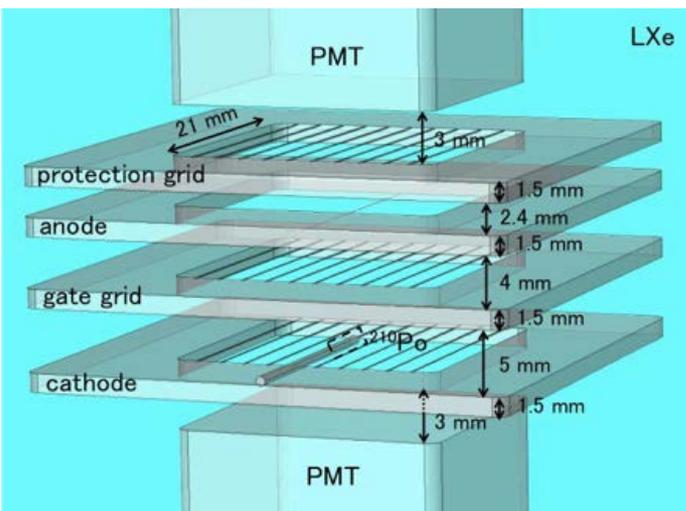
(1)



直径4-20 $\mu\text{m}$ のWワイヤー  
Bi-207 (0.55, 1.05 MeV  $\gamma$ , 0.98 MeV  $\beta$ )  
を使用  
S2 threshold: 490 kV/cm @  $\Phi$  10  $\mu\text{m}$

K. Masuda et al., Nucl. Instrum. Meth. 160 (1979) 247

(2)

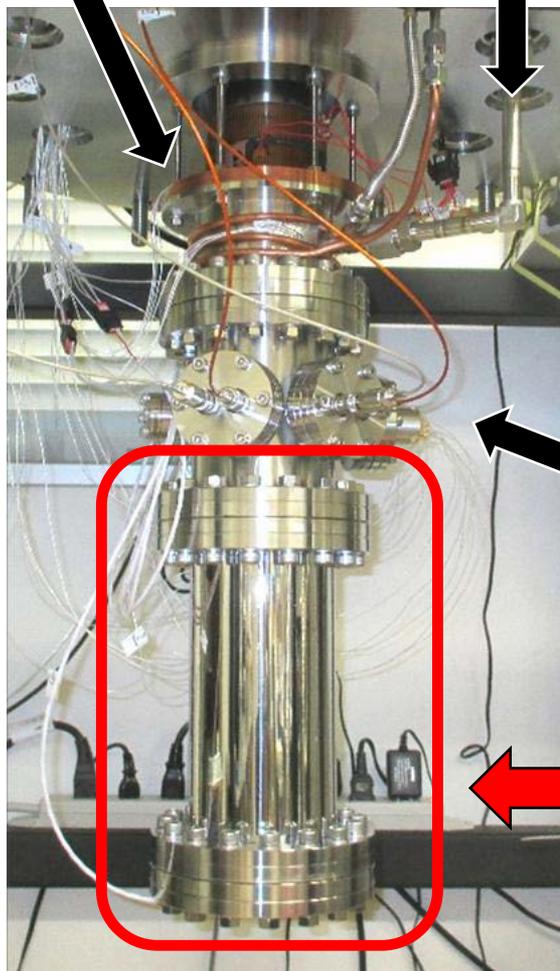


直径5, 10  $\mu\text{m}$ の金メッキWワイヤー  
Po-210 (5.4 MeV  $\alpha$ )  
S2 threshold: 412 kV/cm

# 実験装置

熱交換円盤

Xe line

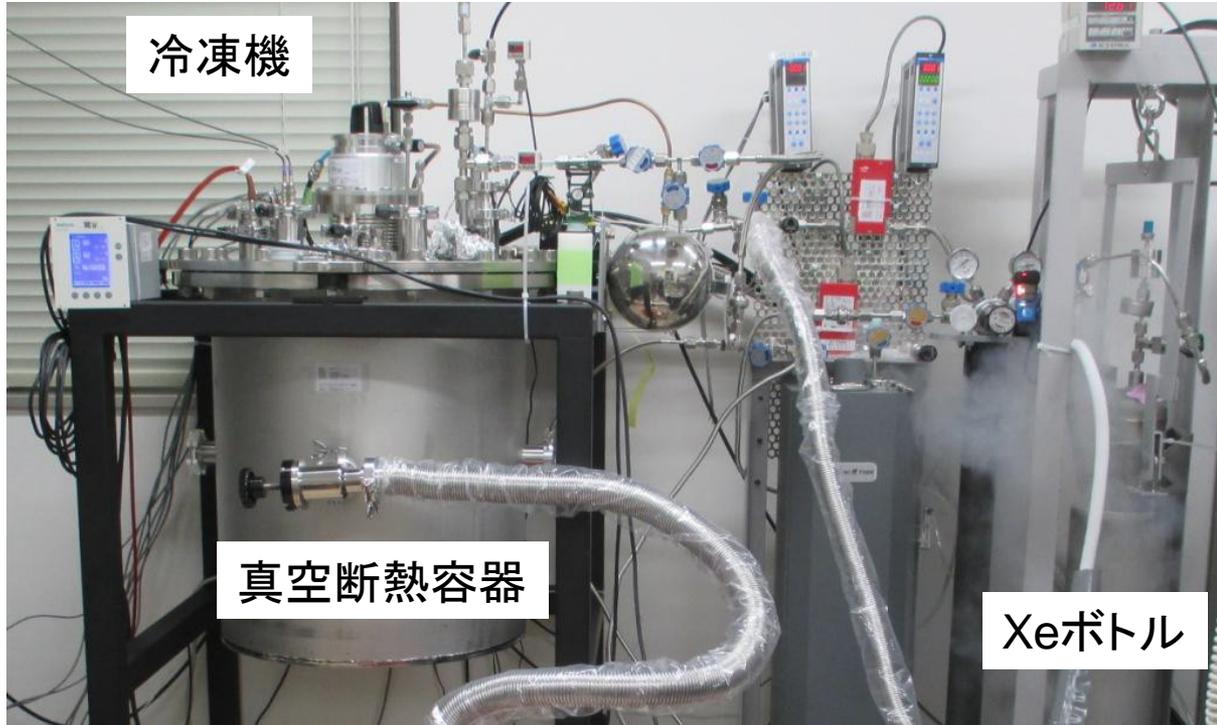


フィードスルー  
PMT、電極へのケーブル接続

検出器部分

断熱容器内部

冷凍機

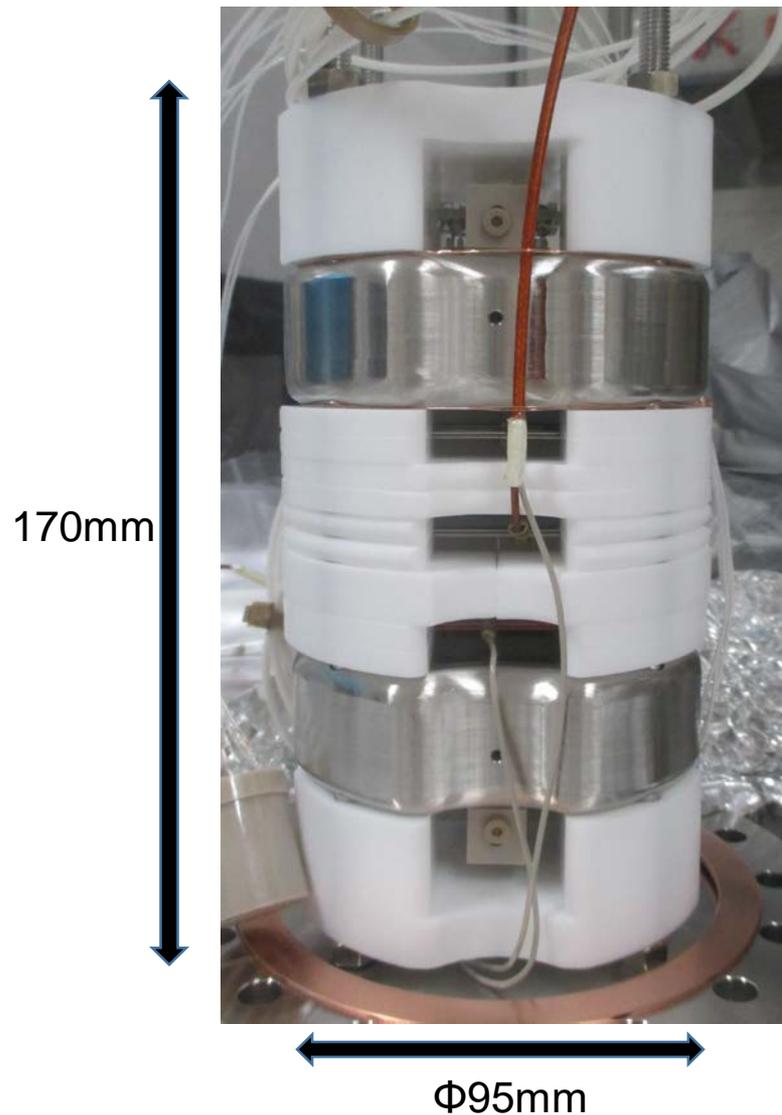


真空断熱容器

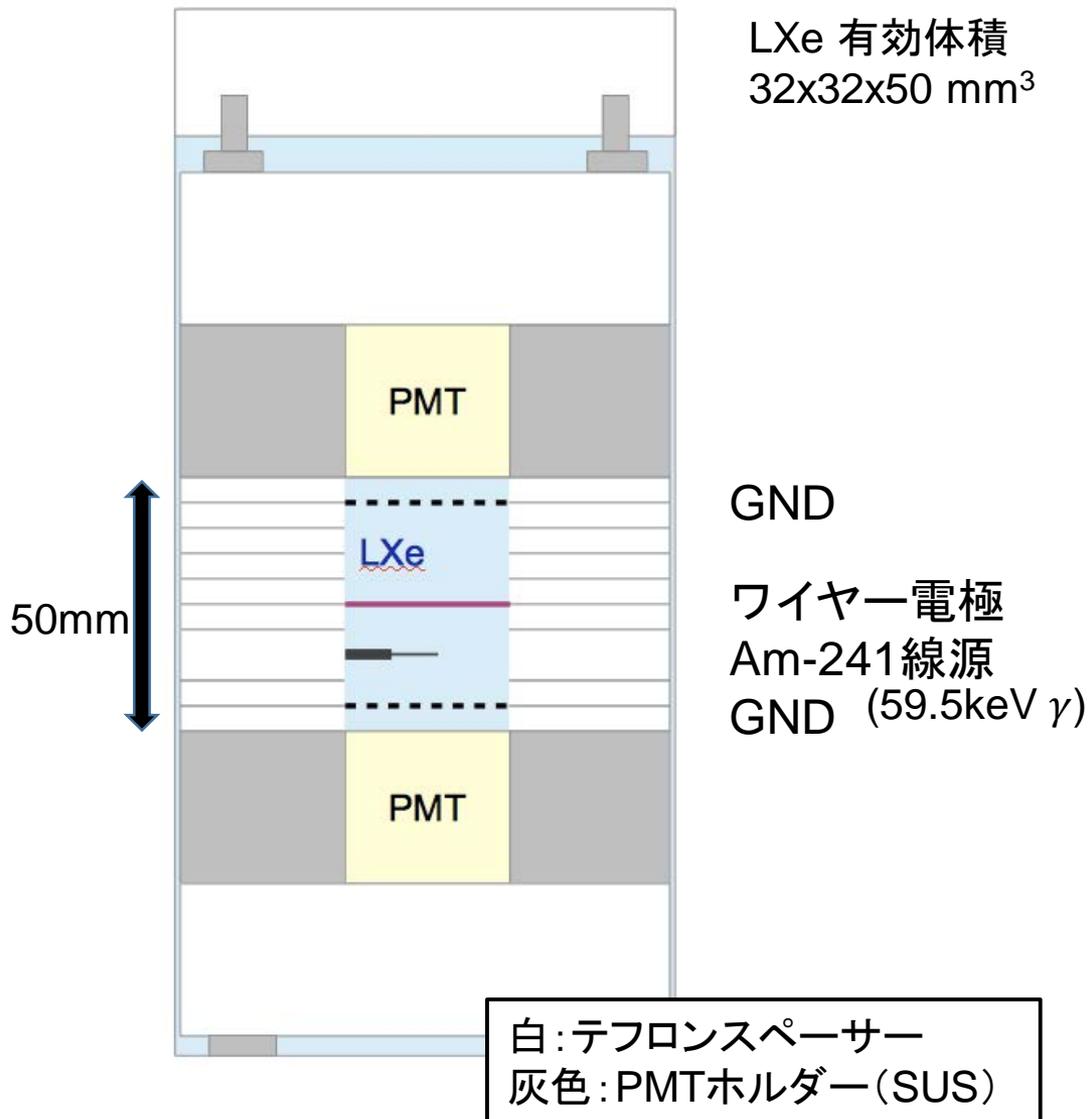
Xeボトル

Xeボトルからゲッターを通して  
検出器にキセノンを導入する  
上部の冷凍機でキセノンを冷却・液化、  
一番下の検出器部分に満たす

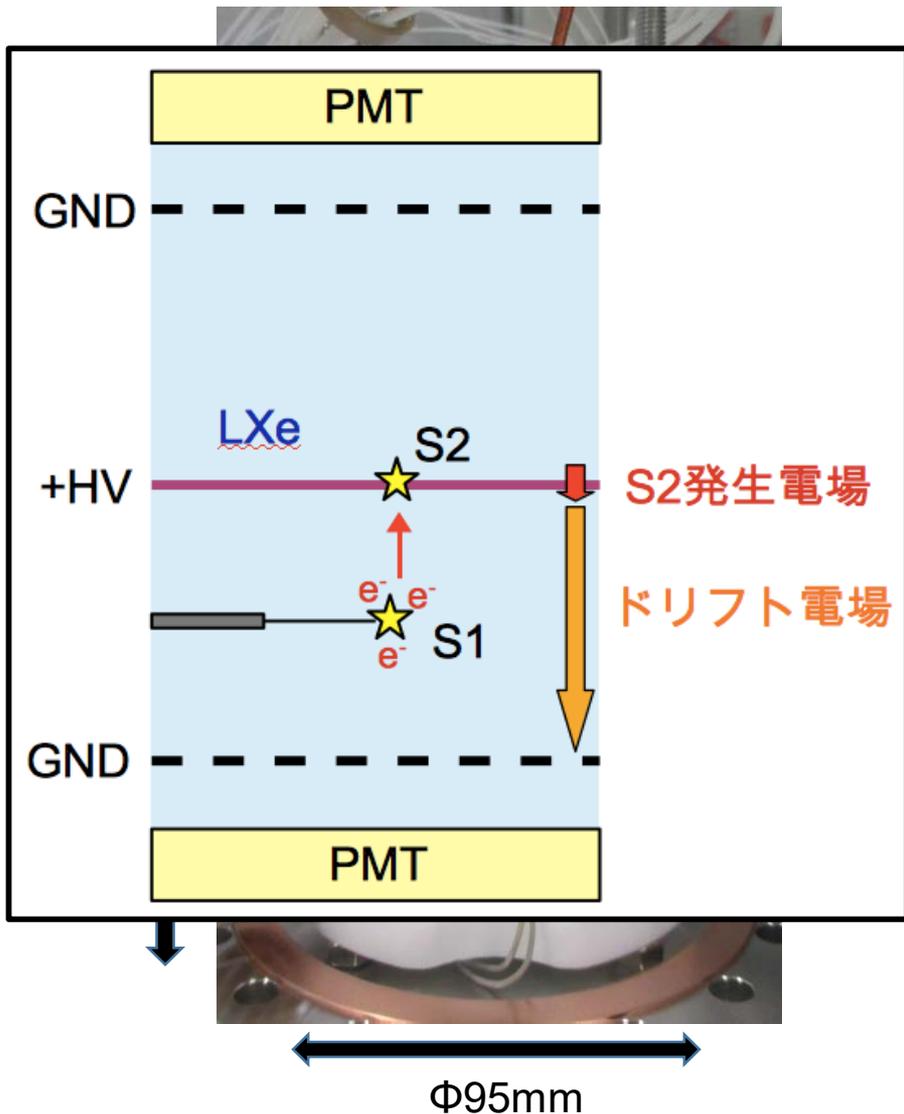
# 検出器の構造



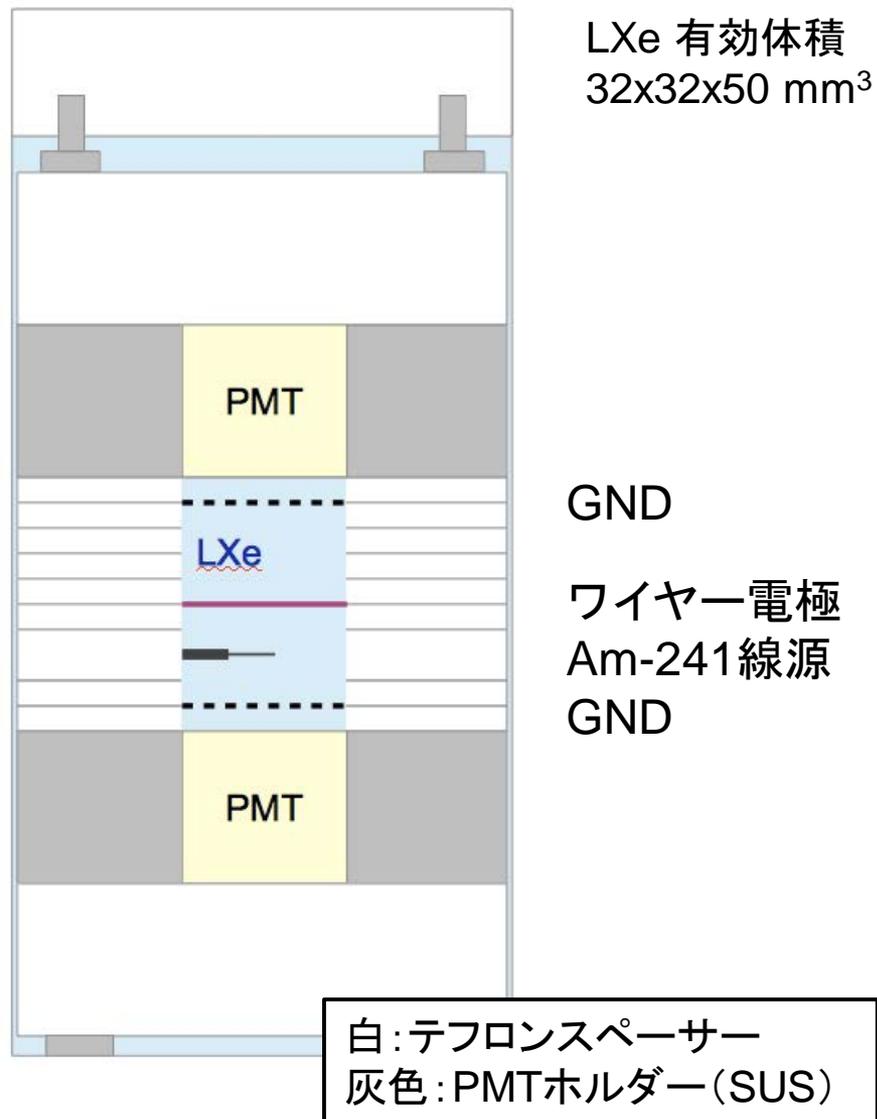
液体Xeを上下からPMTで挟んだ構造



# 検出器の構造



液体Xeを上下からPMTで挟んだ構造



# ワイヤー電極

直径10 $\mu$ mの金メッキWワイヤーを四角いフレームの中心に張ったもの

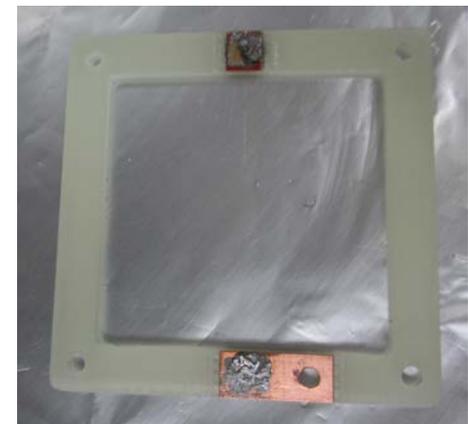
- SUSフレーム

- ワイヤーは2枚のフレームに挟まれる形で溶接されている
- フレーム全体にHVがかかるためドリフト電場が一様になる



- ガラスエポキシフレーム

- 銅箔部分にワイヤーをはんだ付けする
- フレームの一部だけにHVがかかるためフレームに向かって電子がドリフトしない

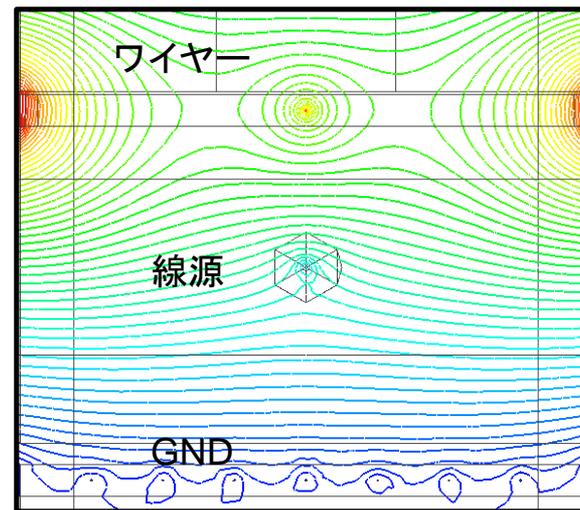
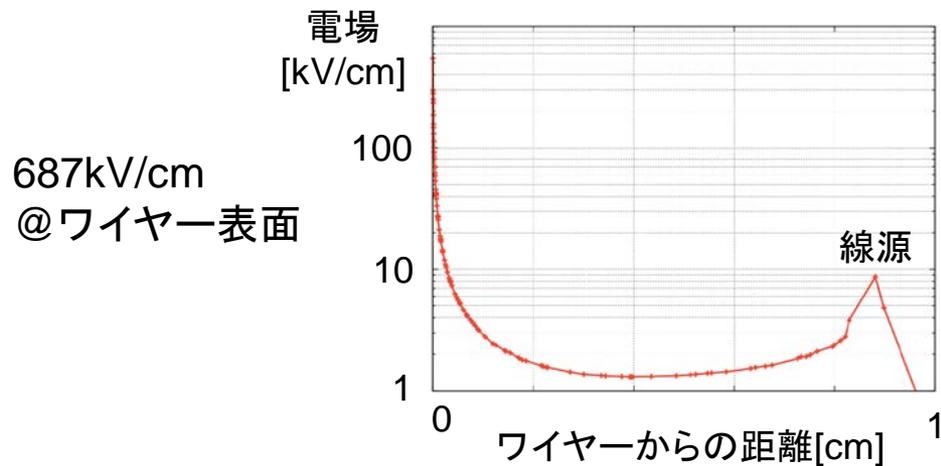


42mmx42mmx厚み1.8mm

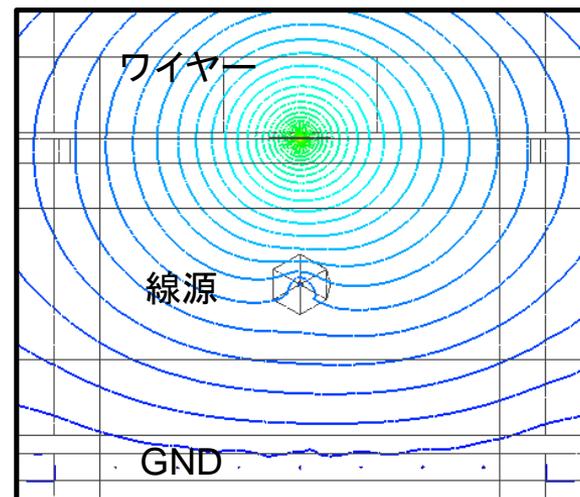
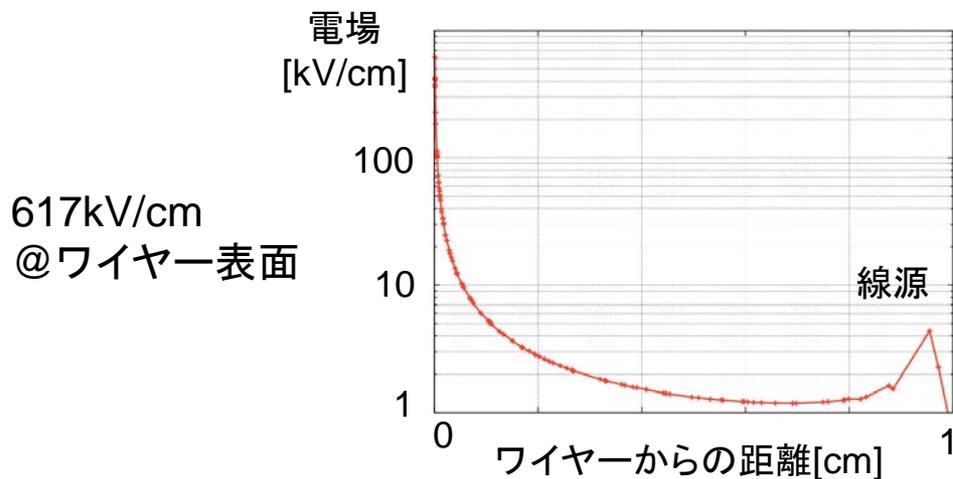
# 電場シミュレーション

有限要素法解析ソフトFemtetを用いてシミュレーションを行う

- SUSフレームの電極に5kV印加した場合

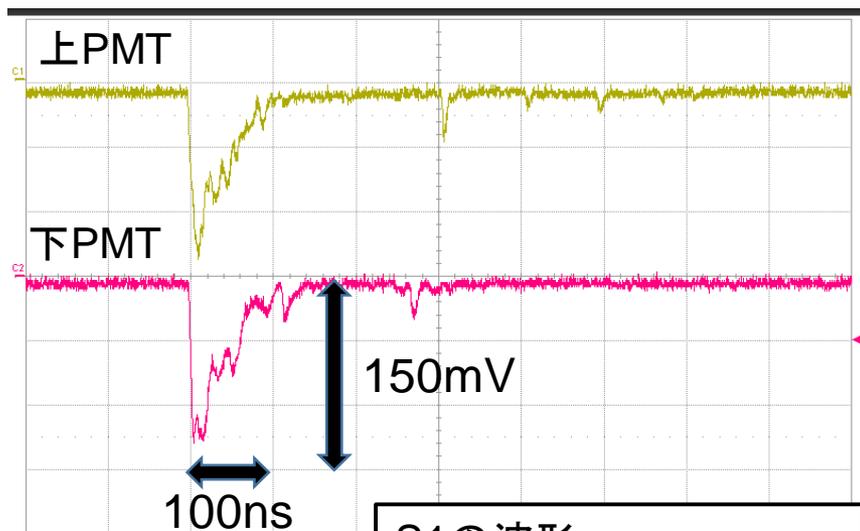
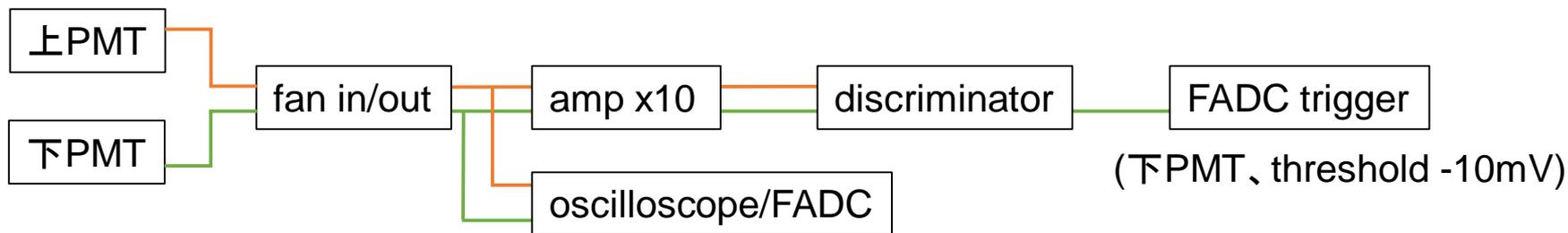


- ガラスエポキシフレームの電極に5kV印加

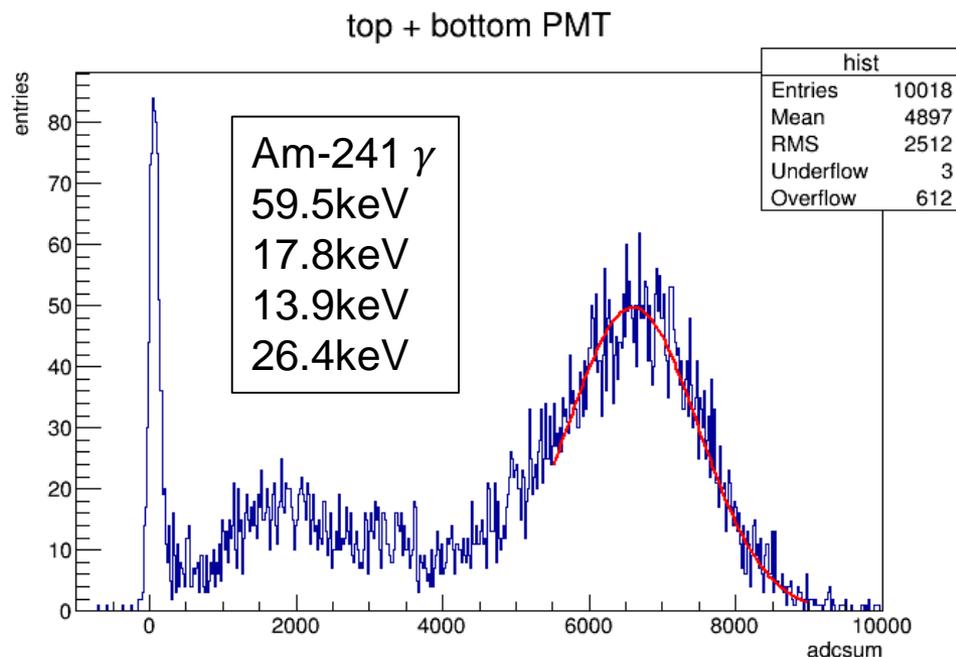


# S1観測 (SUS使用)

Xe 温度-104°C、圧力0.027MPaで実験



S1の波形  
ワイヤーに電圧印加なし  
PMT 800V



S1光量のヒストグラム  
上下PMTの波形面積を積分  
光量 13.85 p.e./keV

# S1光量のドリフト電場依存(SUS使用)

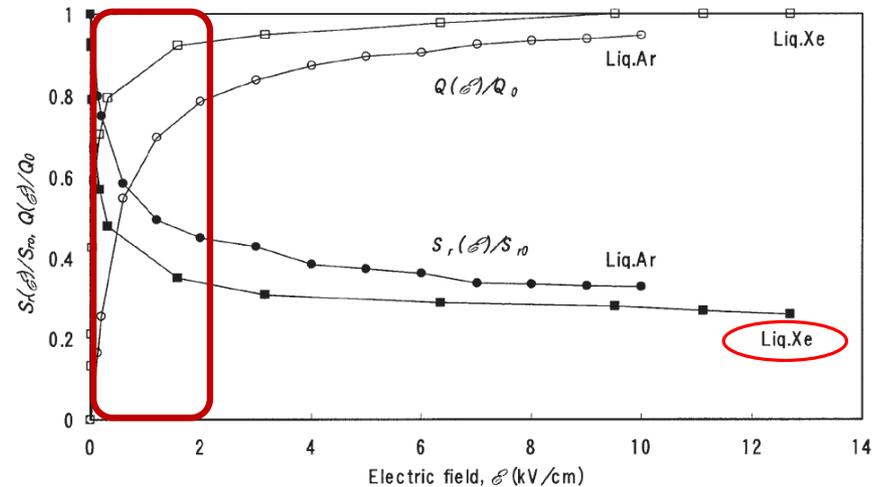
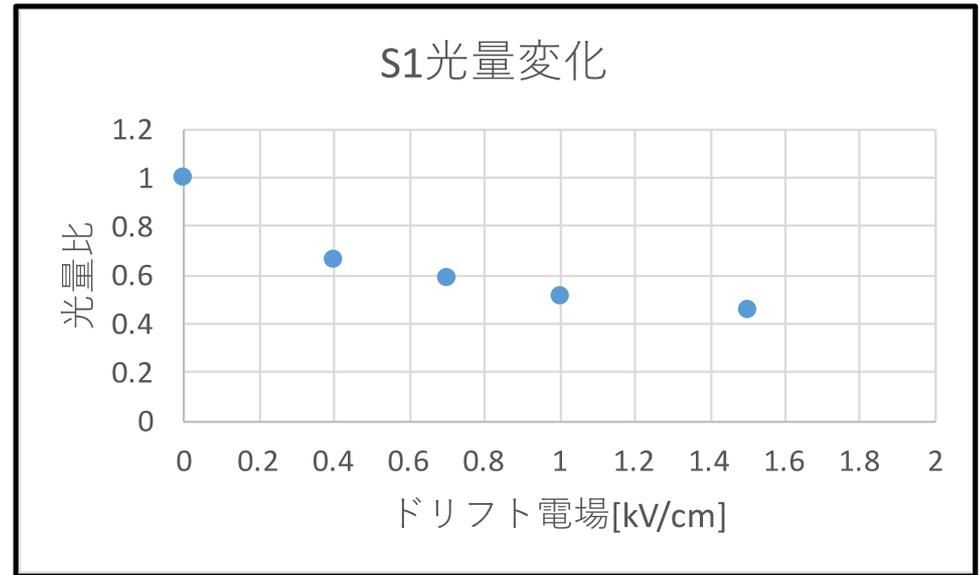
0.96cmの間の電場からどう出したかの説明は？

電極の電圧[kV]	ドリフト電場[kV/cm]
1	0.4
2	0.7
3	1.0
4	1.5

電極に電圧を印加することで電子がドリフトされ、再結合が妨げられるためS1発光量が減少する

電圧を変えたときの59.5keVピークの値を比較したところ、

1kV/cmで光量50%減少



# S2観測 (ガラスエポキシ使用)

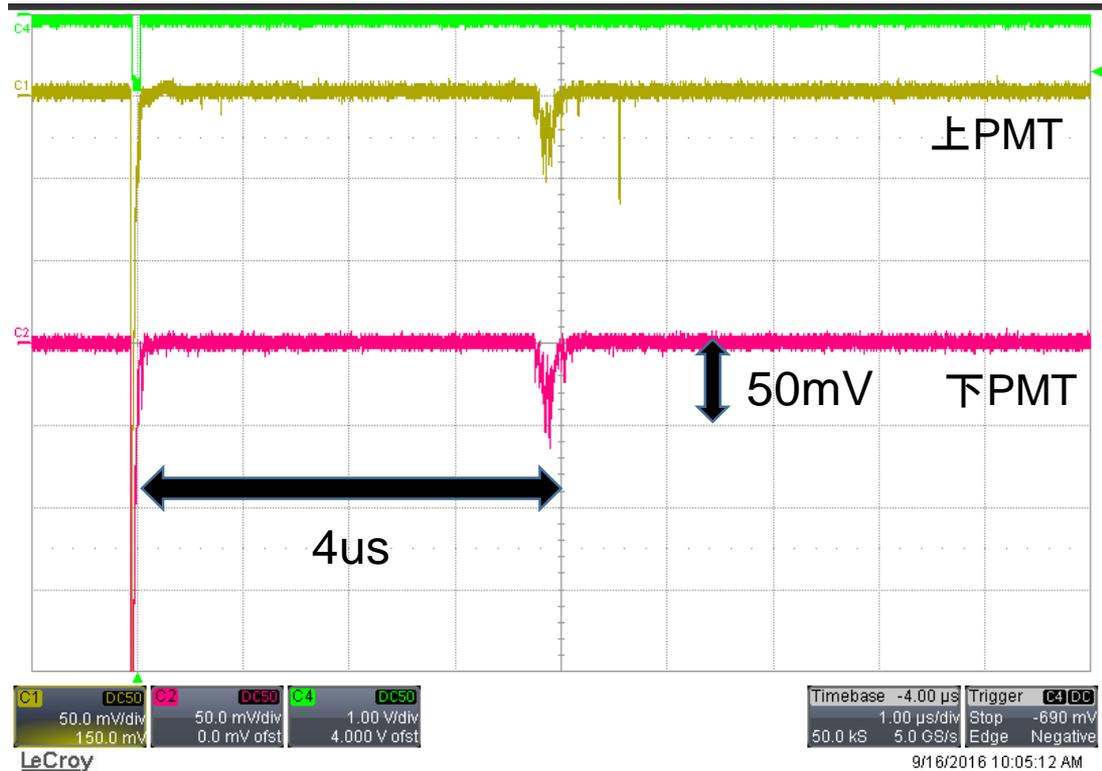
液体Xe中でのS2を観測！  
S1の2-6us後にS2発生を確認

SUSでもS2発生していたけど、うまくトリガーできていなかったのではないか??

SUS電極では4.5kVで放電し  
S2を確認できなかった

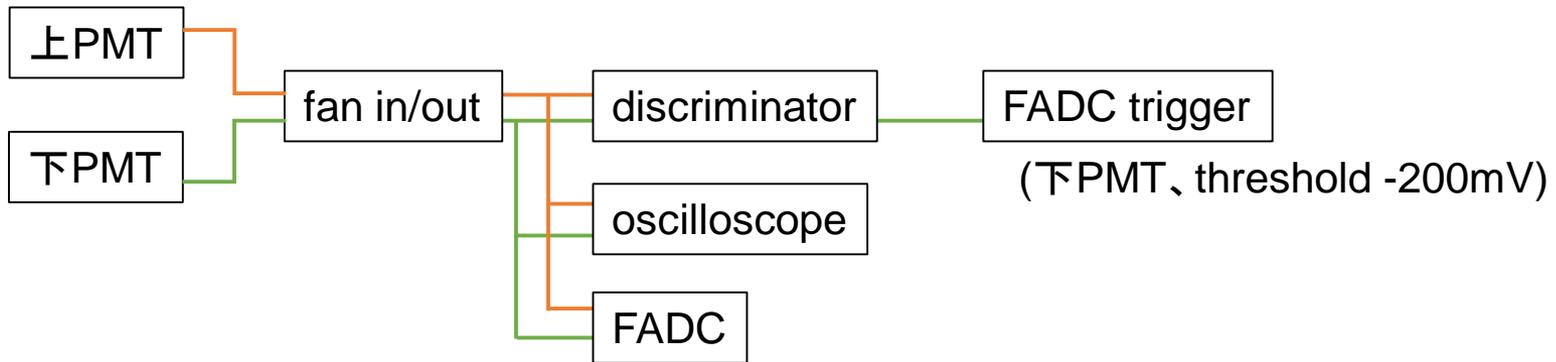
Am線源由来のS2:  
線源とワイヤーの距離 0.96cm  
液体Xe中での平均自由行程0.043cm(59.5keV  $\gamma$ )  
ドリフト速度0.2-0.3cm/usec より、  
ドリフト時間 3-5usec と予想される

0.5mmしか走らないのね。。



ガラスエポキシ電極を使用し  
ワイヤーに4.9kV印加したときの  
S1、S2信号  
Xe -102°C、0.045MPaで実験

# S2光量の電圧依存 (ガラスエポキシ使用)

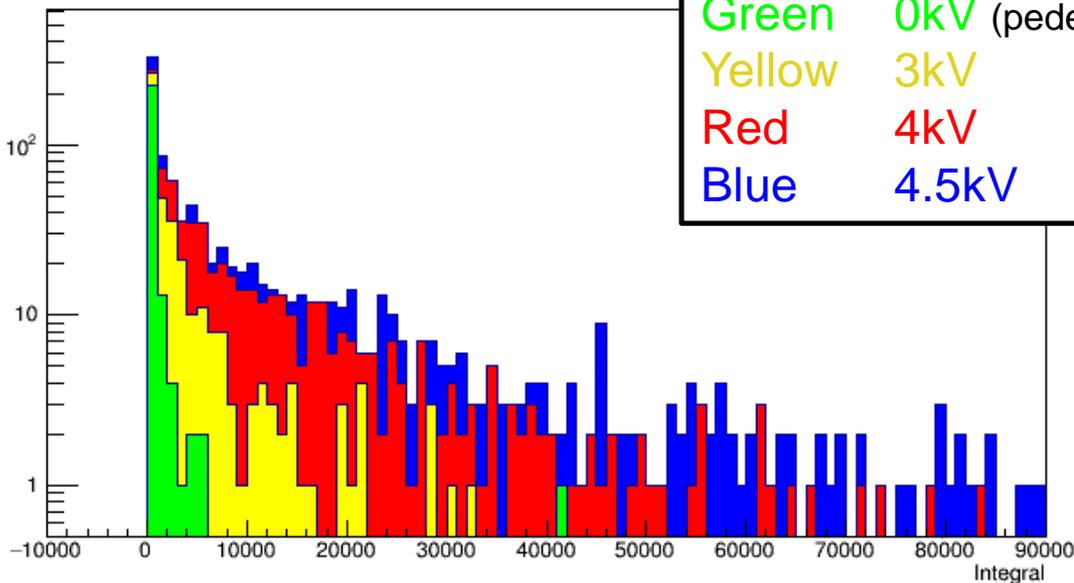


S2

Green	0kV (pedestal)
Yellow	3kV
Red	4kV
Blue	4.5kV

3kVからS2発生を確認

3kV印加でワイヤー表面の電場 ~370kV/cm



S1発生後2-6us間の波形の積分値のヒストグラム(積分値>0)  
ワイヤーの電圧が高くなるほどS2光量の増加を確認  
今後さらに詳しく解析する

# まとめ

直径10 $\mu\text{m}$ のワイヤーに4.9kVまでの高電圧を印加して実験を行い、  
液体Xe中でのS2観測に成功した

## 今後の測定・解析:

- S2が発生する電場のthresholdを求める
- Xeの温度、圧力依存性を調べる
- 上下PMTの光量差とドリフト時間の相関を調べる
- 線源を用いて、原子核反跳と電子反跳 それぞれのS1/S2比を測定  
(真空容器外部からCf-252線源をあてたデータは取得済み)

backup

# S1光量

S1のトリガー後300ns間波形を積分し、上下PMTの積分値を足し合わせたヒストグラム

59.5keVピークをフィットした結果、中心値6597

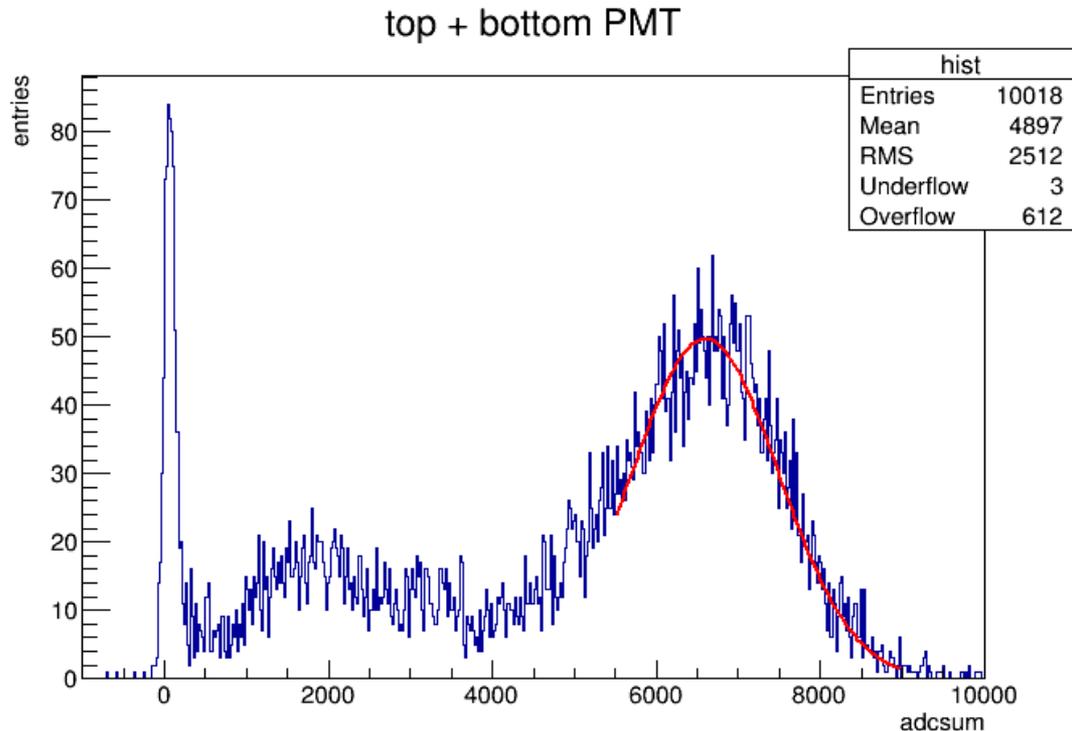
PMT 800Vでのgain  $10^6$  より

$$Q = \frac{6597 \times 10^{-12} [\text{Vsec}]}{50 [\Omega]} = 1.3194 \times 10^{-10} [\text{C}]$$

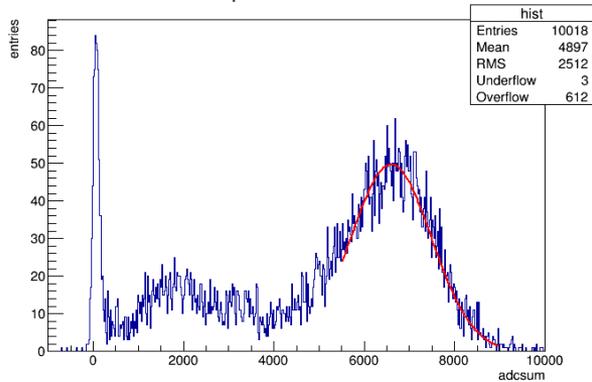
$$\frac{1.3194 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^6} = 824.6 [\text{p.e.}]$$

$$\frac{824.6}{59.5} \simeq 13.85 [\text{p.e./keV}]$$

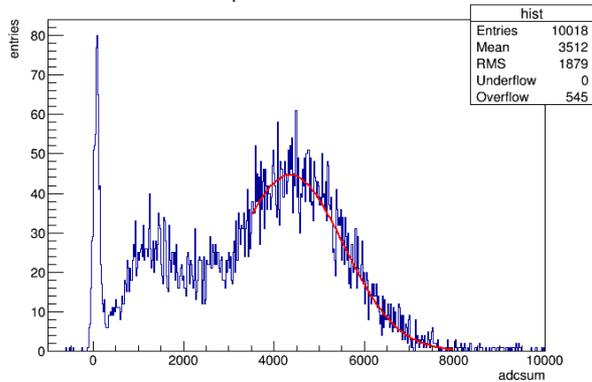
$^{241}\text{Am } \gamma$
59.5keV
17.8keV
13.9keV
26.4keV



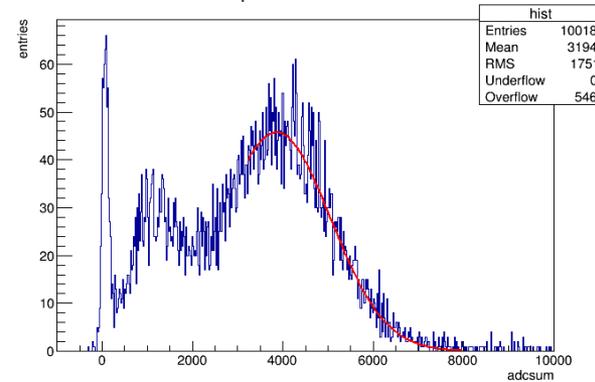
top + bottom PMT



top + bottom PMT



top + bottom PMT

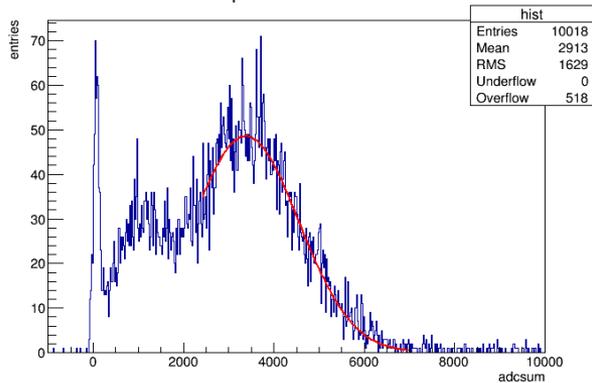


0V

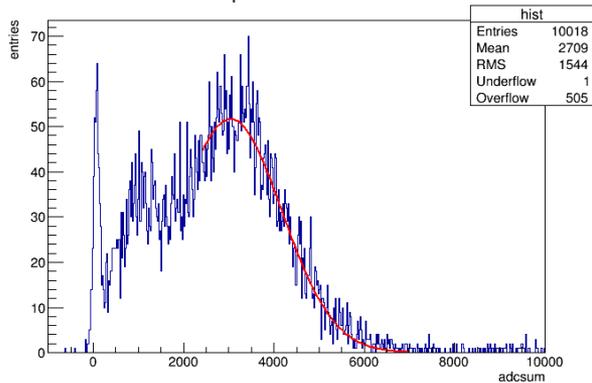
1kV

2kV

top + bottom PMT



top + bottom PMT

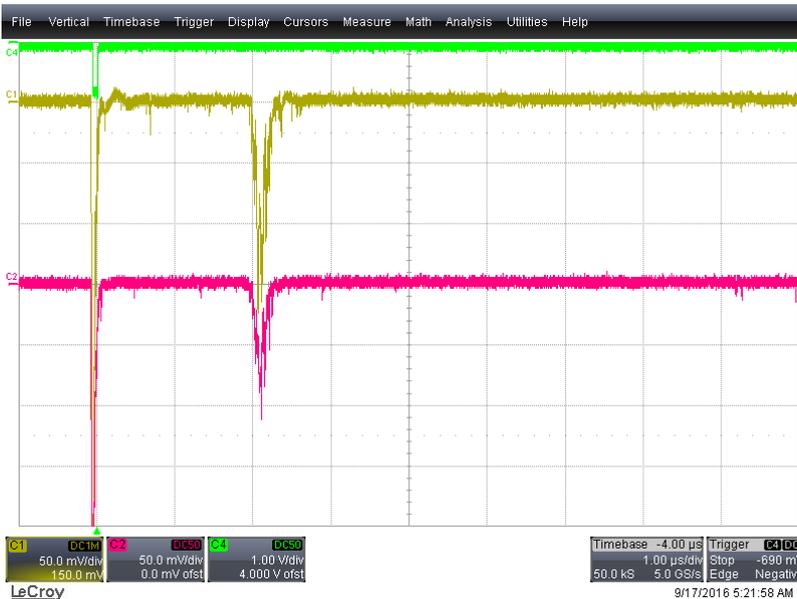
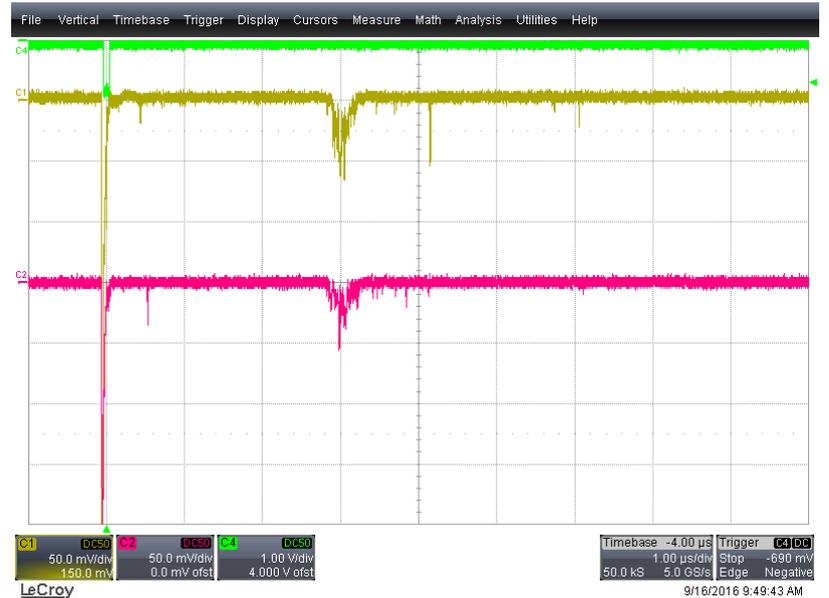
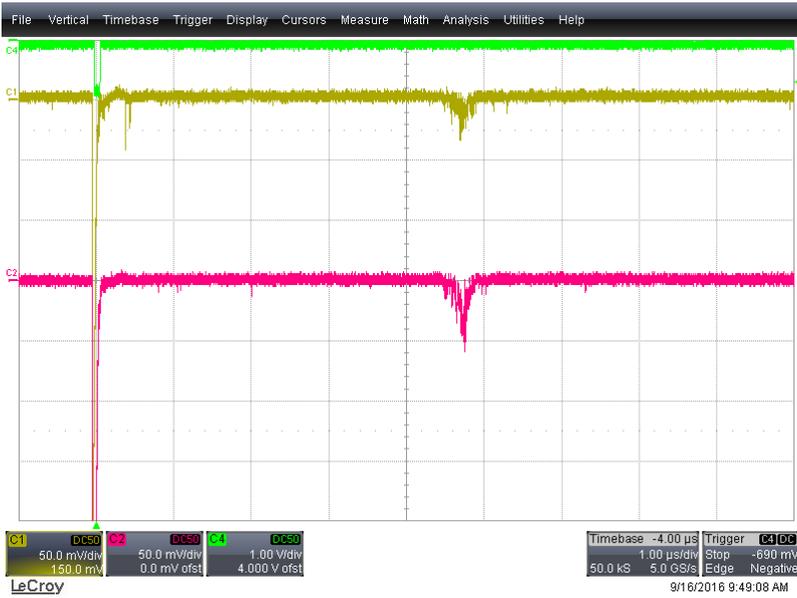


3kV

4kV

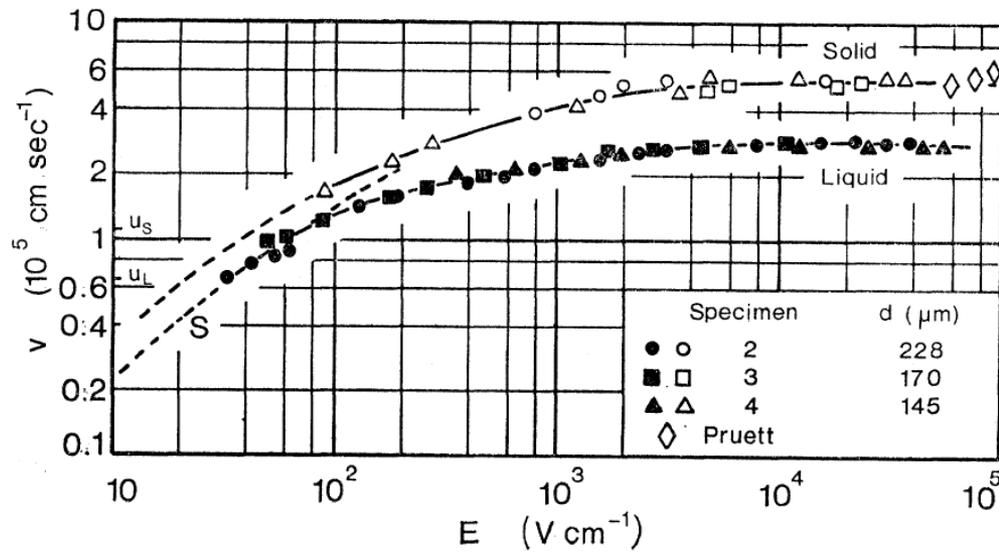
SUS電極を使用  
印加電圧を変化させたときの  
S1のスペクトル  
それぞれ1万event分の  
データをプロット

# S2波形



50mV/div  
1us/div

## 液体Xe中での電子のドリフト速度



L.S. Miller et al., Phys. Rev. 166, 3 (1968)

