

比例蛍光読み出しによる 1相式液体キセノンTPCの開発

菅澤佳世、伊藤好孝、増田公明、関谷洋之^A
名古屋大学ISEE、東京大学ICRR^A

2016/12/10

第13回MPGD研究会

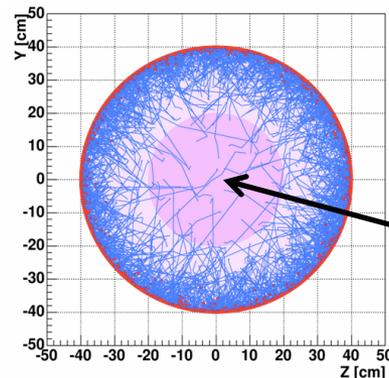
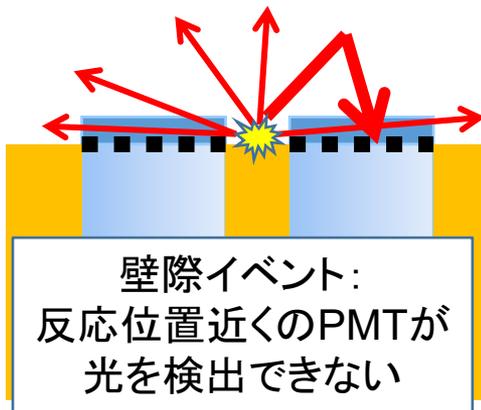
神戸大学

研究背景

- XMASS実験の感度向上が目標
 - ダークマター直接探索実験@神岡
 - 液体Xeを用いたシンチレーション検出器
- 各PMTの光量・時間情報から位置を特定
BGの少ない有効体積でのイベントを選びたい
- 問題点: 検出器内壁でのBG event が
有効体積中に誤って位置再構成される



電子のドリフトを利用
TPCにして反応位置を正確に再構成



XMASS検出器(直径80cm)
832kgのLXe(-100°C)の周りを
642本のPMTで球殻状に
囲んでいる

有効体積
(中心部直径40cm)



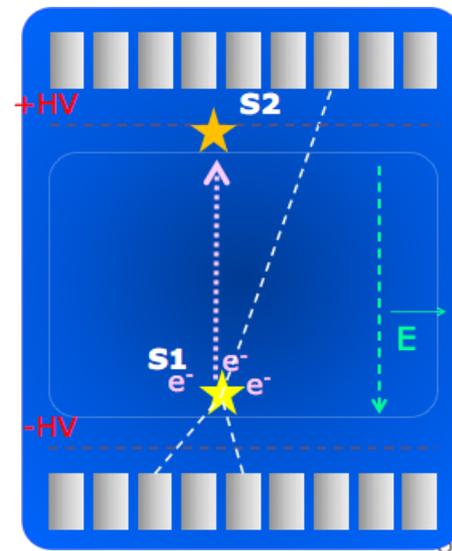
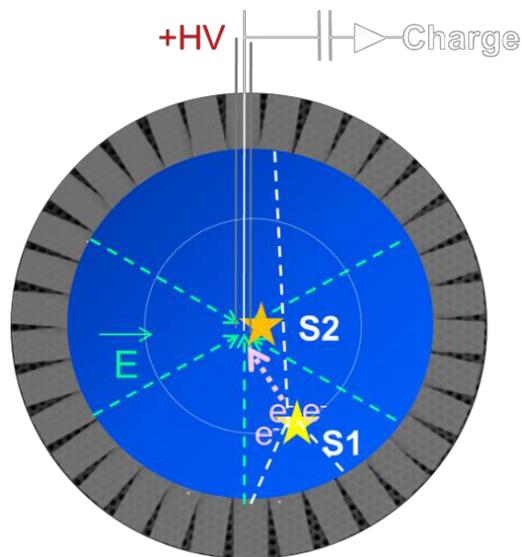
1相式LXeTPC

- 電場をかけてLXe中でS1とS2を観測する
- S1: 相互作用時に発生する直接蛍光
- S2: S1と同時に発生した電子をドリフトし、高電場領域で電荷増幅して発生する比例蛍光

S1とS2の時間差 → ドリフト方向の反応位置を特定
S1/S2 → 原子核反跳(信号)と電子反跳(BG)を区別

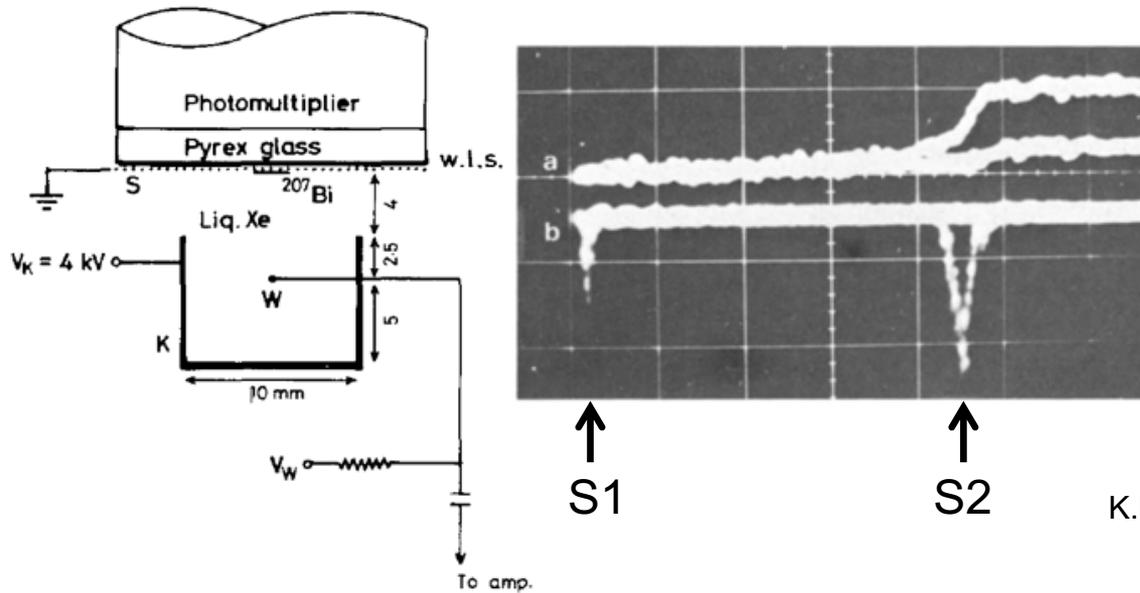
- 1相式 → 検出器形状が自由
球形TPCが実現可能
- PMT光電面被覆率を上げ
有効体積を大きくできる

プロトタイプ検出器を用いて
LXe中でのS2を検証する



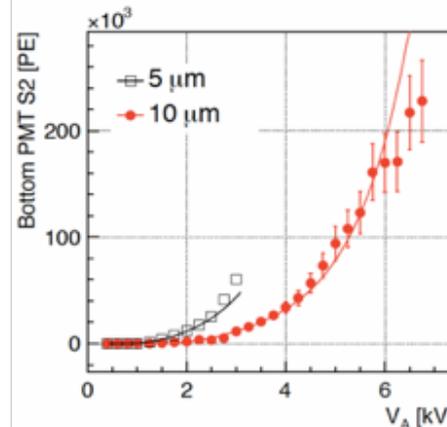
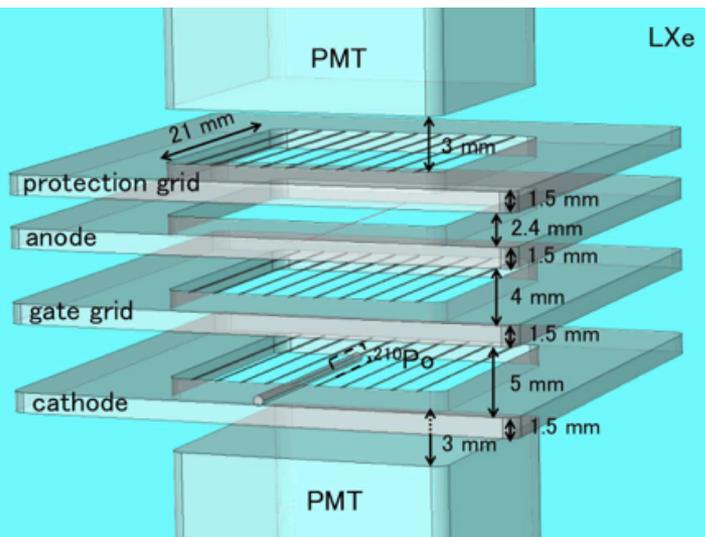
先行研究 – LXe中S2

どちらもワイヤーを電極に使用



Wワイヤー Φ4-20μm
Bi-207
(0.55, 1.05 MeV γ , 0.98 MeV β)
S2 threshold:
410 kV/cm @ Φ 10 μ m

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

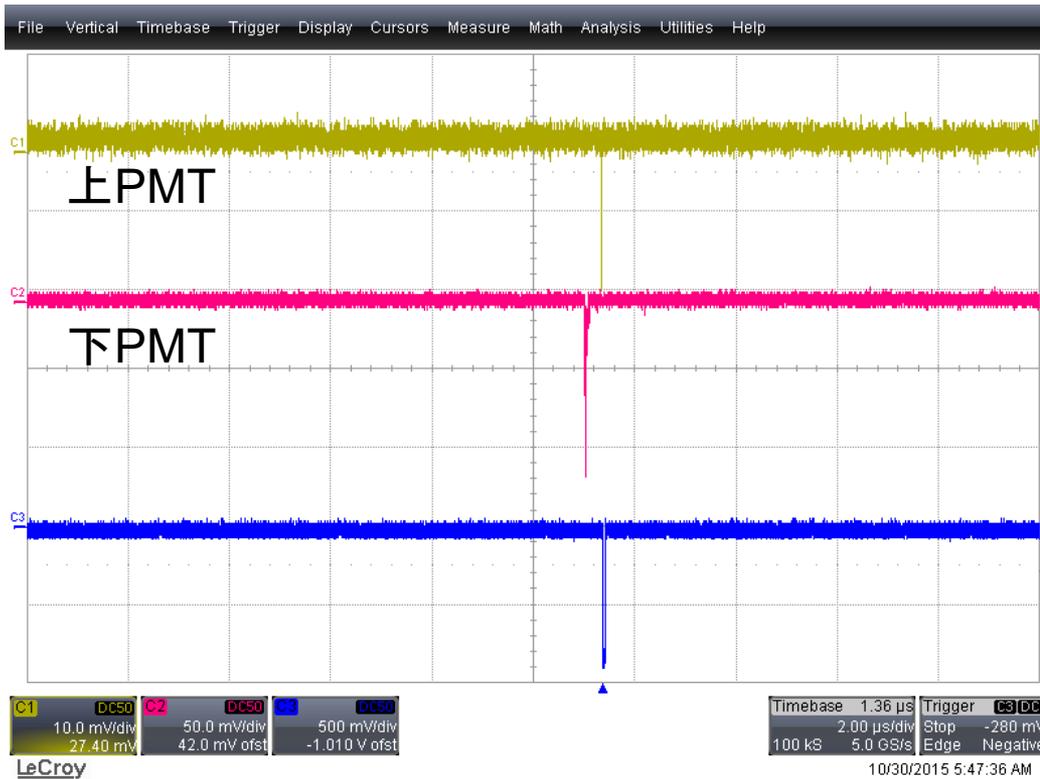


金メッキWワイヤー Φ5, 10 μ m
Po-210 (5.4 MeV α)
S2 threshold: 412 kV/cm

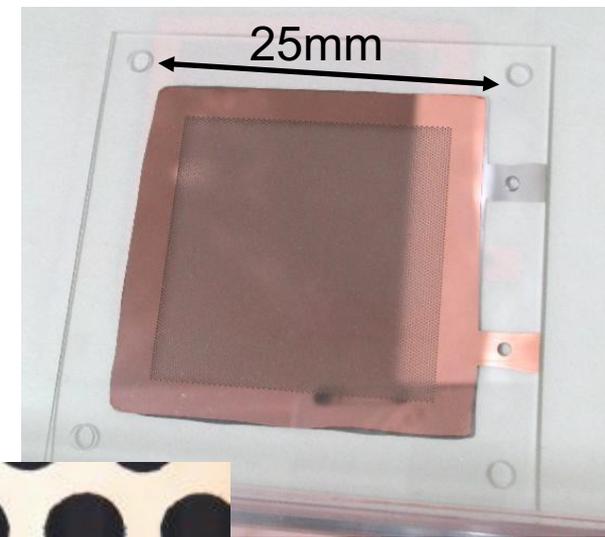
E. Aprile et al., 2014 JINST 9 P11012

Glass GEM

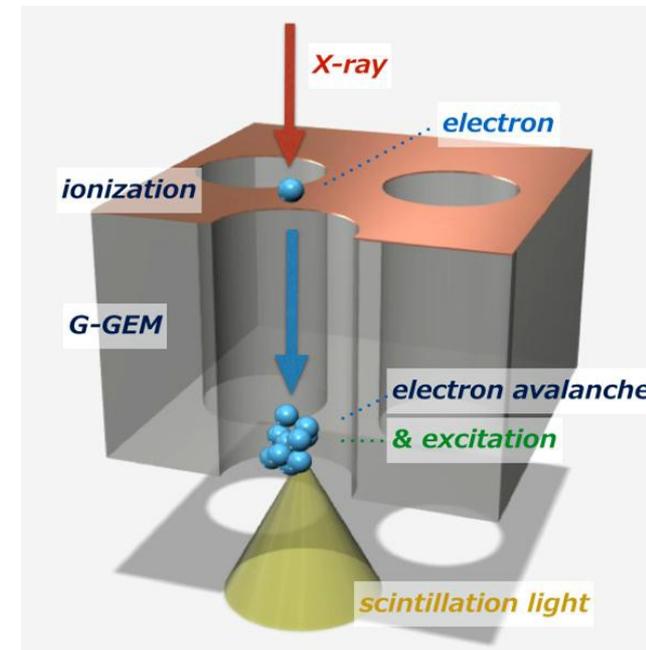
- HOYA製感光性ガラス基板(PEG3)
- 表裏に銅電極をメッキ



GEM上下面の電位差2.5kV
=穴内部の電場37kV/cmで実験
→ S2は見られなかった



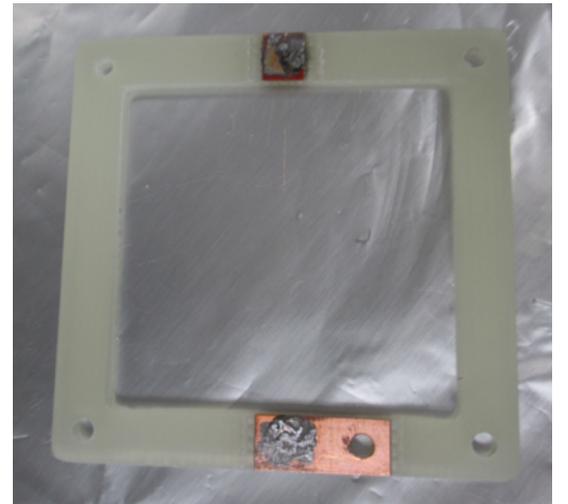
厚さ0.68mm



ワイヤー電極

ワイヤーで400kV/cmを実現してS2が見えるか確認する
フレームに金メッキWワイヤー($\Phi 10\mu\text{m}$)を
張った構造

- 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
- ガラスエポキシフレーム
 - 超高真空対応のはんだで銅箔部分にワイヤーをはんだ付け

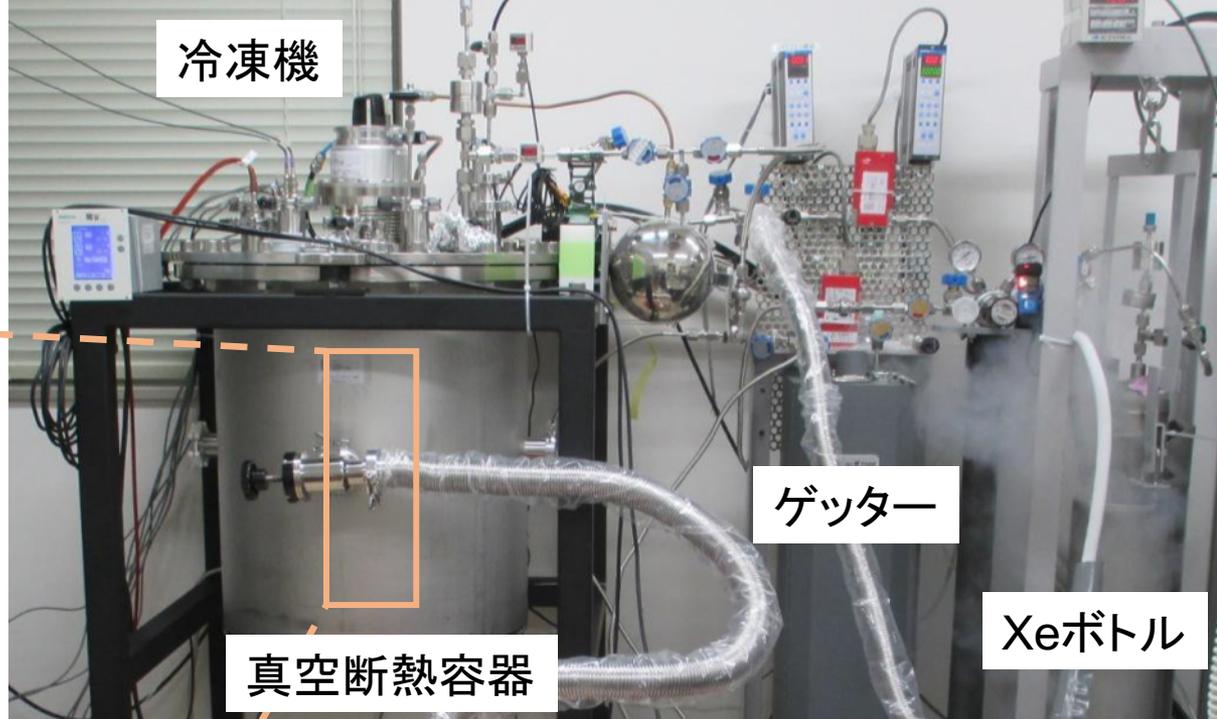
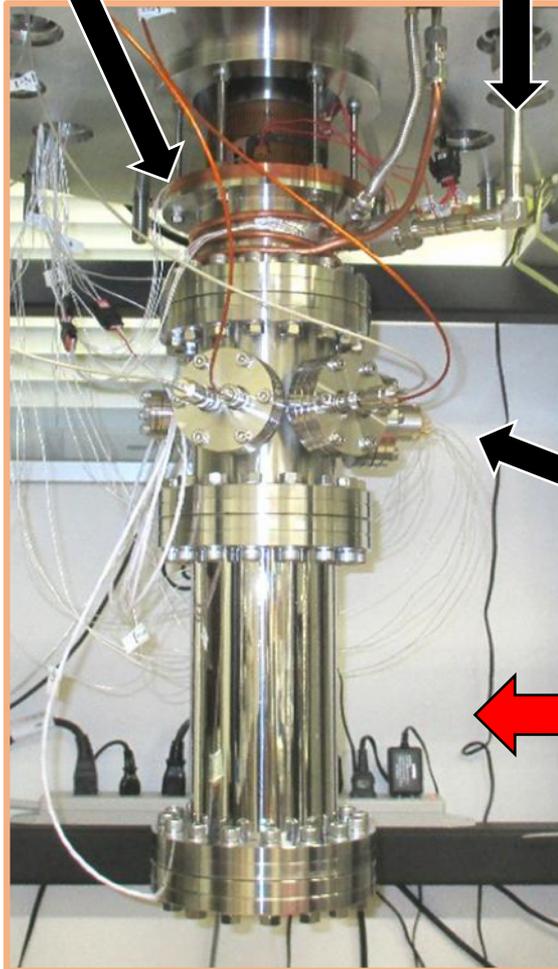


42mmx42mmx厚み1.8mm

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

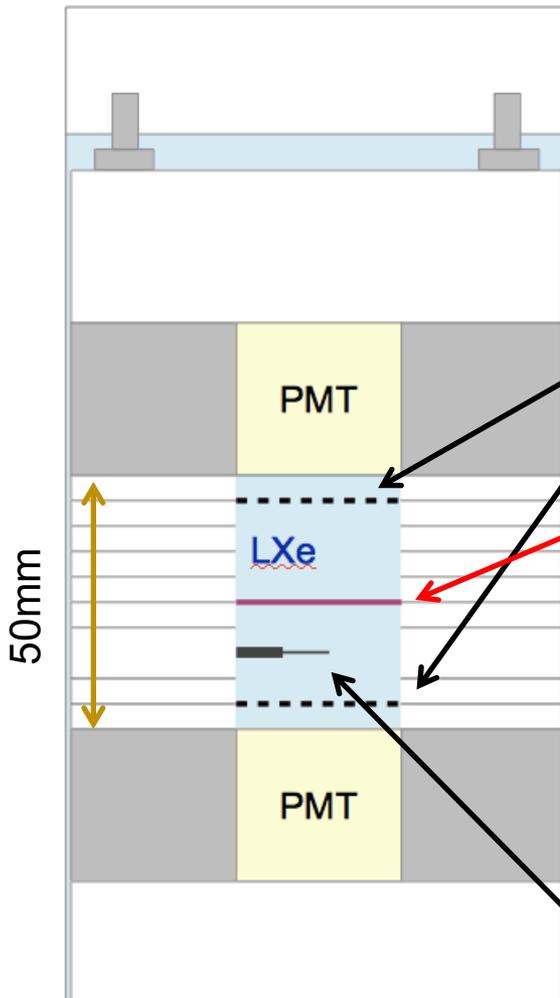
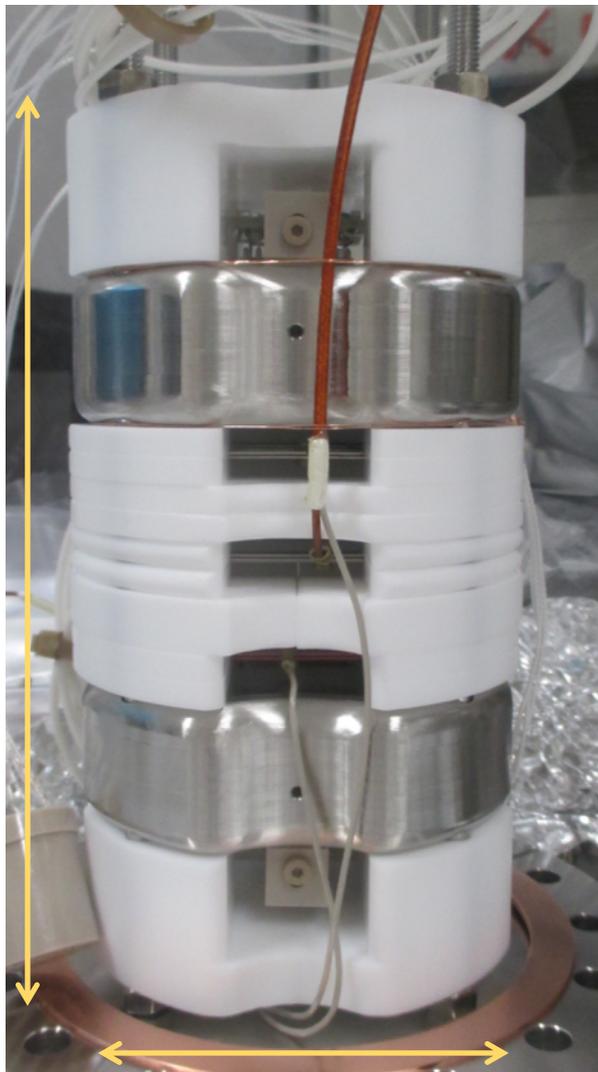
検出器部分

LXe温度・圧力
-101.9°C
0.045MPa(G)

ゲッターを通してXeを純化しつつ
検出器に導入
上部の冷凍機で冷却・液化し、
検出器部分に液体Xeを満たす
Xe 1.2kg使用
= 400cc(liq), 200L(gas)

検出器内部

PMT
浜松ホトニクス
R8520-409
+HV

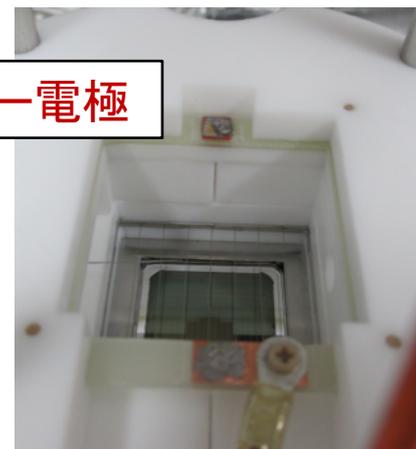


GNDワイヤー

ワイヤー電極

Am-241線源

白:テフロンスペーサー
灰色:PMTホルダー(SUS)

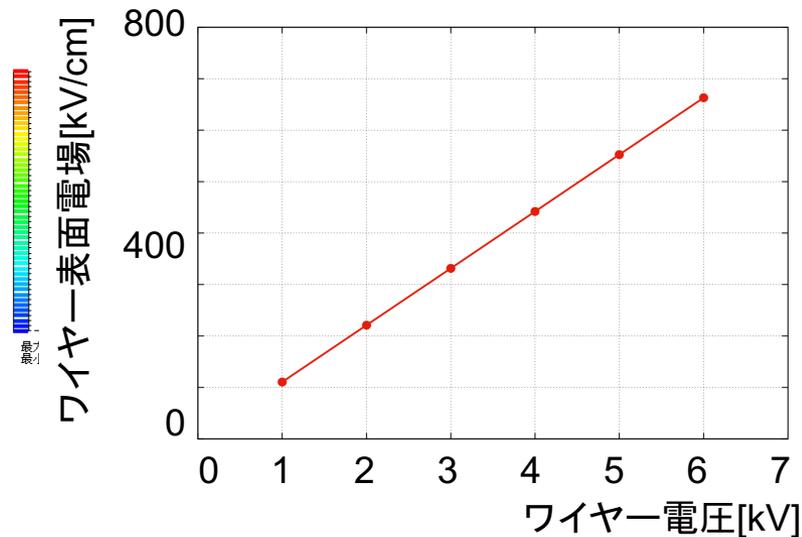
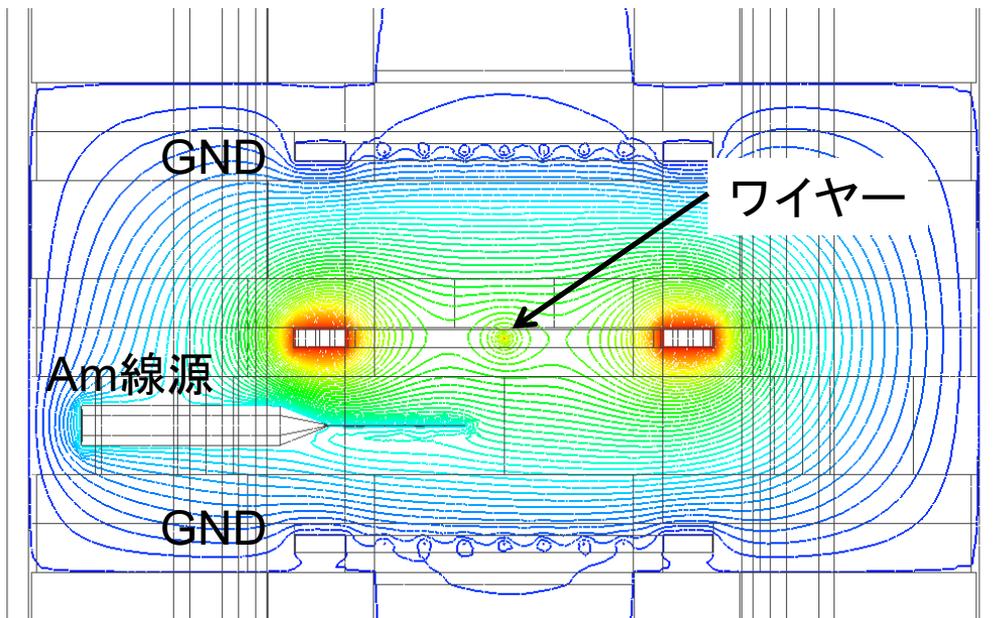


170mm

Φ95mm

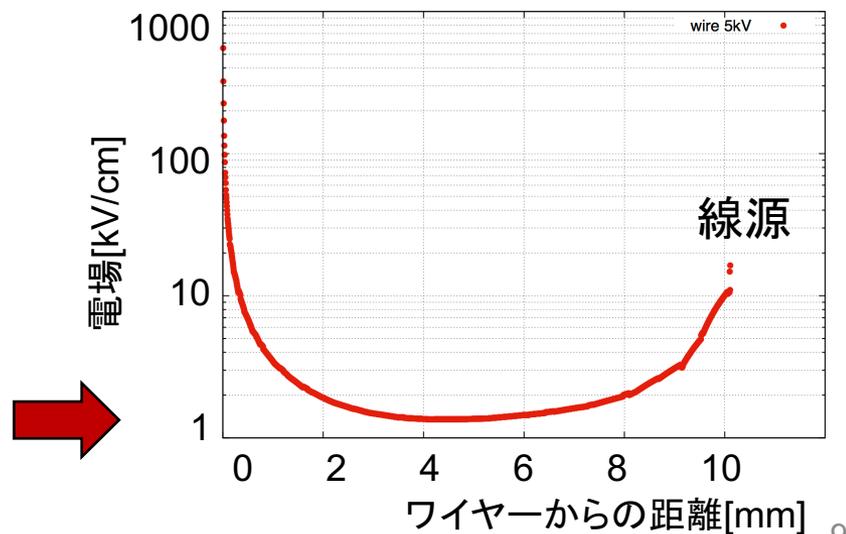
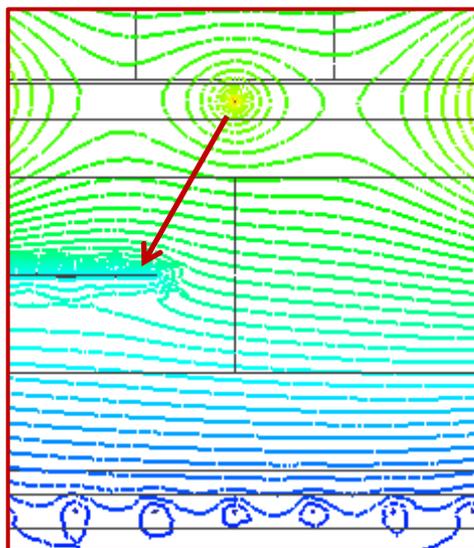
電場シミュレーション(SUS)

有限要素法解析ソフト
Femtetを使用

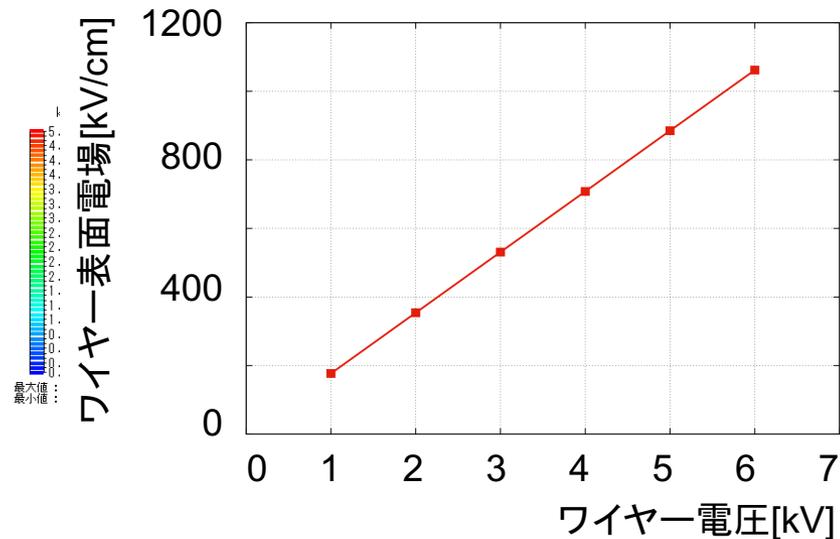
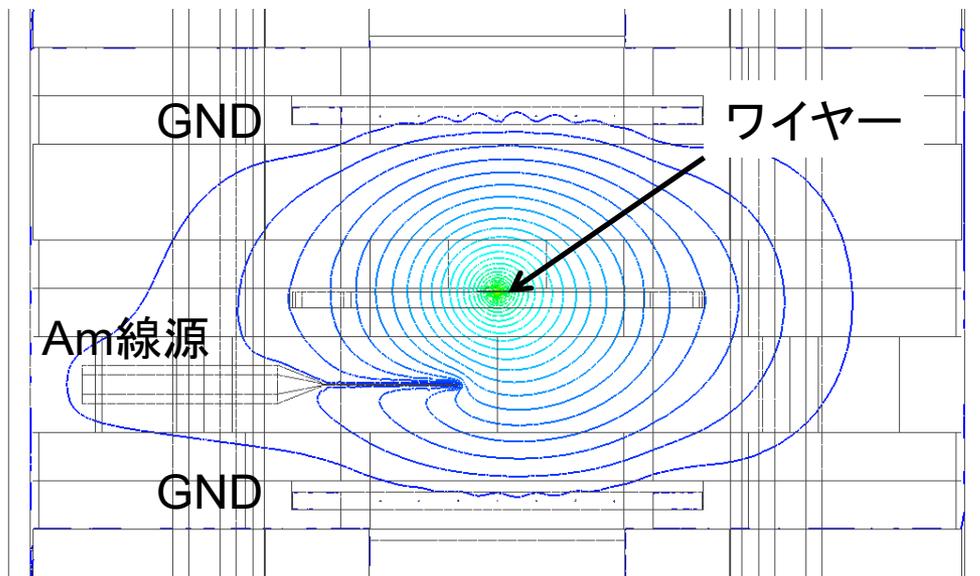


ワイヤー +5kV
等電位線
表面で550kV/cm

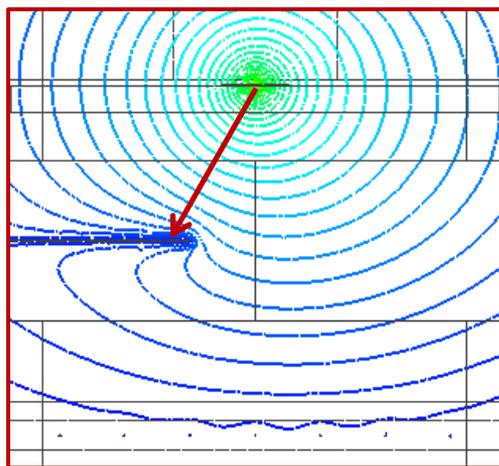
ドリフト電場が
一様になる



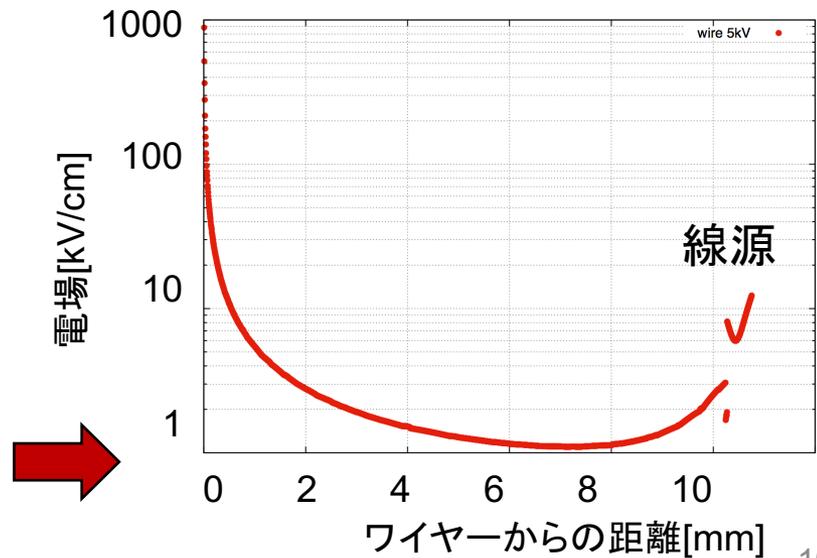
電場シミュレーション (ガラスエポキシ)



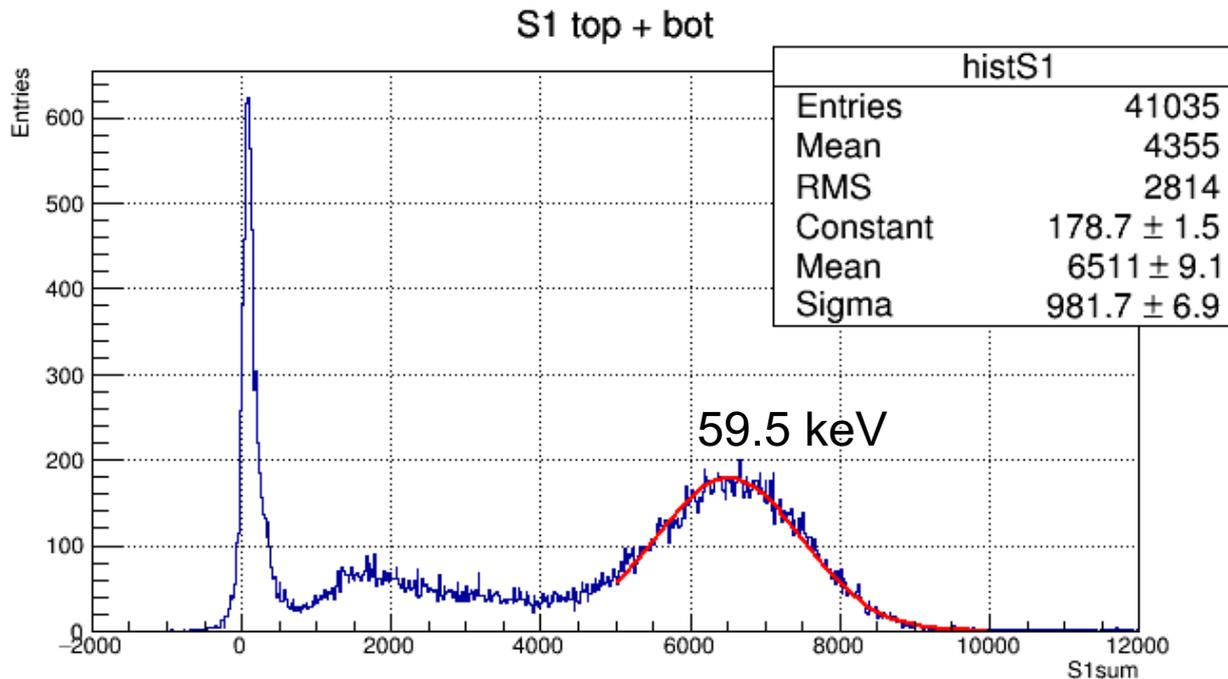
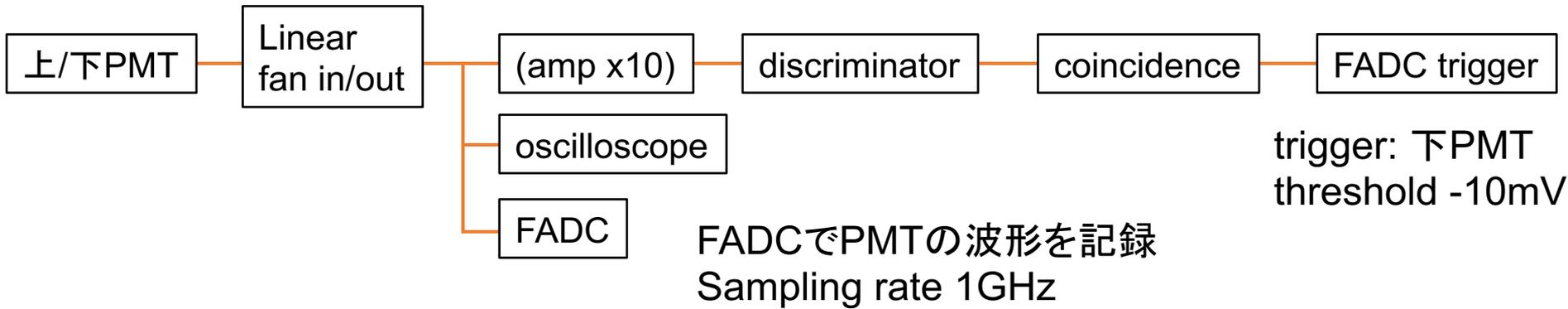
ワイヤー +5kV
等電位線
表面で880kV/cm



フレームに向かって
電子がドリフトしない



^{241}Am 59.5keV γ のS1測定



ワイヤー0Vでの
AmのS1スペクトル
光量13.7 p.e./keV

Am-241
 γ 59.5, 26.4 keV
 X 13.9, 17.8, 20.8 keV
 α 5.49, 5.44 MeV

S1光量とドリフト電場の関係

SUS電極使用

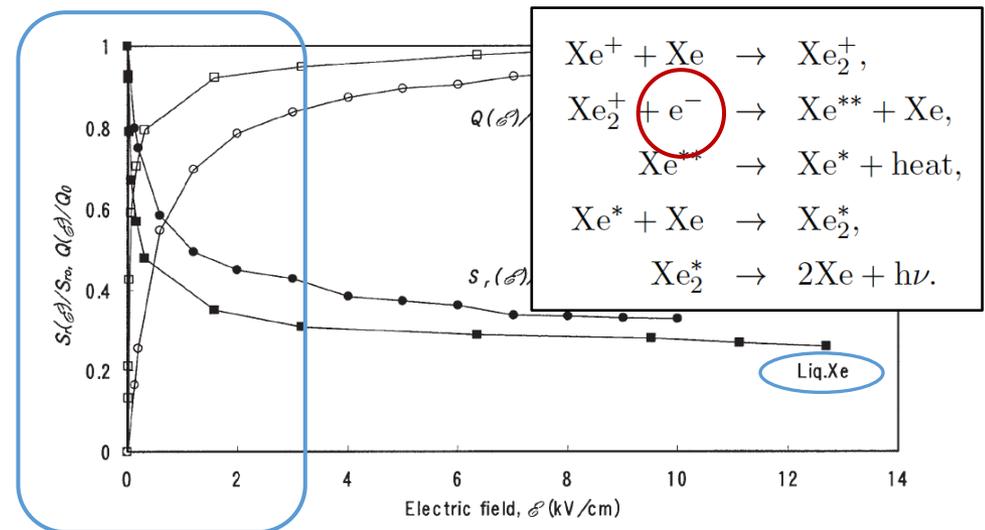
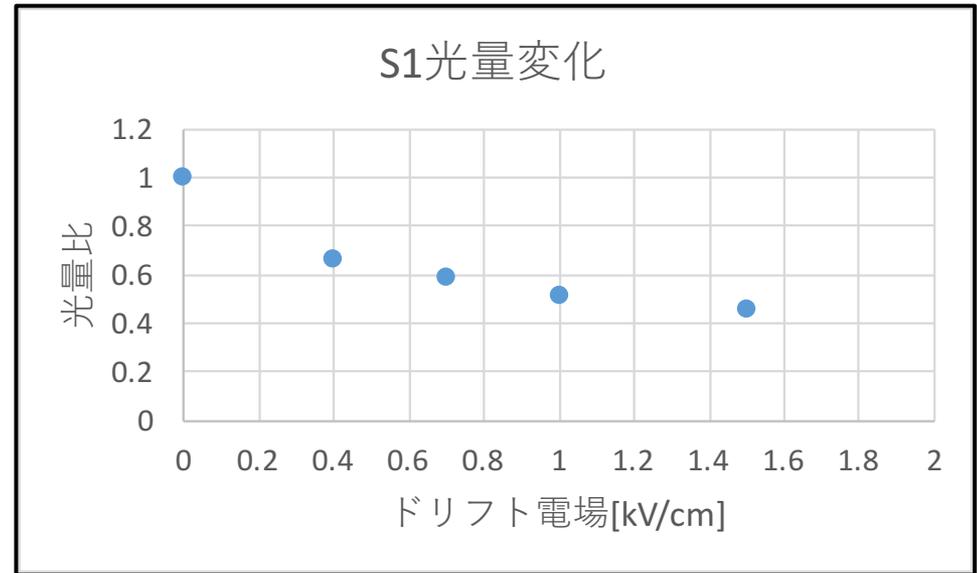
電極の電圧[kV]	ドリフト電場[kV/cm]
1	0.4
2	0.7
3	1.0
4	1.5

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

電圧を変えた時の59.5keVピークの値を比較

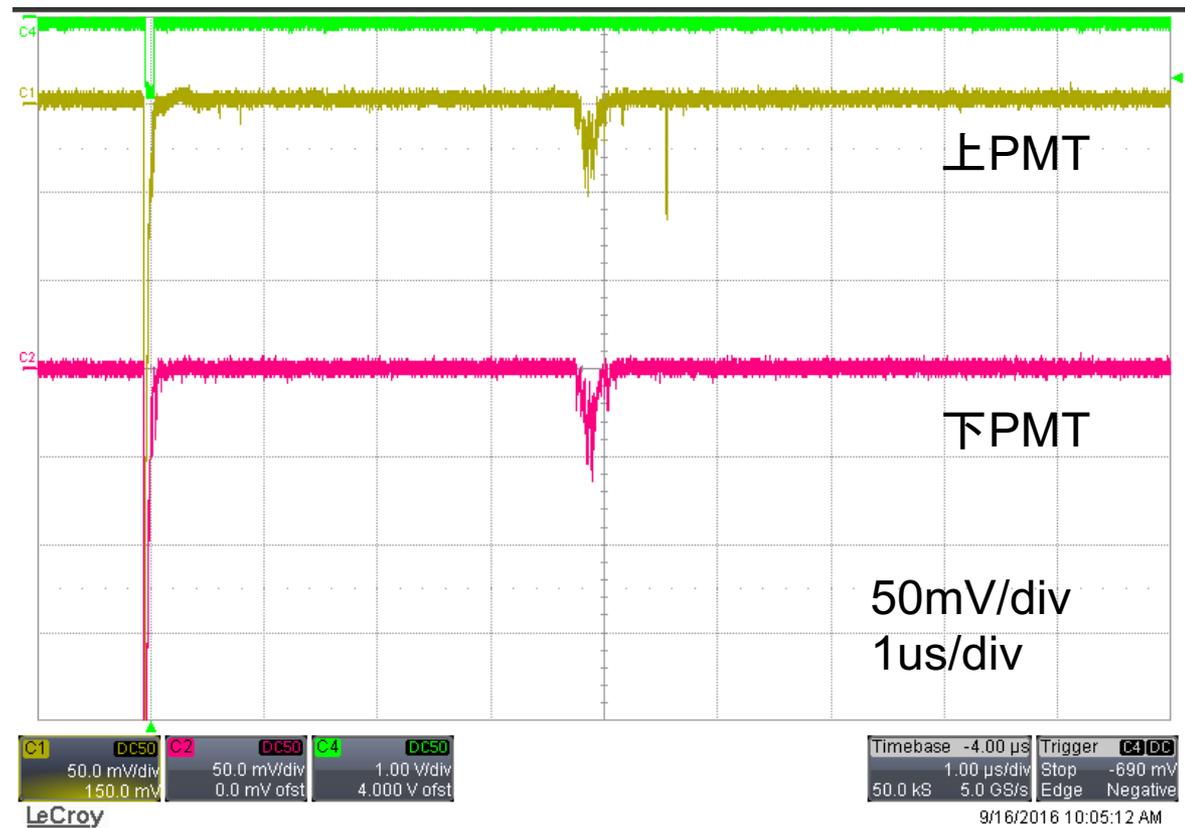


1kV/cmでS1光量50%減少



LXe中でのS2を観測

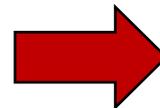
ガラスエポキシ電極使用
4.9kV印加時の
S1,S2 波形



ドリフト電場1~2kV/cm

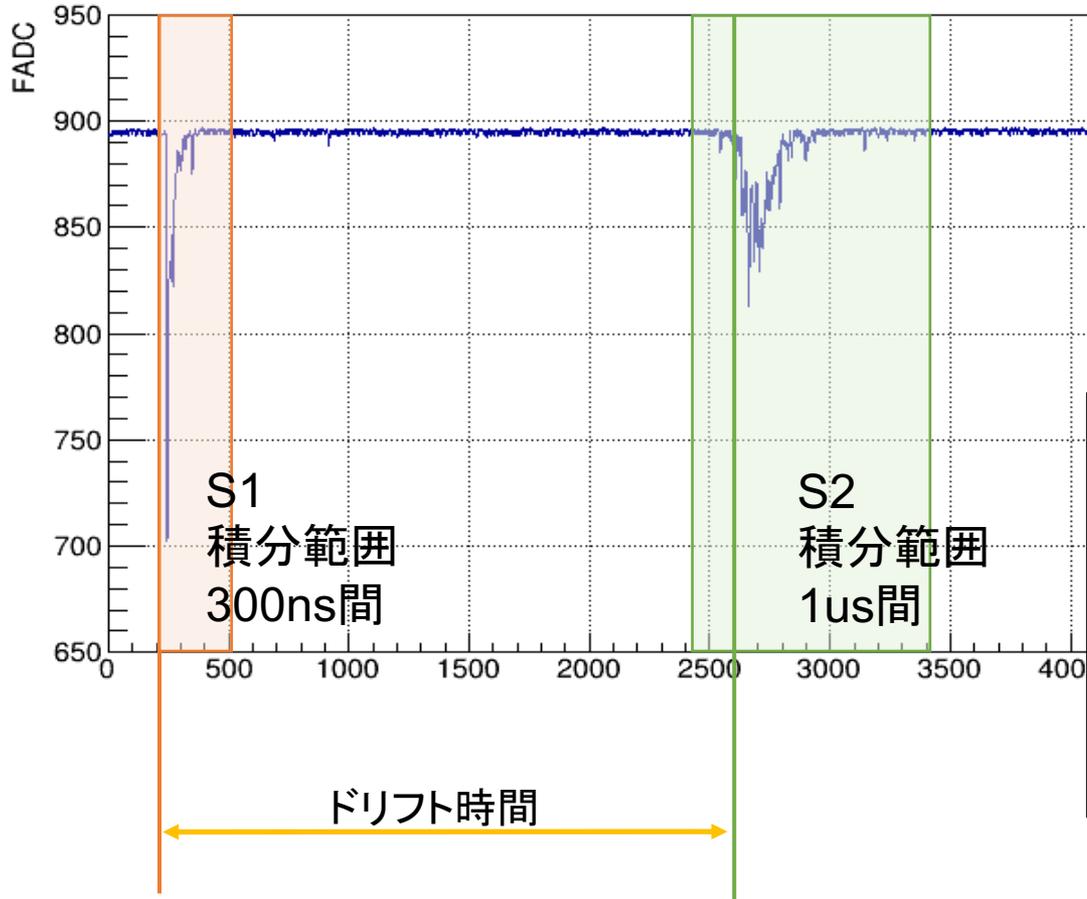
→ 電子のドリフト速度0.2~0.3cm/us

ワイヤーと線源の距離1cm



ドリフト時間3~5us

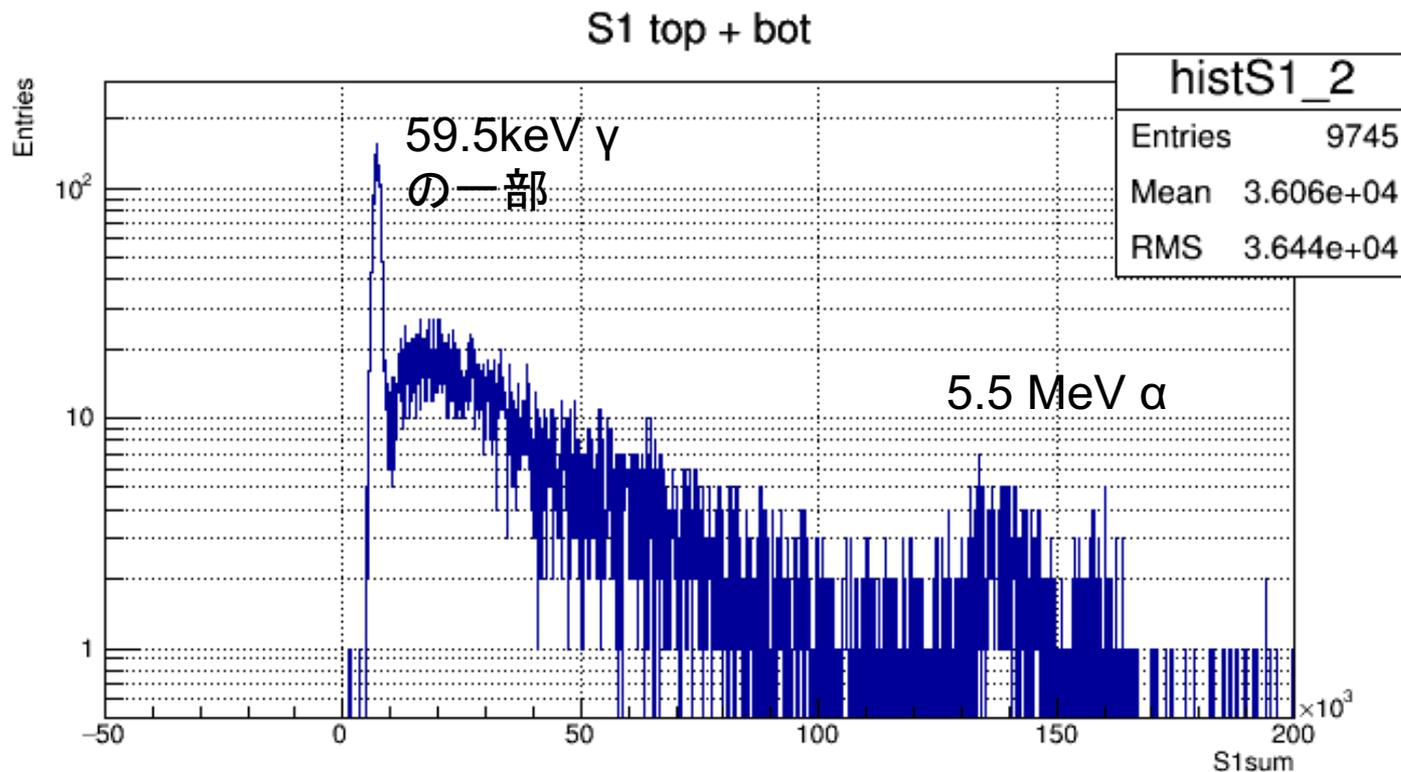
S2解析方法



S1の2-8us後に
発生したS2について
光量とドリフト時間を求める

S2のトリガー条件:
S1発生前の電圧より上下PMTとも
-10mV下回ったとき

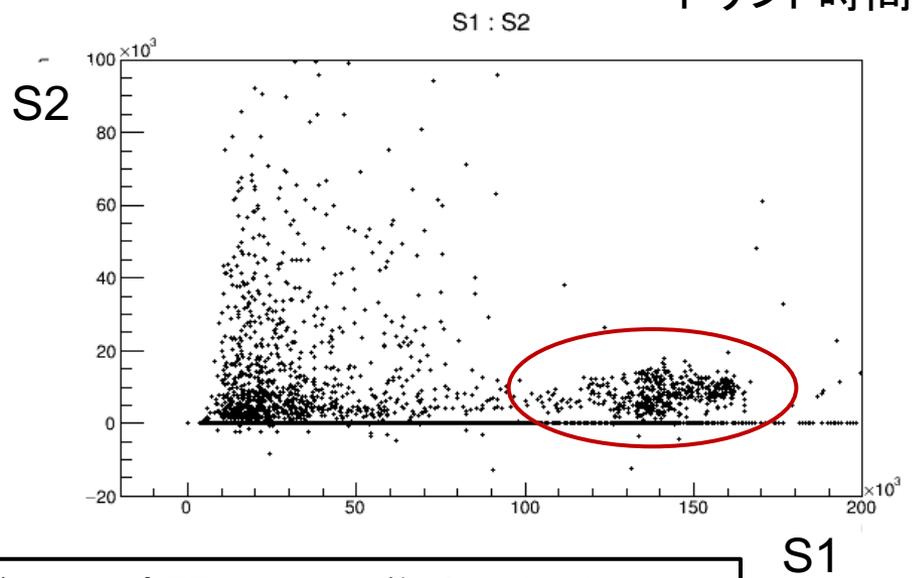
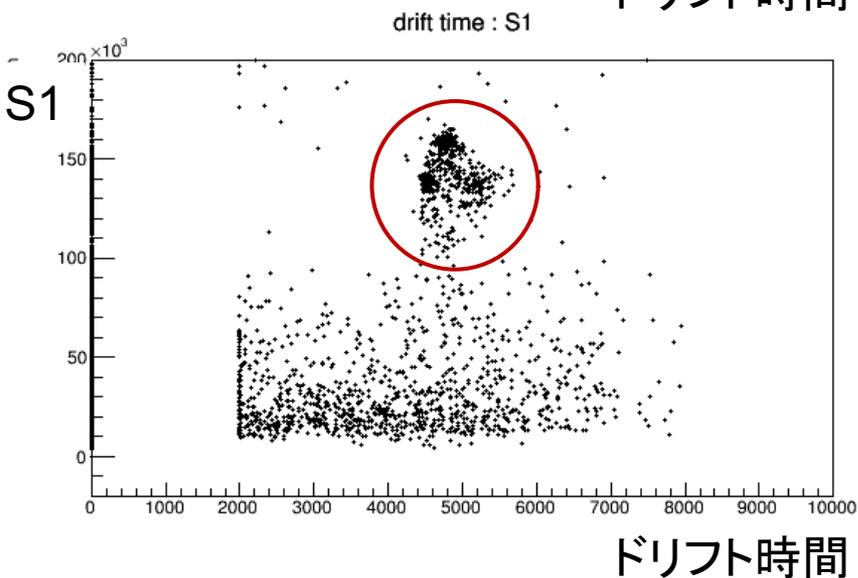
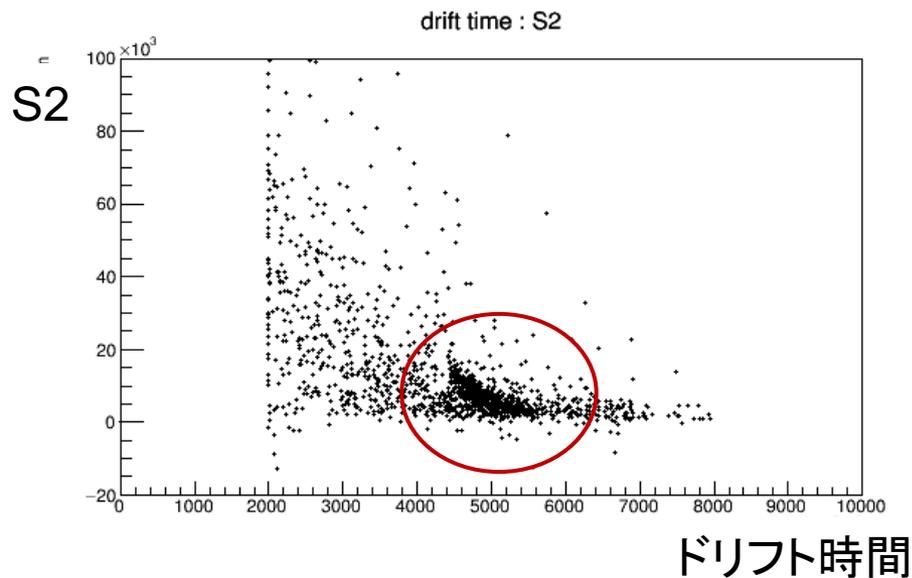
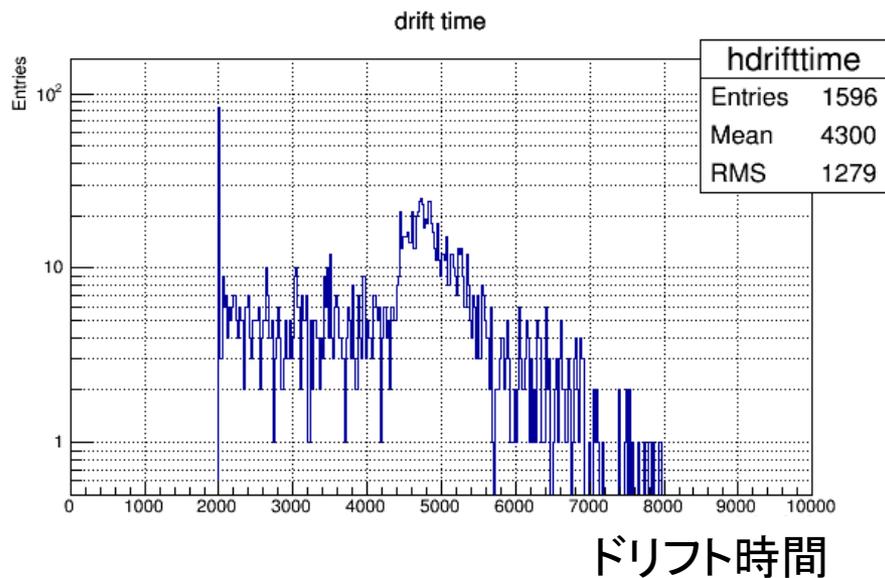
^{241}Am 5.5MeV α のS2測定



S1スペクトル@0V

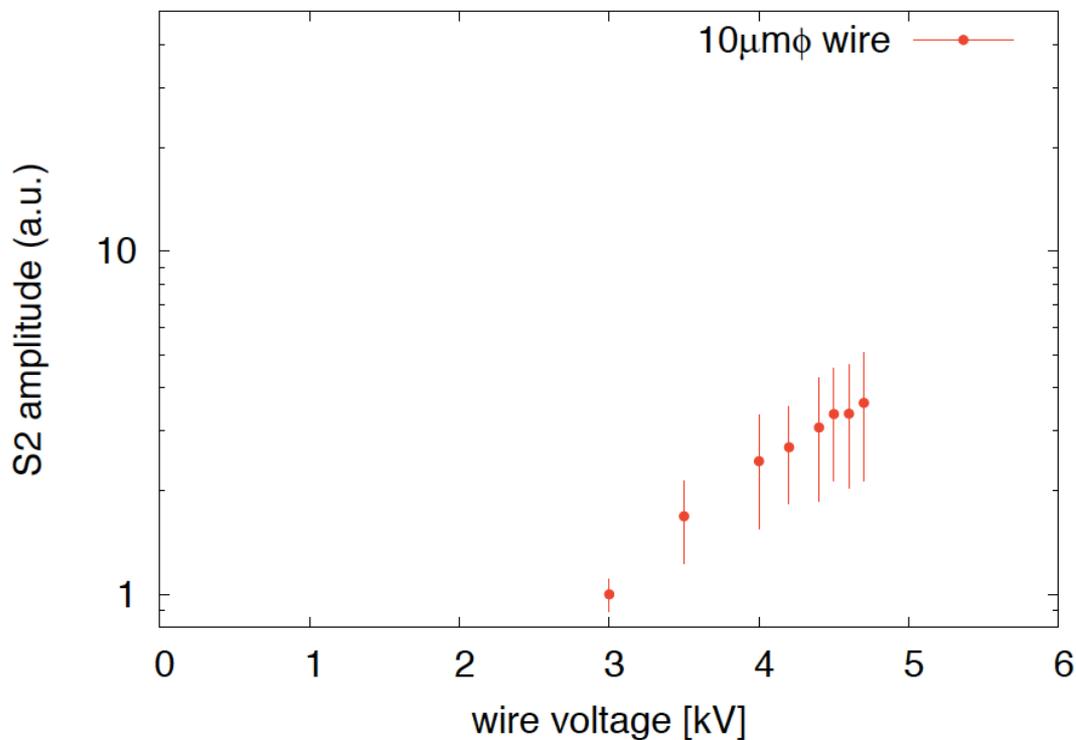
FADC trigger
threshold -200mV (下PMT)

ワイヤー4.7kVでのS1,S2,ドリフト時間分布

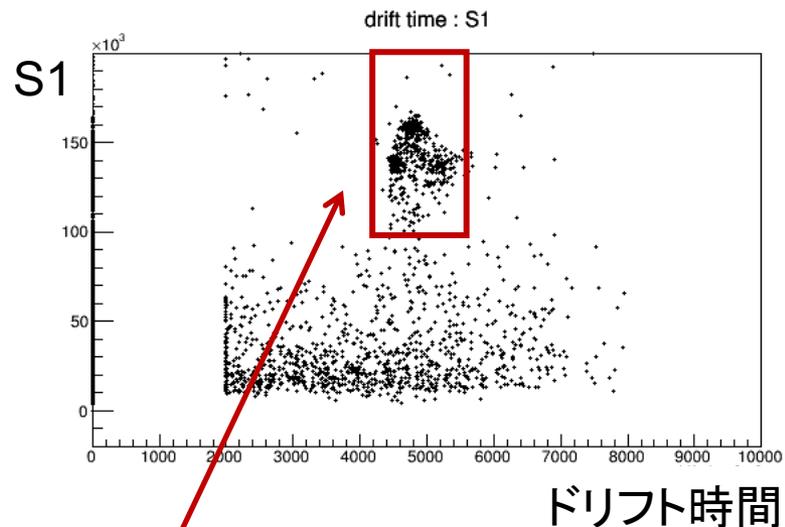


ドリフト時間4.8usに集中したイベント
→ Am 5.5MeV α に対応

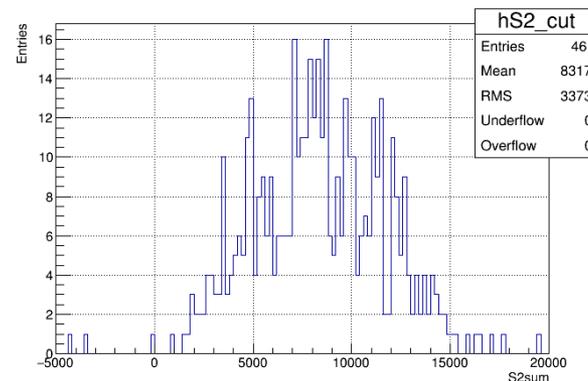
S2光量の電圧依存



2~3kVでS2発生
S2 threshold~400kV/cm

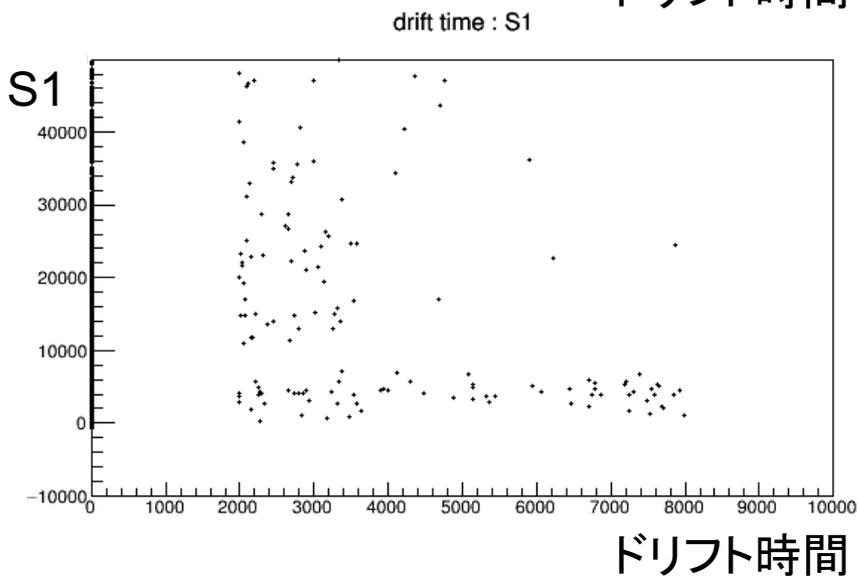
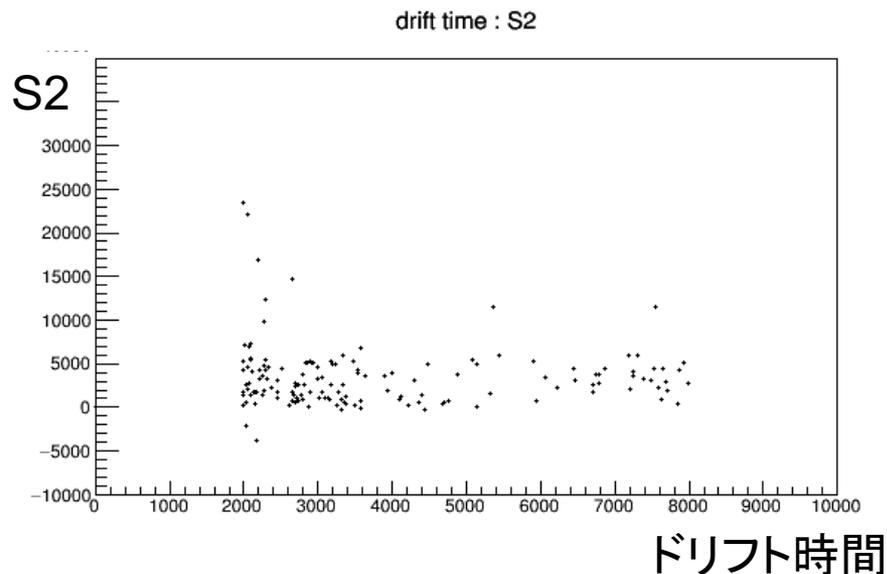
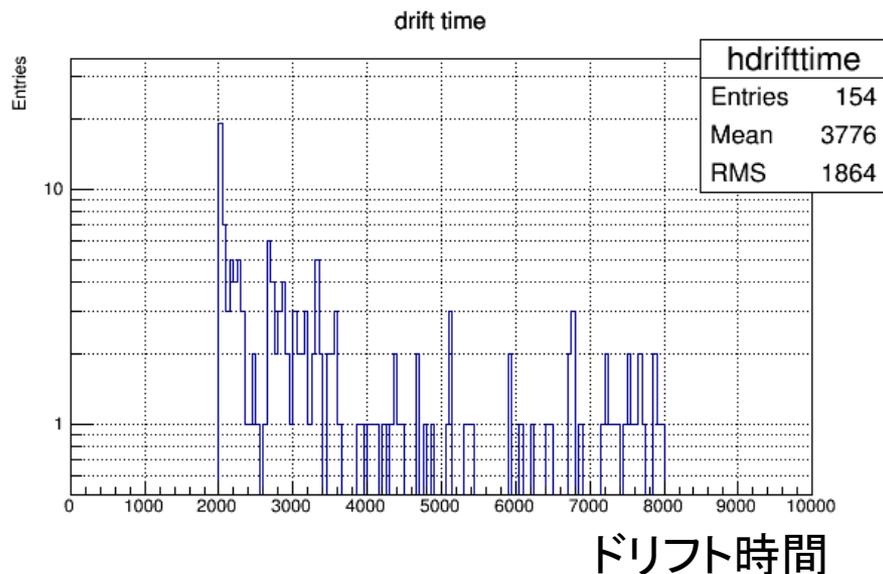


Am 5.5MeV α を含む
この範囲のイベントを選ぶ



S2スペクトル@4.7kV

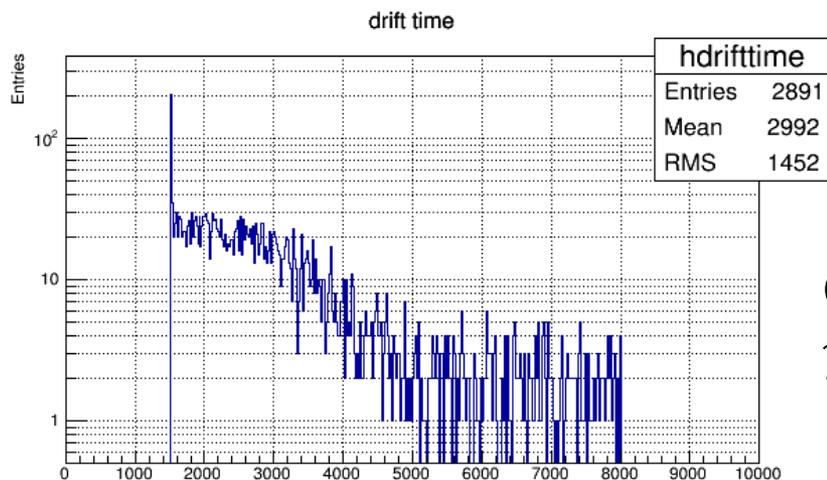
^{241}Am 59.5keV γ のS2測定



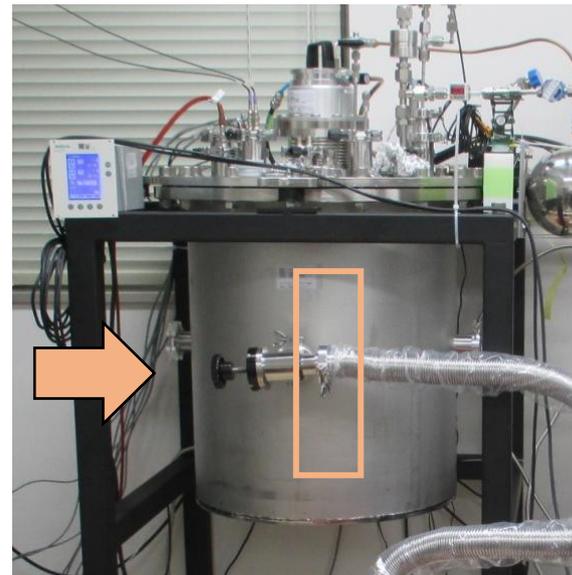
59.5keV由来のS1をとれるように
thresholdを-30mVに下げてデータ取得
ワイヤーに4.5kV印加したが
59.5keVによるS2は見られなかった
→ 電荷増幅に必要なgainが足りない
S2を見るにはさらなる高電圧が必要

外部線源を用いたS2測定

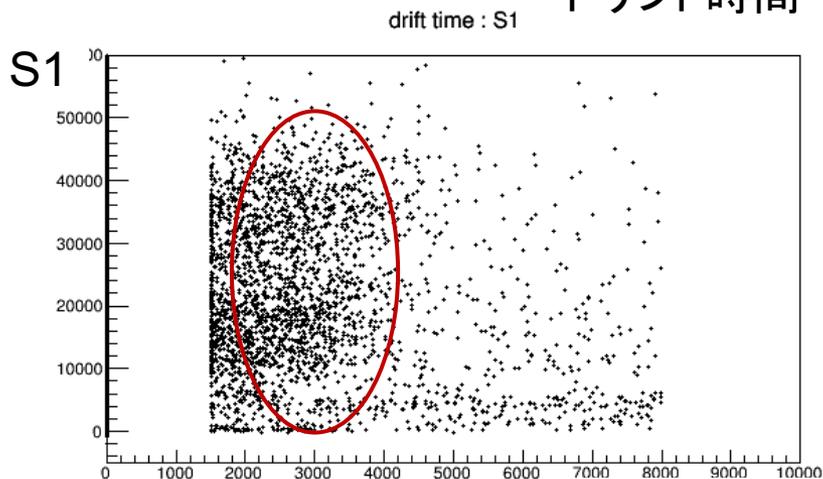
断熱容器外部からCs, Cfを照射



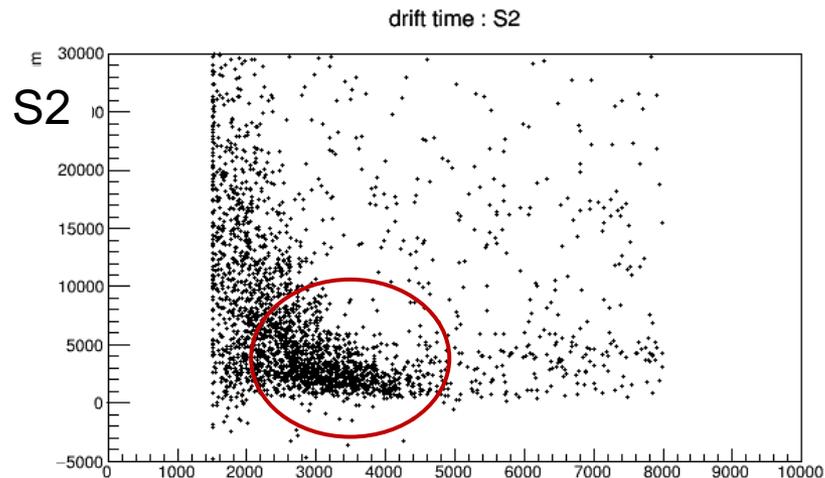
Cs照射@4.2kV
 γ 662keV



ドリフト時間

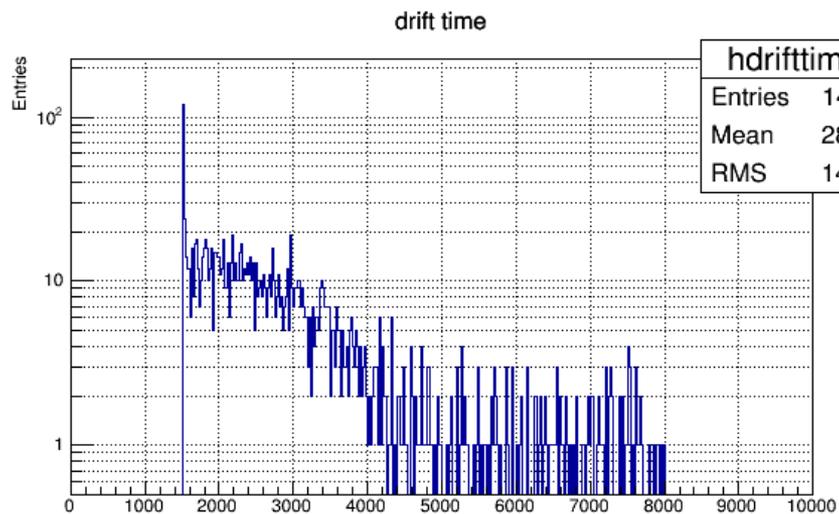


ドリフト時間

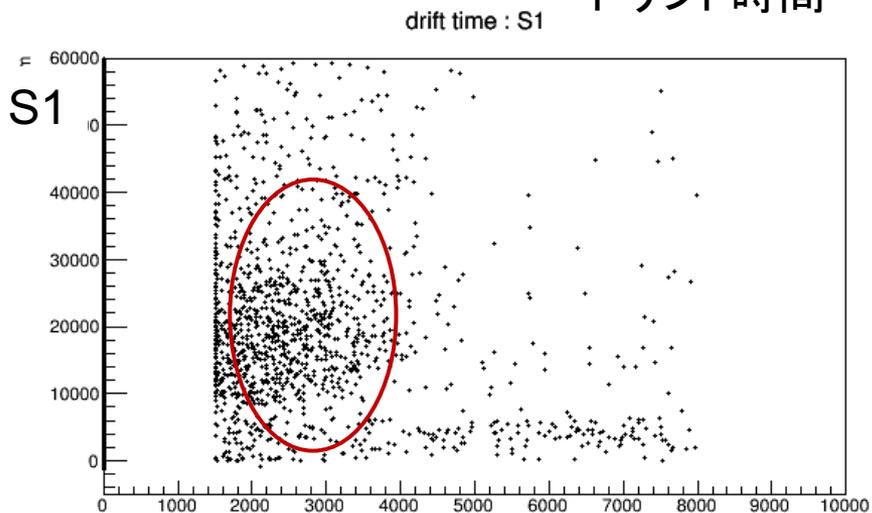


ドリフト時間

外部線源を用いたS2測定

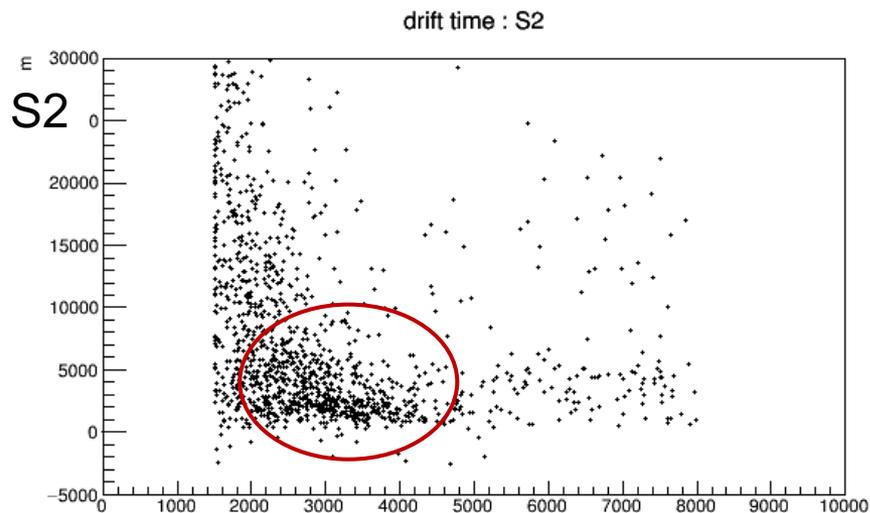
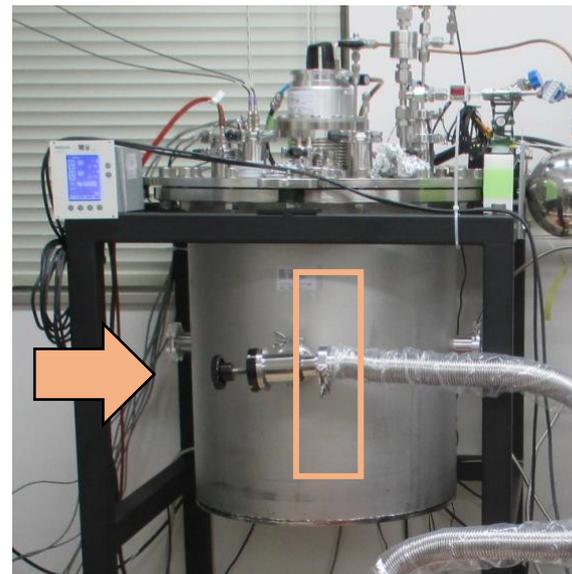


ドリフト時間



ドリフト時間

Cf照射@4.2kV
中性子と γ を放出



ドリフト時間

まとめ

- ワイヤー電極を用いてLXe中でのS2を観測
- 今回3kVでS2の発生を確認
- S2 threshold $\sim 400\text{kV/cm}$ (先行研究と一致)
- Cs, Cfを外部から照射してS2を確認
- 4.5kVでは59.5keVによるS2は確認できず
- 低エネルギーでのS2観測にはさらなる高電圧が必要

backup

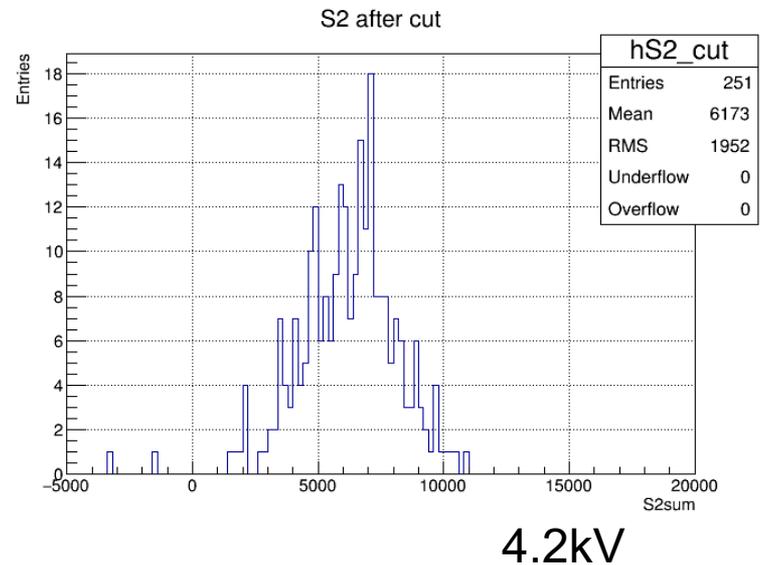
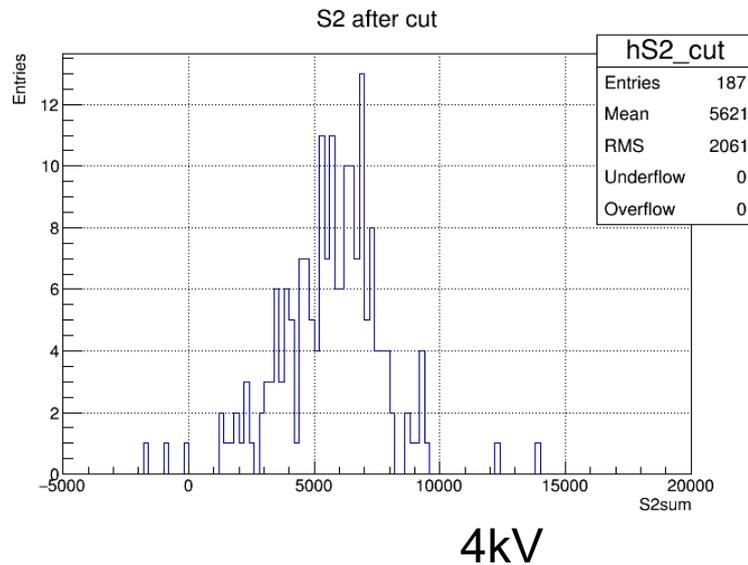
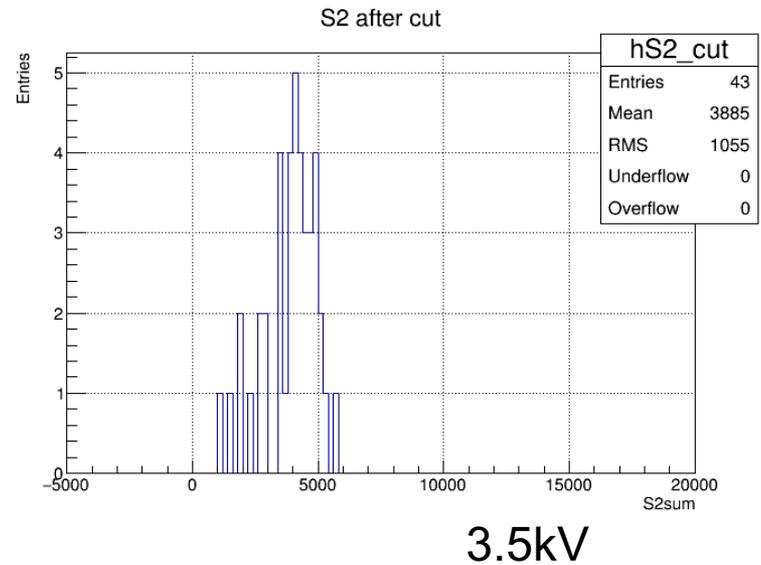
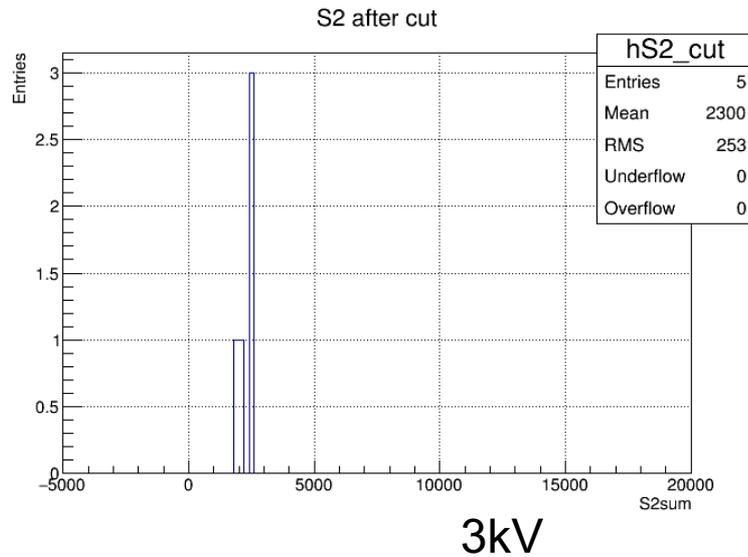
ワイヤーへのHV印加

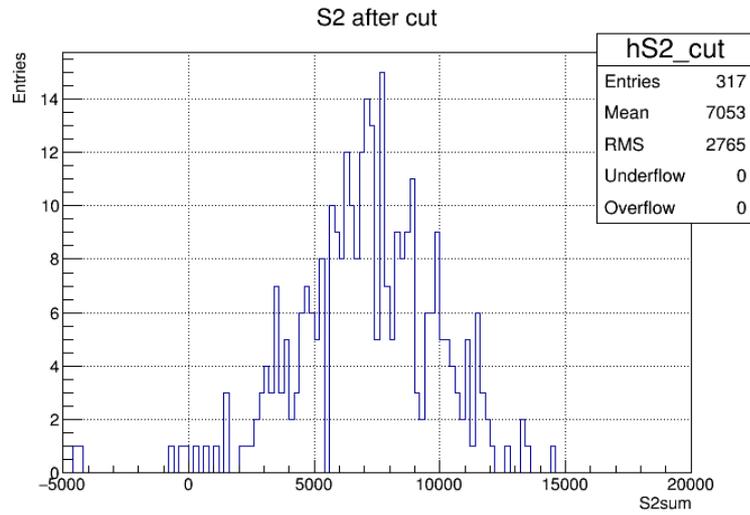
- 4.9kV以上かからない
- HVケーブルのコネクタ部分で放電(GXe中)
- 低エネルギーのS1由来のS2観測には5kV以上印加したい
- フィードスルーまわりの改善が必要



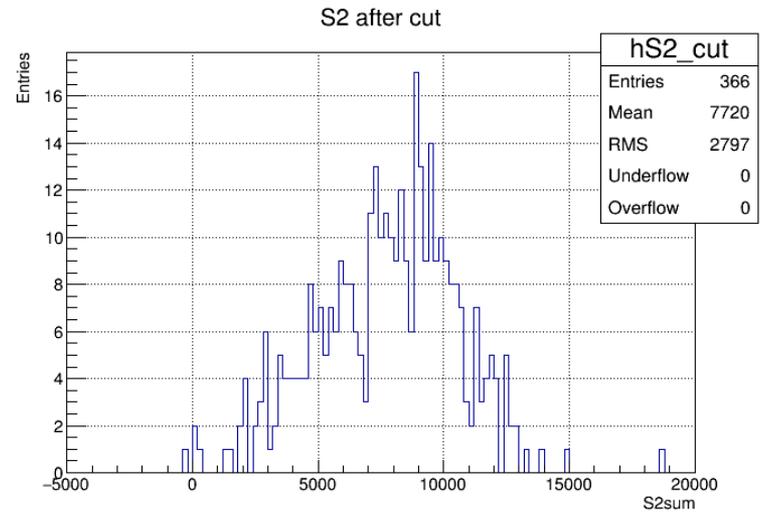
焦げたMHVコネクタ

Am 5.5MeV α を含む範囲のS2スペクトル

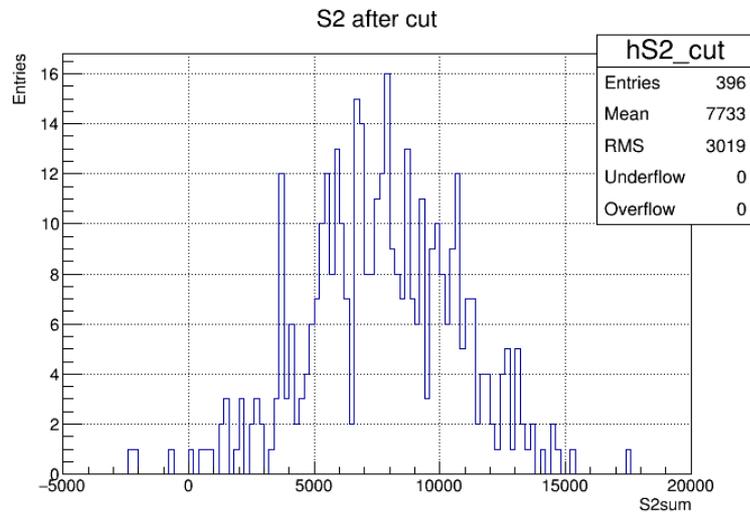




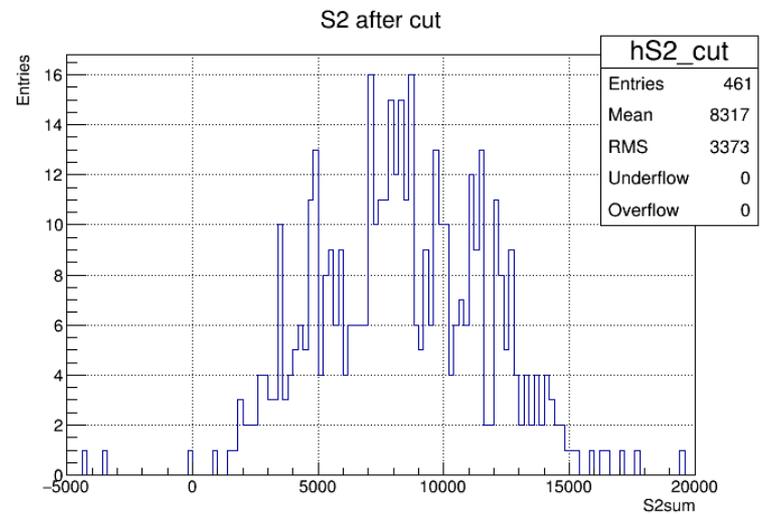
4.4kV



4.5kV

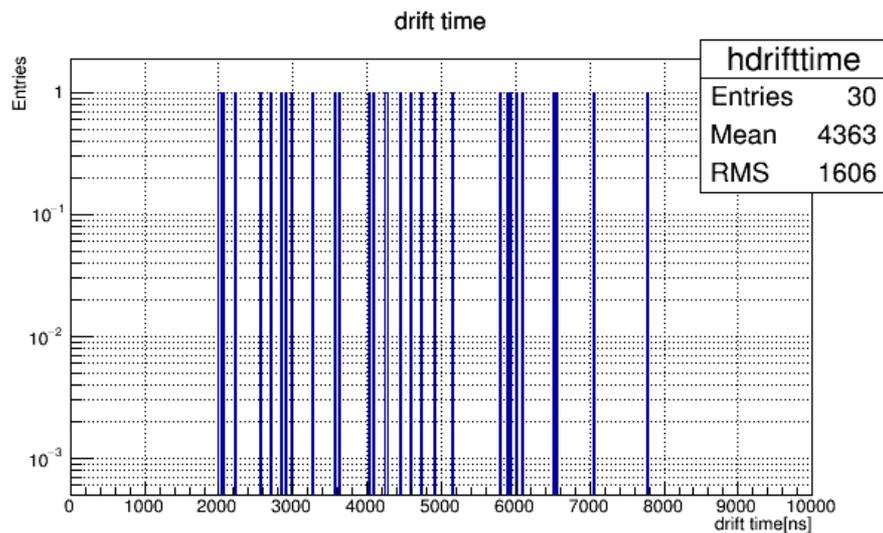


4.6kV

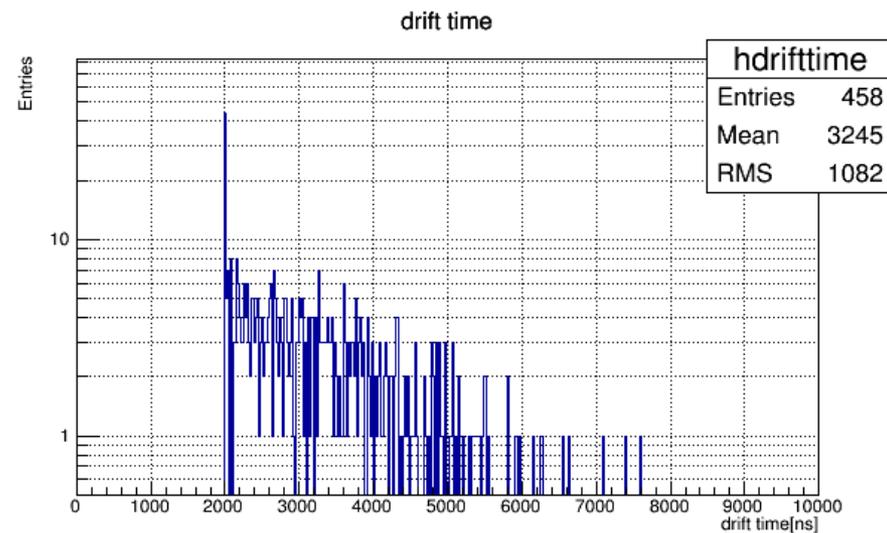


4.7kV

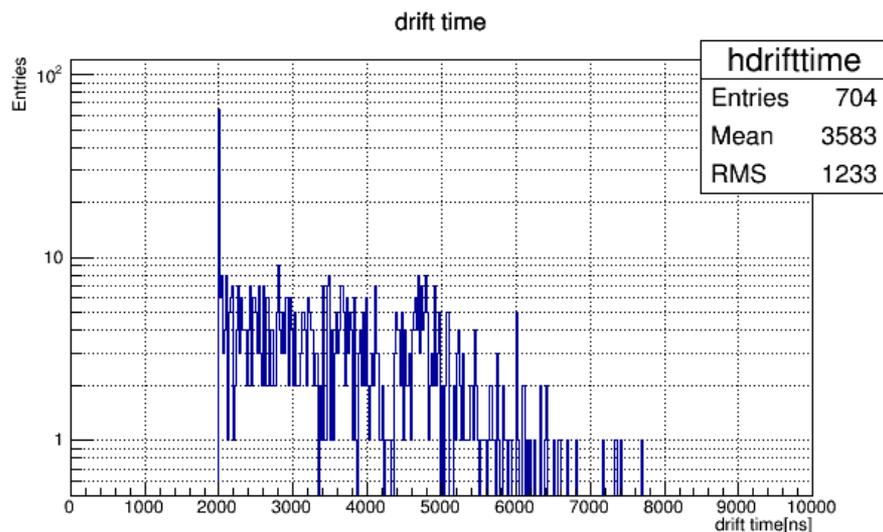
ドリフト時間分布 Amのみ、threshold -200mV



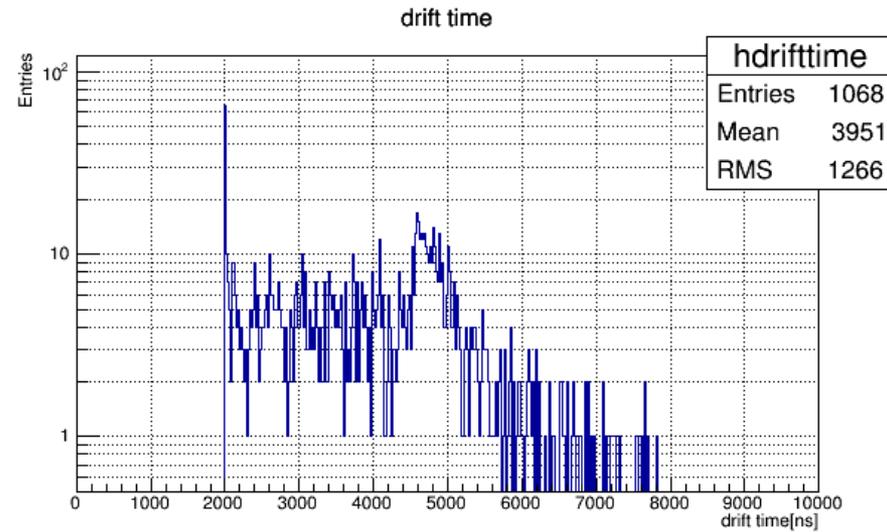
2kV



3kV

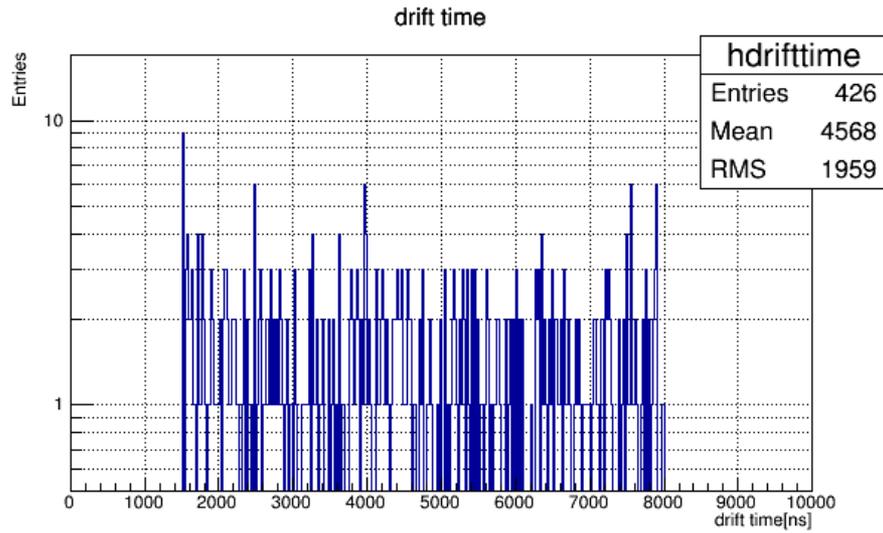


3.5kV

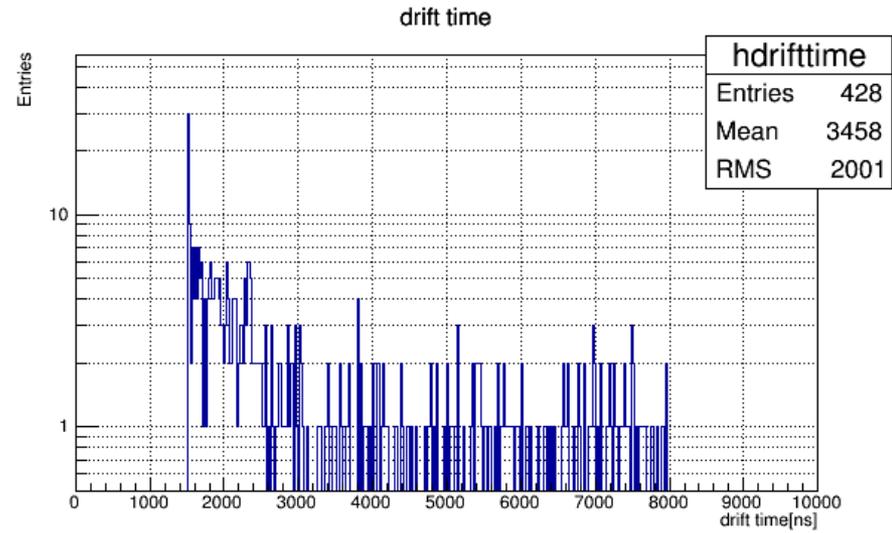


4kV

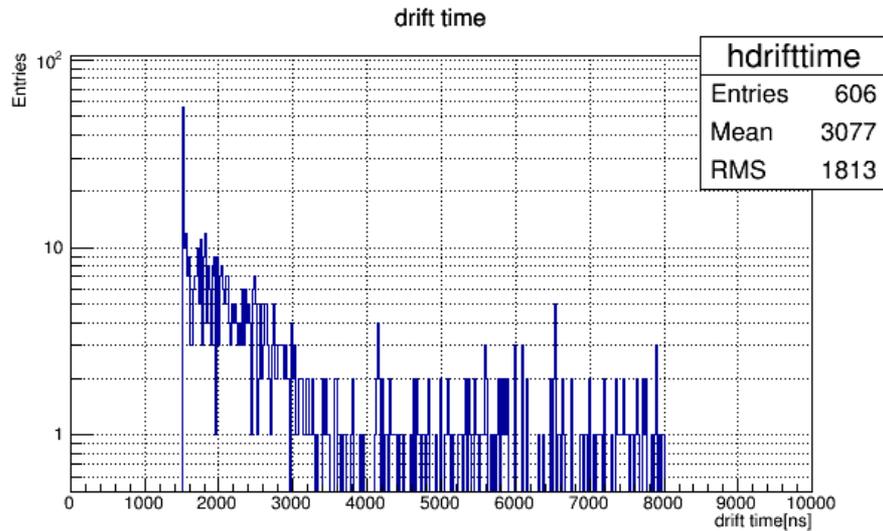
ドリフト時間分布 Cs照射



0V

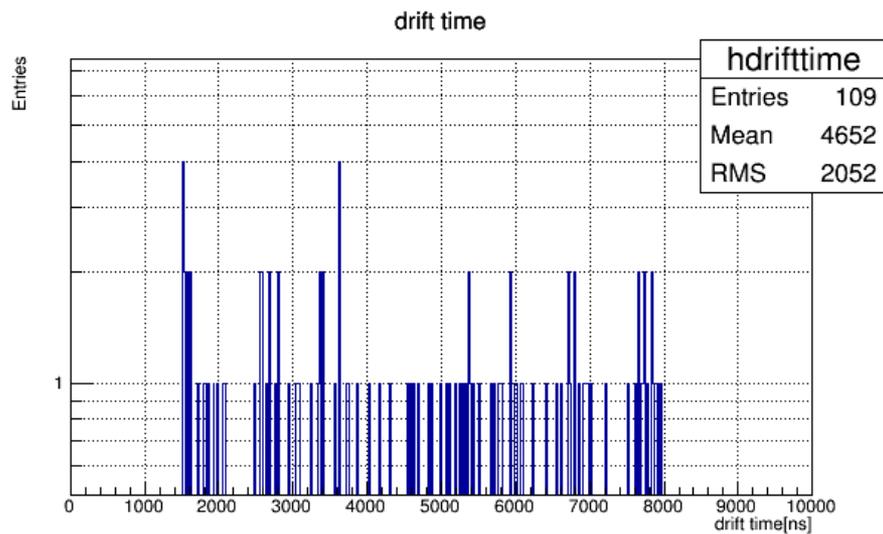


3kV

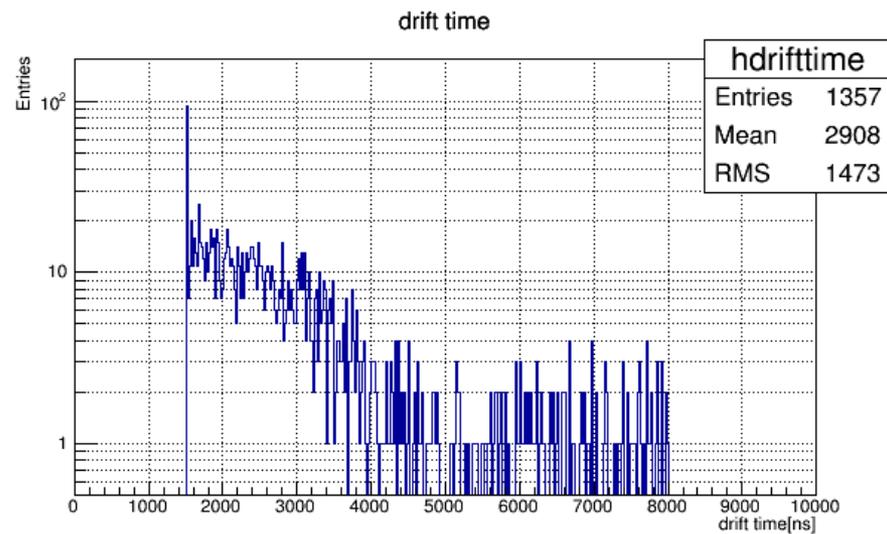


4kV

ドリフト時間分布 Cf照射

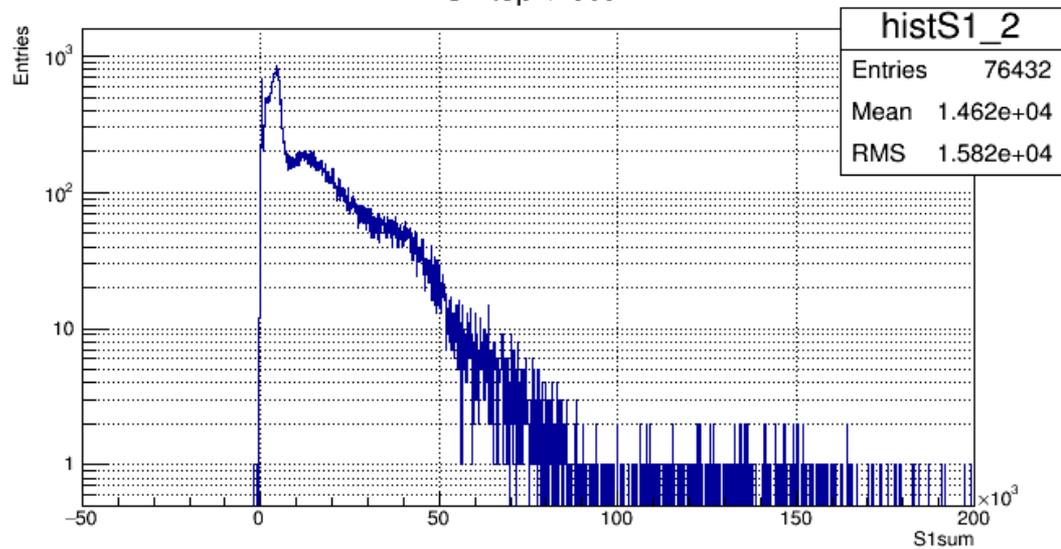


0V



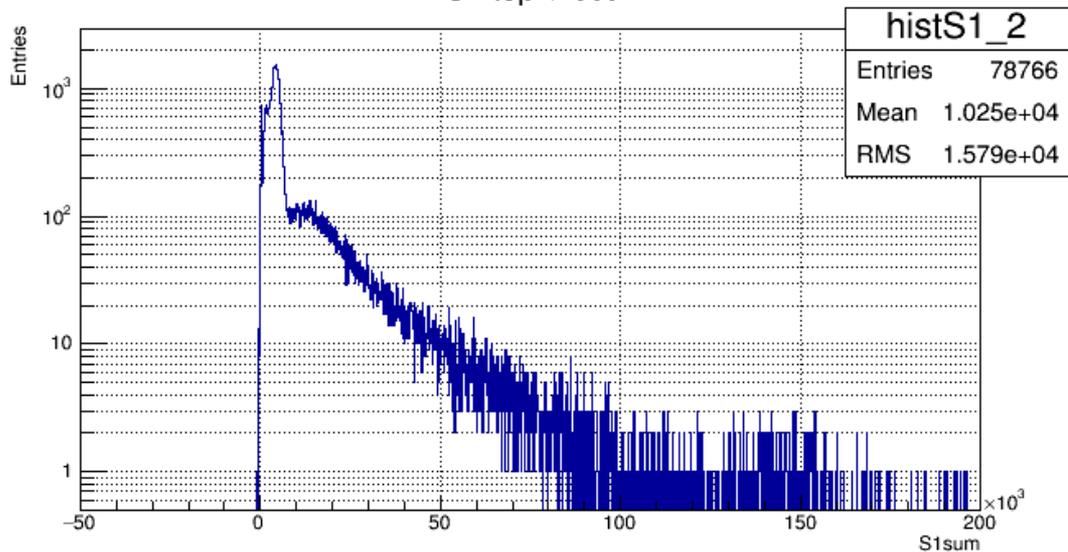
4kV

S1 top + bot



Cs照射
S1スペクトル@4.2kV

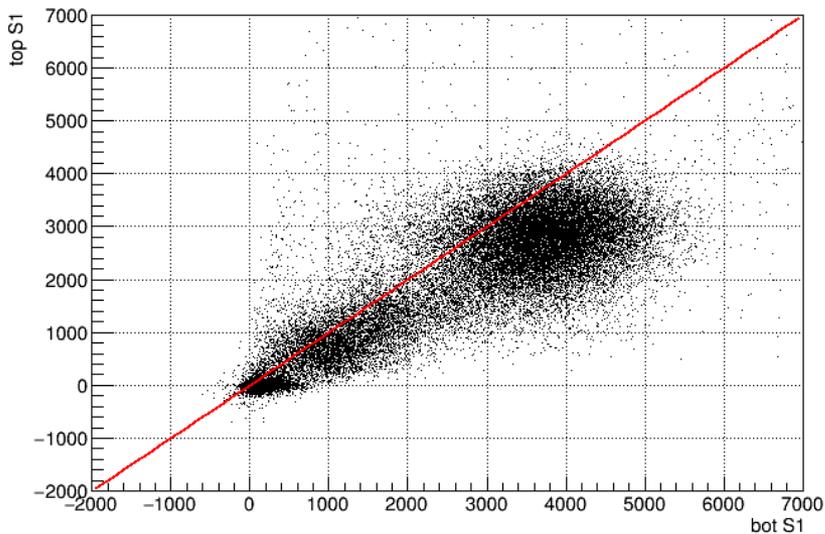
S1 top + bot



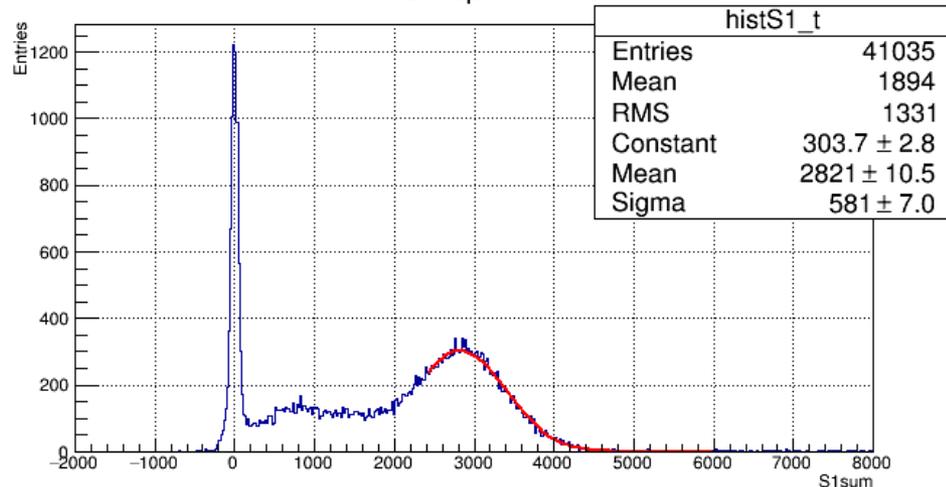
Cf照射
S1スペクトル@4.2kV

上下PMT別の光量 Amのみ、threshold -10mV

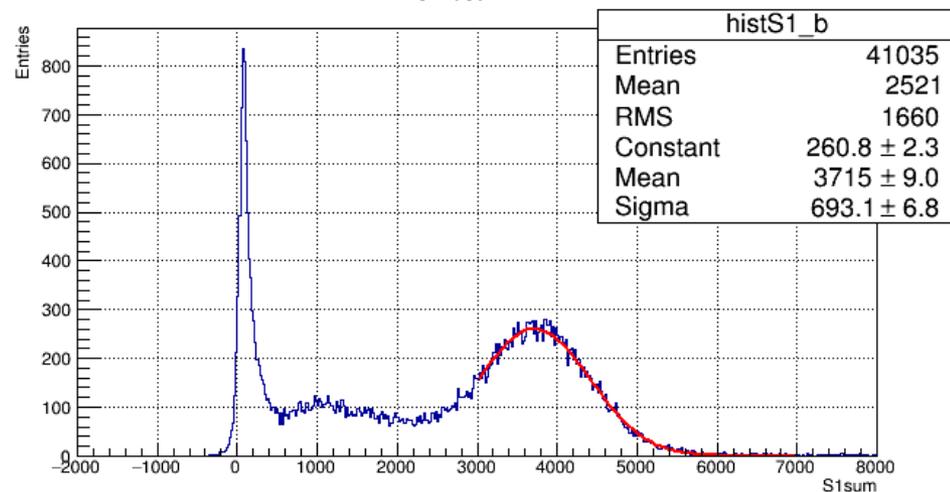
top S1 : bot S1



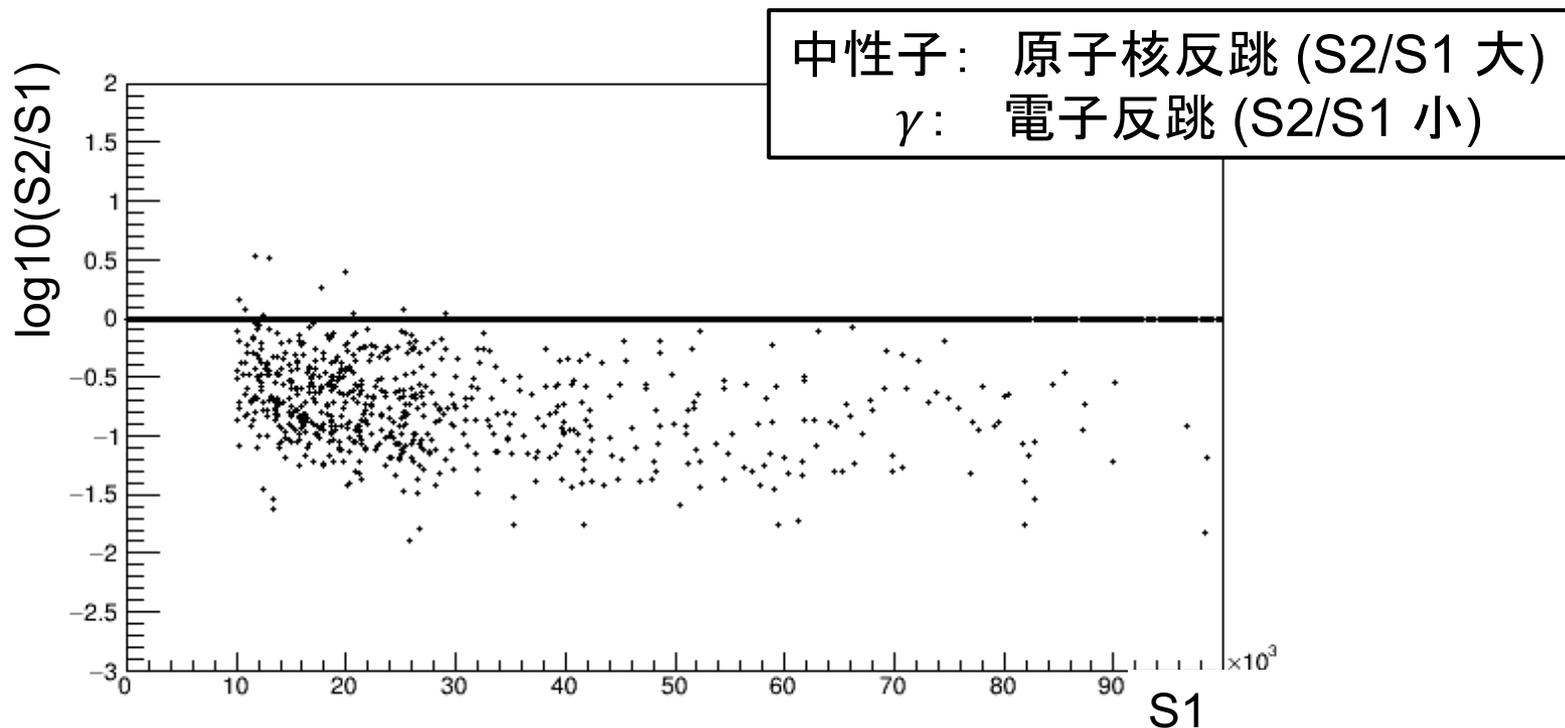
S1 top PMT



S1 bot PMT



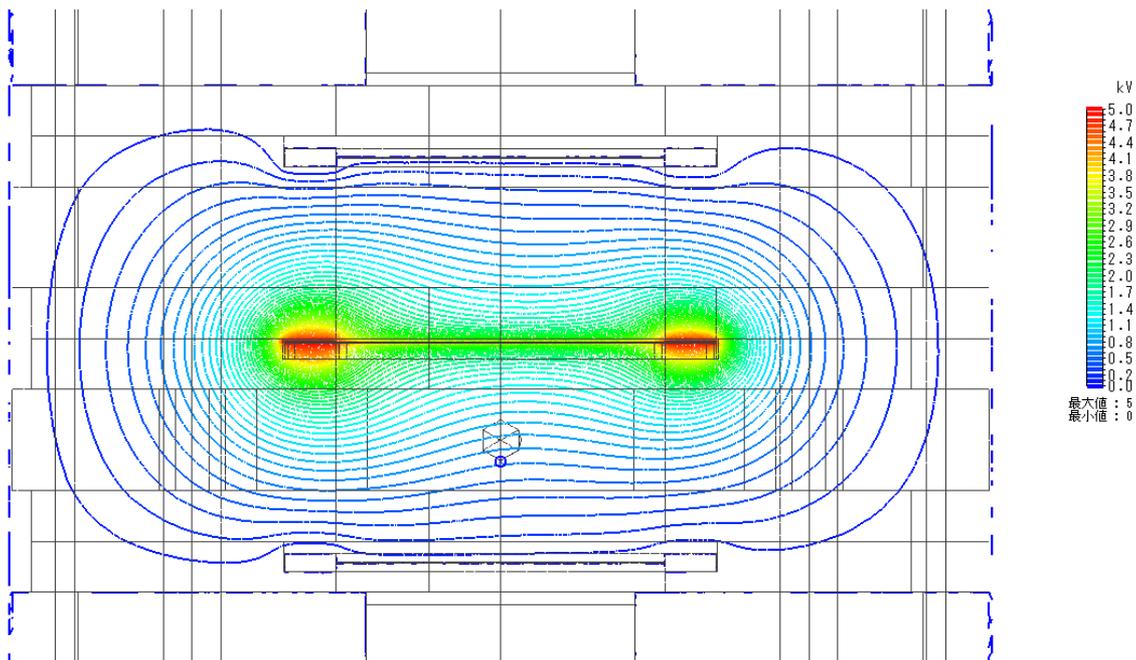
S2/S1による粒子識別



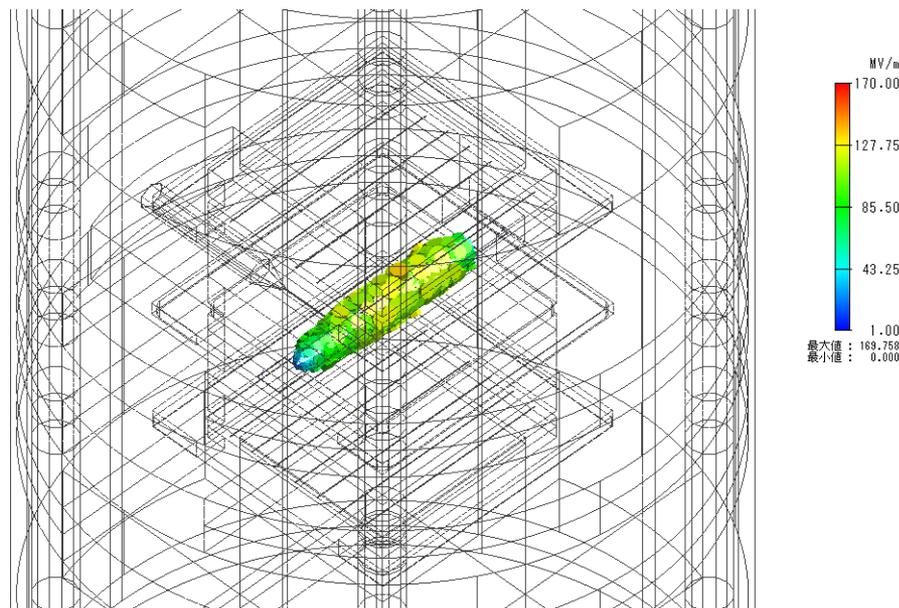
Cf線源によるイベントを用いて
S2/S1の違いによる粒子識別ができないか？

中性子と γ の差は見えていない
電荷増幅のgainが足りず、
S2の分解能が悪いのが原因と考えられる

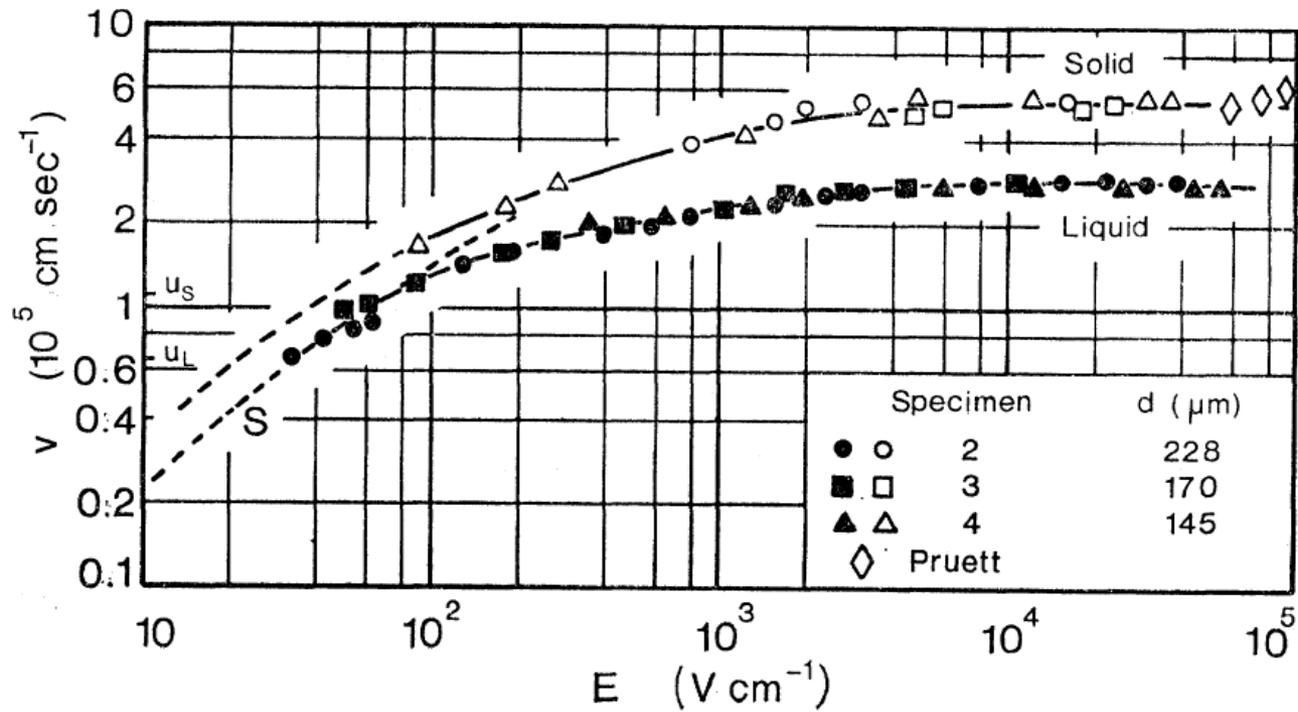
電場シミュレーション結果
ガラスエポキシ電極 5kV
等電位線



電場ベクトル



LXe中の電子のドリフト速度



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

キセノンの相図

