

二重ベータ崩壊探索のための Xe比例シンチレーションTPC 検出器用MPPPCの性能評価

京大理 石山優貴
市川温子 秋山晋一
中家剛 南野彰宏

目次

1.introduction

2.Electroluminescenceとは

▶ELCCとは

3.試作機の現状

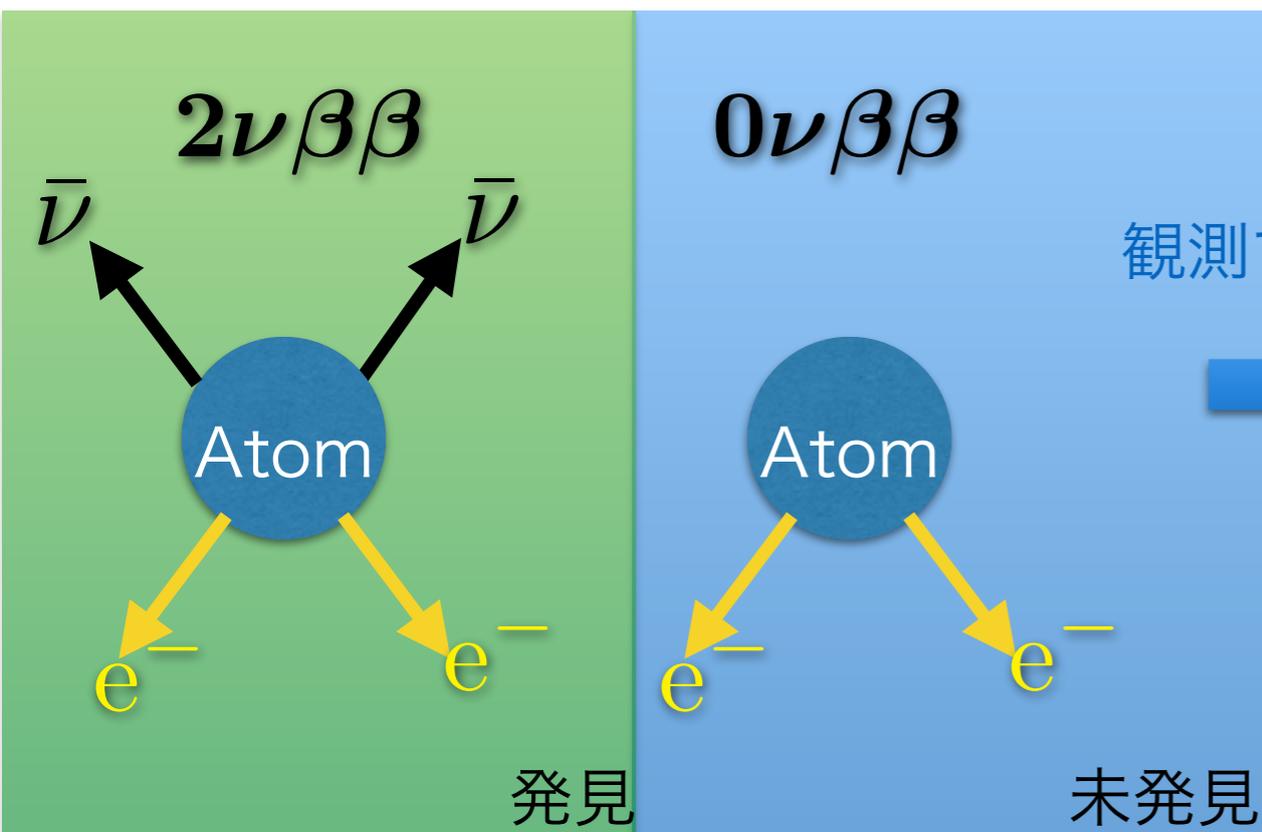
▶エネルギー分解能

▶トラッキング

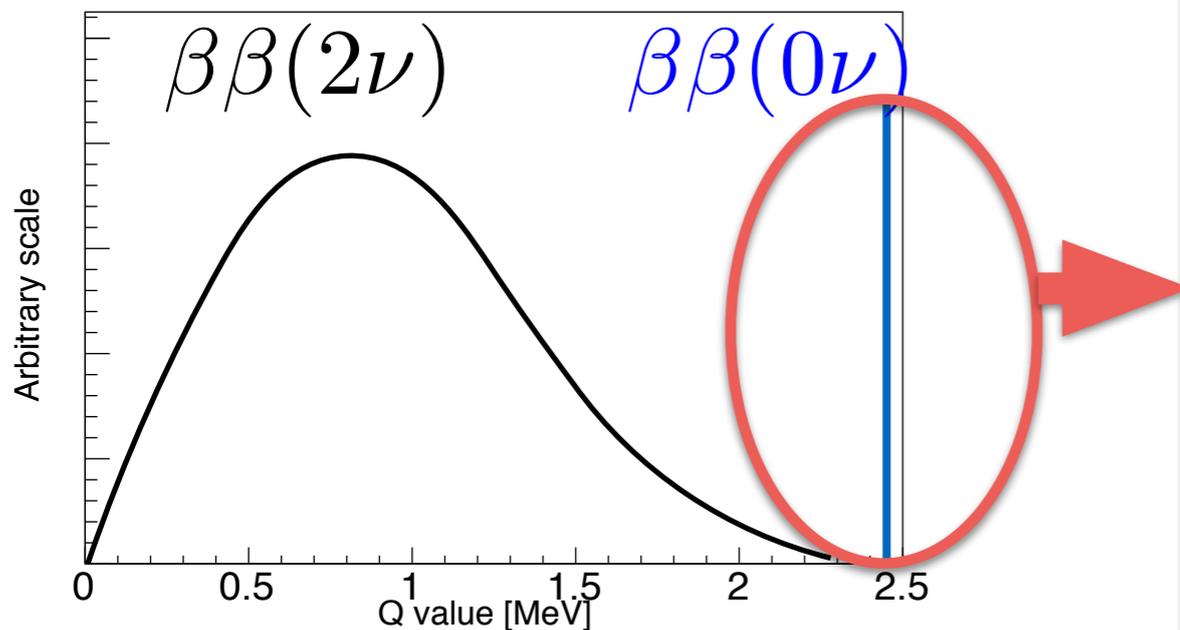
4.MPPC planeに向けて

今回はPMTを用いた結果が主になってしまいました

introduction



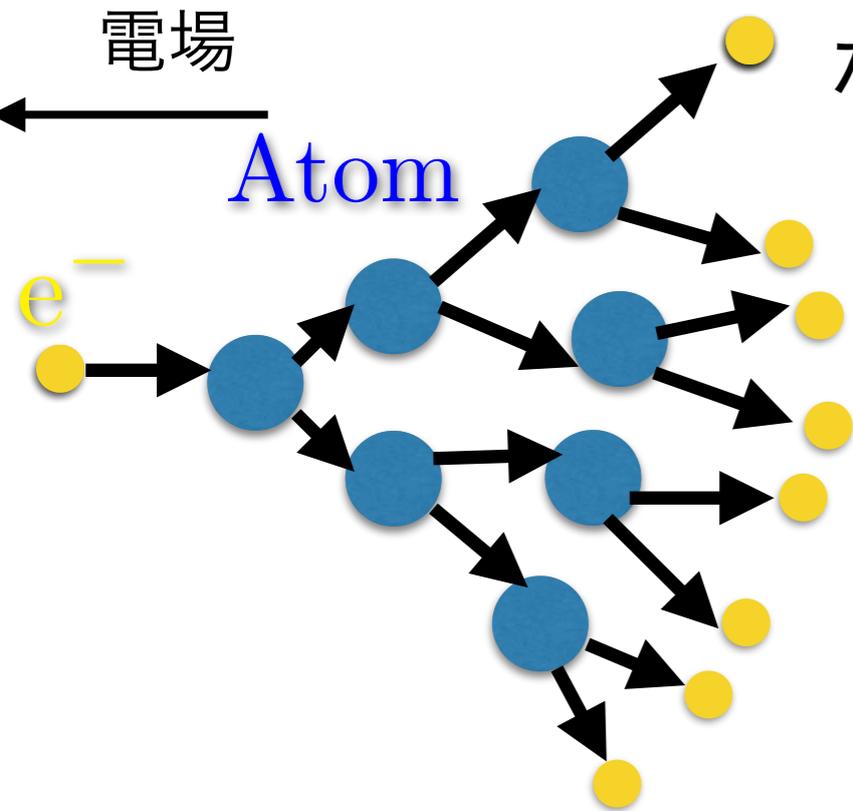
- ・ ニュートリノがマヨラナ粒子だと分かる
- ・ ニュートリノ振動解析との結果からニュートリノの質量の絶対値に制限がつく



- ・ 高エネルギー分解能の検出器が必要
- ・ 目標：高圧Xeガスを用いて半導体レベルの**0.5%**@2.459 MeV(FWHM)
(参考)
 - ・ KamLAND-Zen **9.9%**@2.459MeV(FWHM)
 - ・ EXO **4.3%**@2.459 MeV(FWHM)

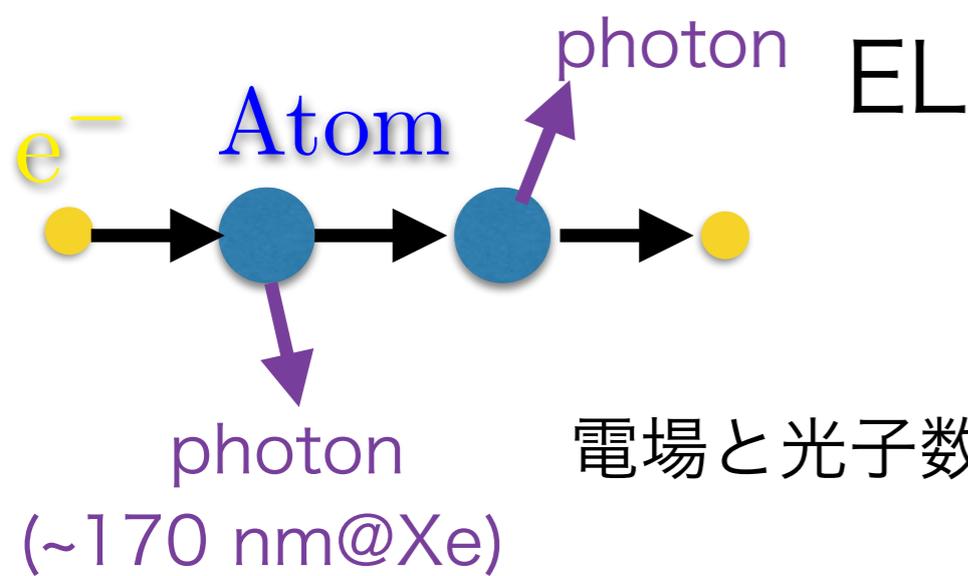
エネルギーがニュートリノに持ち去られないので、モノクロ

Electro Luminescence(EL)



なだれ増幅

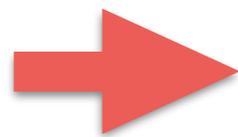
・初段の不定性が
増幅される



EL

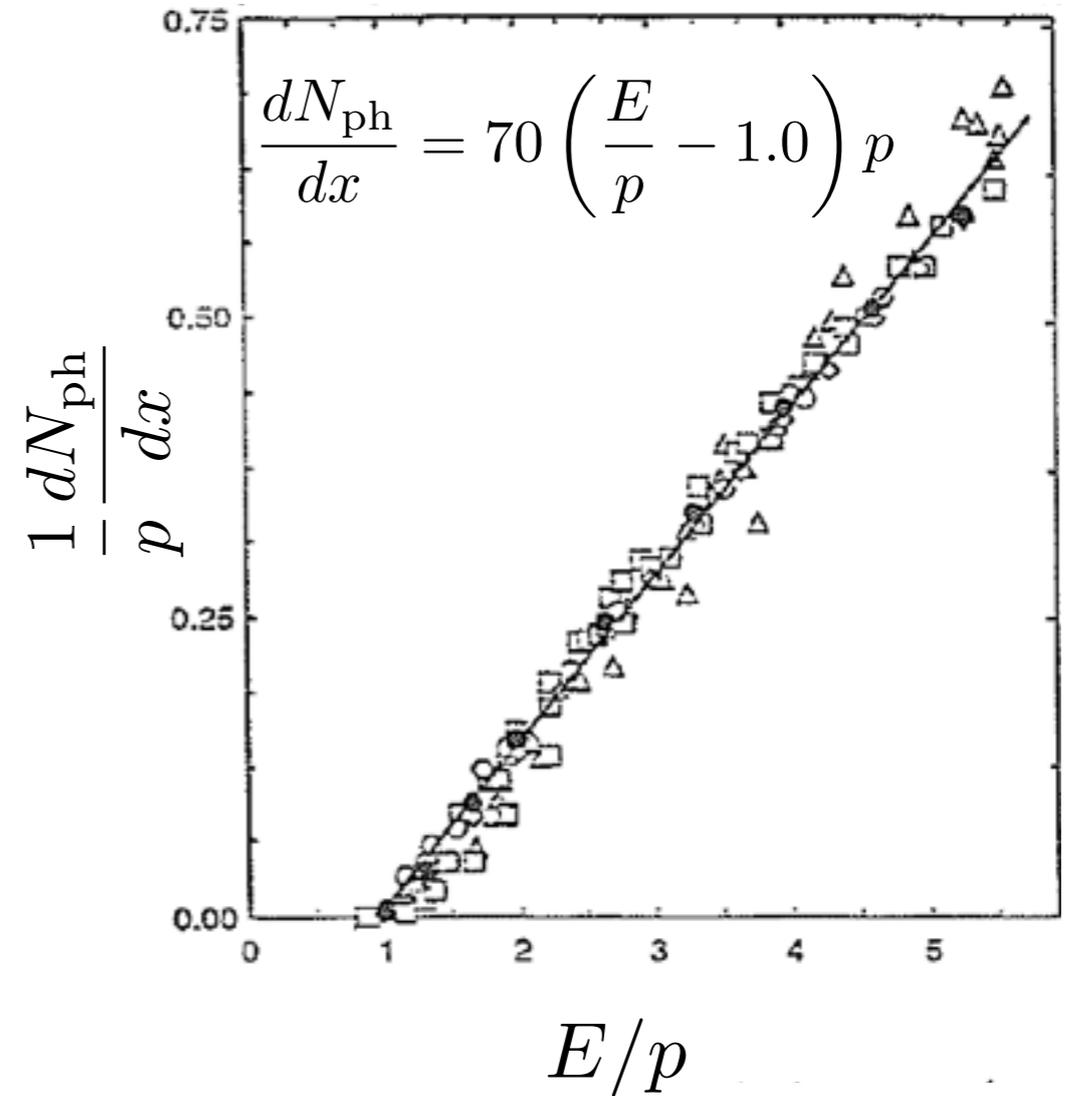
電場と光子数が比例関係

photon
(~170 nm@Xe)



初段の不定性は増幅されず、
ゆらぎが小さい

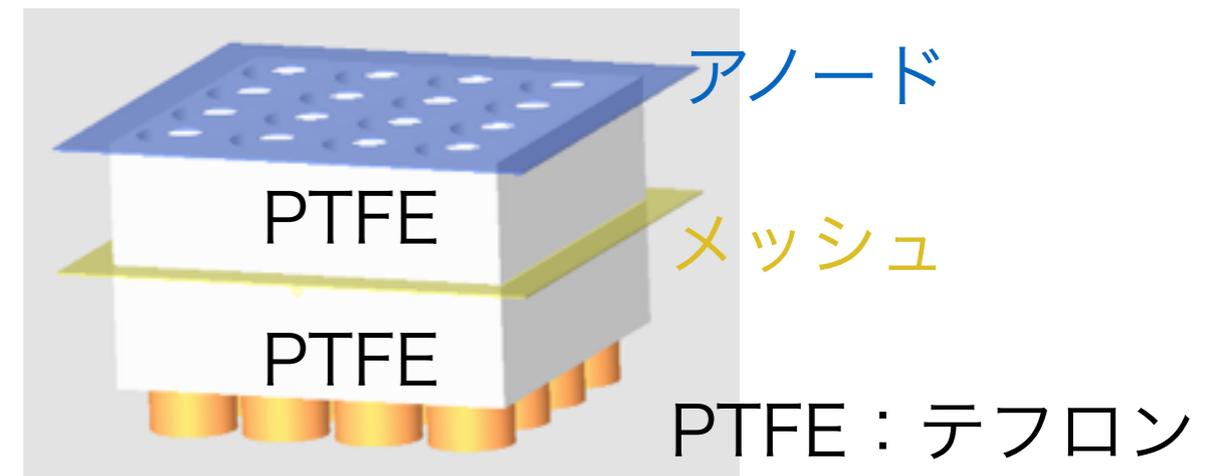
x EL領域の長さ[cm] p EL領域での
圧力[bar]
 E EL領域の電場[kV/cm] N_{ph} 光子数



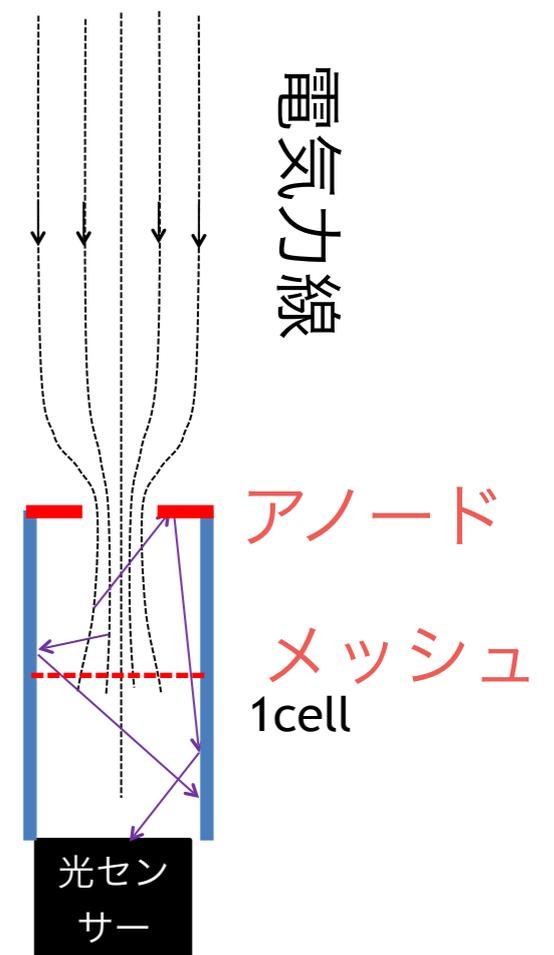
C.S.N.Conde, 'Gas Proportional Scintillation
Counters for X-ray Spectrometry' より

Electroluminescence Light Collection Cell(ELCC)

- ・ 電離電子がドリフトした後の読み出し部
- ・ 各セルでEL増幅した後、光センサーで検出
 - ▶ 発光位置による光量不定性の軽減
 - ▶ エネルギー、飛跡検出

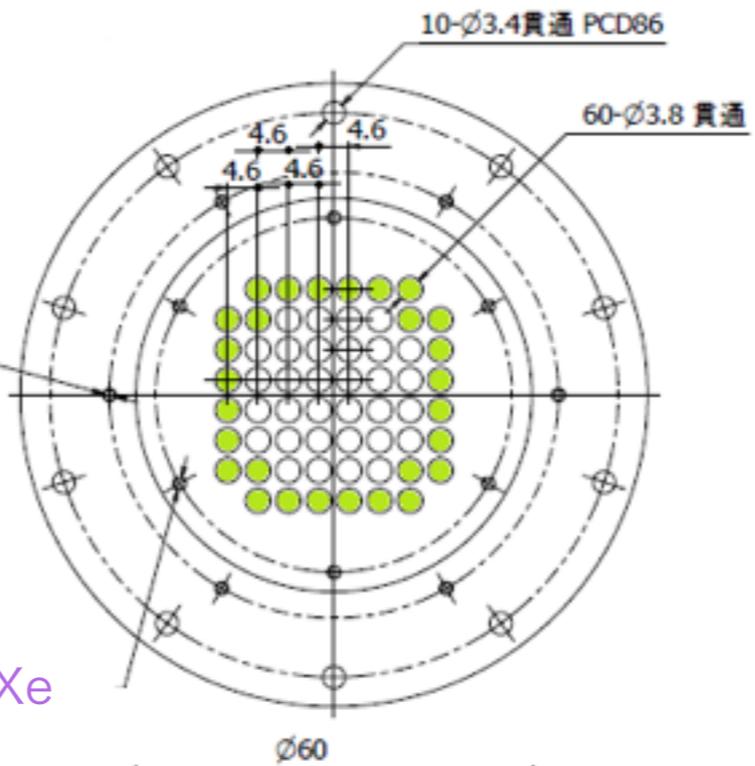
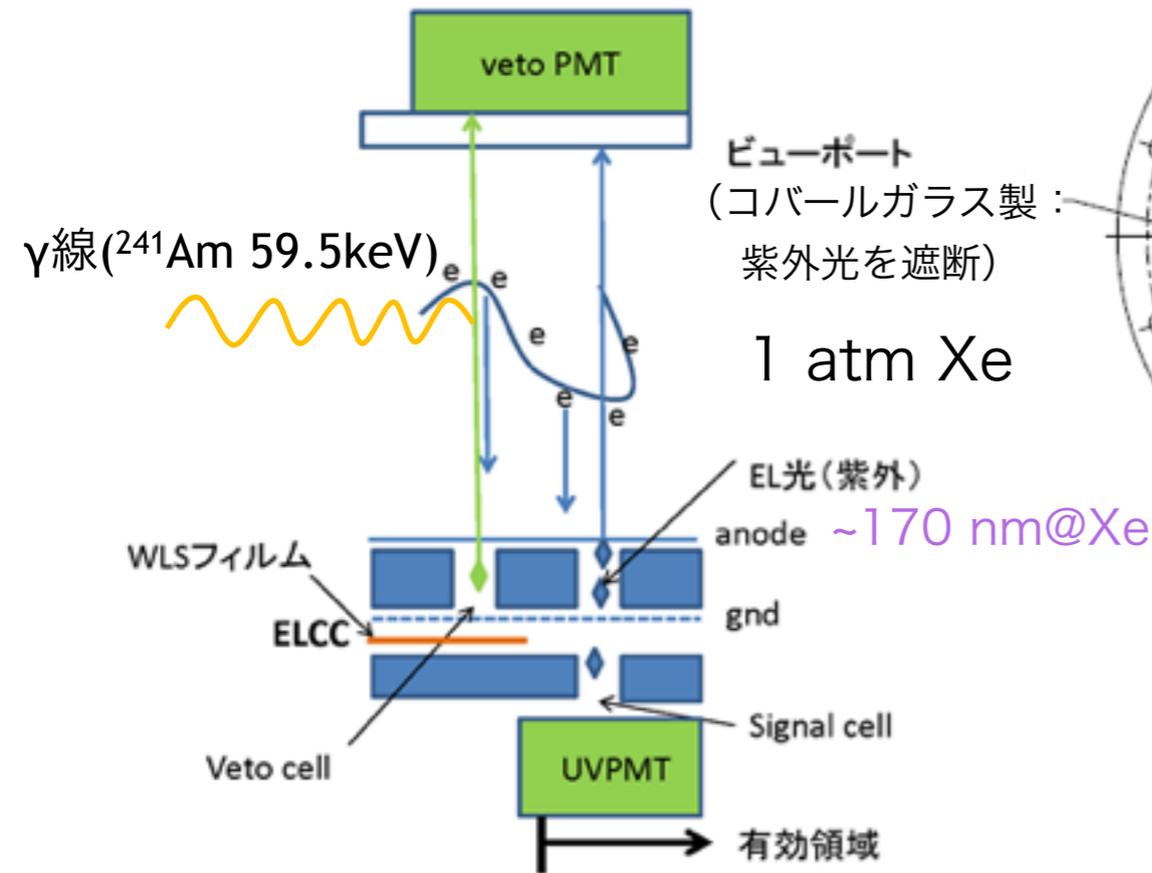


- ・ 今回は試作機の性能評価としてエネルギー分解能にはUVPMT、トラッキングには16chのMAPMT (Multi Anode) 使用
- ・ 最終的にはMPPCのプレーンを作り読み出すのが目標
 - ◀ 高い一光子分解能
 - ◀ 位置分解能の向上

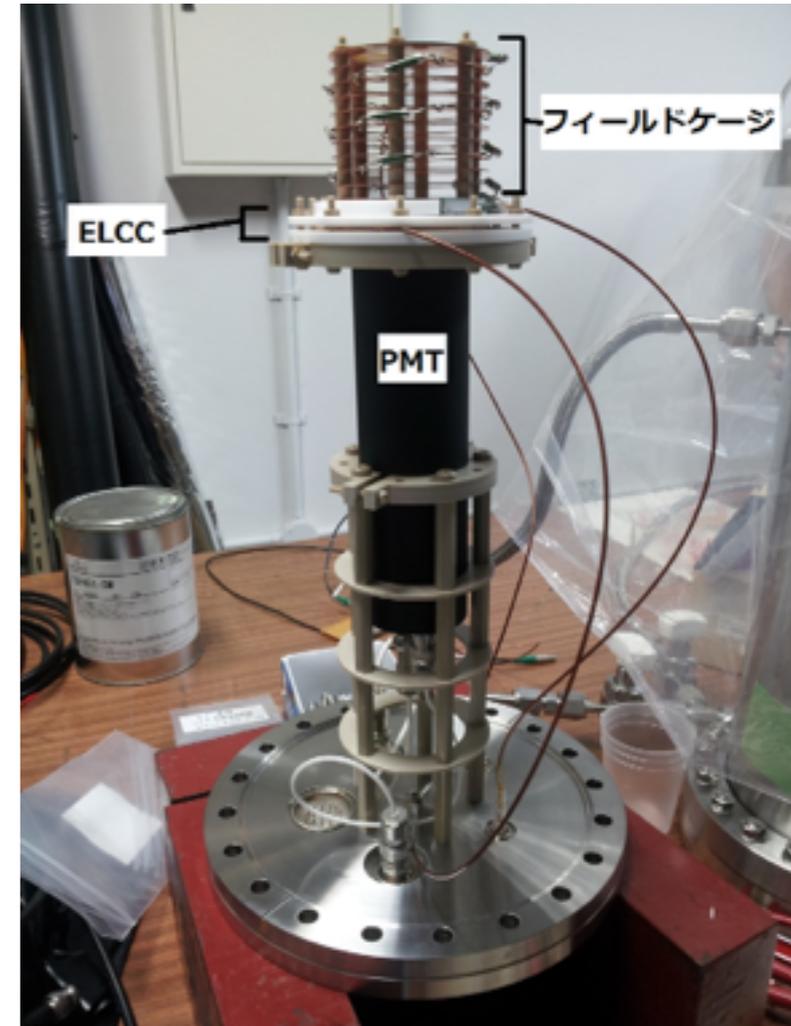


試作機の現状

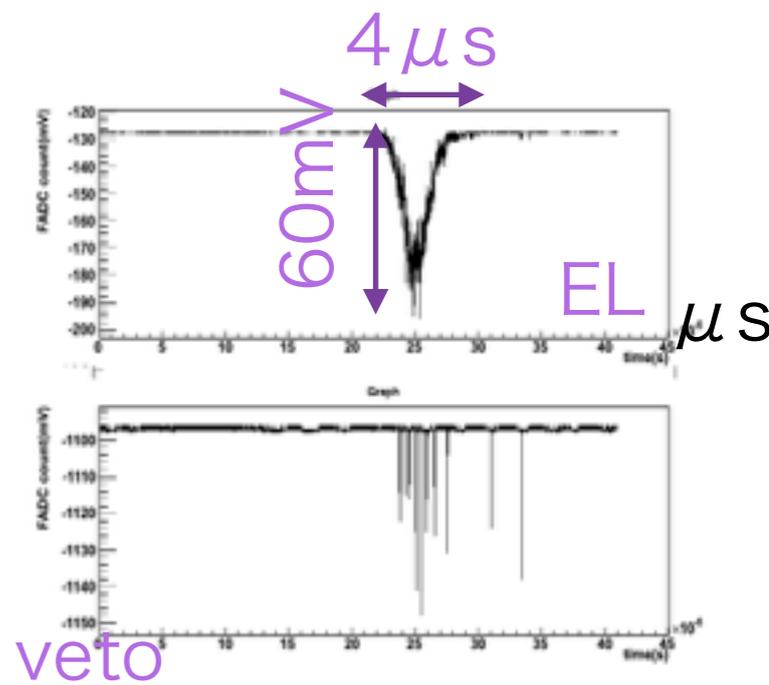
エネルギー分解能の測定原理



Veto cell位置
(フィールドケージ外でエネルギーを落とす事象を排除)



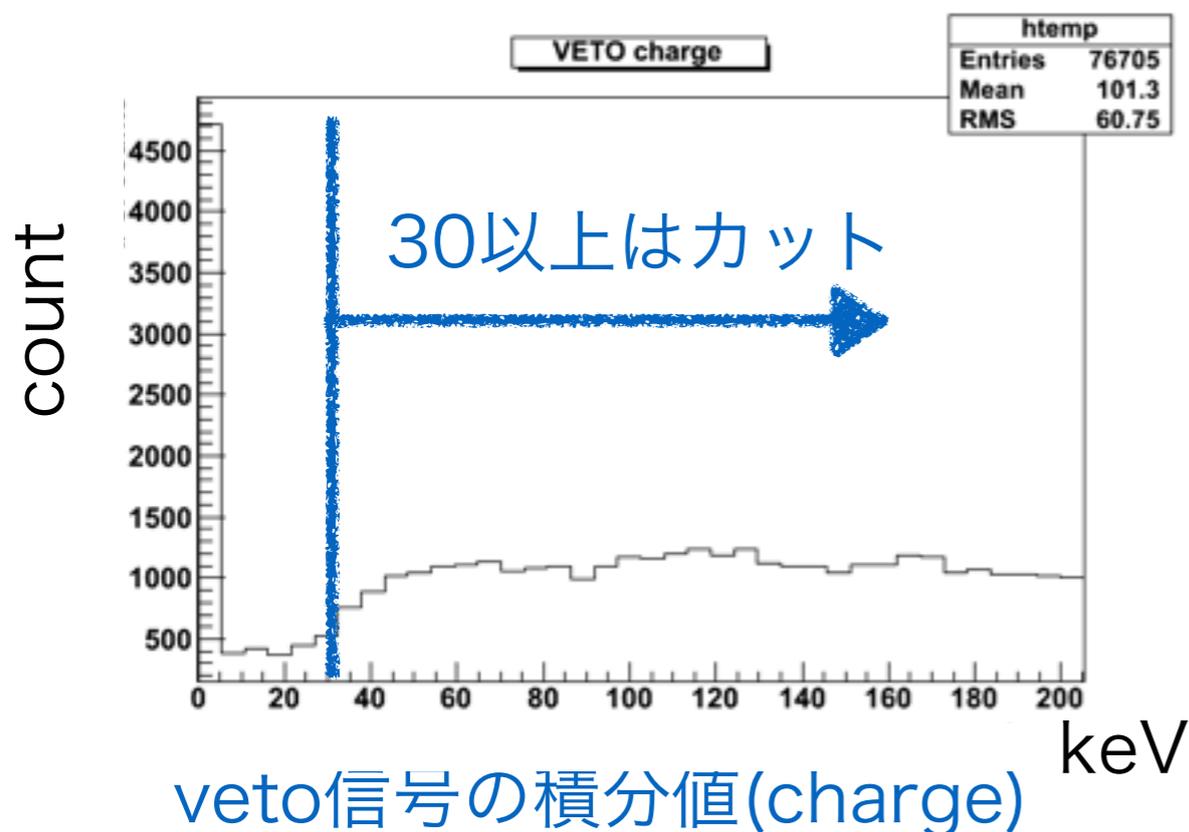
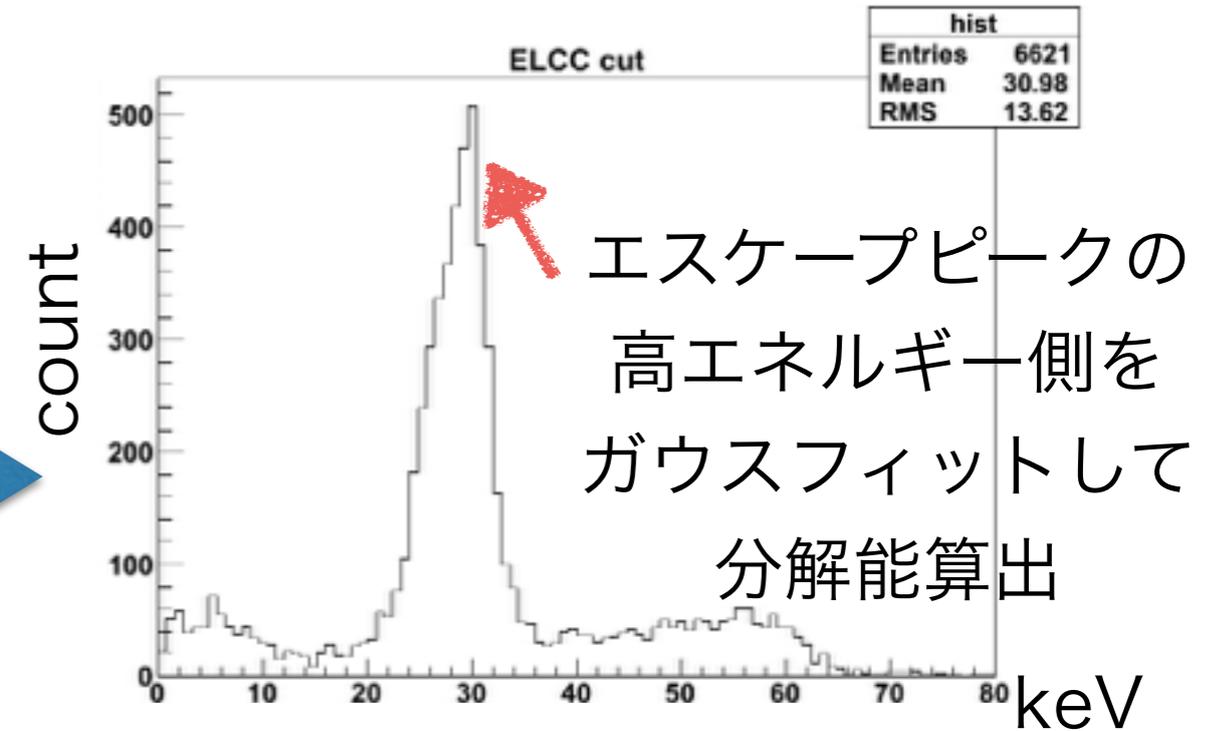
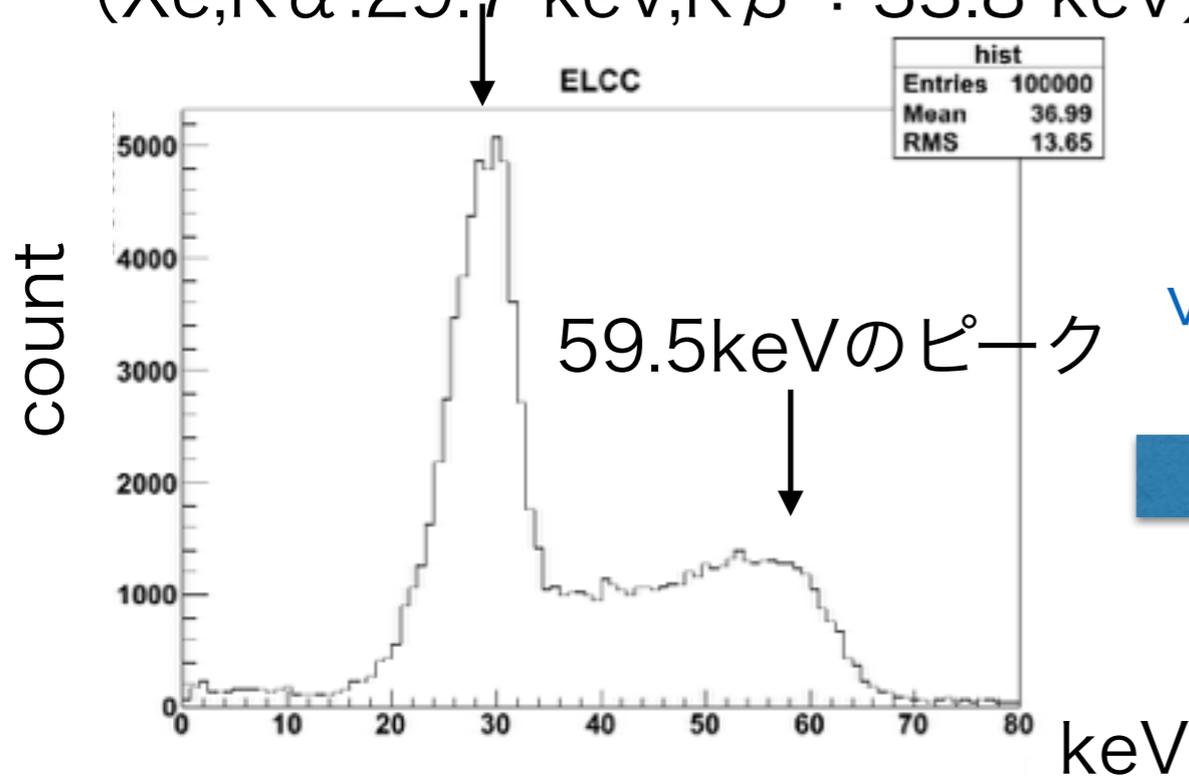
- 線源は ^{241}Am の α 崩壊に伴う59.5 keVの γ 線
- 光電吸収でXeから出た電子がドリフトする
- 出てきた紫外のELはUVPMTで観測される
- Veto cellは可視光で光り、veto PMTで観測される
- 読み出しは100MHz,FADC(CAEN V1724)



エネルギー分解能

29.8 keVのエスケープピーク

(Xe, $K\alpha$: 29.7 keV, $K\beta$: 33.8 keV)



分解能
(FWHM)

カット前

カット後

29.8 keV

18.1%

13.8%

@2.459
MeV

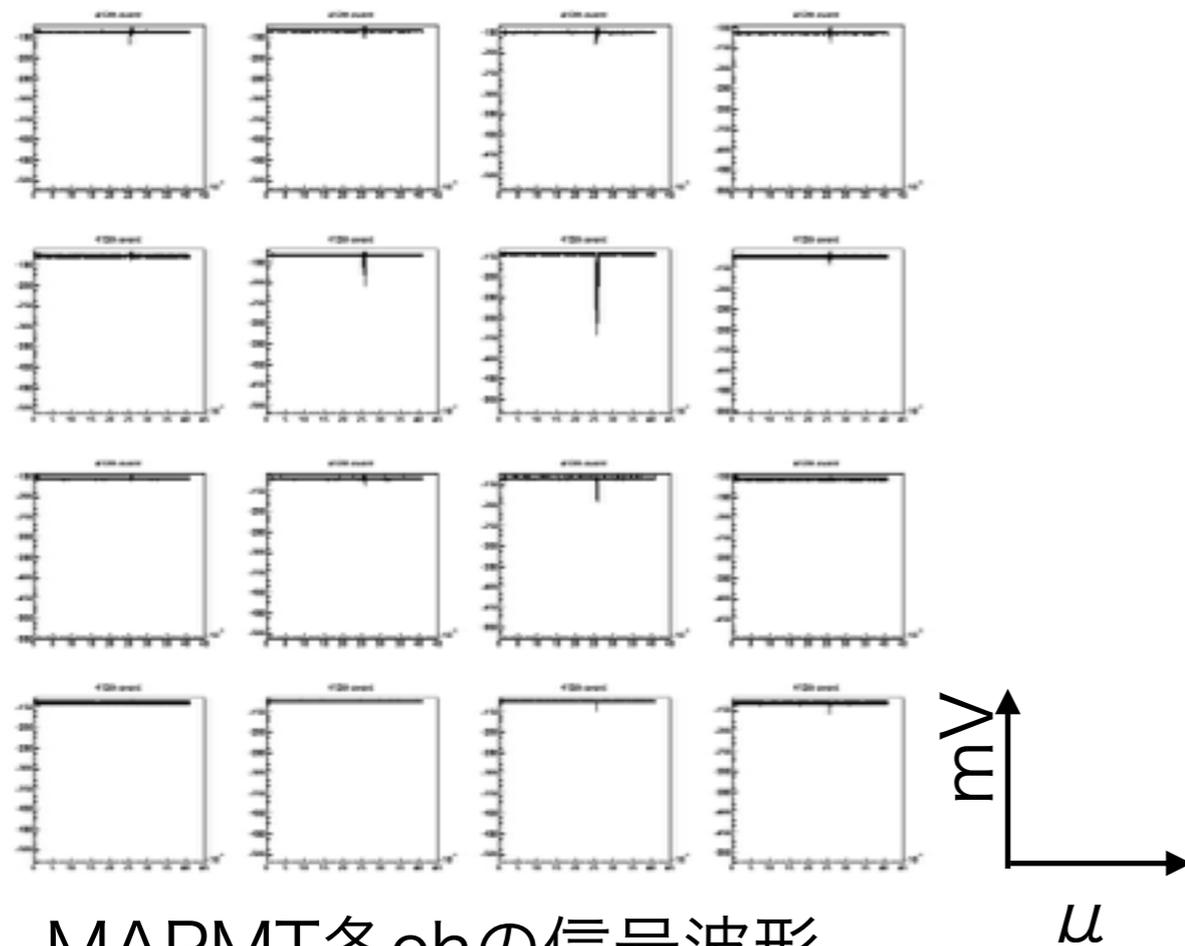
2.0%

1.5%

veto信号を見ると、電子が有効領域に完全に
収まらない事象が混在
今後、より大きな飛跡再構成もできる検出器で
評価する

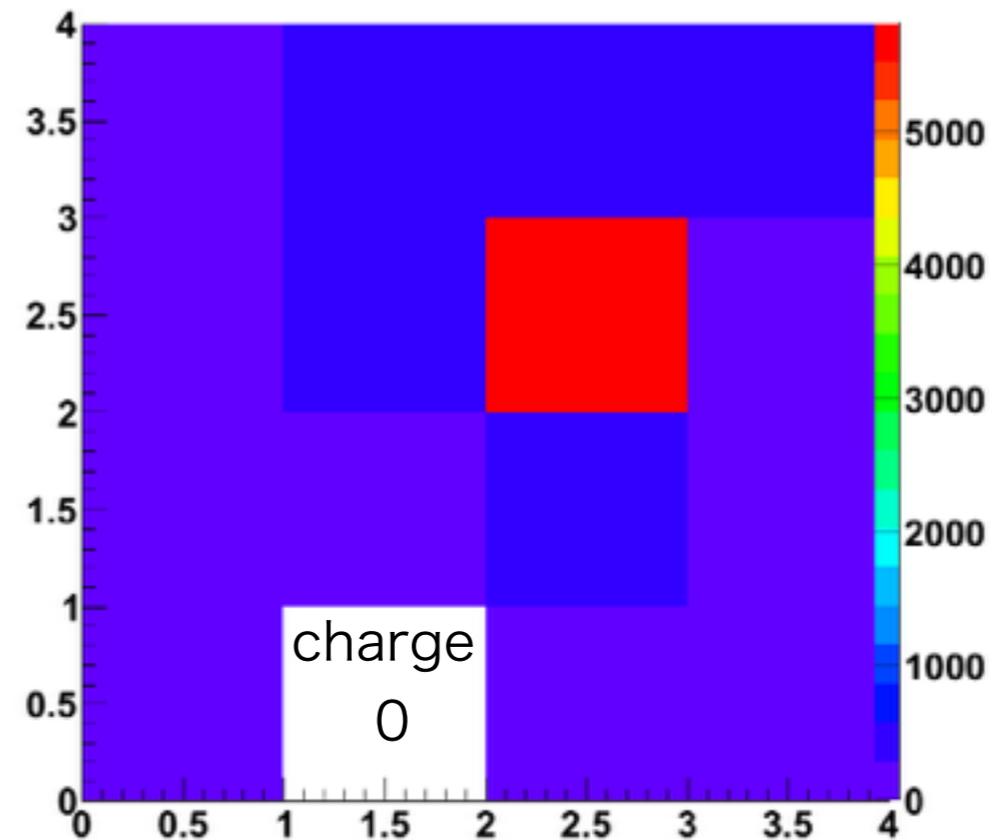
トラッキングのデモンストレーション

- 29.8 keVのガンマ線の1 atmXe中の飛程は1 cm程度
- ELCCのセル間隔が4.6 mmなので、1か2セル光るイベントが見られる



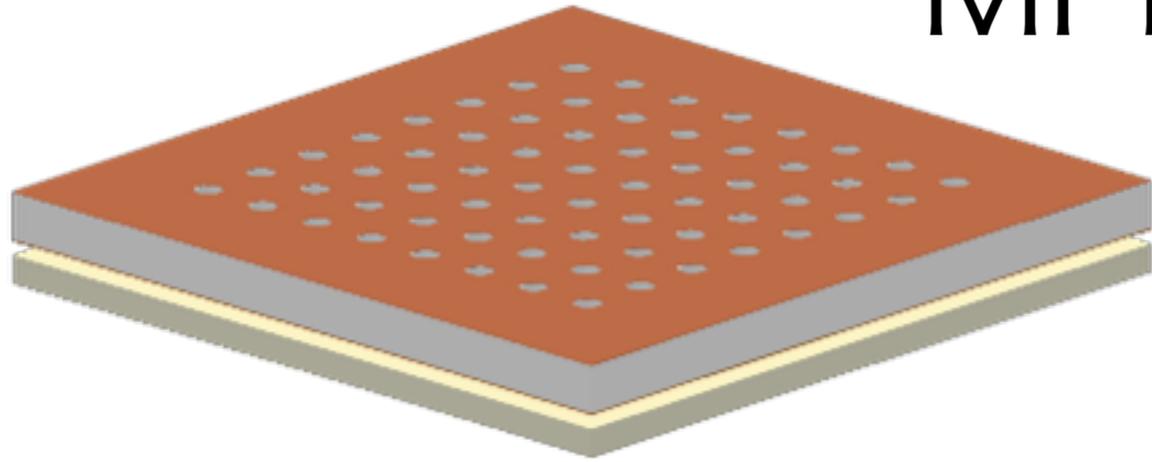
MAPMT各chの信号波形

確かに1セル見えている
image



波形の積分値 (charge)

MPPC plane



- 電極1と電極2の間に高電圧がかかる。電極2はGND

電極1 無酸素銅
厚さ~100 μ m

PTFE(テフロン) (紫外光の反射材の役割)
厚さ5mm

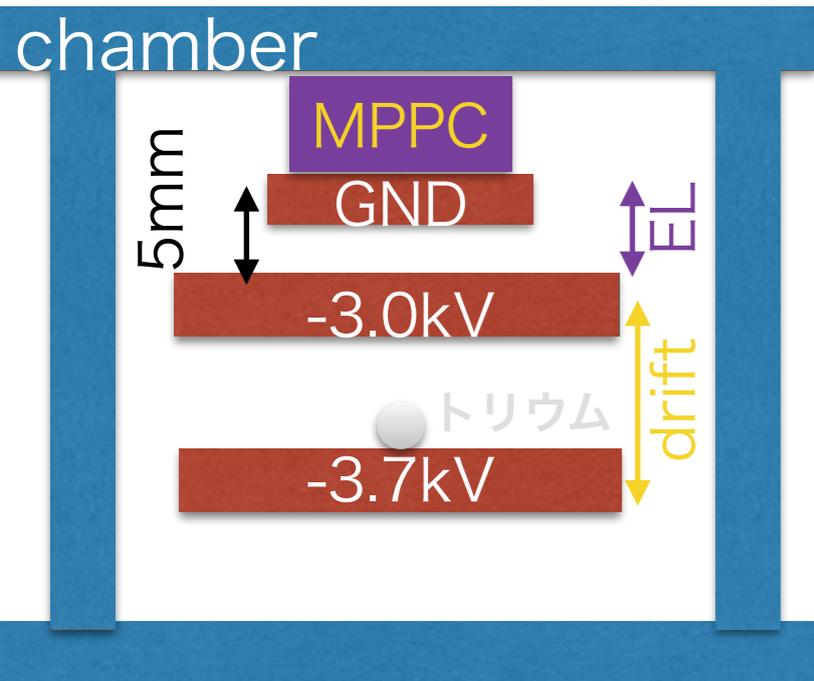
電極2 メッシュ

PTFE(テフロン) (紫外光の反射材の役割)
厚さ2mm?
MPPCが入り込むような穴が開いている

MPPC plane

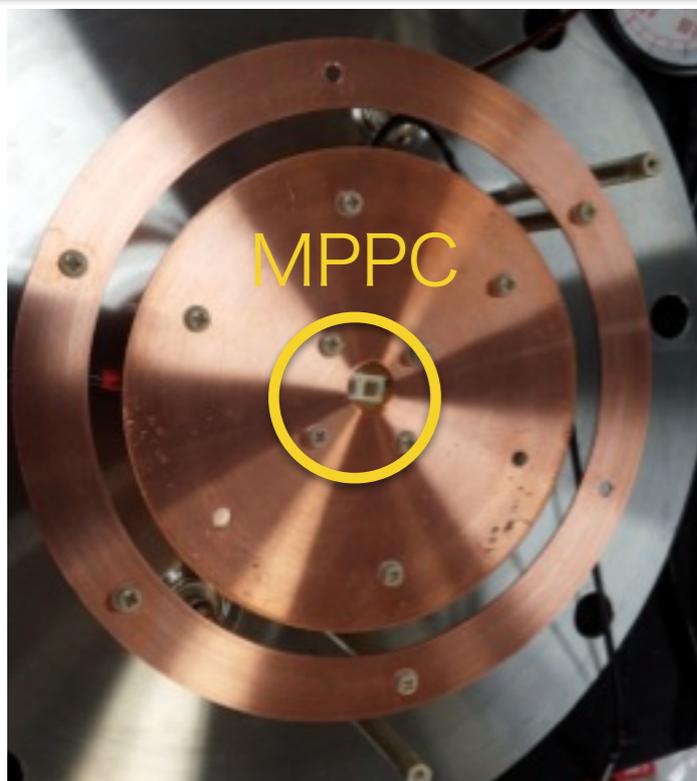
3mm角MPPCを7.5mmピッチで並べる

MPPCによるEL光感度の評価に向けて

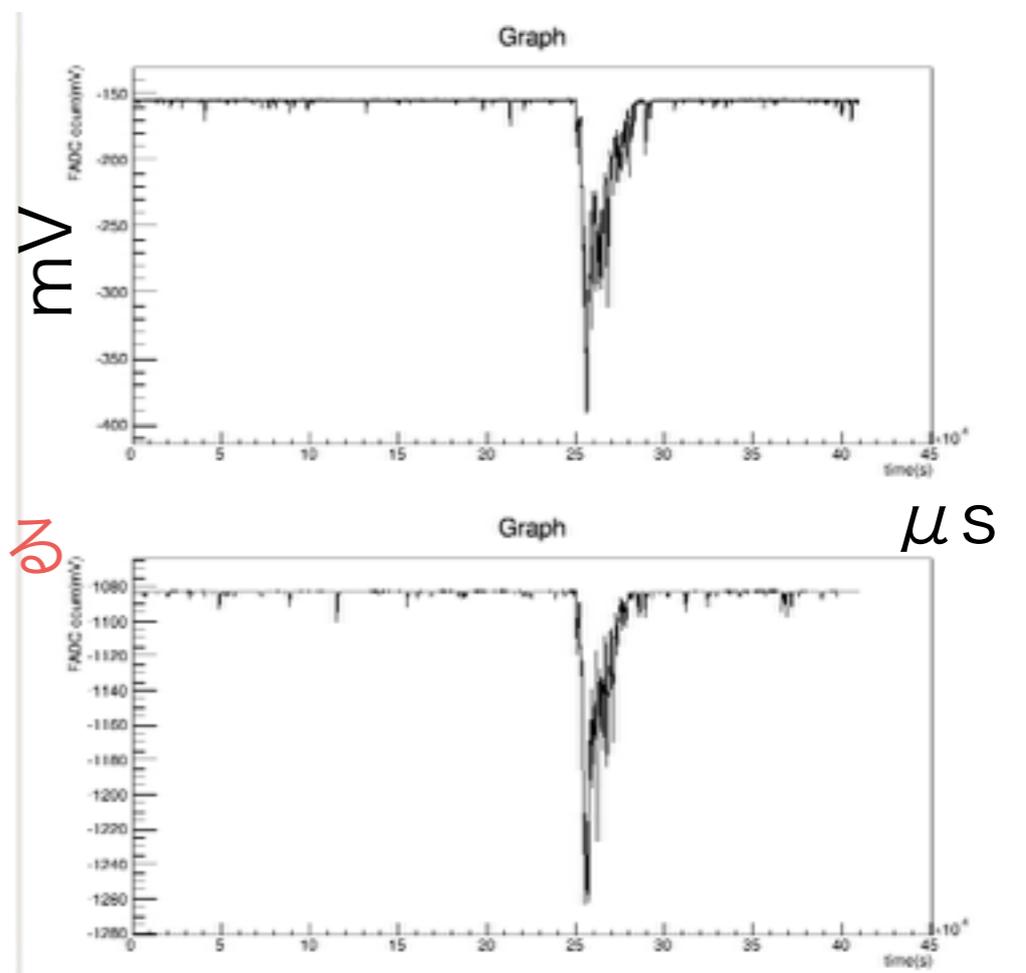


- ・ チェンバーに1atm Xeを入れ、トリウム (α 線源) を使う
- ・ 3mm角MPPCを2つ並べ片方をトリガーにして光量を測定
- ・ 通常のMPPCは保護膜によりUV光が吸収されてしまう
- ・ **今回は、保護膜をつけずにUVに感度のあるMPPC (UVMPPC) とUVに感度のないMPPC (+WLSアクリル板) とを比べる**

EL信号

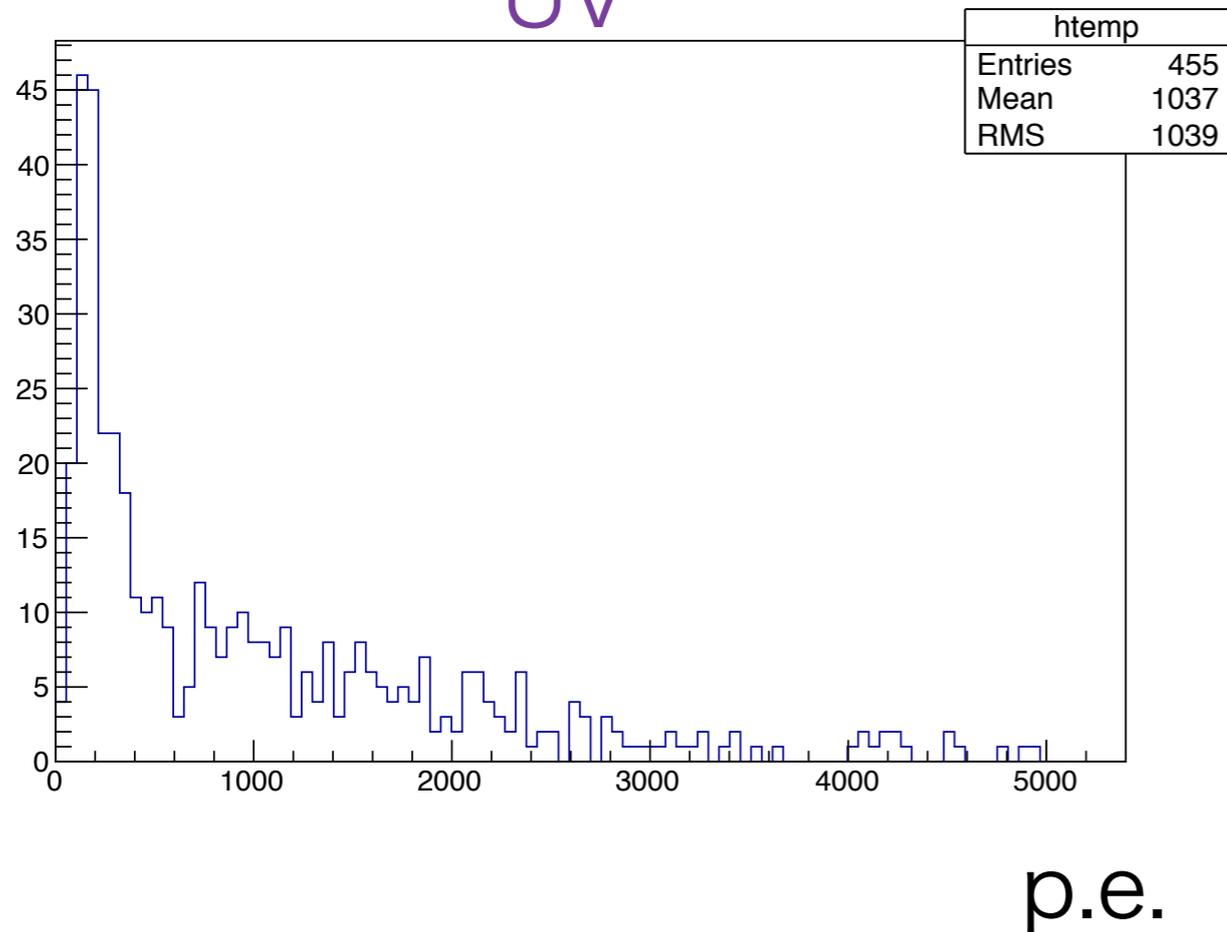


MPPC2つとも光っている

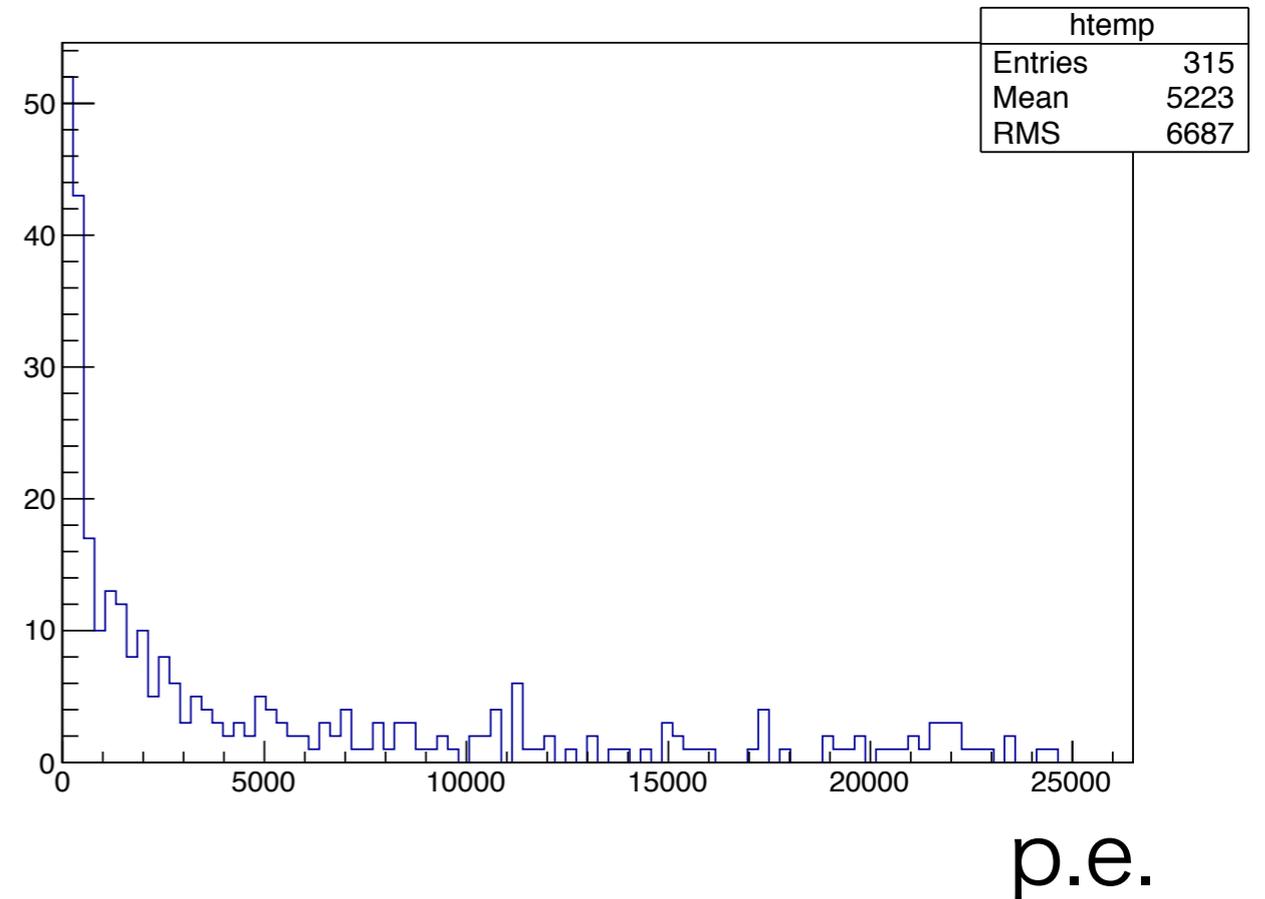


UVMPPC vs Normal MPPC

UV



Normal



測定したばかりで、正確には結論できないが、
Normalの方が光量が多い

Summary

- ・ エネルギー分解能が目標0.5%@2.459 MeVに対して、1.5%@2.459 MeVまで実現した
- ・ トラッキング能力があることを確認した
- ・ MPPCについて、EL光に対する感度を正確に比較する
- ・ 次のステップとして、MPPC 32個のplaneを製作し、10 atmでの測定を予定

back up

光子数のゆらぎ

$$\frac{2.35}{\sqrt{N_{i.p}}} \sqrt{\frac{\sigma^2}{\delta g \epsilon_0 p} + \frac{1 - \delta}{\delta g \epsilon_0 p} + \frac{\sigma_g^2}{g^2 \epsilon_0 p} + \frac{1 - \epsilon_0}{\epsilon_0 p} + \frac{1 - p}{p} + F}$$

1 光子分解能

光子の検出効率

EL増幅

ELCC開口率

吸収

イオン対生成の揺らぎ

$N_{i.p}$ イオン対の平均数

σ 1 光子のゆらぎ

δ 光量の減少率

ϵ_0 ELCC開口率

g EL増幅率

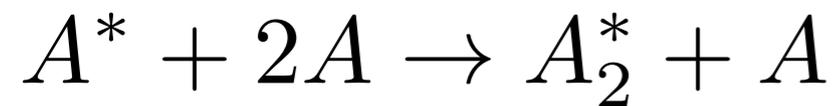
σ_g g のゆらぎ

光子の検出効率 > 1 光子分解能 > 対生成揺らぎ > 吸収

ELの反応過程

If energy of drifting electrons slightly

below ionization threshold



If dense and heavy noble gases

