

二重ベータ崩壊探索に向けた キセノン比例シンチレーションTPC検出器の 開発2

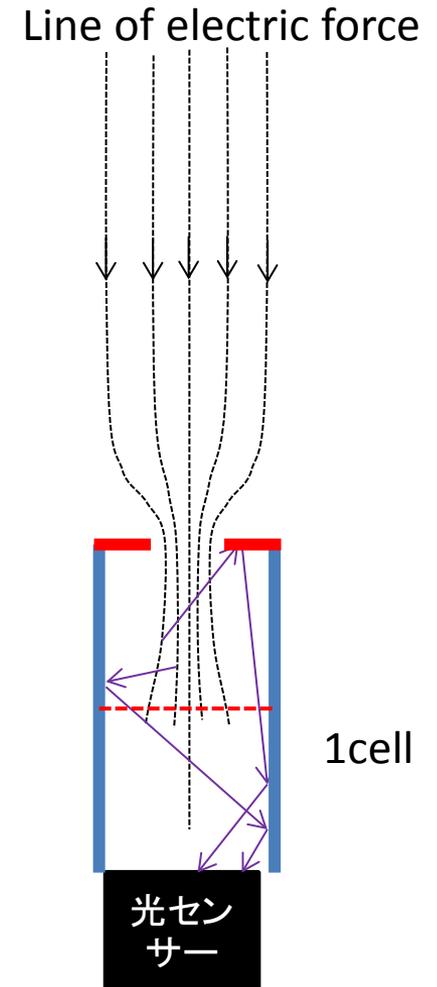
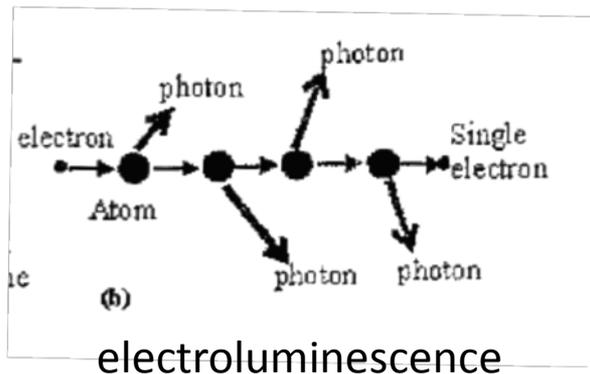
秋山晋一 京都大学
市川温子、久保一、
中家剛、南野彰宏

ELCC

- 強い電場中で電子がdriftする際に次々とガス原子を励起しシンチレーション光を発する現象(electroluminescence)を利用した検出器
- $\phi \sim 5\text{mm}$ のcellに電子を引き込み、electroluminescence を起こさせる。下部の光センサーで検出する。
- ELCCの原理証明を目指す
 - 信号は見えるか
 - 光量は十分か
 - 電子の収集のuniformityは良いか

↓

 - エネルギー分解能(目標 FWHM $<0.5\%$ @2.48MeV)
 - Tracking performance

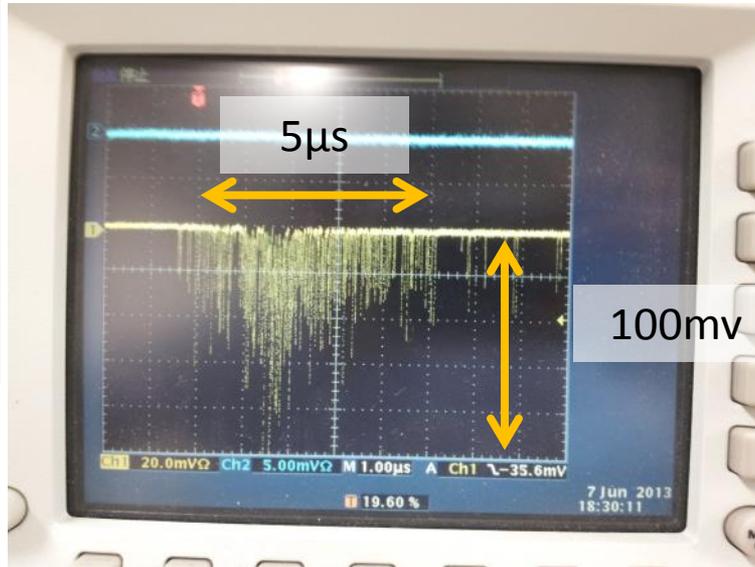


ELCC ver0



ELCC ver0

読み出しには
1 inch PMTにwave
length shifter(TPB)
を塗布して使用



EL信号観測に成功！

光量が少ないため、PMTのパルス
(~20ns)が重なって針のような信号
に見えている。



ELCCでの放電



フィードスルーでの放電

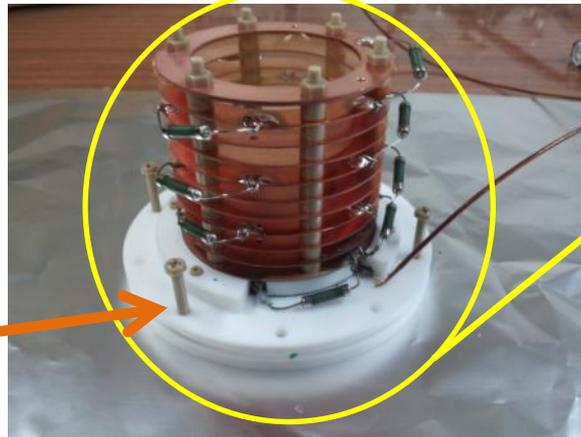
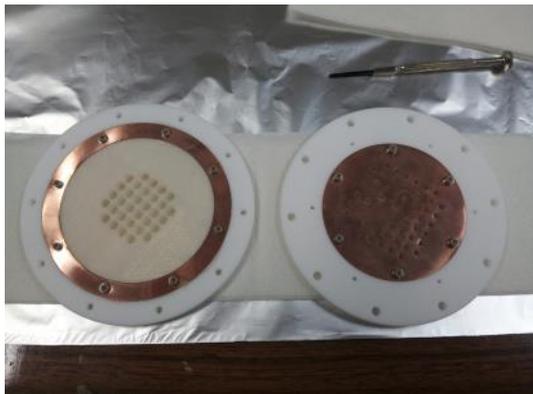
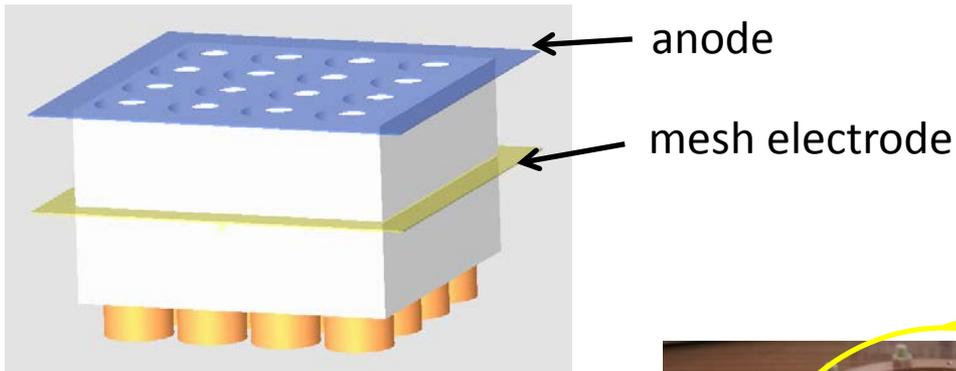
● 問題点

- フィードスルー、ELCCのギャップ間で放電
- 低電圧運用(ELCCのギャップ4mmで3kV)、電子の収集効率が悪いことによる光量不足

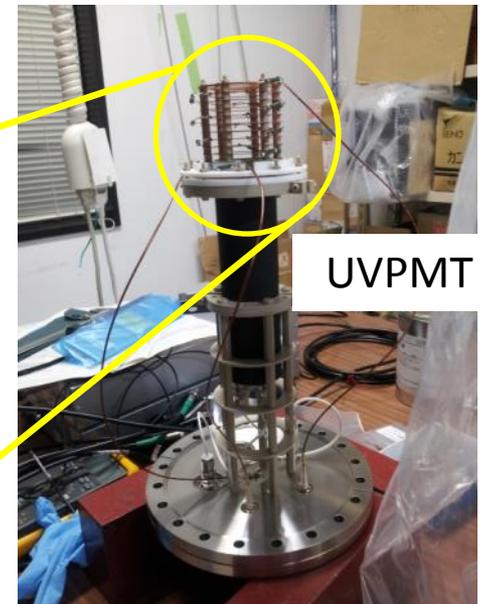
→ ver1で改善へ

ELCC ver1

- 読み出しにはUVPMT(浜ホト H3178)を用いた。

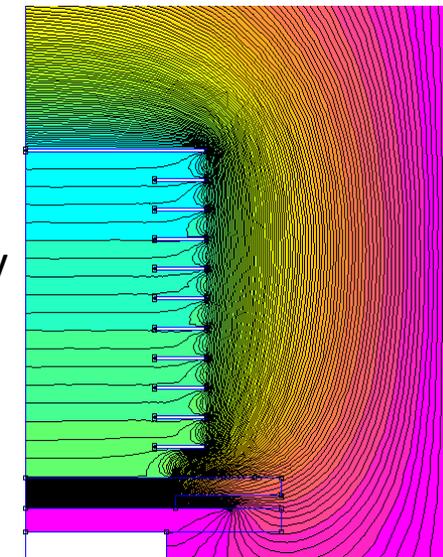
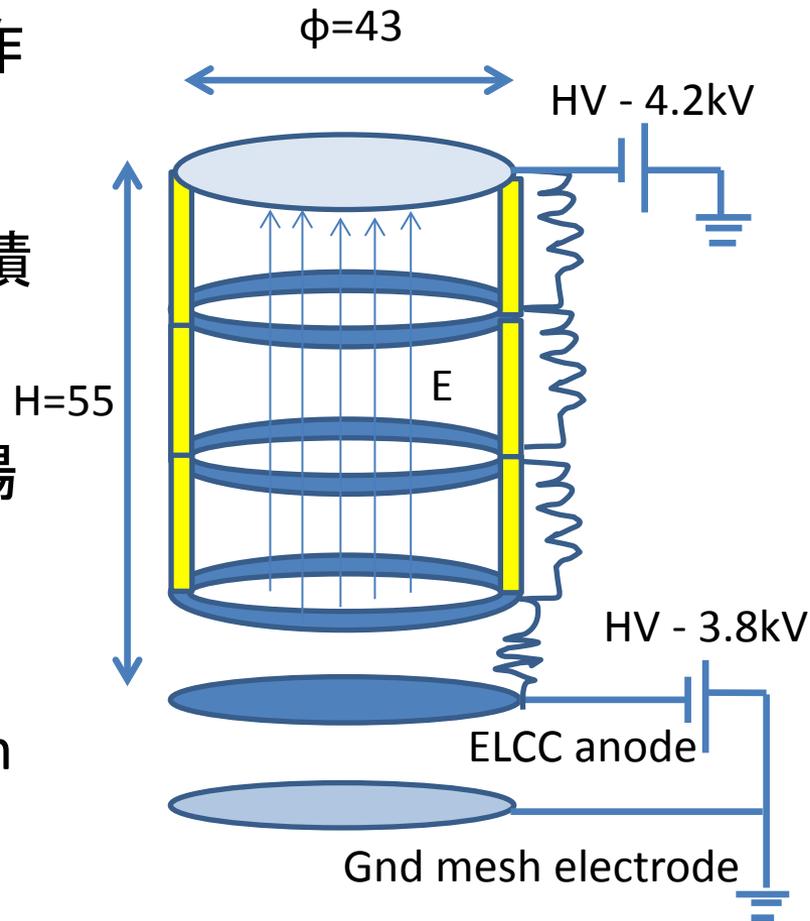


ELCCと
フィールドケージ



フィールドケージ

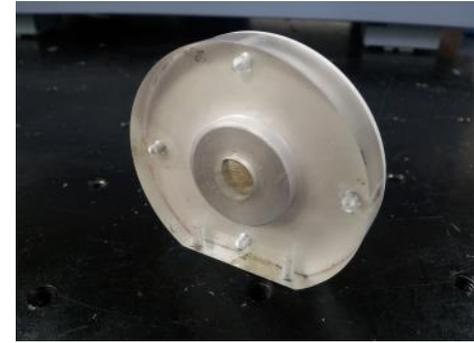
- 電離した電子をELCCに導く電場を作る。
- 銅のリング(x11)を積み、抵抗分割する。
- z方向に一様な電場を構成する。
- 電子がdriftする領域は $\phi=43, H=55\text{mm}$
- 有効領域は $28 \times 28 \times 55\text{mm}$



FEMMによる電場計算

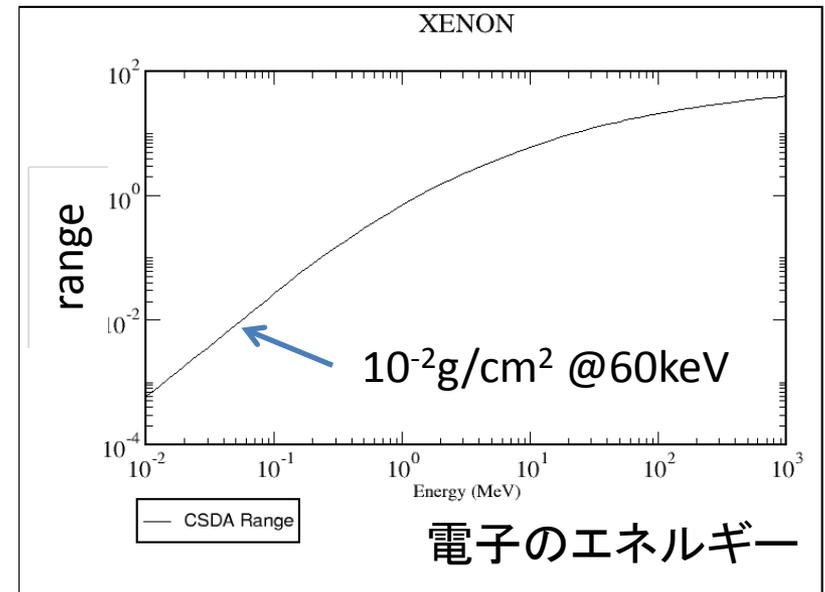
性能評価に用いる線源

- $^{241}\text{Am} \rightarrow ^{237}\text{Np}$ α 崩壊(半減期432年)に伴う、59.5keV γ 線



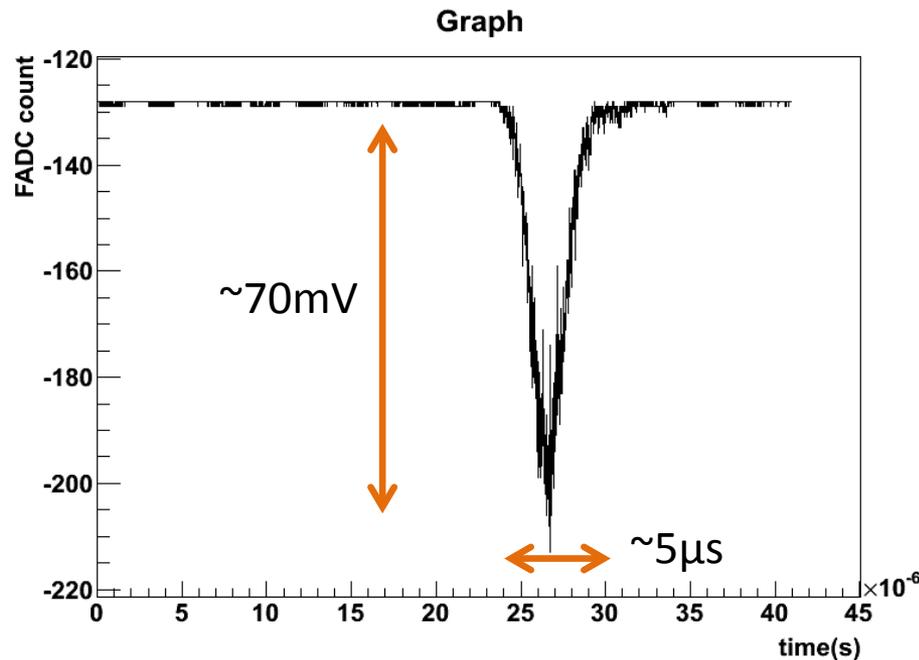
^{241}Am 線源

- 利点
 - γ 線なので、チェンバーの外部から当てることができる
 - 単一エネルギーである
 - 1atm Xe中での電子の飛程が短い(~1.7cm)



ELCC信号例

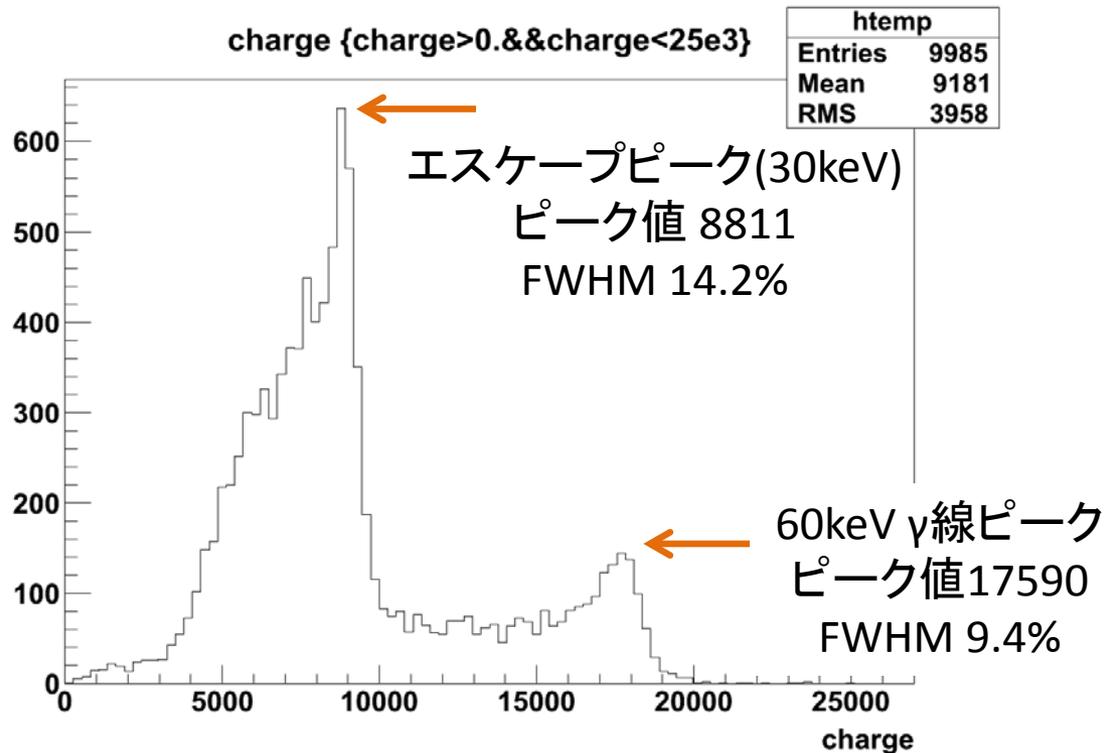
- 読み出しには100MHz FADC(CAEN V1724)を使用
- フィールドケージ内での電離電子のz方向の広がり($\sim 1\text{cm}$)に対して、ドリフト速度が $\sim 1 \times 10^5\text{cm/s}$ なので、信号幅は $\sim 10\mu\text{s}$ 程度と予想される。



60keV γ 線の信号
ver0に比べて、光量
が増えている

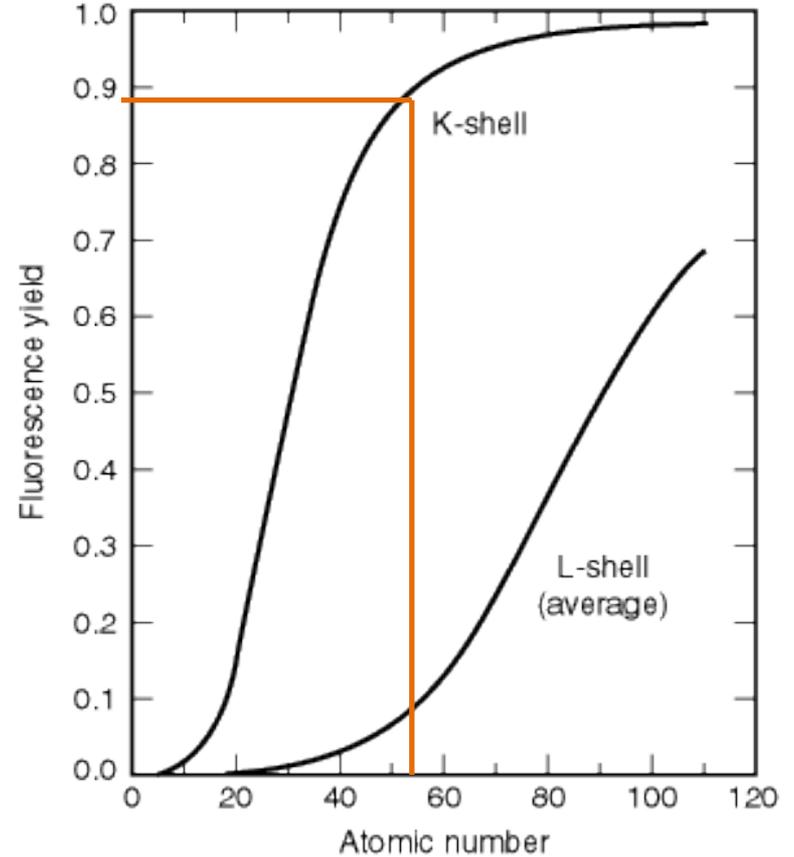
光量分布

- 2個のピークが見られる。-> 60keVピークとエスケープピーク(後述)
- 低値側に裾を引いているのはELCCの有効領域から漏れ出した電子の信号が失われたからであると考えられる。
- ピークの右側だけを用いてFWHMを概算評価した。



2個のピークについて

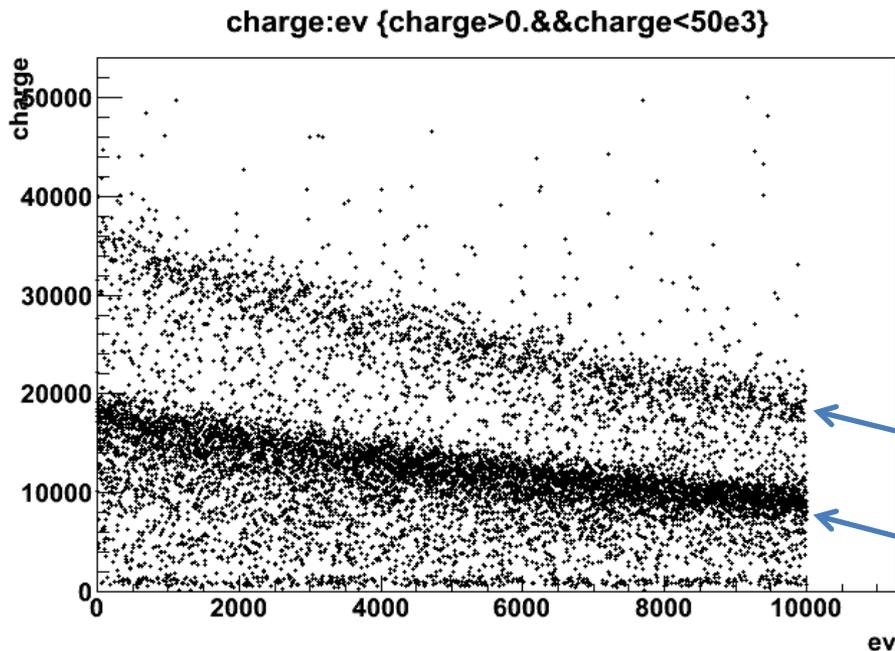
- Xeによる γ 線の光電吸収に続いて、特性KX線 (29.7keV)が放射されると、そのエネルギーだけ全エネルギーピークから低い場所にエスケープピークが現れる。
- 特性X線が放射される確率 (蛍光収率) はZに依存し、Xe(Z=54)では87%である。



蛍光収率 vs 原子番号
X-Ray Data Booklet

光量の問題

- chamber に Xe を導入すると、時間経過とともにELCCの光量が落ちる。



charge積分値 vs event number

daqを調整し、3607sかけて10000eventを取得

一時間で光量が約半分に落ちている

60keV γ 線ピーク

エスケープピーク(30keV)

Xeの純度

- PMT、ELCCからのアウトガス、フィードスルーのついたフランジからのリークにより、Xeの純度が悪化している可能性がある。
- 純度悪化による光量の減少
 - 電離電子の不純物ガスへの付着
 - Xe励起状態のクエンチ
$$\text{Xe}_2^* + \text{M} \rightarrow 2\text{Xe} + \text{M}$$
- 純度モニターの手法
 - Xe不純物によるdrift速度の変化(ELCC信号時間幅)を使う？

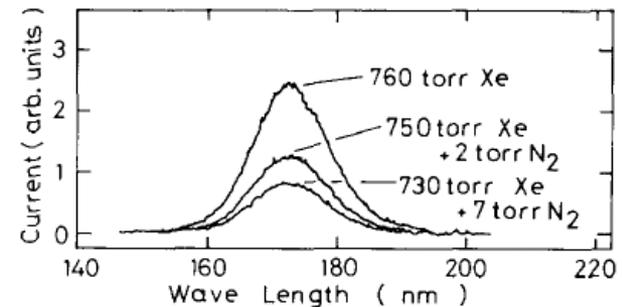
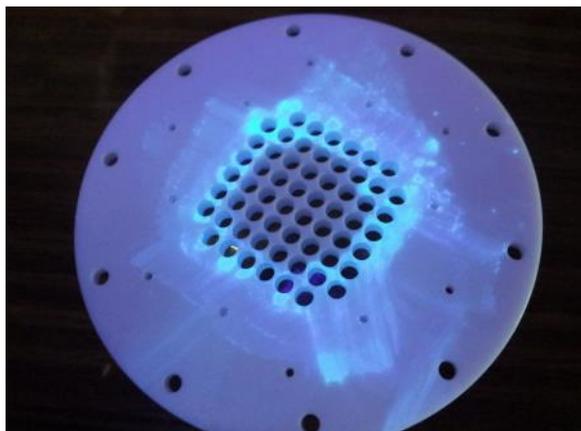


Fig. 8. Emission spectra of a N₂/730–760 Torr xenon gas proportional scintillation counter with an applied voltage of 1500 V.

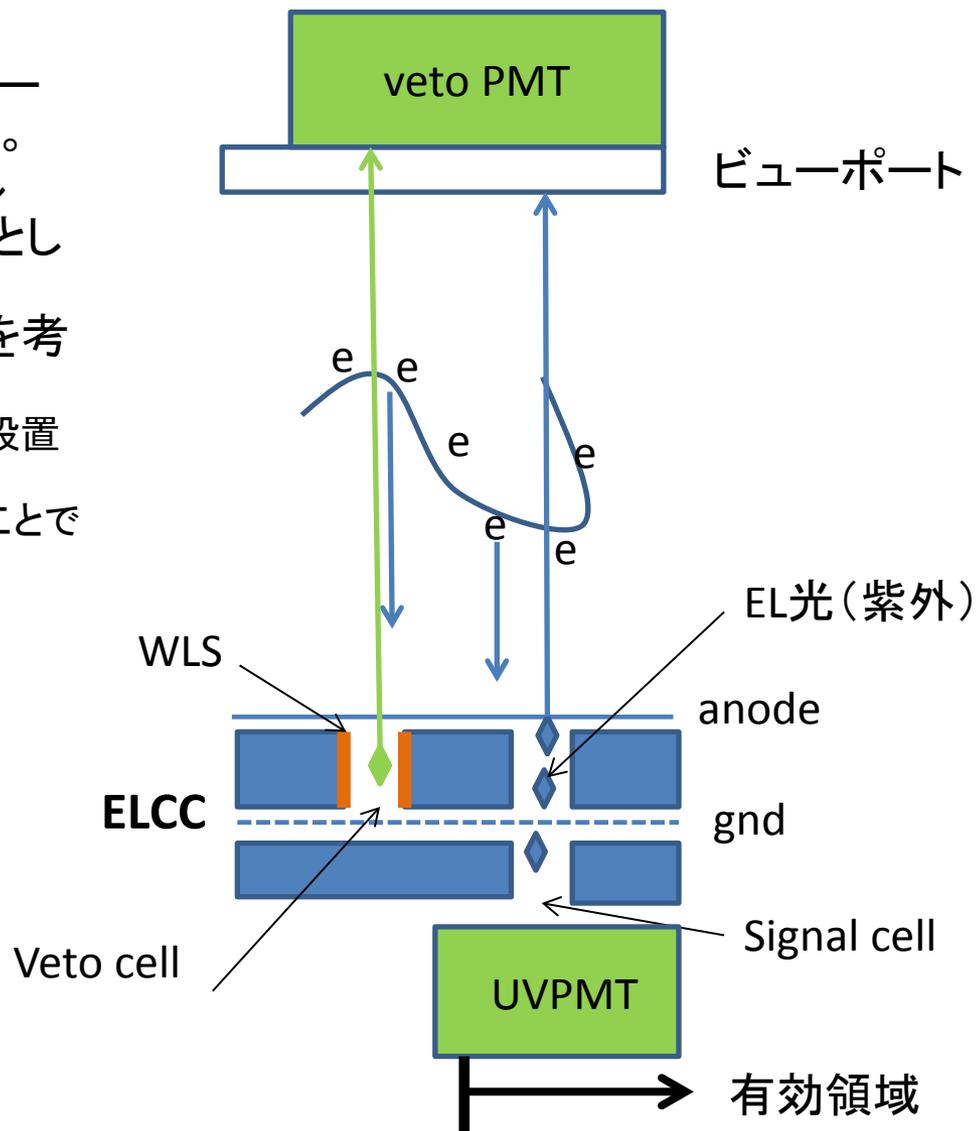
異なるN₂混合濃度によるXe比例シンチレーションの強度の変化
T.TAKAHASHI et al, Nucl. Instrum. Meth
205 (1983) 591

Vetoをかける

- ELCC外側一列のcellにwave length shifter(TPB) を塗り、chamberのビューポート越しにveto用PMTで観測する。
- veto用PMTが光ったときは全エネルギーが有効領域内に落ちていないとしてvetoする。
- 現状ではveto信号が見えず。対策を考慮中
 - WLSを塗ったフィルムをveto cell下に設置する
 - veto PMTを径の大きなものに代えることでアクセプタンスを良くする



ELCC外一列のcellにはwave length shifter を塗る



まとめと課題

- まとめ

- ELCC原理証明の第一歩として、 ^{241}Am 線源の60keV γ 線信号の観測および光量の測定を行った。
- 光量分布から分解能としてFWHM 9.4%@60keV(1.5%@2.48MeV)が得られた。

- 課題

- 真空のリーク、アウトガスに対処する。光量を安定させる
- Vetolによって、性能評価に不要なイベントをカットし、分解能を正確に評価する。
- anode-mesh間の電圧を上げる、読み出しにlow pass filterを入れるなどにより分解能が向上するかどうかを確認する。
- multi channel PMT や UV sensitive MPPC を用いて電子の2次元トラックを再構成する。
- 電子の収集の uniformity をシミュレーションする。

バックアップ

電子のdrift速度

- 電子のdrift速度は気体の圧力 p と印加する電場強度 E 、移動度 μ を用いて以下のように表される。

$$V = \mu \frac{E}{p}$$

- 1気圧Xeでdrift速度 $1 \times 10^5 \text{ cm/s}$ を得るために必要な電場強度は $E \sim 50 \text{ V/cm}$ である。

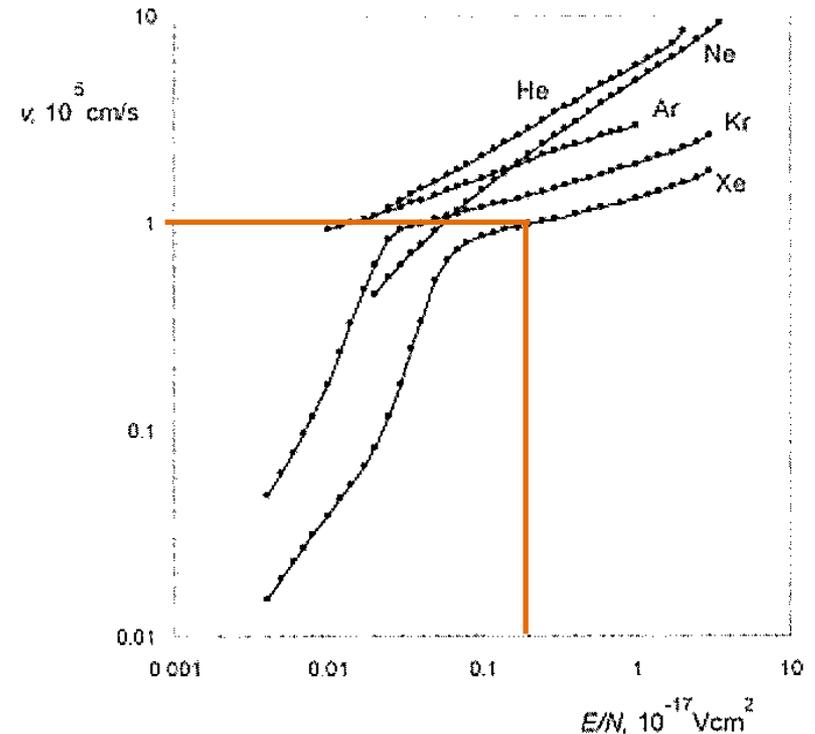
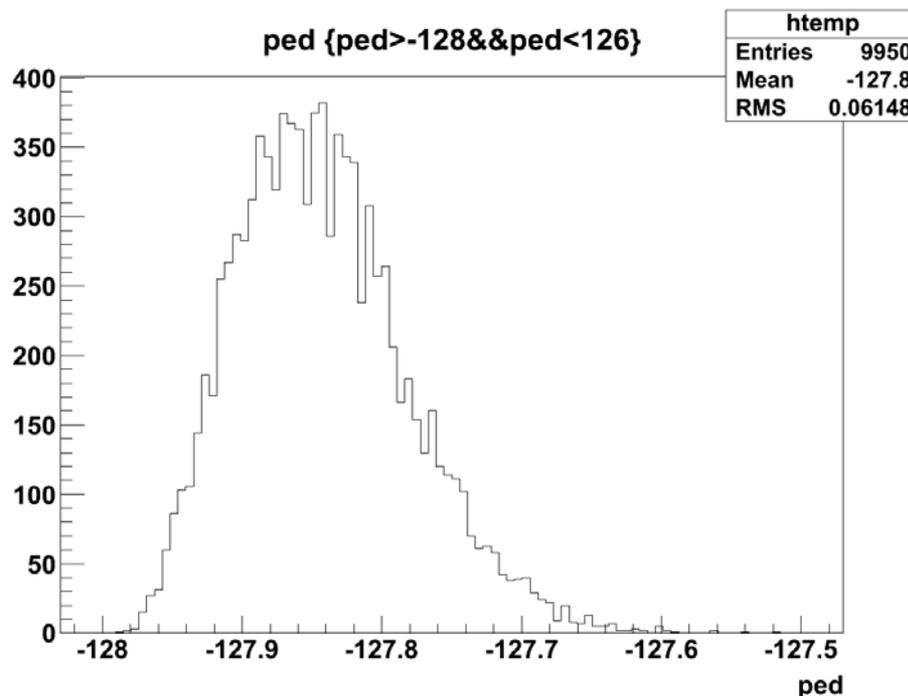


Fig. 3.1 Electron drift velocities plotted against a reduced electric field at a normal pressure in helium, neon, argon at $T = 293 \text{ K}$ (adopted from [83]) and in krypton, xenon at $T = 301 \text{ K}$ (adopted from [85]).

ペDESTALの安定性について

- clock generatorのNIM signalをトリガーとして10000イベントを取得し、ペDESTALを計測した。
- ペDESTALは~0.2%の程度で安定している。



ペDESTAL(mV)