



高圧XeガスTPC AXELの小型試作機 の高いエネルギー事象(500keV)に 対する応答理解

A京都大学 理学研究科
博士後期課程2年 A潘 晟

A市川温子、A中家剛、E南野彰宏、D中村輝石、A田中駿祐、A吉田将、A中村和広
A廣瀬昌憲、B関谷洋之、B中島康博、C上島考太、D身内賢太郎

B東京大学 宇宙線研究所、C東北大学 ニュートリノ科学研究センター、D神戸大学 粒子物理学研究室
E横浜国立大学 知能物理工学科

2018年3月25日 JPS年次大会@東京理科大

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 Tetra

2.2 Hex

3. まとめ

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 Tetra

2.2 Hex

3. まとめ

AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

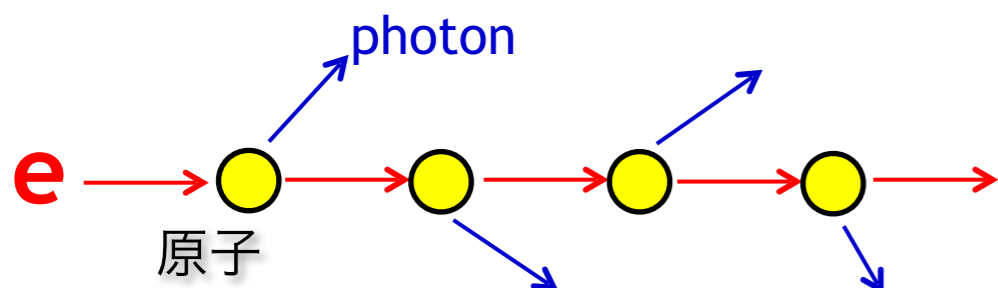
高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search

飛跡検出

(背景事象の除去)

電離信号の読み出し

- エレクトロルミネッセンス(EL)過程



掛けた電場に比例して増幅率が増加

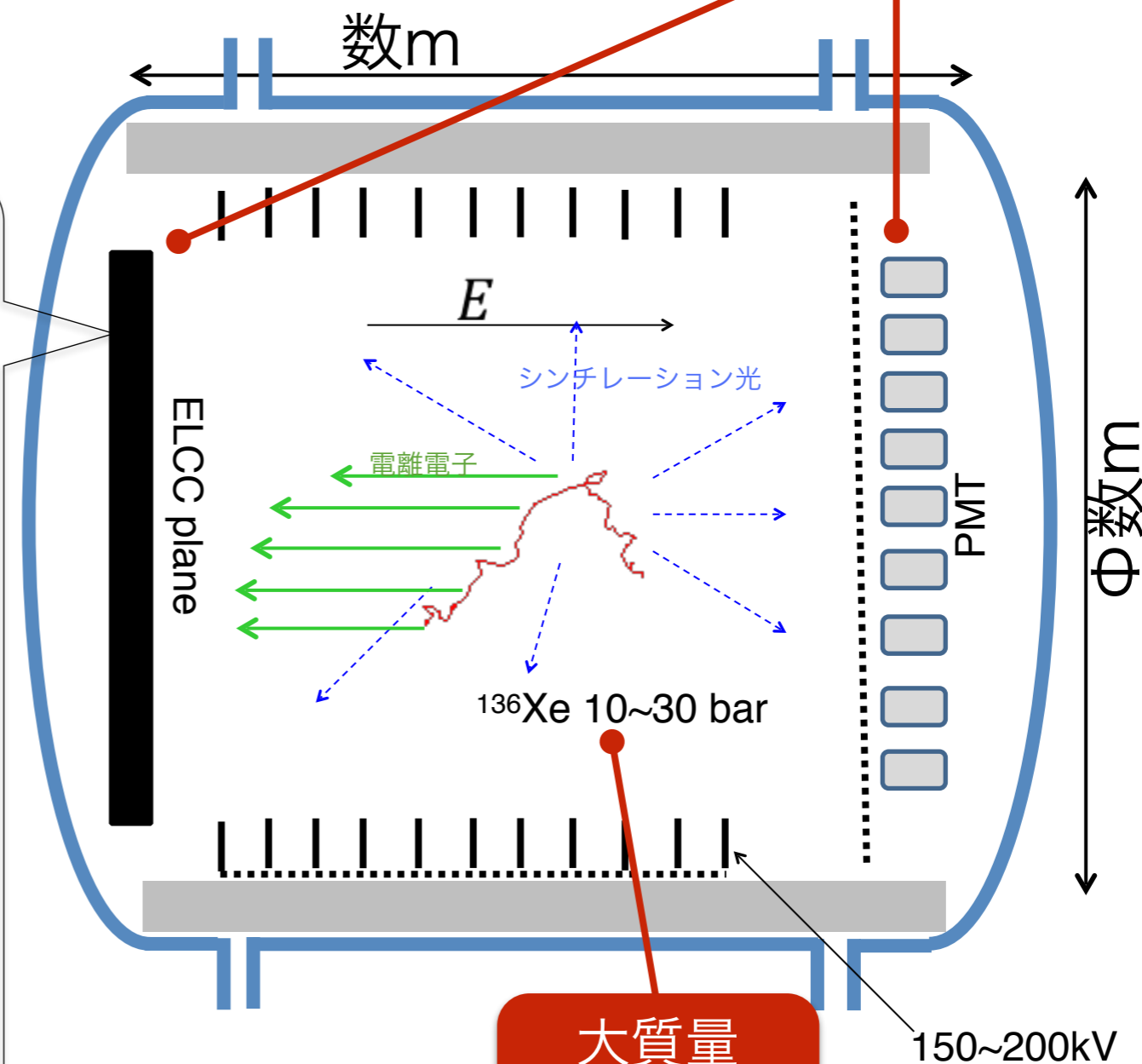
指数関数的増幅過程を伴わない

-> 増幅揺らぎが小さい

読み出し機構の詳細は次頁

高エネルギー分解能

-> 目標 : 0.5%FWHM @ Q値



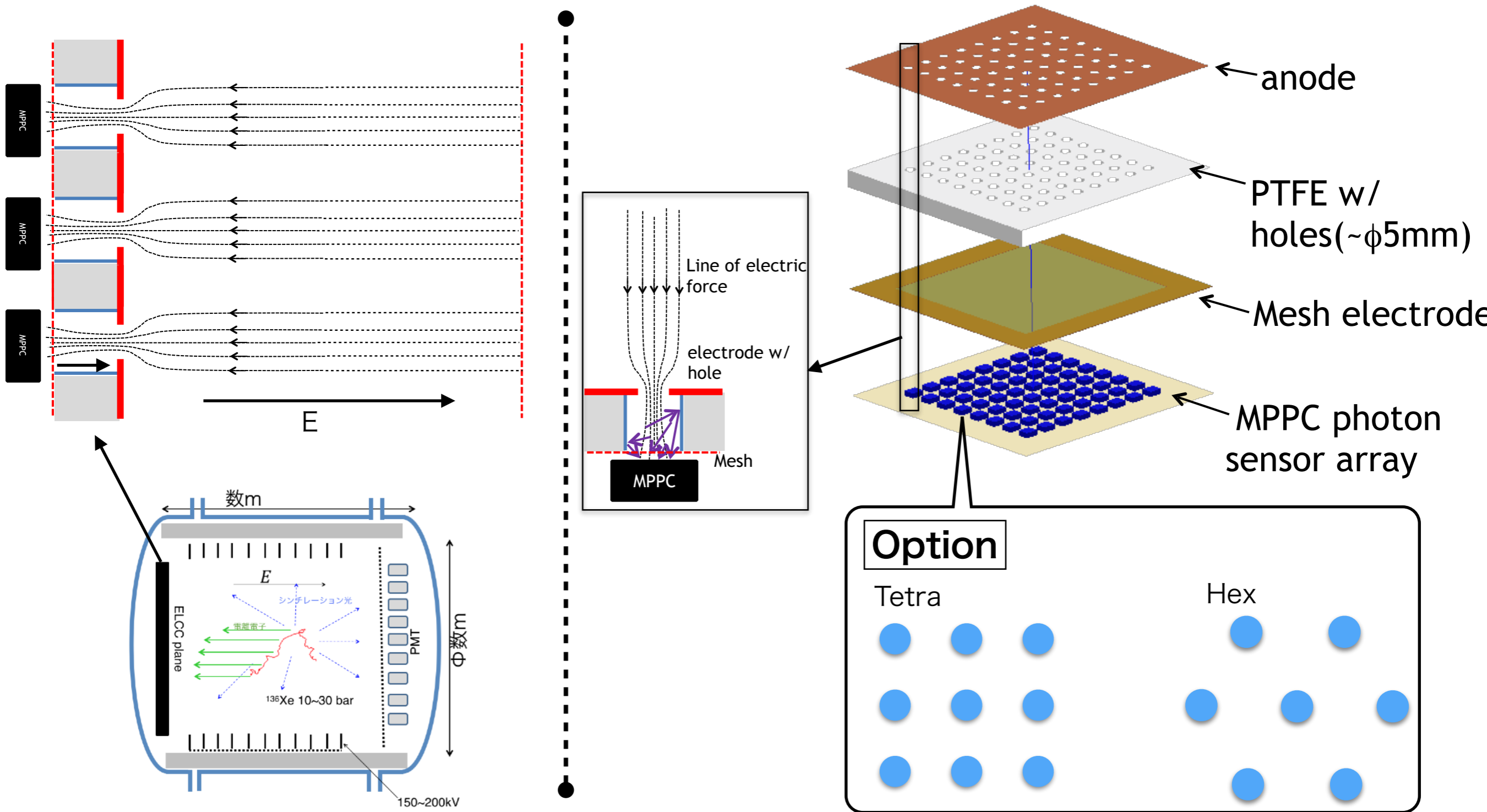
大質量

150~200kV

-> 約1トンの高圧 ^{136}Xe ガス

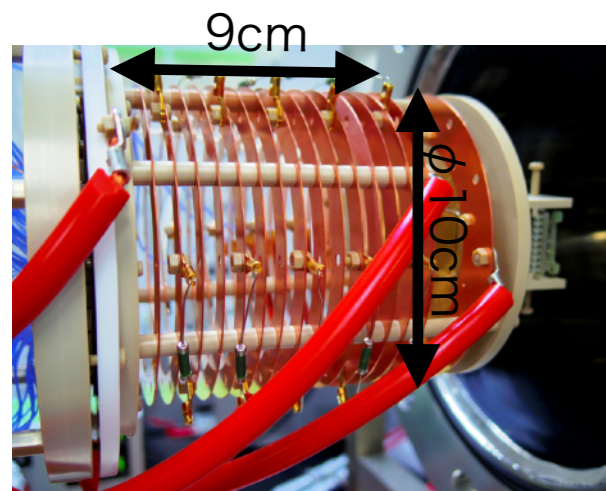
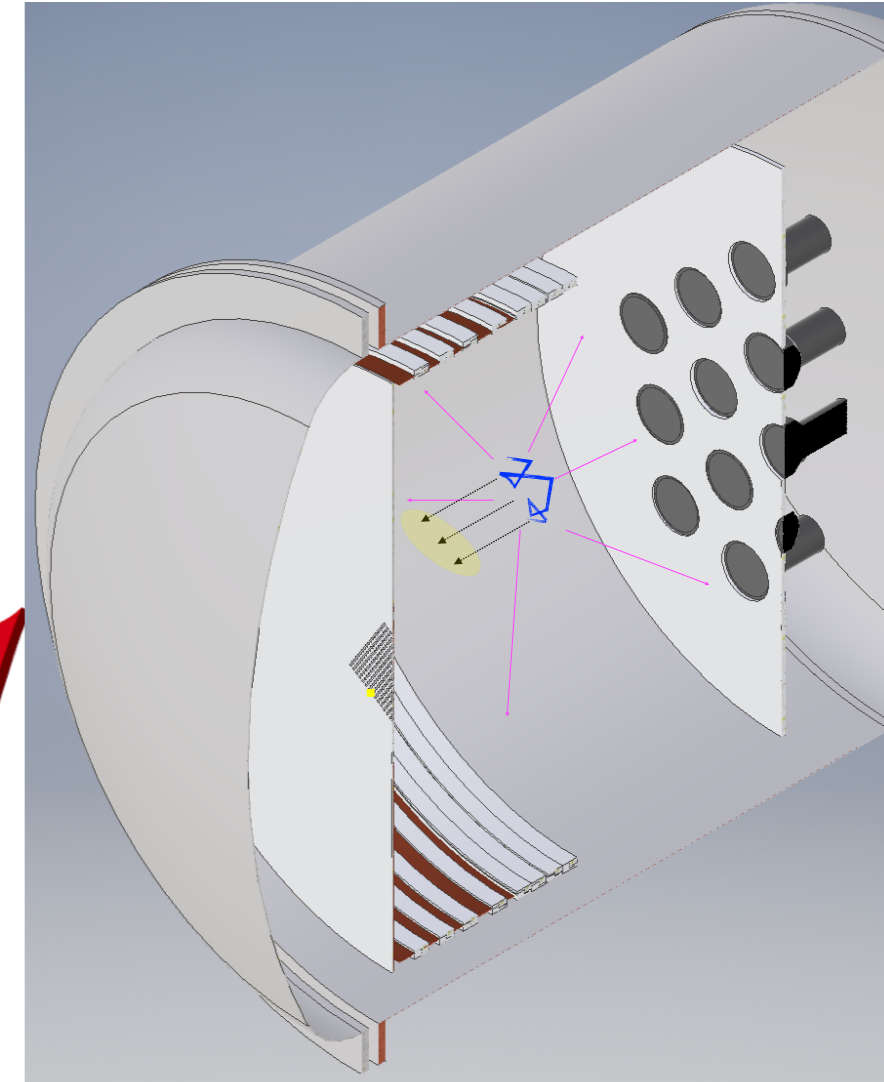
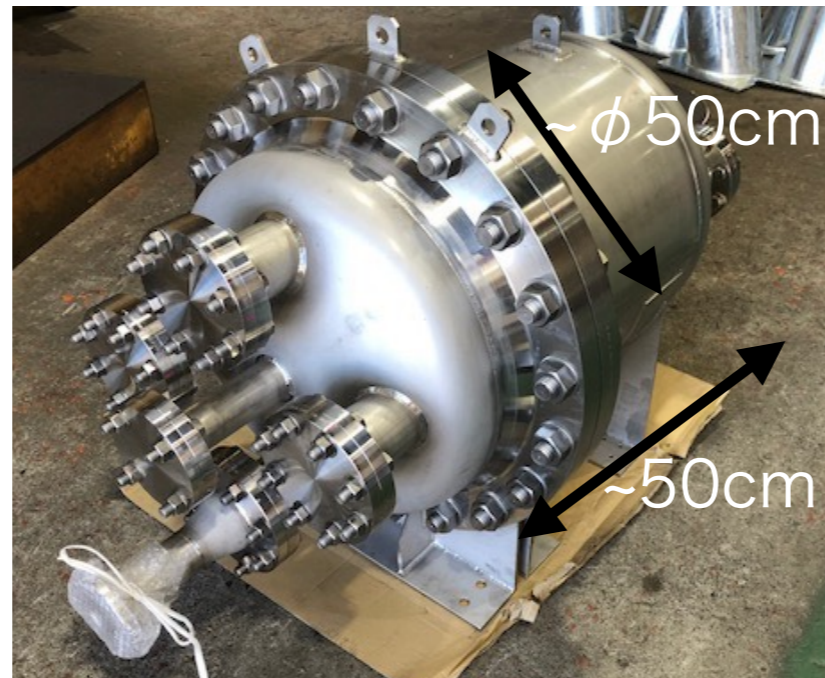
Electroluminescence Light Collection Cell (ELCC)

セル状の各領域でEL光を検出することで、エネルギー測定と飛跡検出を同時に行う
電気力線をセル内に引き込む構造なので、光量の位置依存性を軽減
堅い素材で構成されているため、大型化が容易(メッシュのたわみのような問題が無い)

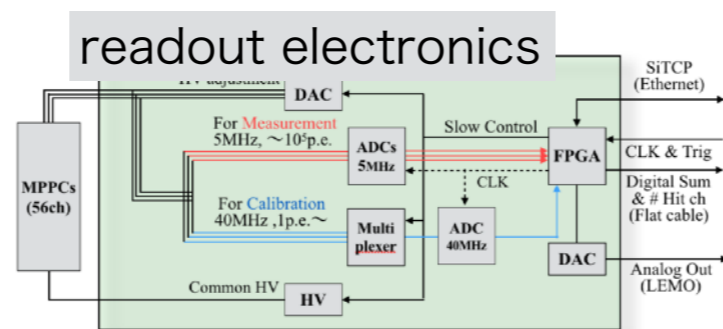


AXEL実験の計画

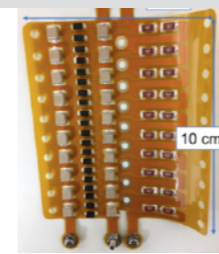
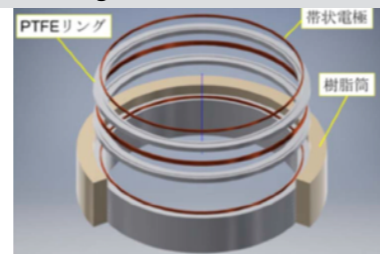
- 小型の試作機 (0.7L)による原理実証：NIM volume 875, p185-192
- 次期試作機にて大型化のノウハウ獲得およびQ値に近いエネルギーでの性能評価
- さらに崩壊核100kg級の検出器を製作、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索へ



本日の公演



study of Filed cage & CW array



100kg級検出器

search for $0\nu\beta\beta$!!

(イメージ図)

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 Tetra

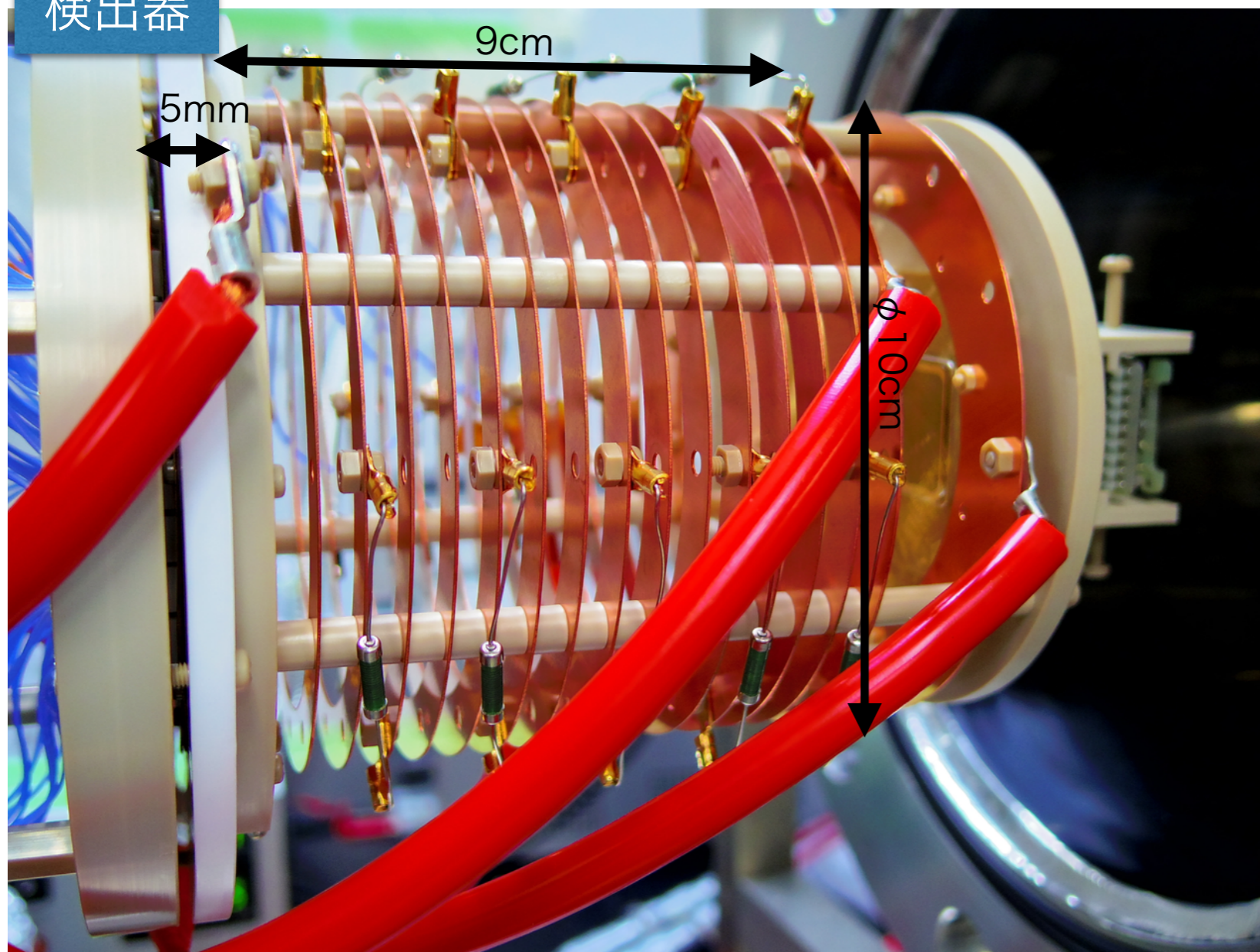
2.2 Hex

3. まとめ

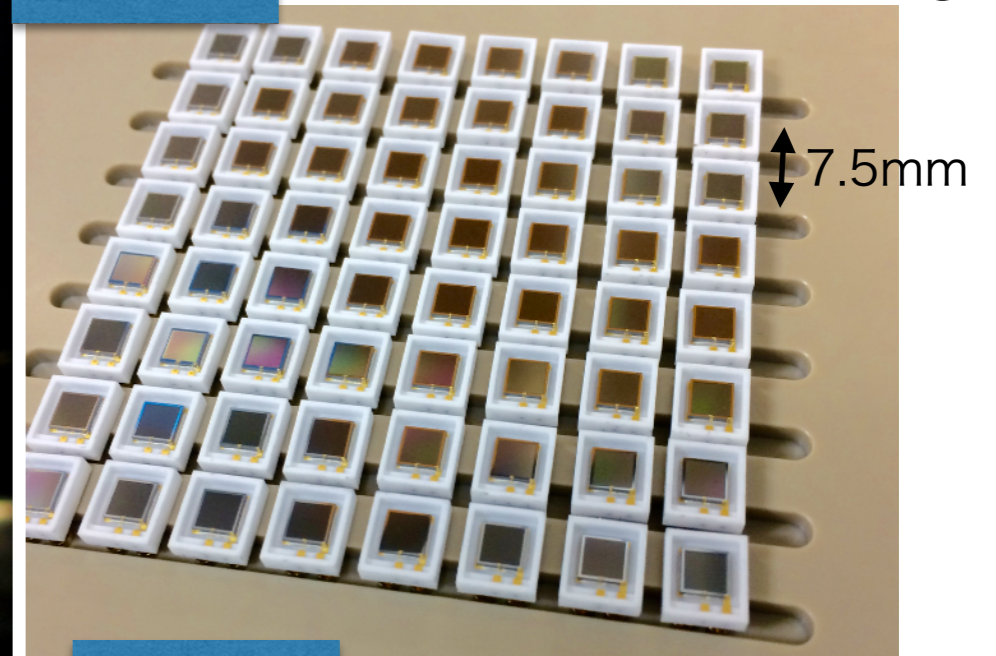
小型試作機：Tetra

有効領域： $\phi 10\text{cm}$ 、長さ 9cm 、 64ch の試作機を製作
比較的低いエネルギー($<500\text{keV}$)における分解能の評価が目的
MPPC(Cell)は四角形配置で 7.5mm -pitch、穴径 $\phi 5\text{mm}$

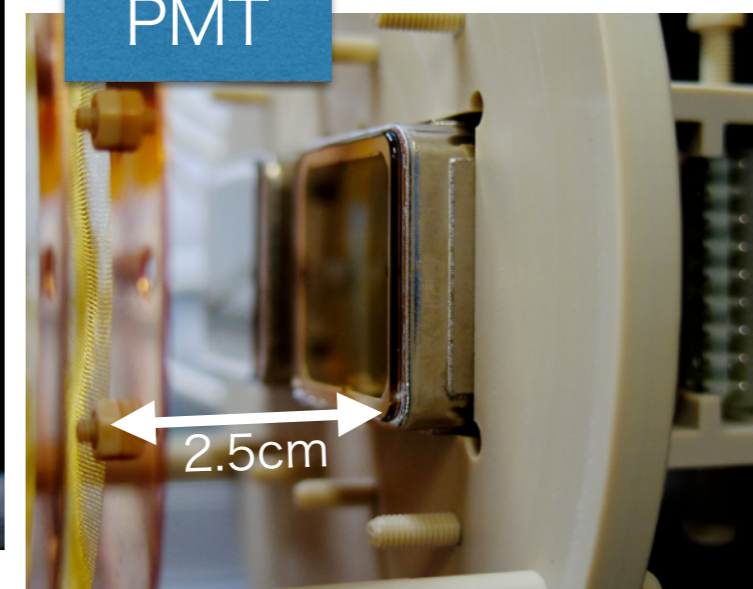
検出器



MPPC Sensitive to VUV light

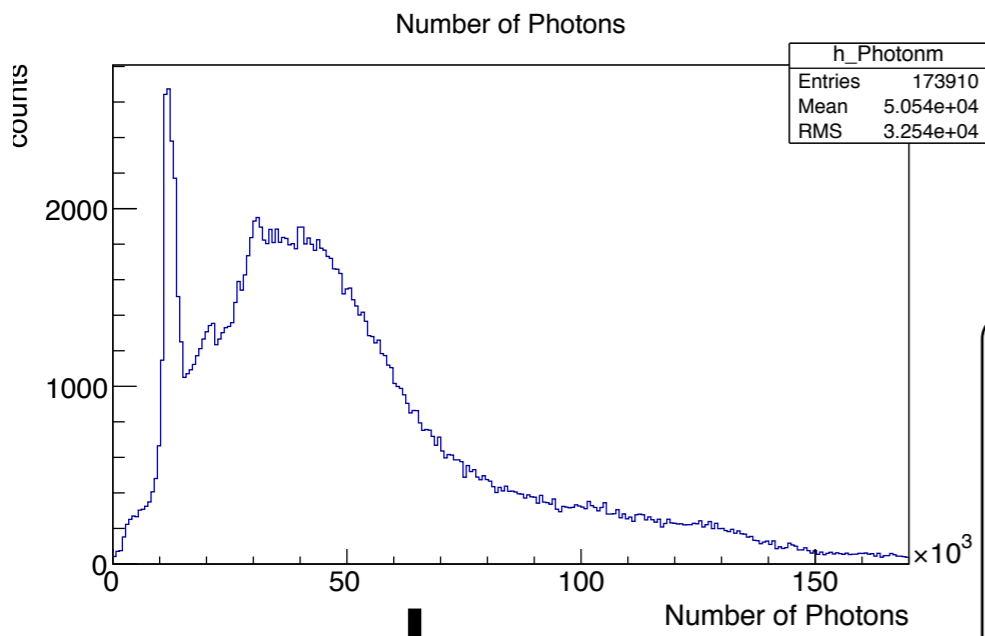


PMT

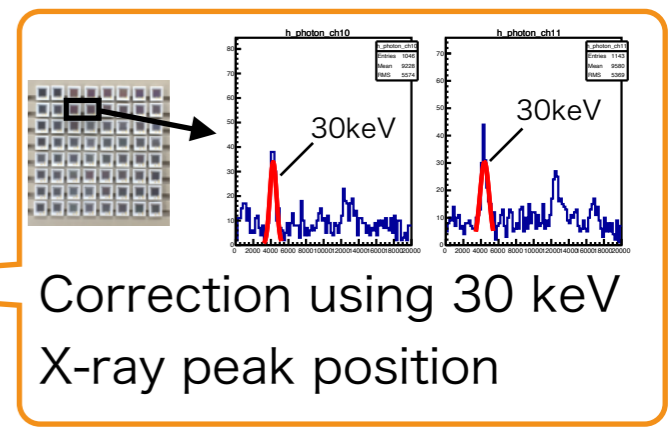


小型試作機 : Tetra

ガス : Xe 8 bar
 ドリフト電場 : 83 V/cm/bar
 EL電場 : 2.375 kV/cm/bar
 source : ¹³³Ba

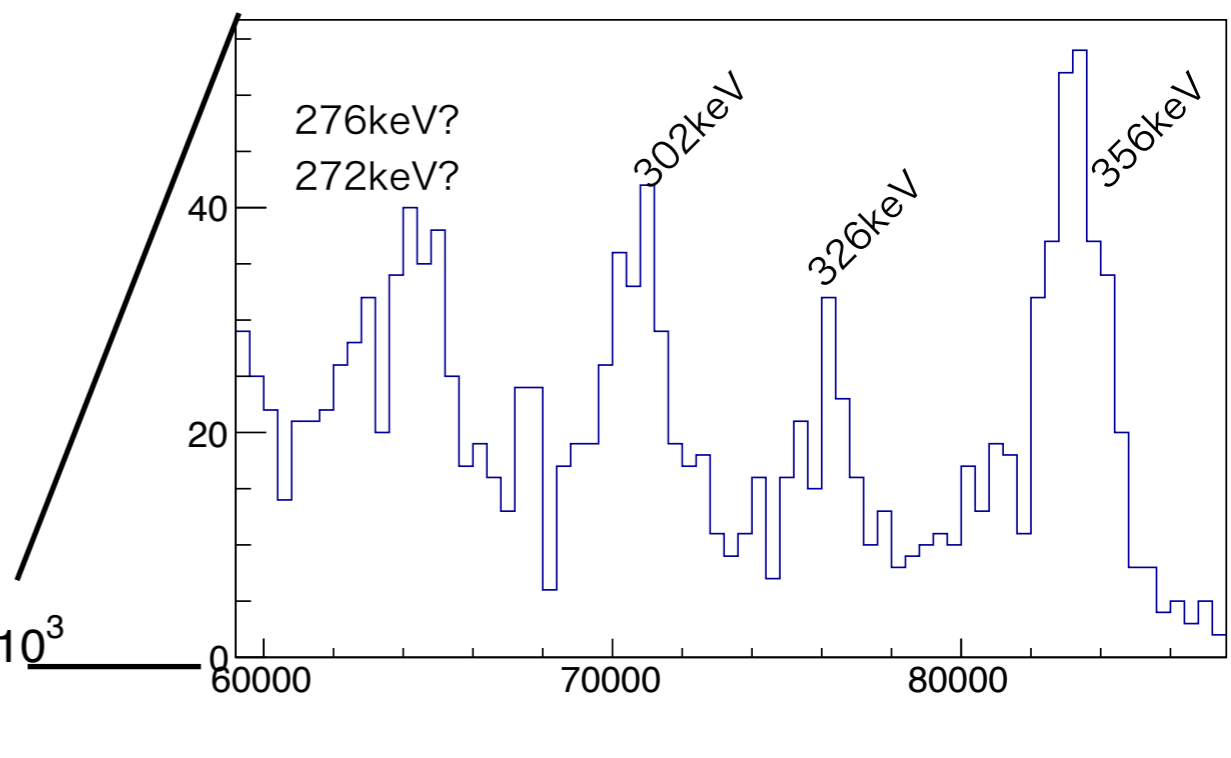
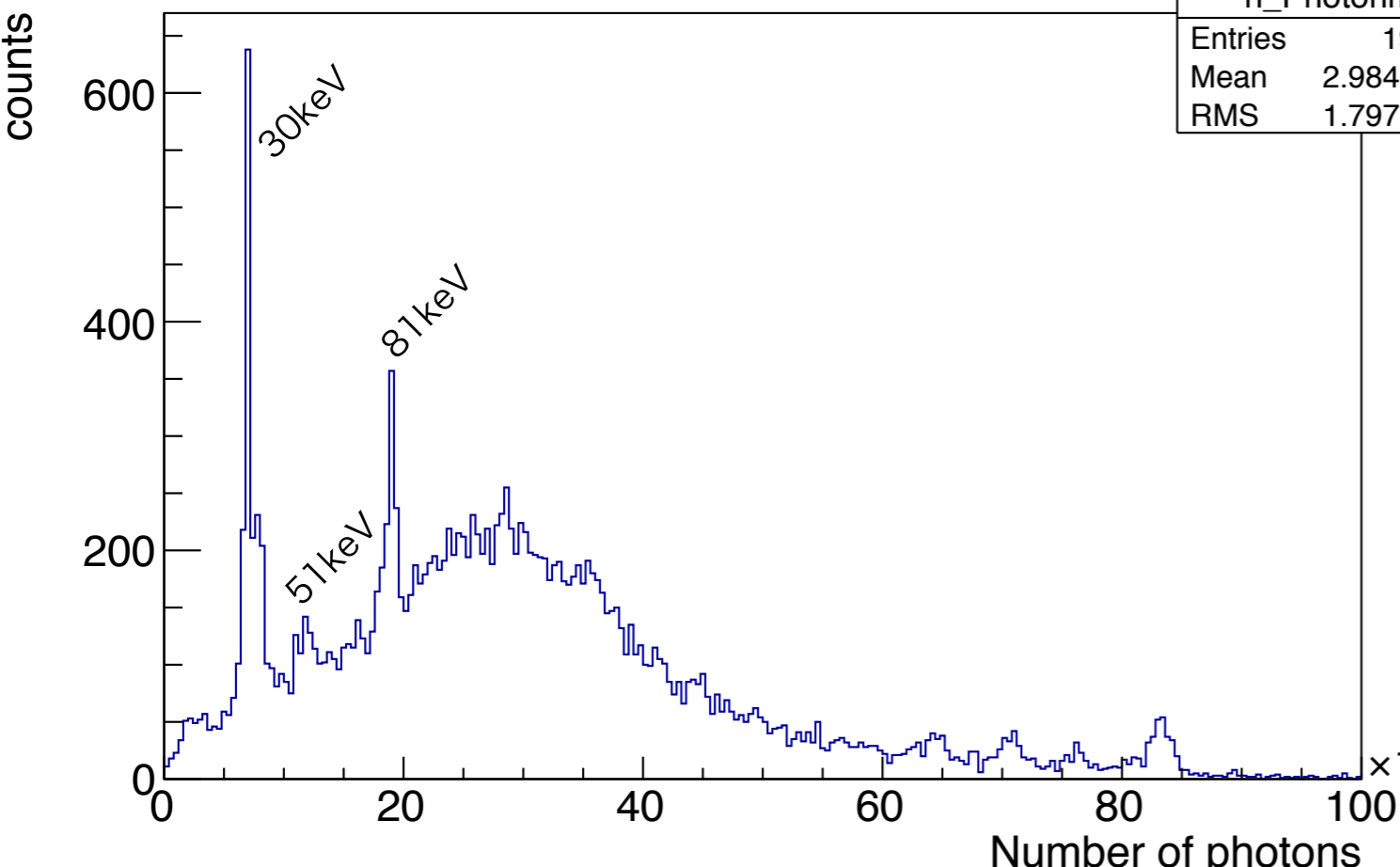


- Fiducial cut
- Saturated event → cut
- Cell gain calibration
- MPPC saturation correction
- etc.....



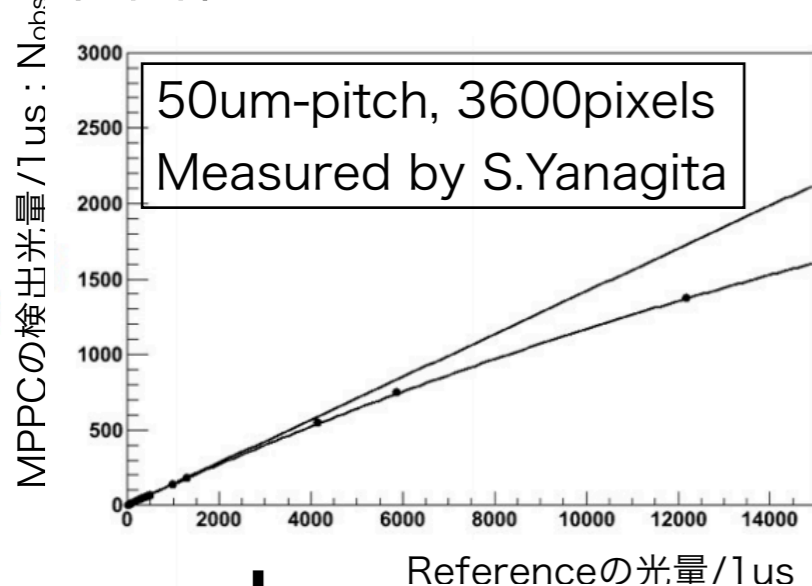
次ページで詳細

Number of photons



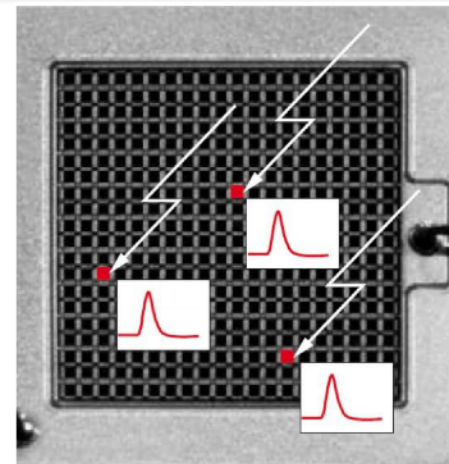
MPPC saturation correction

- 入射光子数がMPPCの総ピクセル数に近づくと、信号は飽和する
- 飽和曲線はMPPCのピクセルの回復時間によって決まっている

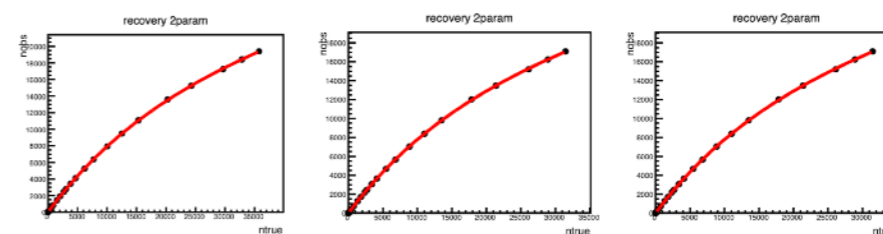
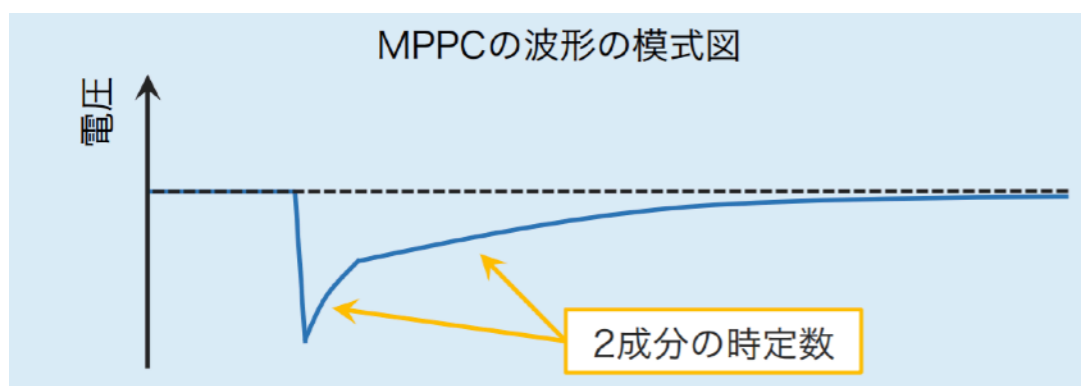


$$N_{obs} = \frac{N_{true}}{1 + k\tau}$$

kは単位ピクセル、単位時間あたりの光量
 τ が回復時間



- MPPCに2成分の時定数があることを仮定し、以下の修正したモデルを用いて補正



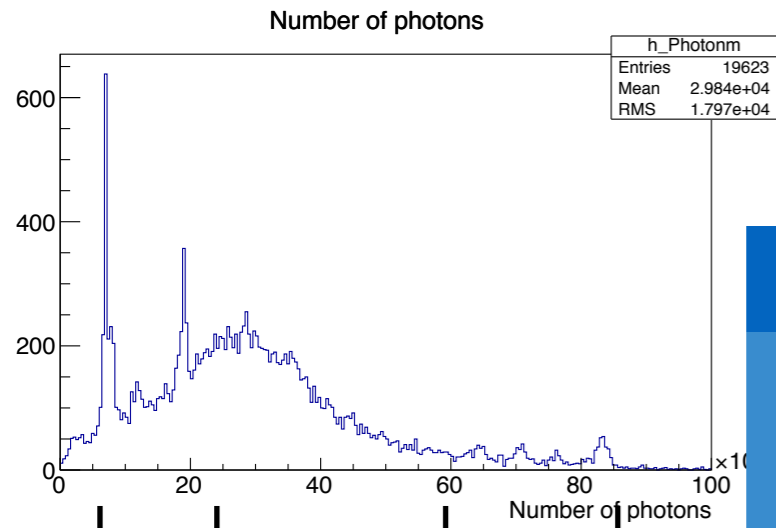
$$N_{obs} = \frac{\alpha N_{ref}}{1 + \tau_1 / (N_{pix} \cdot \Delta t) N_{ref}} + \frac{\beta N_{ref}}{1 + \tau_2 / (N_{pix} \cdot \Delta t) N_{ref}}$$

中村和広が64ch分の回復時間を測定、その結果を補正に反映：25aL401

ただし、測定条件と試作機の条件の違いから系統誤差を含む可能性がある：要確認

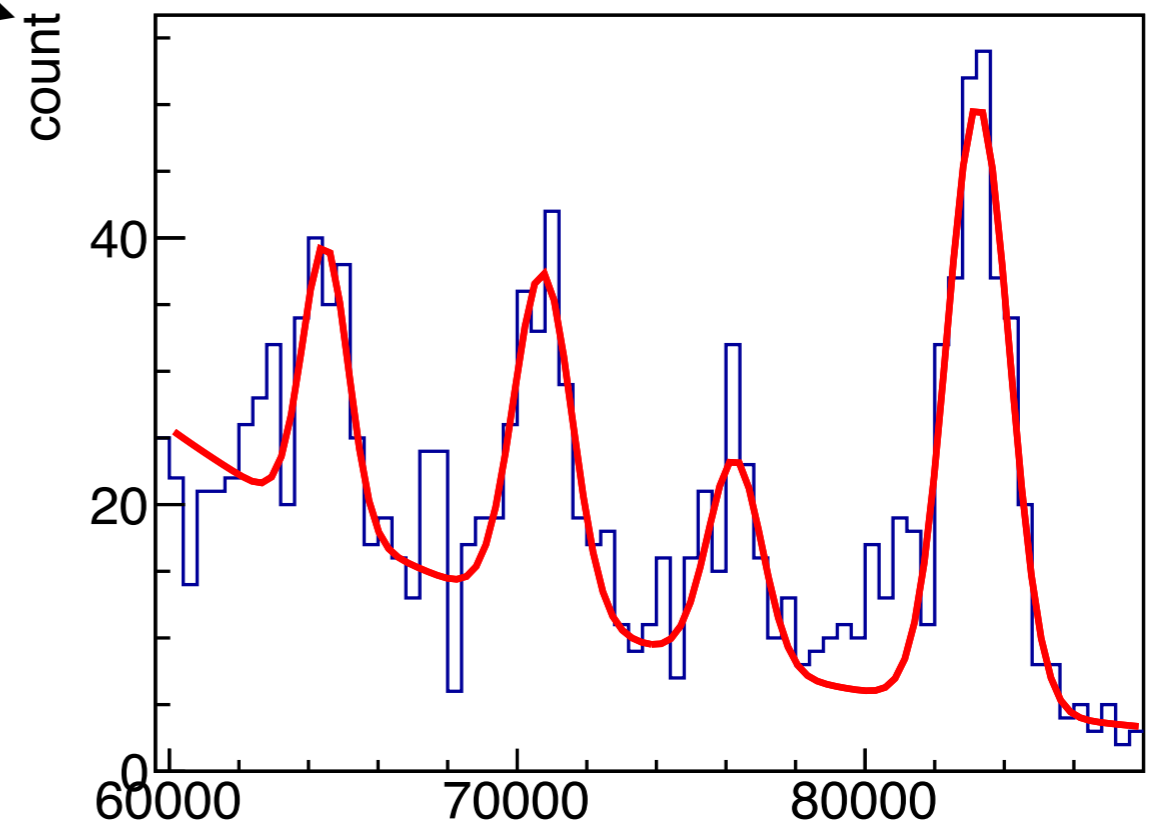
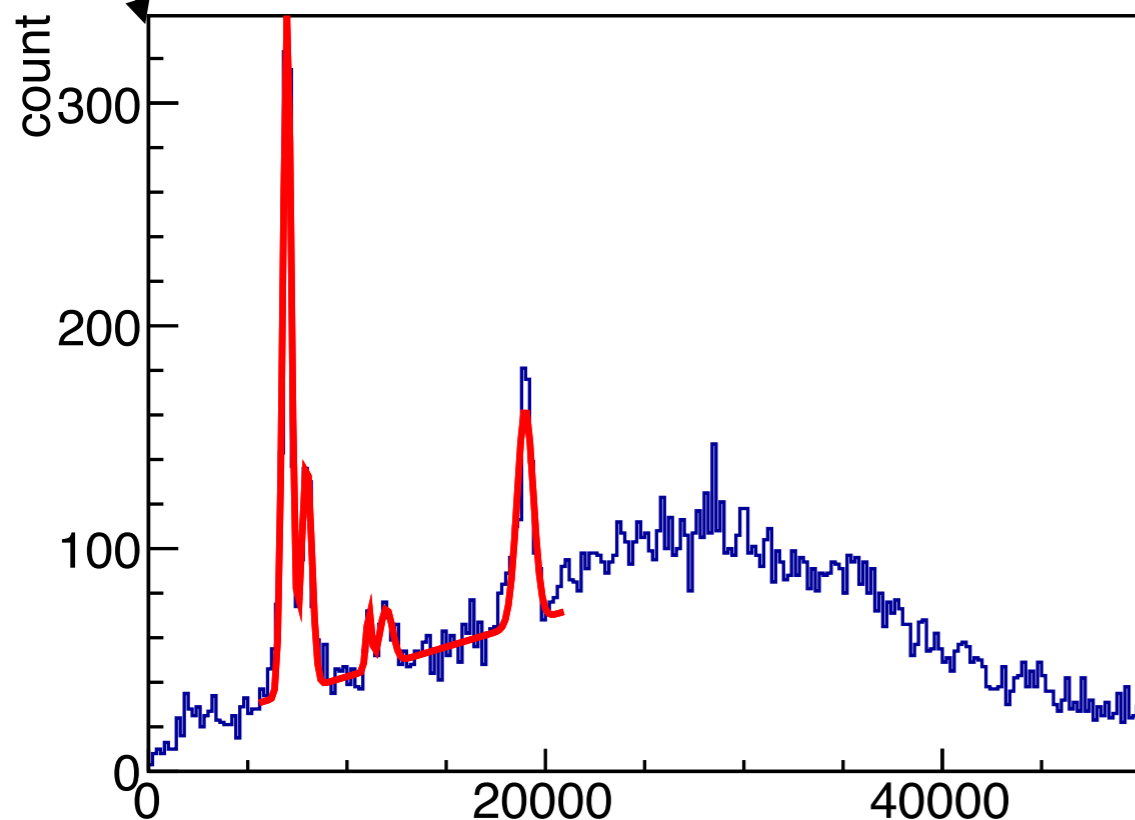
小型試作機：Tetra

それぞれのピークからエネルギー分解能を評価

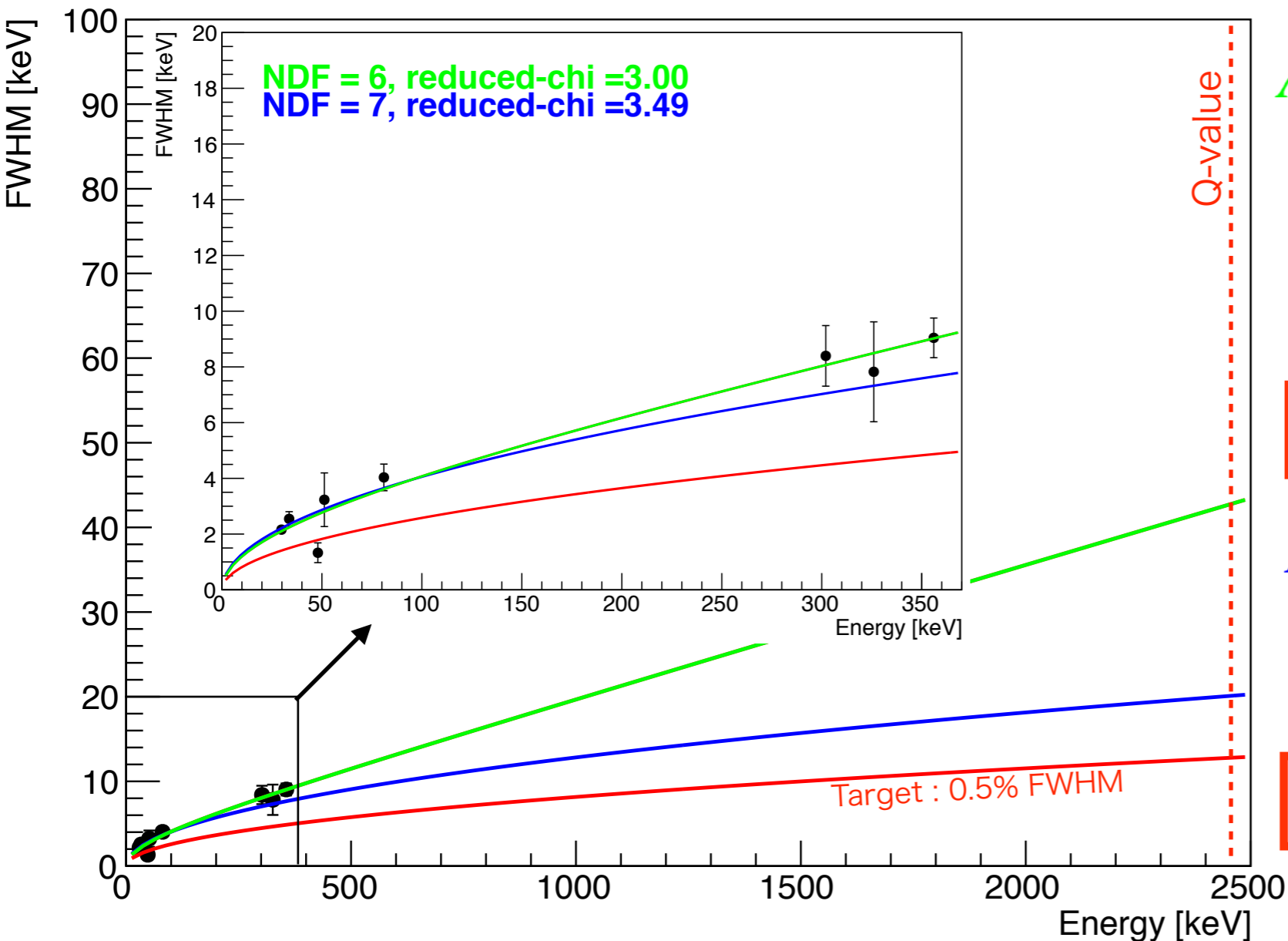


低エネルギー側は “ $\sum \text{Gaussian} + ax + b$ ” でフィット
高エネルギー側は “ $\sum \text{Gaussian} + \text{exp}$ ” でフィット

Energy [keV]	29.78	33.02	81	302	326	356
# of photons	6986.6	7967.8	18979.7	70740.2	76256.9	83241.9
FWHM [%]	7.25 ± 0.35	7.57 ± 0.77	4.98 ± 0.59	2.78 ± 0.36	2.40 ± 0.55	2.54 ± 0.20



小型試作機 : Tetra



$$A\sqrt{E + BE^2}$$

$$A = 0.376 \pm 0.0186$$

$$B = 0.002 \pm 0.0008$$

-> Extrapolate to Q-value

FWHM 1.74% (@2458keV)

$$A\sqrt{E}$$

$$A = 0.406 \pm 0.0140$$

-> Extrapolate to Q-value

FWHM 0.82% (@2458keV)

^{136}Xe の $0\nu\beta\beta$ 崩壊のQ値に外挿したエネルギー分解能は 0.82 ~ 1.74% (FWHM)

- エネルギーに一次で比例する成分の正体は特定には至らず
- さらに光量を上げることでエネルギー分解能は向上する可能性
(現在のnetのEL増幅率は~5.2倍)

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 Tetra

2.2 Hex

3. まとめ

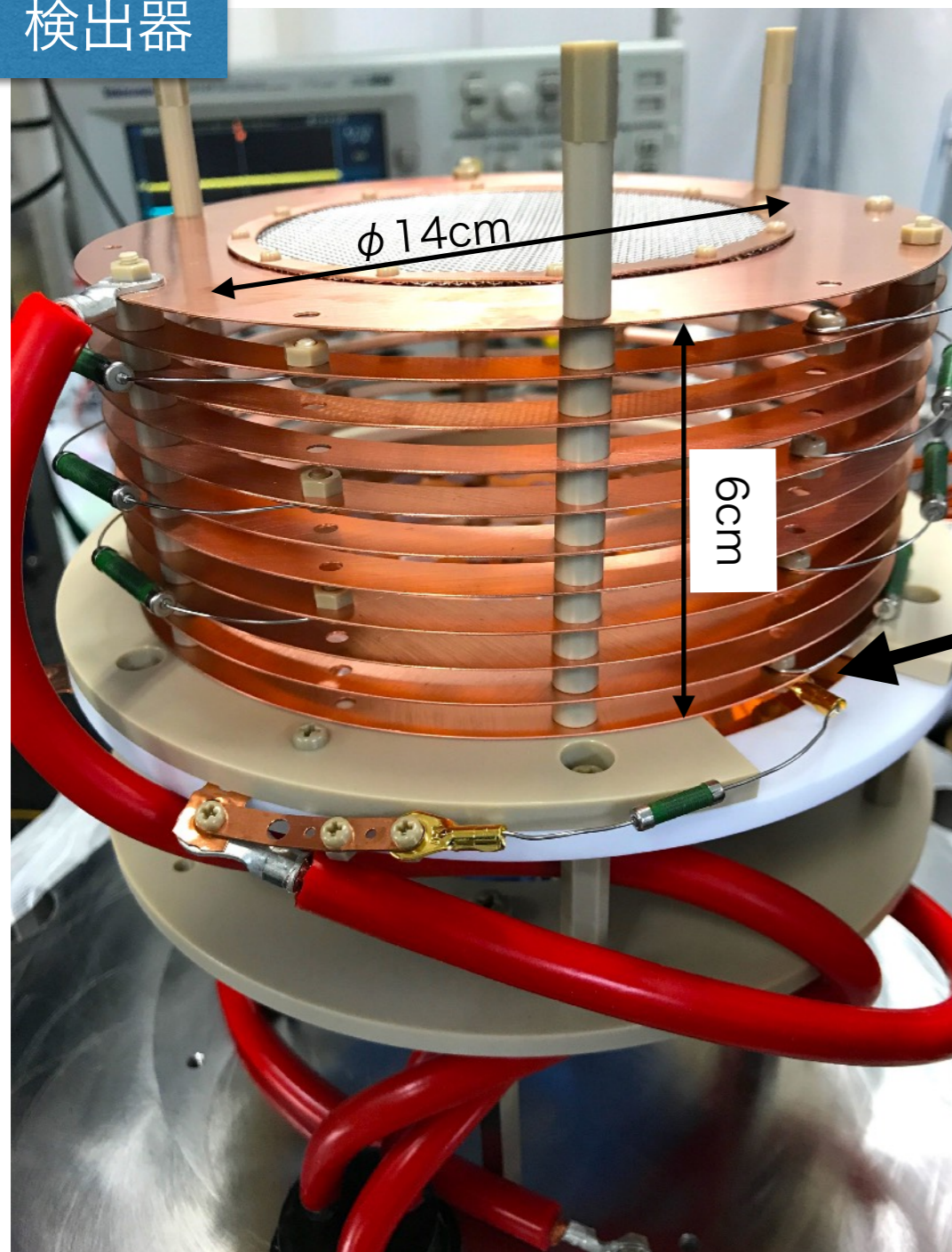
小型試作機：Hex

有効領域： $\phi 14\text{cm}$ 、長さ 6cm 、64chの試作機

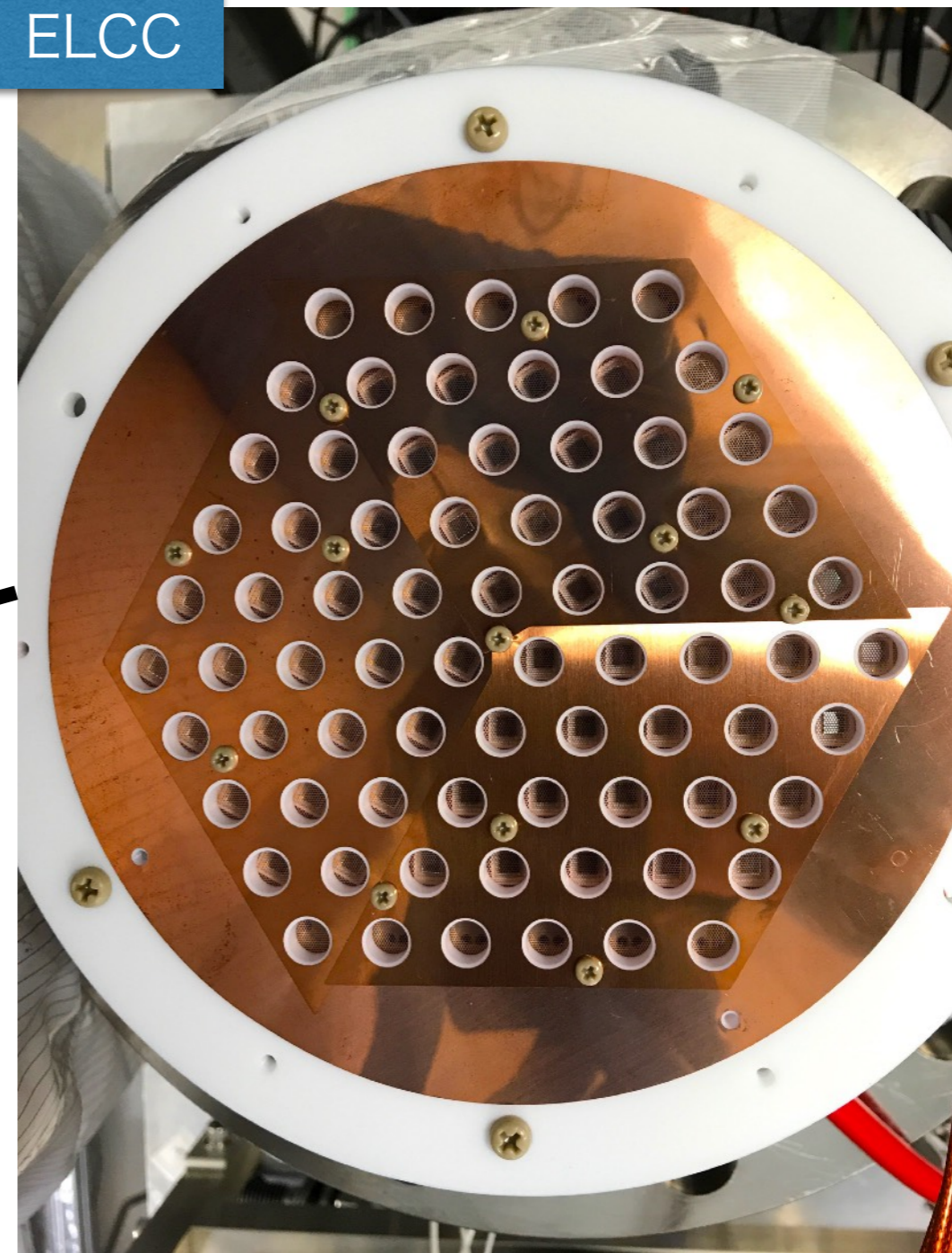
511keVにおける分解能の評価が目的

MPPC(Cell)は六角形配置で 13mm-pitch 、穴径 $\phi 7\text{mm}$

検出器



ELCC



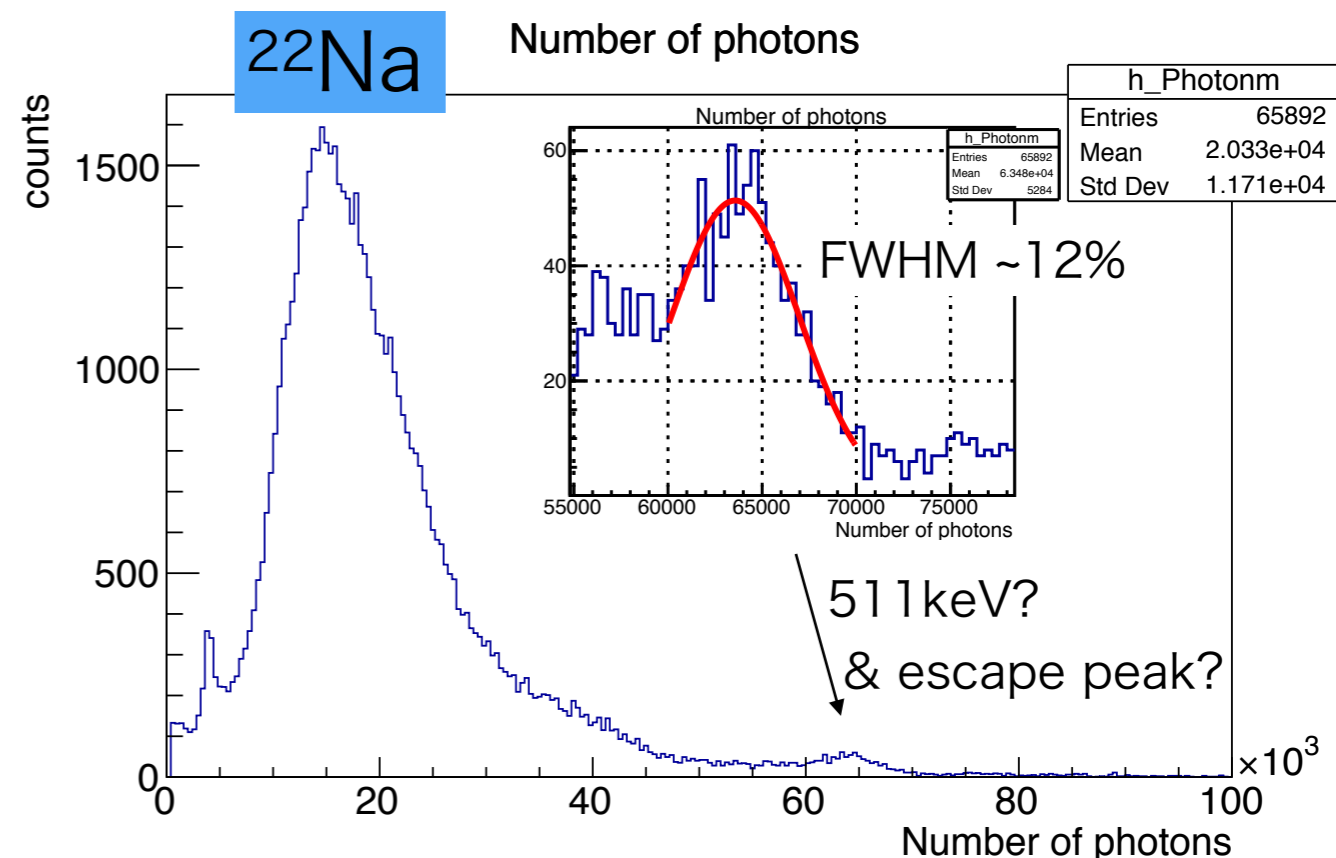
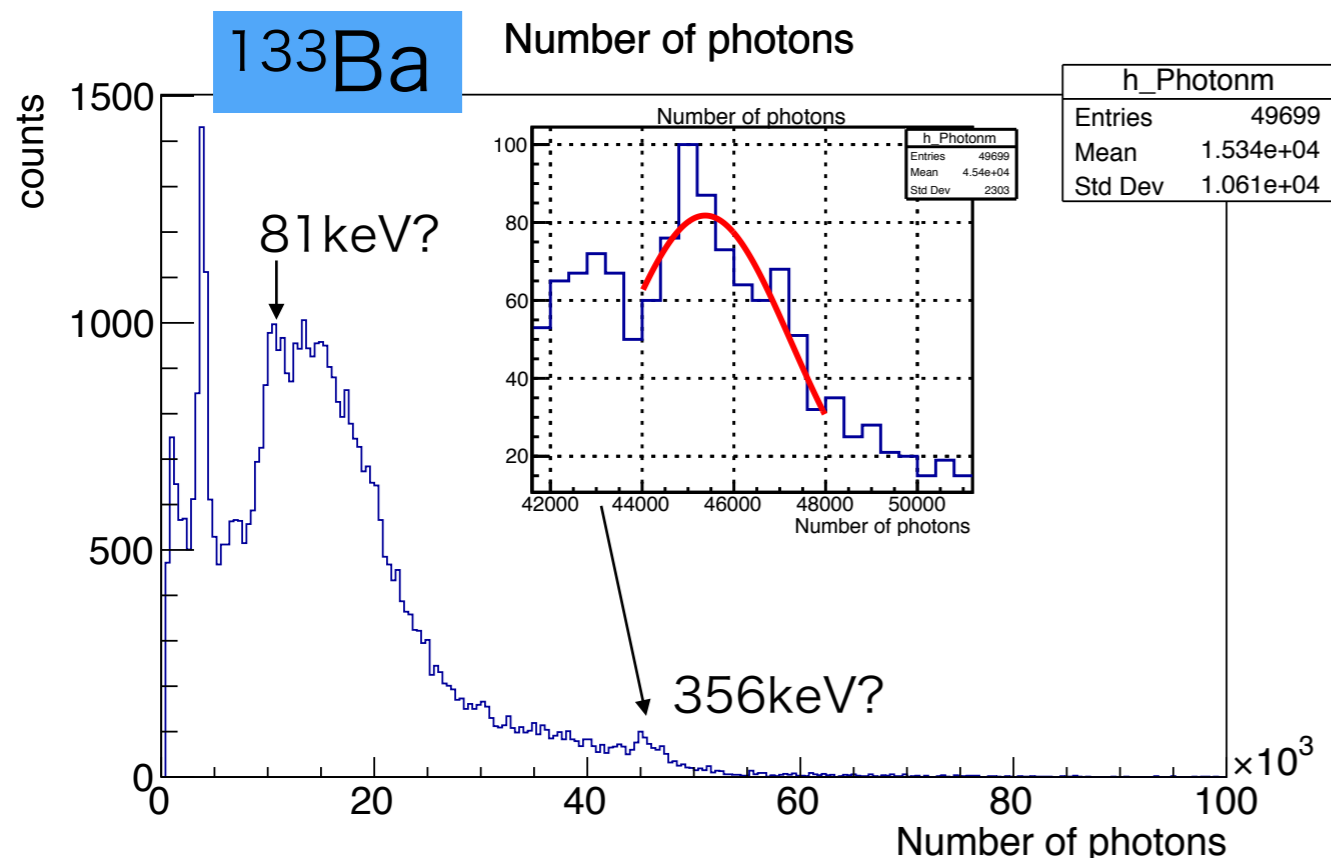
小型試作機：Hex

ガス : Xe 8 bar
ドリフト電場 : 80 V/cm/bar
EL電場 : 2.5 kV/cm/bar

- ^{133}Ba と ^{22}Na 線源を用いて性能評価
- ^{133}Ba 由来の356keVピークと ^{22}Na 由来のピークを観測(new)
- ただし、光量が少ないため、エネルギー分解能は良くない
 - メッシュの透過率の悪化
 - Cellの穴径が大きくなったことによるアクセプタンスの減少

などが原因と考えられる

→ 今後、PDEの高いMPPCの使用やメッシュ透過率をあげること及び、シミュレーションによる穴系の最適化等で対処する



1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 Tetra

2.2 Hex

3. まとめ

まとめ

大質量、高エネルギー分解能、トラッキングによるBG削減 の3つを兼ね備えた
高圧キセノンガス検出器AXELを開発中

小型の試作機を用いて性能を評価中

- 8気圧のキセノンガスで評価
- 四角形配置cell、有感領域 ϕ 10cm \times 9cm
 - ^{133}Ba 由来の356keVのガンマ線に対して2.54%(FWHM)の分解能
→ Q値のエネルギー分解能に外挿して**0.82 ~ 1.74 % (FWHM)**
- 六角形配置cell, 有感領域 ϕ 14cm \times 6cm
 - ^{133}Ba 由来の356keVピークと **^{22}Na 由来のピークを観測**
 - 光量が少ないためエネルギー分解能が良くない
 - 高いPDFのMPPCへの置き換えや各要素の光透過率を上げること等で光量up予定

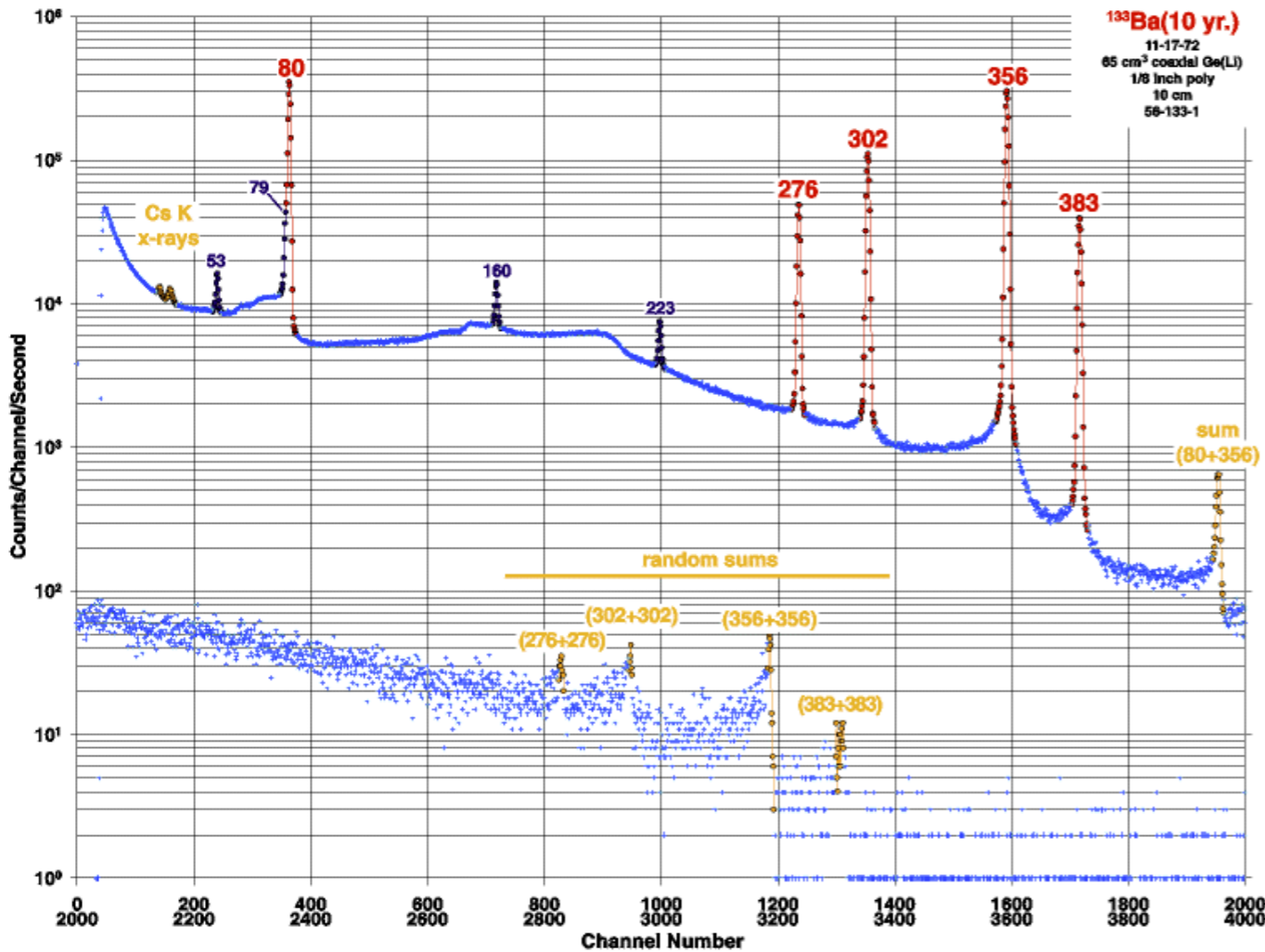
Back up

133Ba線源

ProtoType3

宇宙線研から133Baを借りる

メインで見えるのは、81keV, (302.8keV), 356keVのハズ

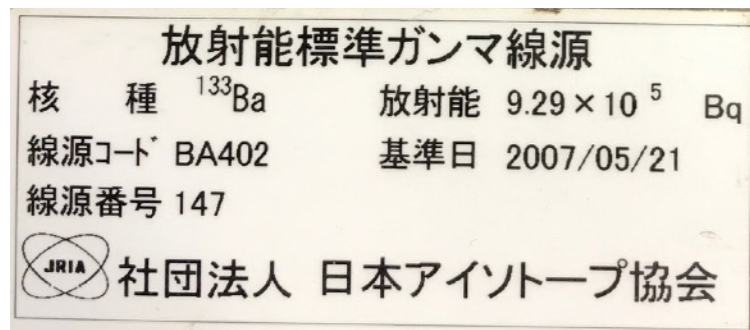


<http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ba133.shtml> より

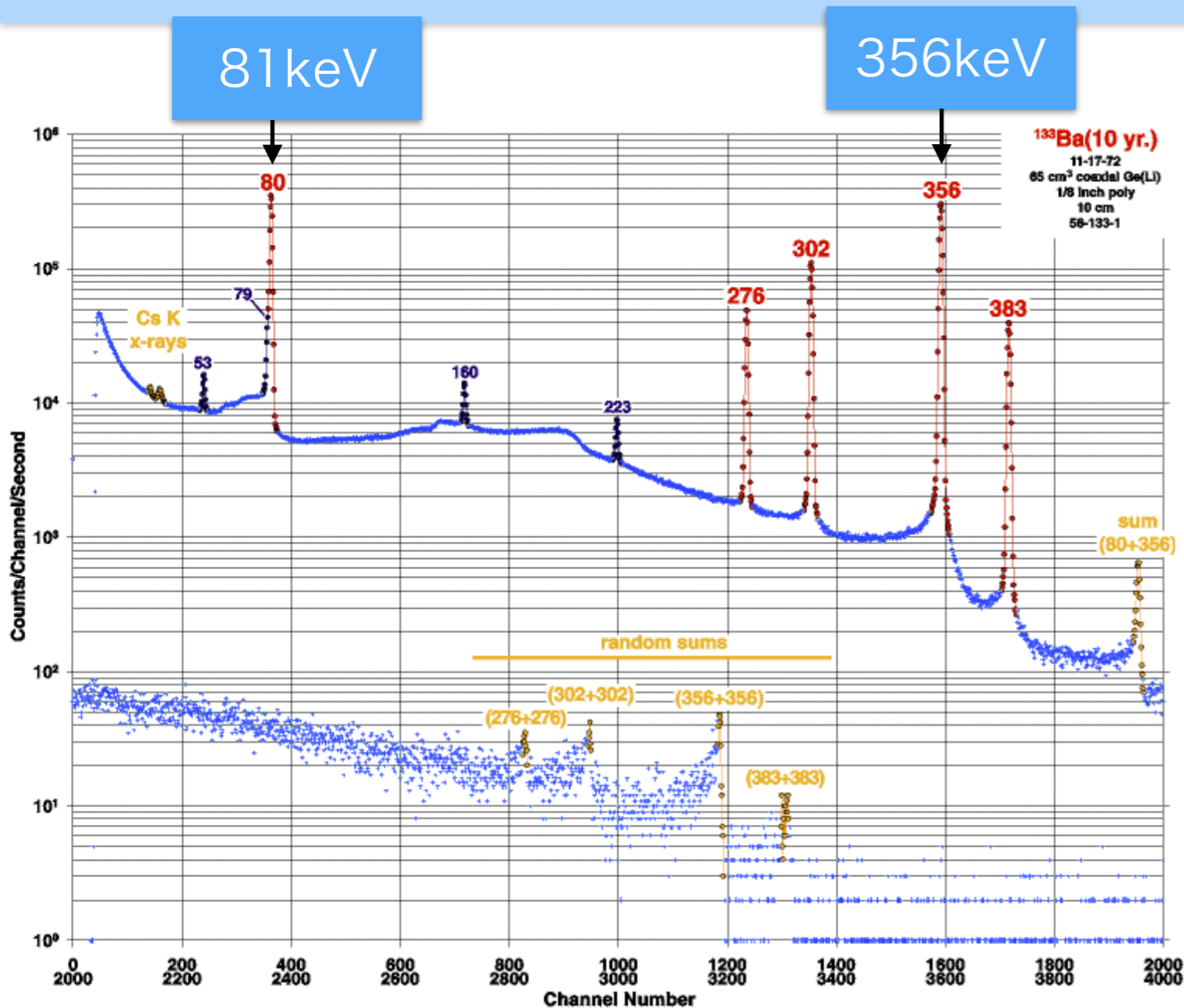
Gamma ray		X ray	
Energy (keV)	Intensity (%)	Energy (keV)	Intensity (%)
53.161	2.199	3.795	0.24
79.621	2.62	4.142	0.11
80.997	34.06	4.272	0.66
160.613	0.645	4.286	6
223.398	0.45	4.62	3.8
276.398	7.164	4.649	0.56
302.853	18.33	4.717	0.93
356.017	62.05	4.781	0.048
383.851	8.94	4.934	1.19
		5.281	0.54
		5.542	0.15
		5.553	0.22
		30.27	0.00401
		30.625	34.9
		30.973	64.5
		34.92	5.99
		34.987	11.6
		35.252	0.123
		35.818	3.58
		35.907	0.74

宇宙線研から借りた線源

→ 現在は約500kBqくらいのハズ(半減期~10年)



^{133}Ba 線源について



<http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ba133.shtml> より

Gamma ray	
Energy (keV)	Intensity (%)
53.161	2.199
79.621	2.62
80.997	34.06
160.613	0.645
223.398	0.45
276.398	7.164
302.853	18.33
356.017	62.05
383.851	8.94

X ray	
Energy (keV)	Intensity (%)
3.795	0.24
4.142	0.11
4.272	0.66
4.286	6
4.62	3.8
4.649	0.56
4.717	0.93
4.781	0.048
4.934	1.19
5.281	0.54
5.542	0.15
5.553	0.22
30.27	0.00401
30.625	34.9
30.973	64.5
34.92	5.99
34.987	11.6
35.252	0.123
35.818	3.58
35.907	0.74

- メインで見えるのは(分岐比が大きいのは)、

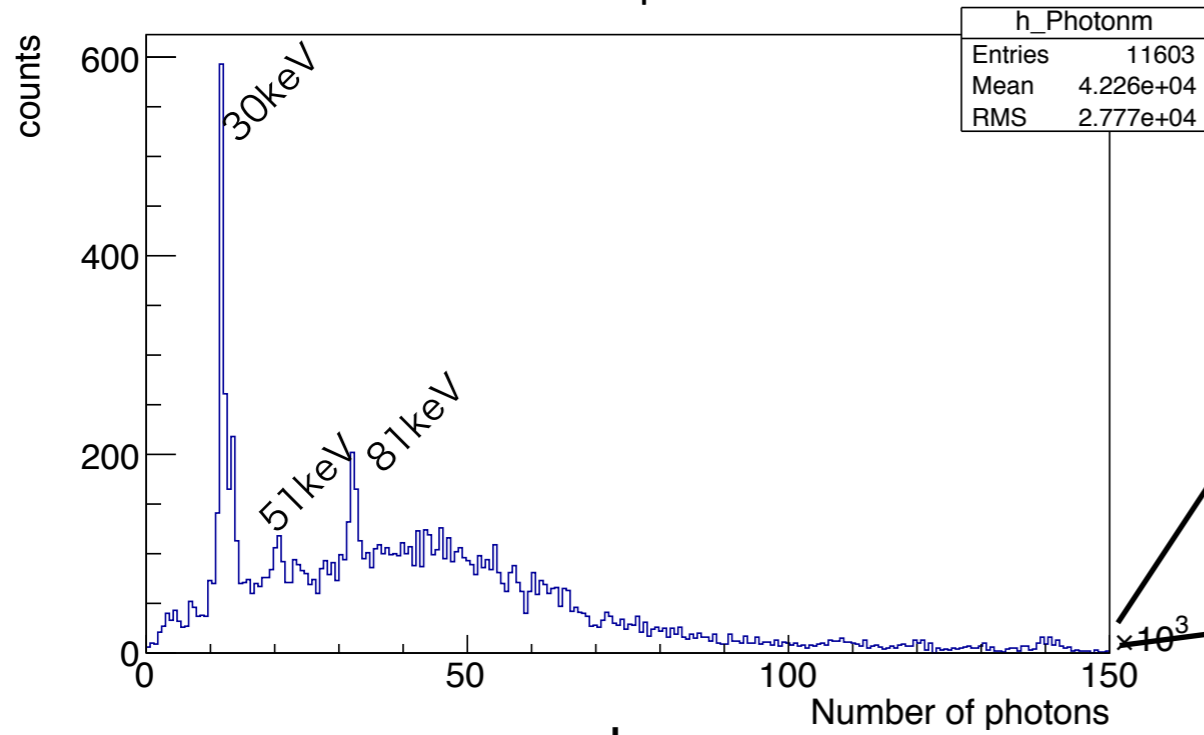
81keV, (302.8keV), 356keV

- 高エネルギーの成分がないため、高エネルギー側からの染み出し「少」

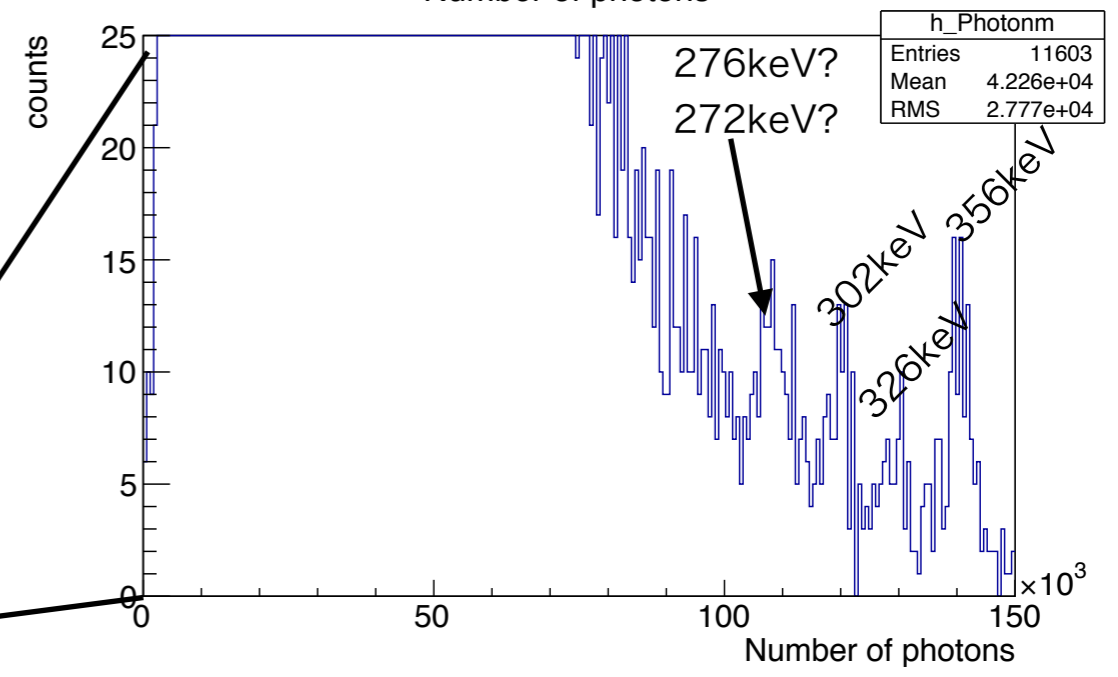
小型試作機：Tetra

Previous JPS

Number of photons



Number of photons



Number of photons

