

高圧XeガスTPC AXEL の小型試作機の ^{152}Eu と ^{22}Na ガンマ線源を用いた性能評価

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

2017年9月13日 JPS秋季大会@宇都宮大学

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 ^{133}Ba を用いた性能評価

3. まとめ

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 ^{133}Ba を用いた性能評価

3. まとめ

AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

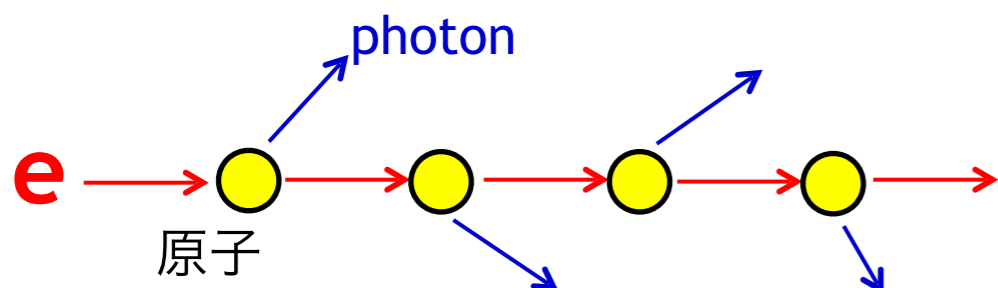
高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search

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

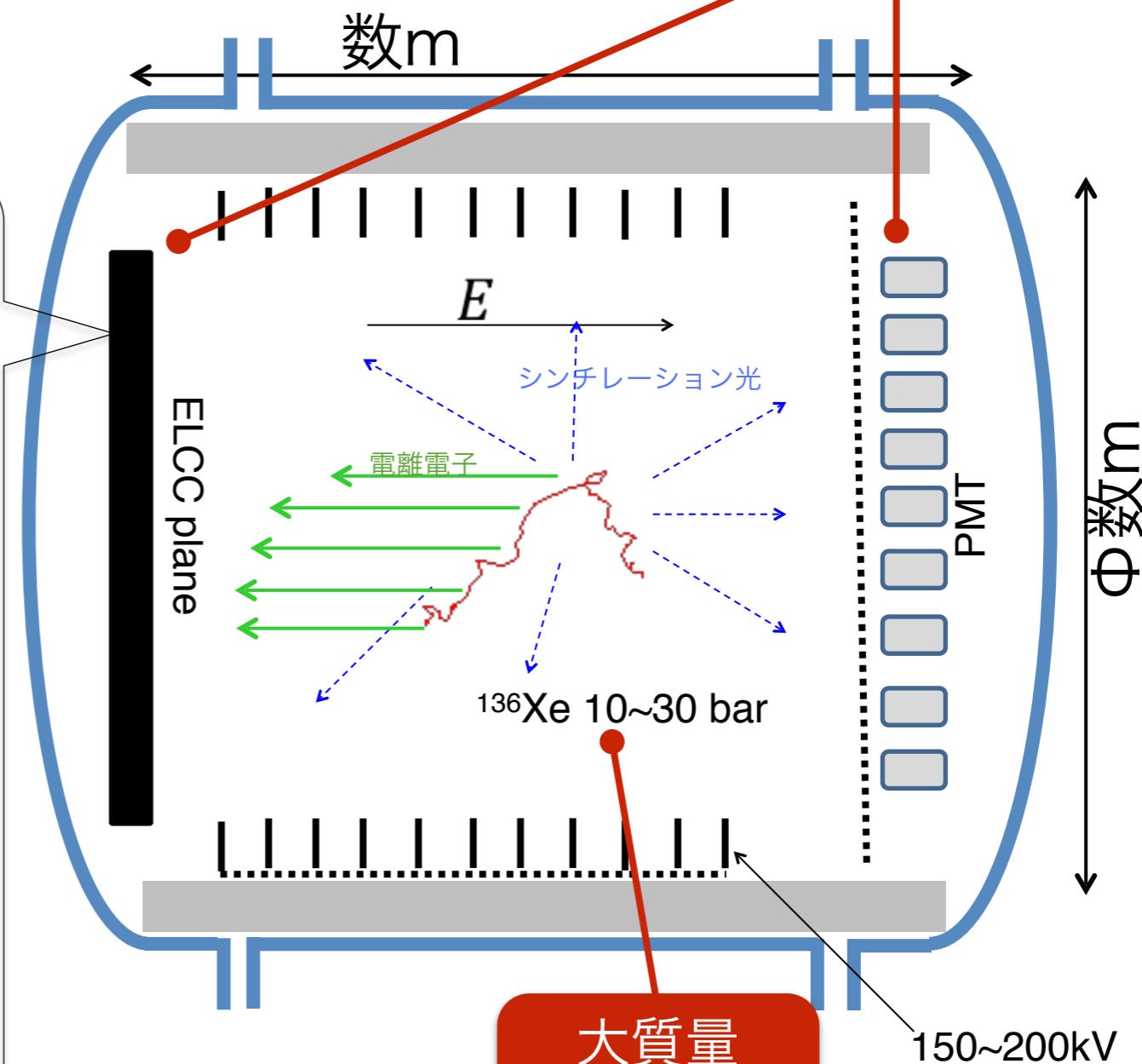
指数関数的増幅過程を伴わない

-> 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

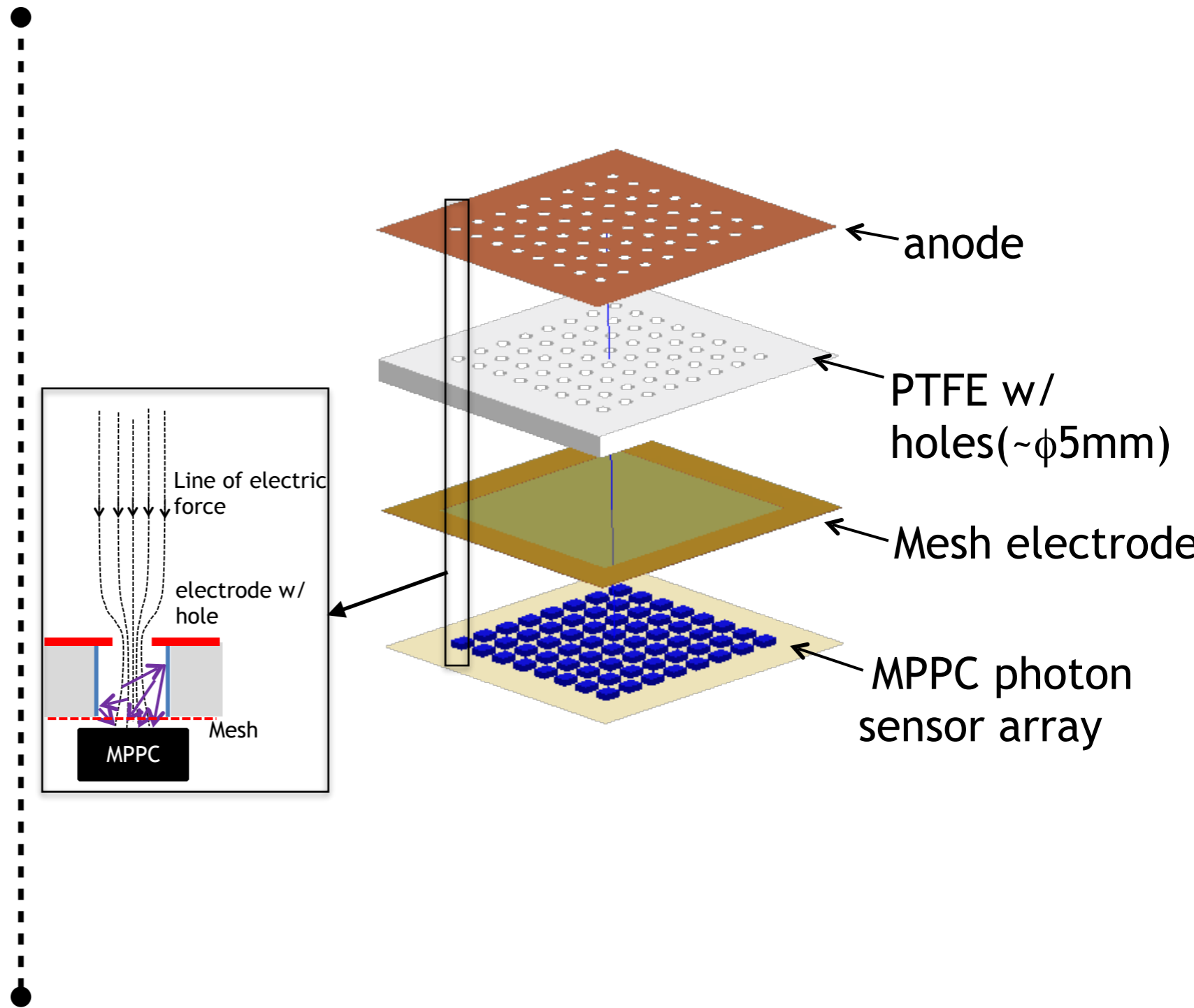
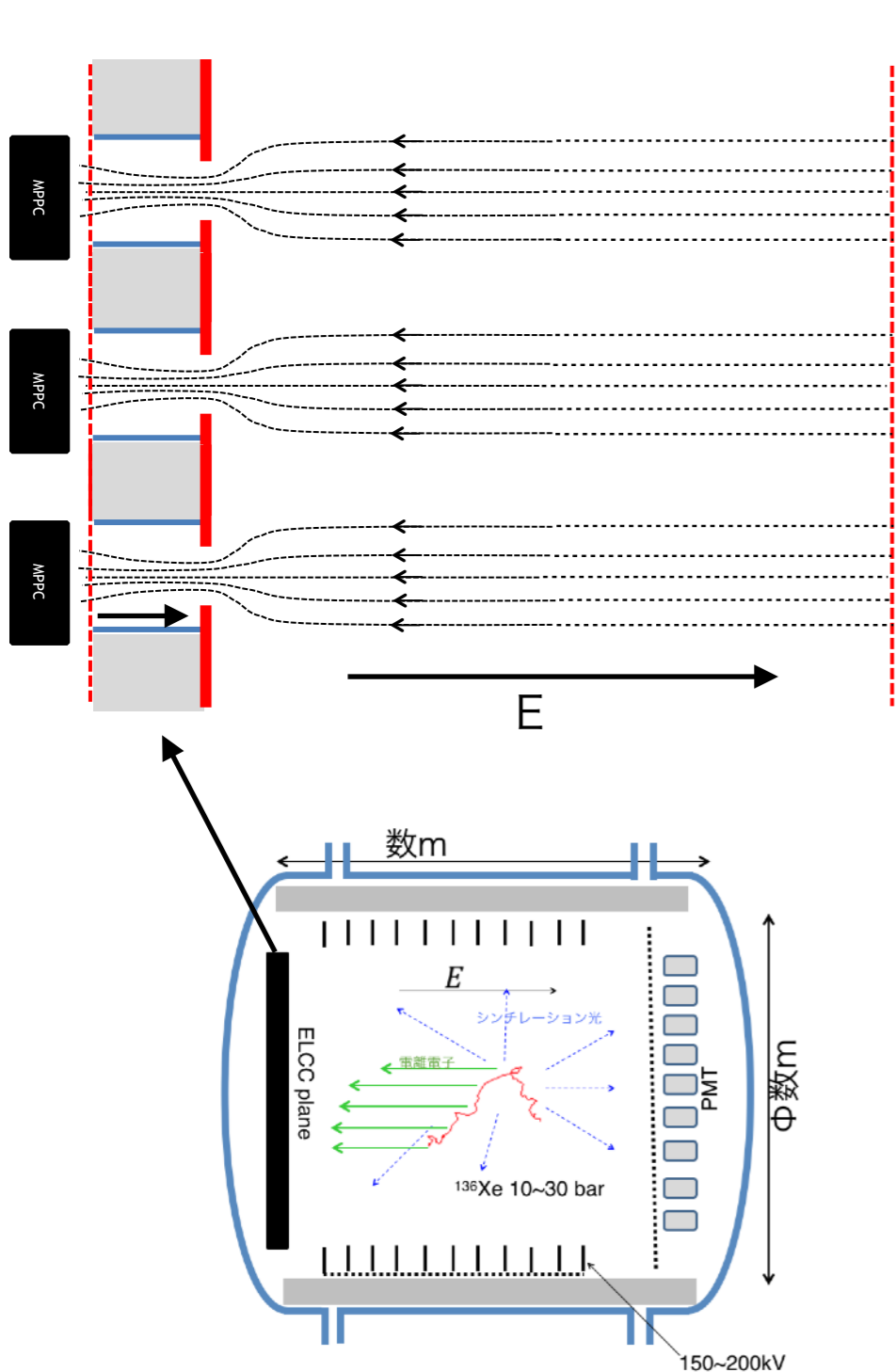


大質量

-> 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)



1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 ^{133}Ba を用いた性能評価

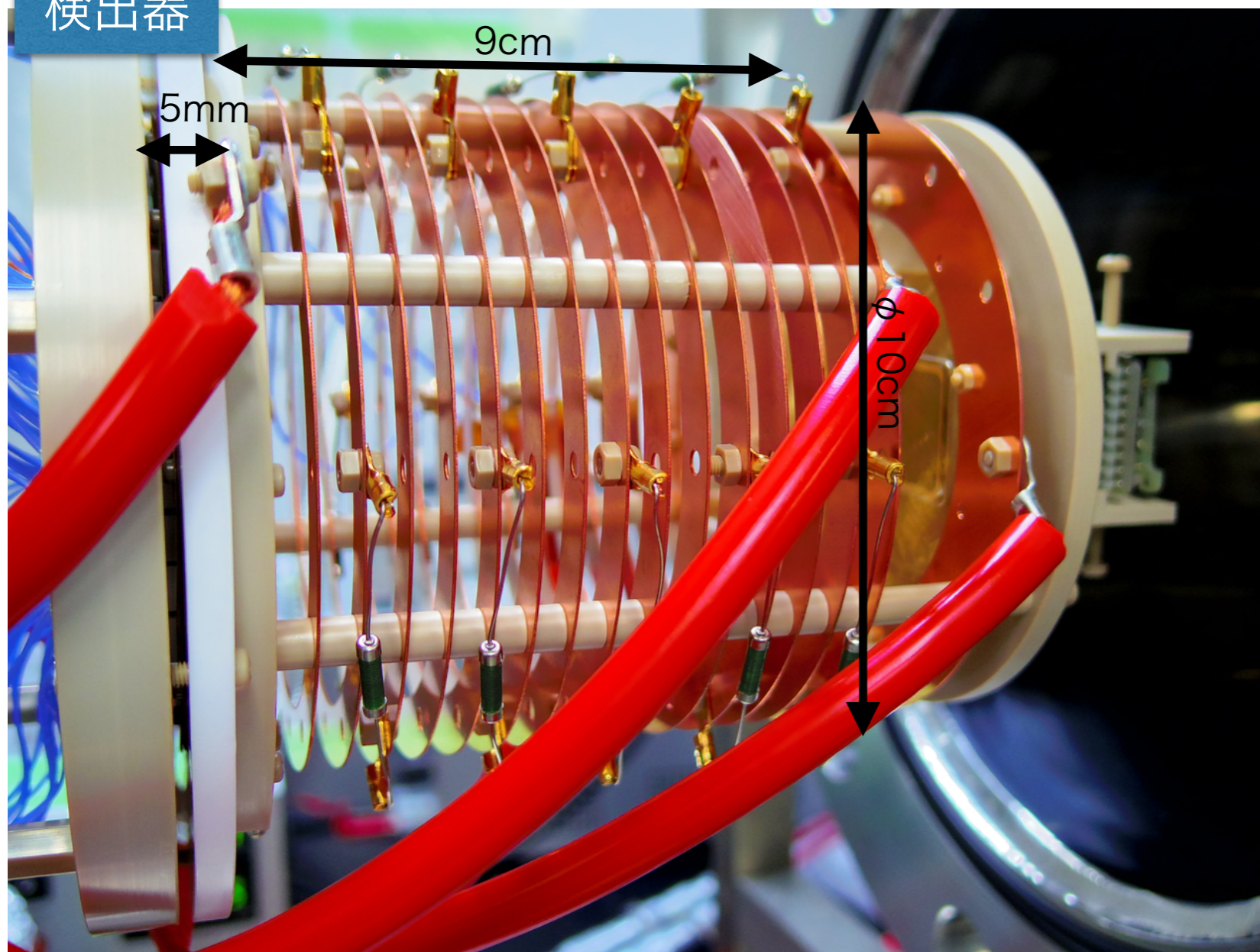
3. まとめ

現在の試作機について

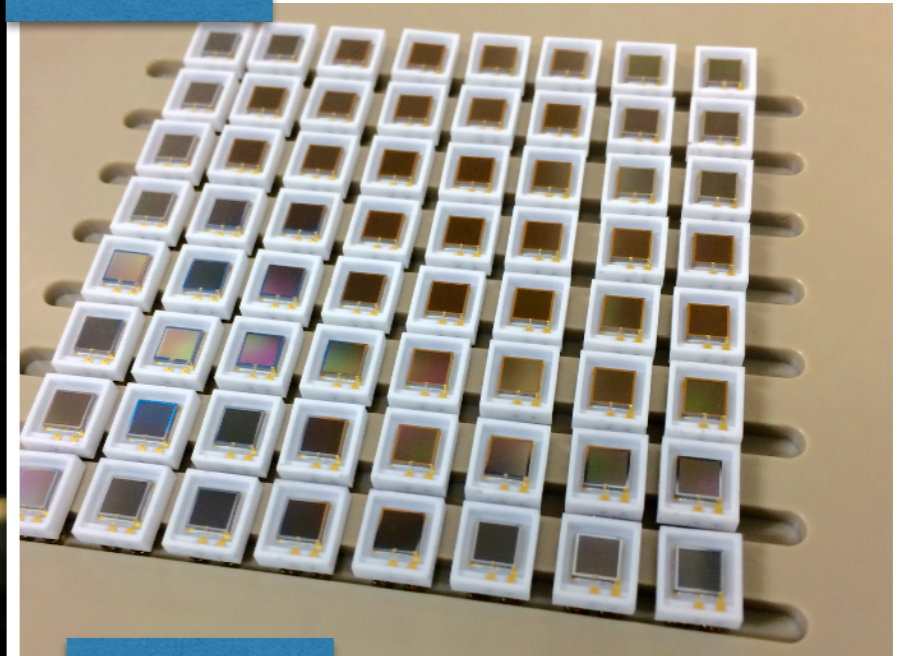
有効領域： $\phi 10\text{cm}$ 、長さ 9cm 、 64ch の試作機を製作

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

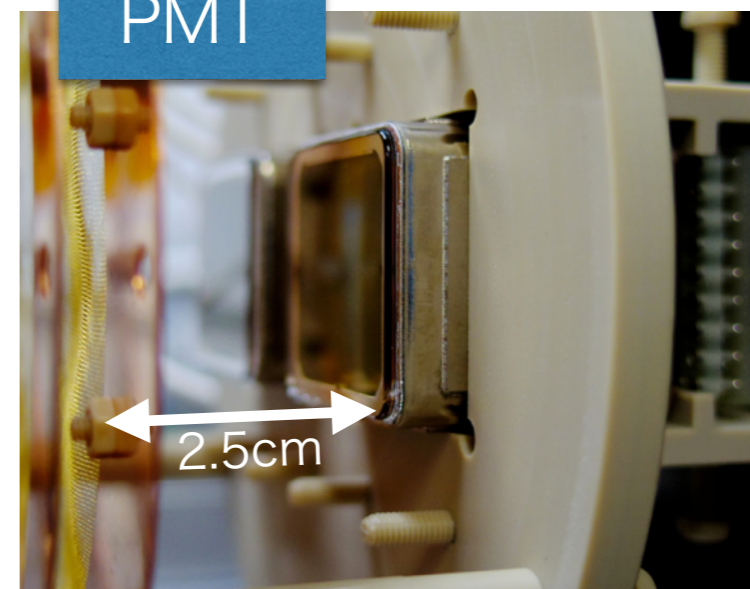
検出器



MPPC Sensitive to VUV light



PMT



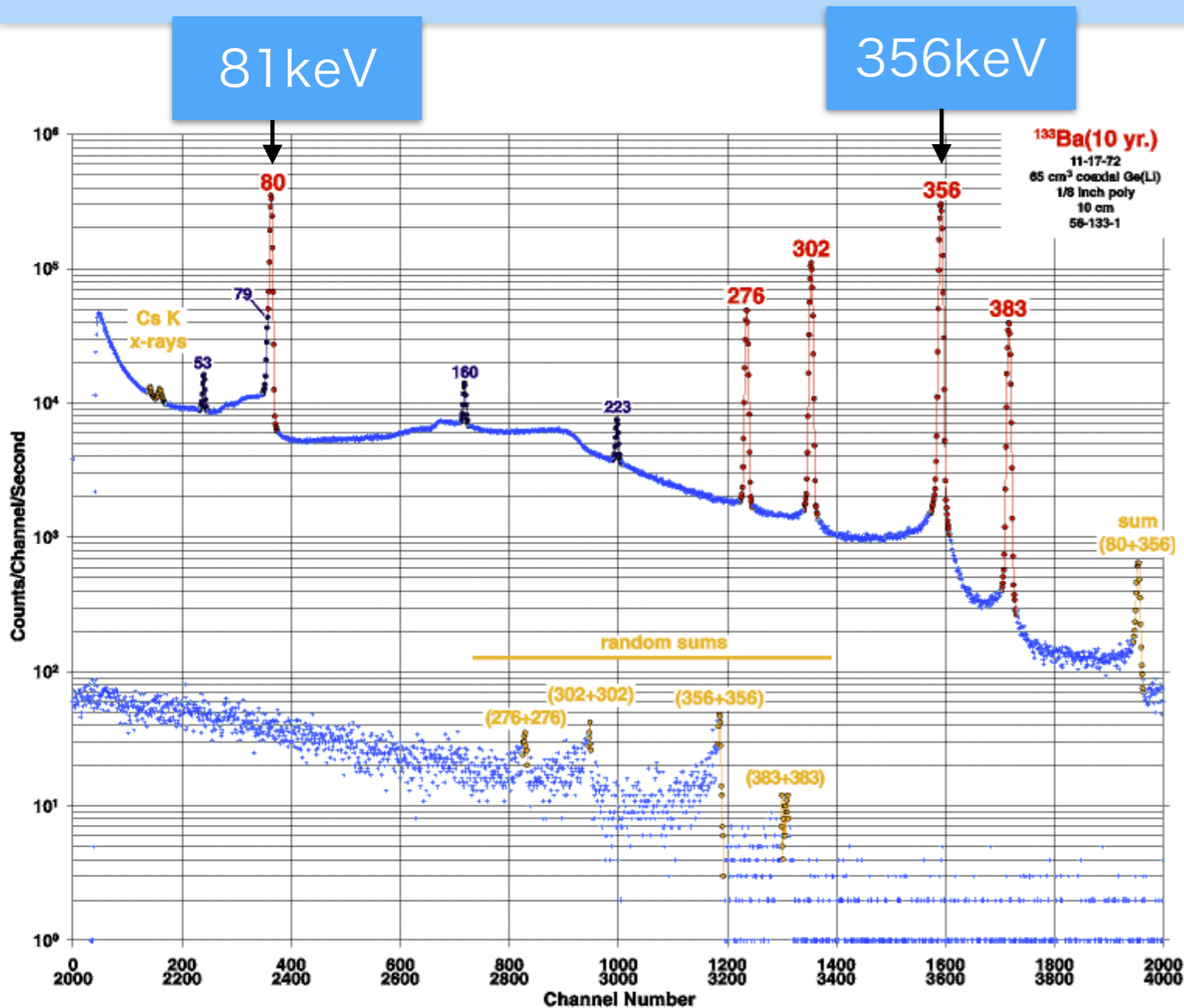
1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 ^{133}Ba を用いた性能評価

3. まとめ

^{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

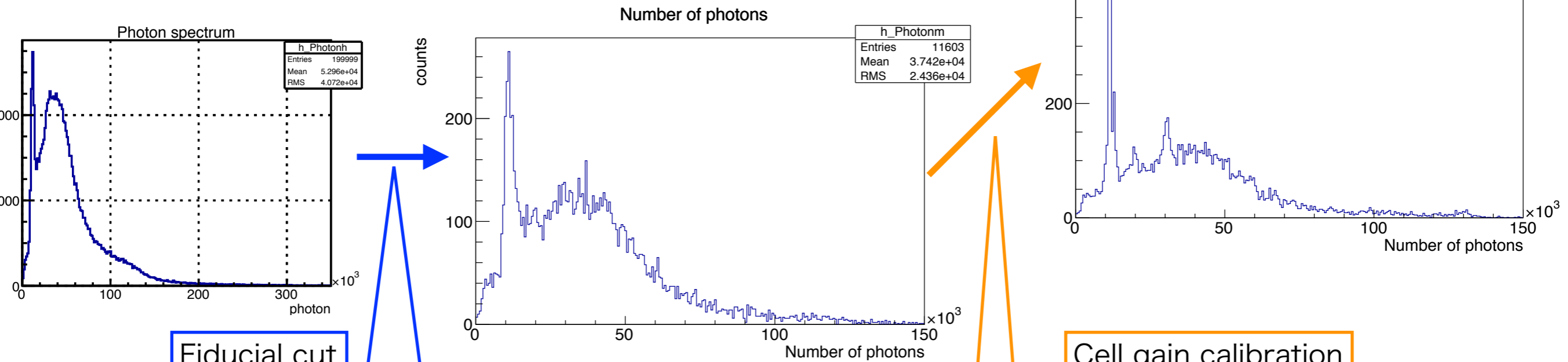
- メインで見えるのは(分岐比が大きいのは)、

81 keV, (302.8 keV), 356 keV

- 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」

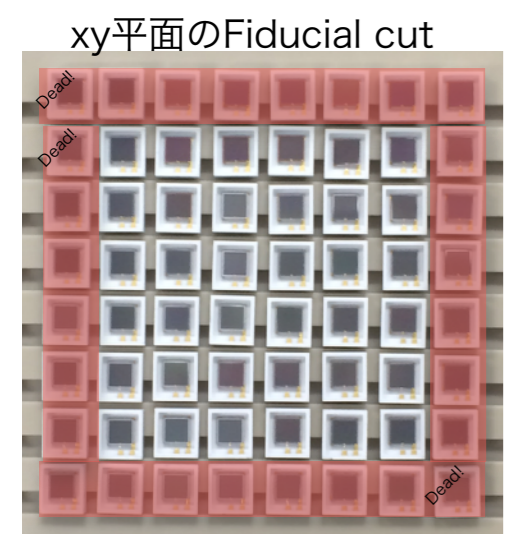
^{133}Ba による評価/カットと補正

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

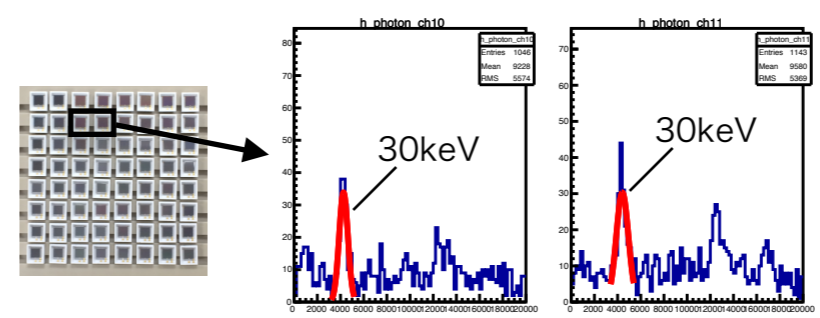
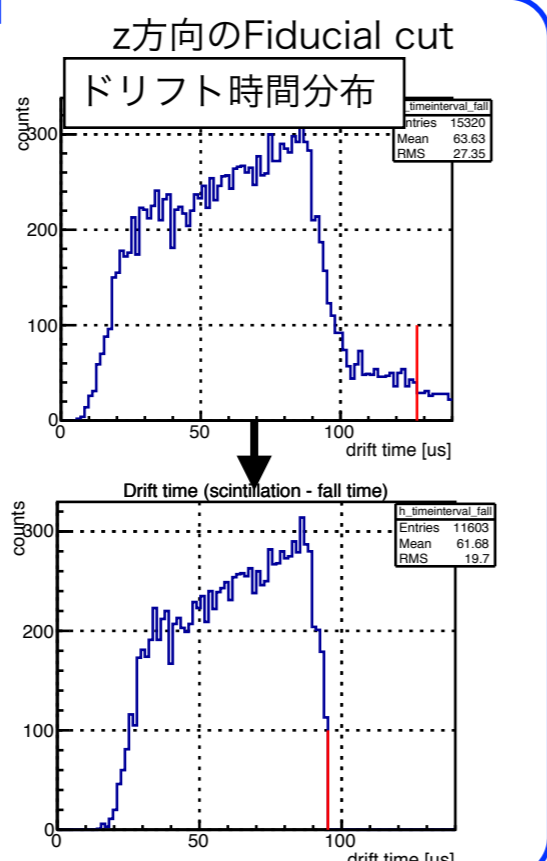


Fiducial cut

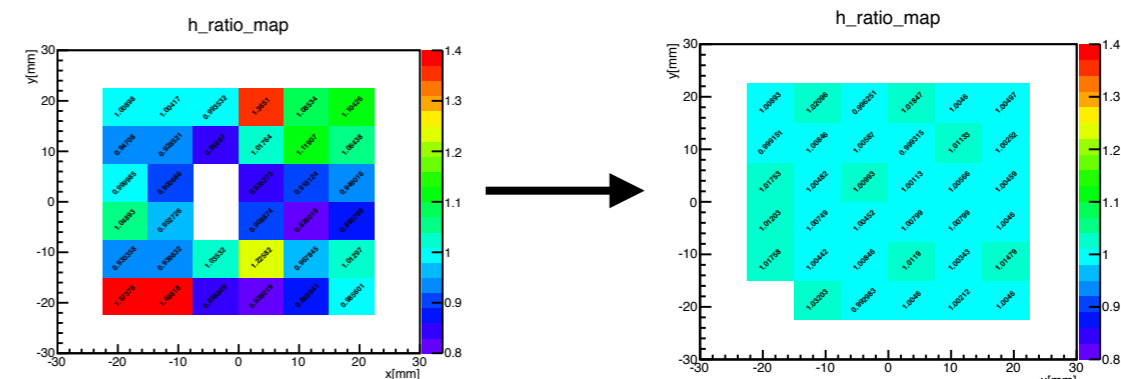
Cell gain calibration



Red : veto
 → cut the events which have hits In veto region ch.



Correction using 30 keV X-ray peak position

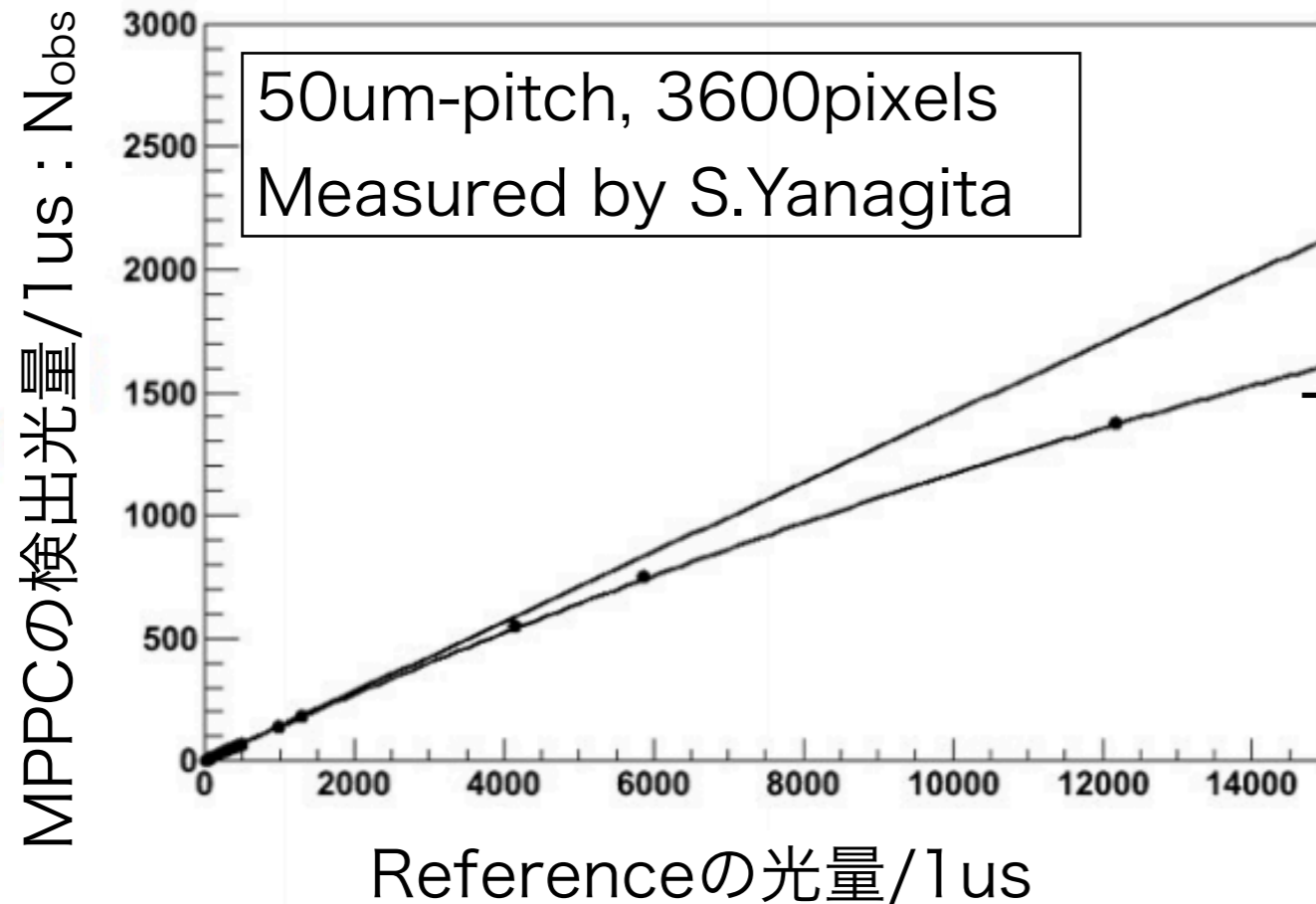
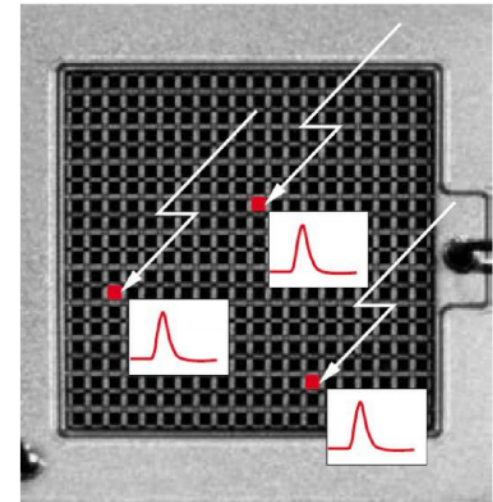


RMS : 0.174 (mean=1.0)

RMS : 0.0454 (mean=1.0)

MPPCのsaturationと補正について

- 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



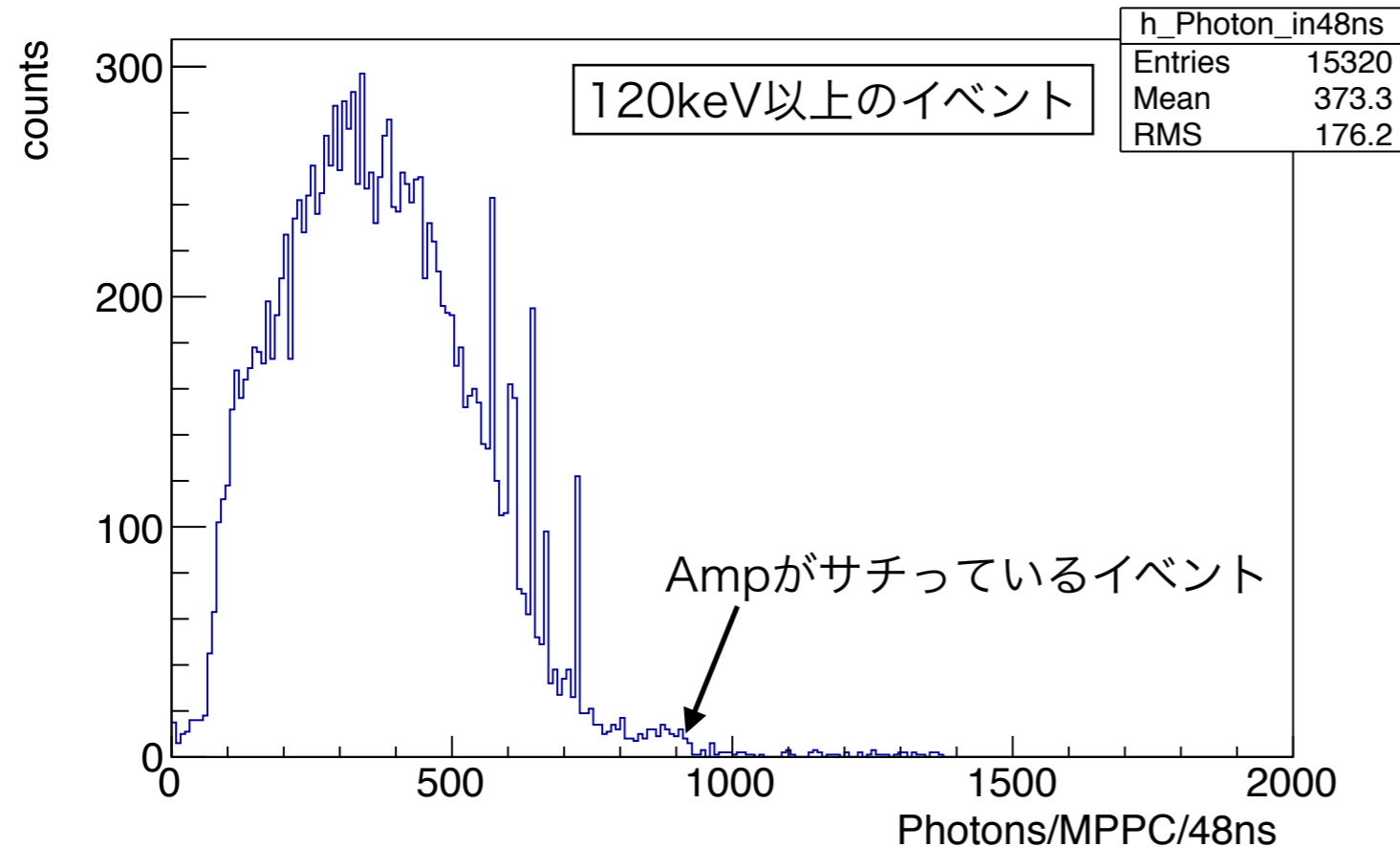
$$N_{obs} = \frac{N_{true}}{1 + k\tau}$$

k は単位ピクセル、単位時間あたりの光量
 τ が回復時間

- 個々のMPPCの回復時間を把握していれば、その値を用いて補正が可能
- 補正による揺らぎは非常に小さい(~0.1%)ことが先行研究によってわかっている

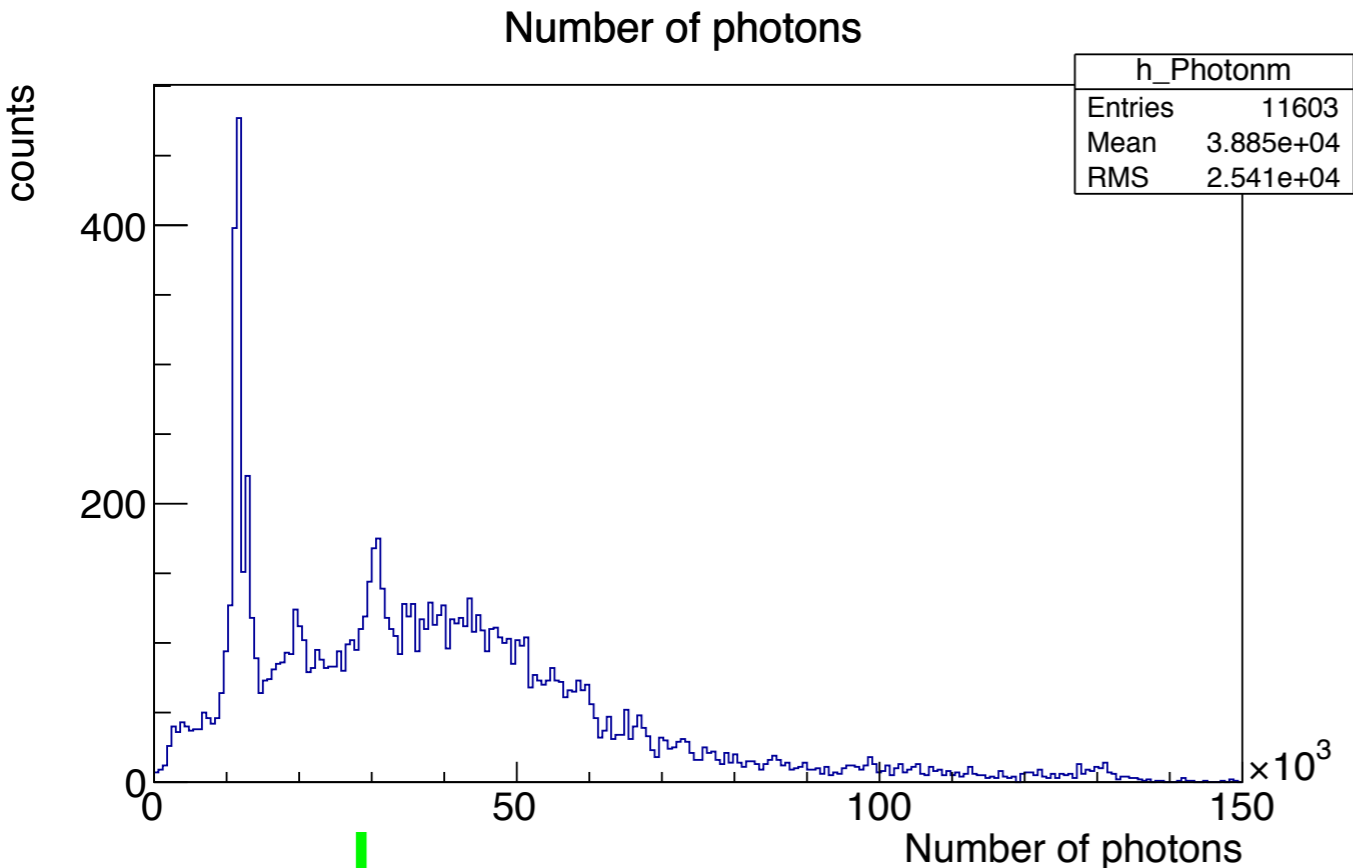
^{133}Ba による評価/瞬間最大光量

各イベントごとの、瞬間最大光量(/48ns/MPPC) の分布

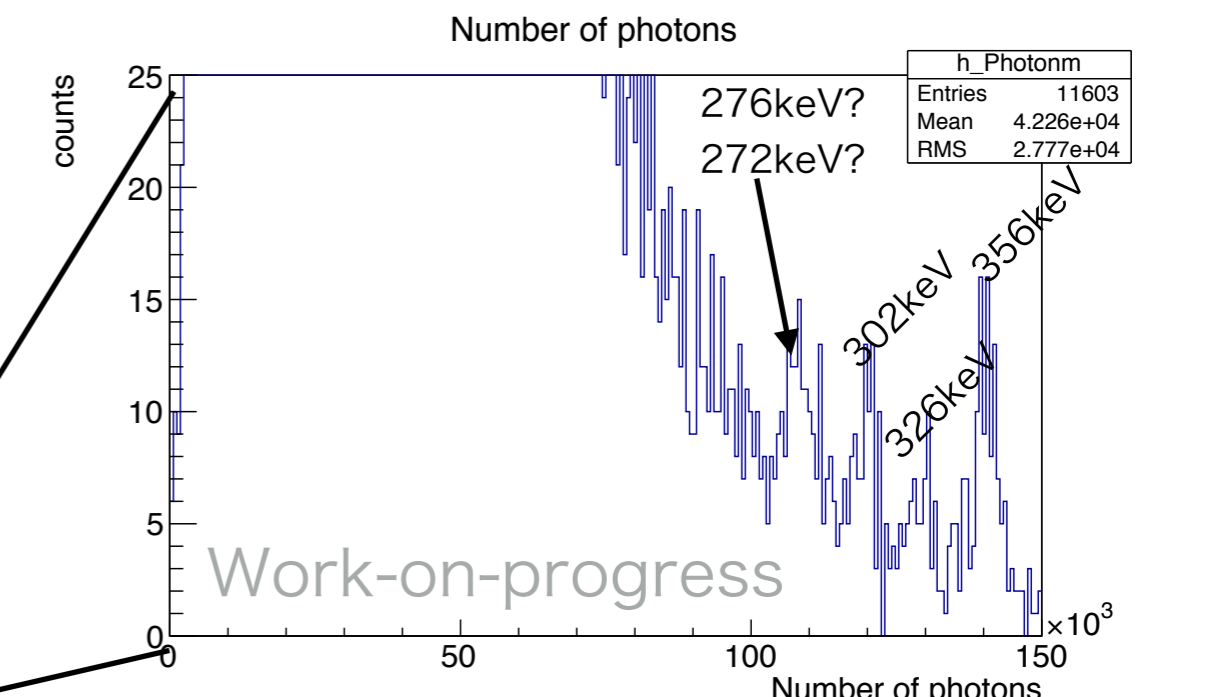
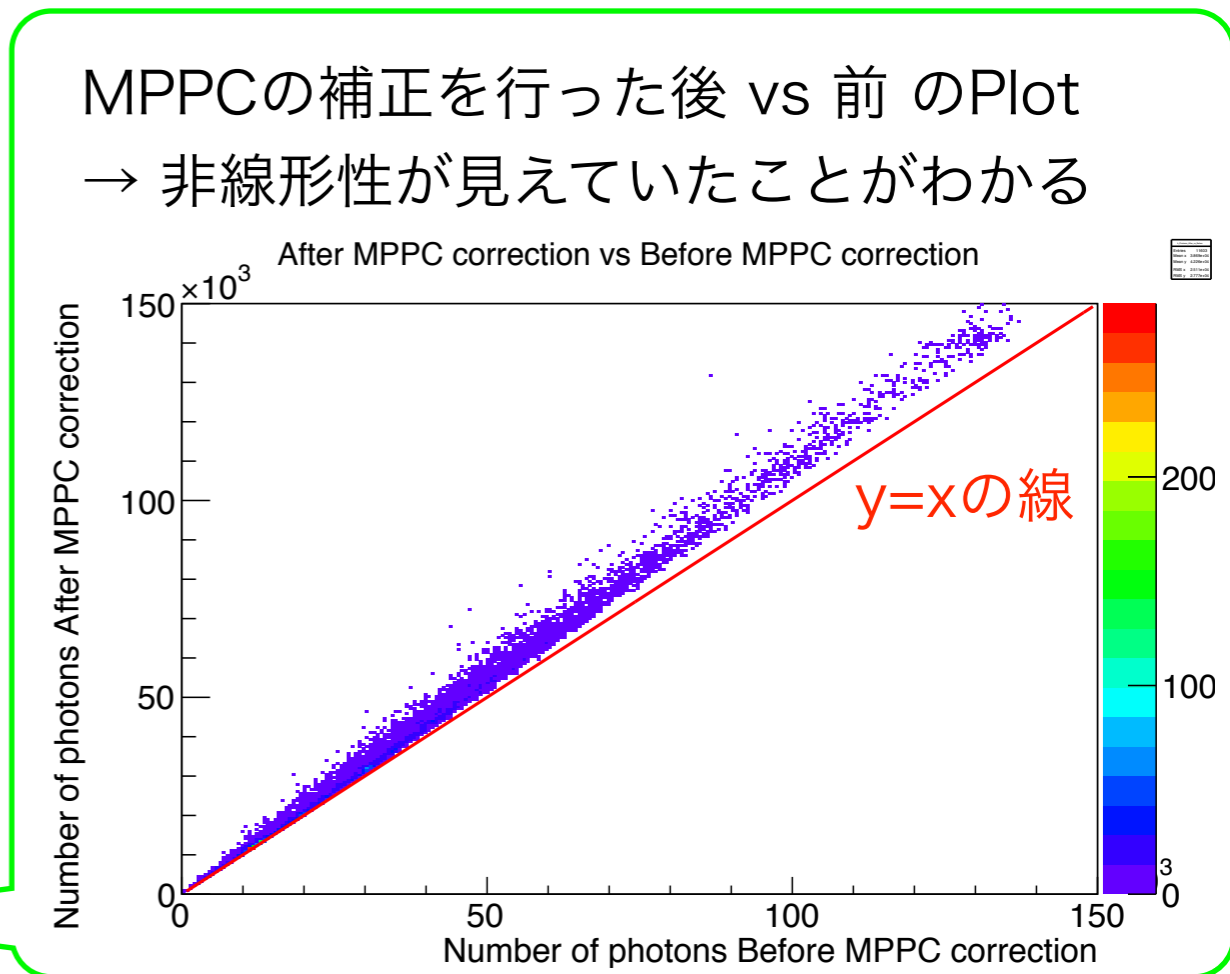
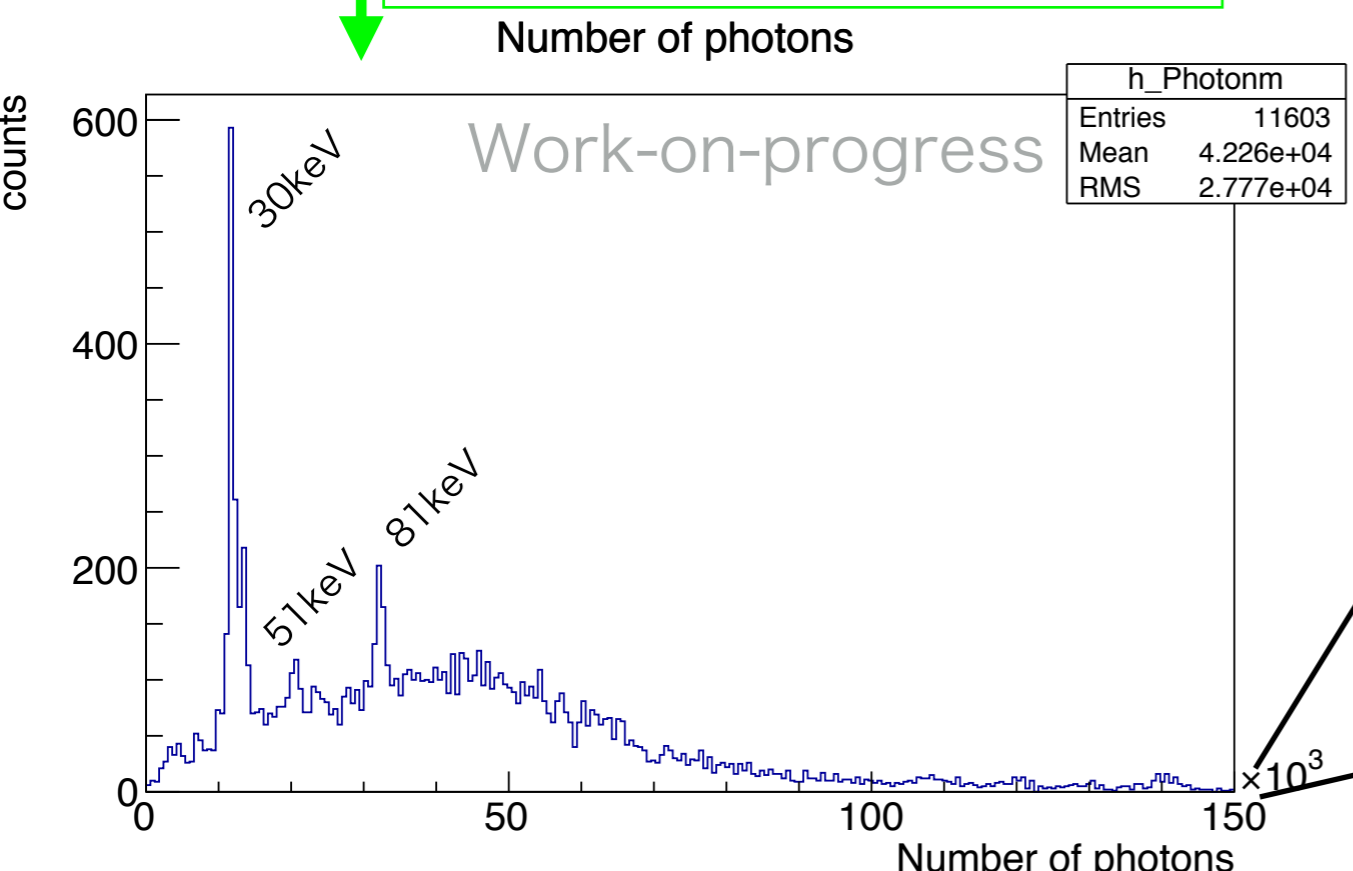


- 非線形性が見え始める程度の大光量 (~1000 photon/MPPC/48ns)
- 光量が大きくなったのは、圧力が増えたため
 - EL光のゲイン増大：圧力に比例
 - 電離電子密度の増加：凡そ圧力の二乗に比例
- 今は個々の素子の回復時間を把握できていない → **全てのMPPCを一律の回復時間で補正**
→ 個々の特性を把握することで、さらなる分解能の改善が見込まれる

^{133}Ba による評価/MPPCの飽和補正



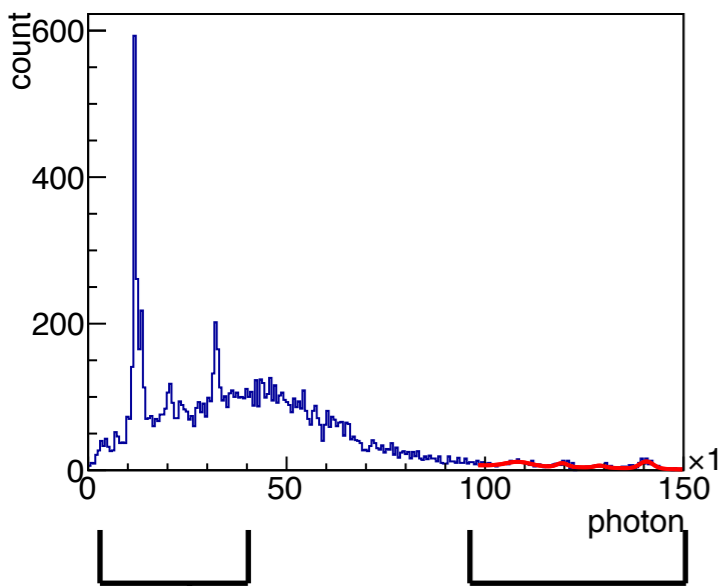
回復時間を70nsとして補正



データ数が少ない (DAQ time : ~ 4h)

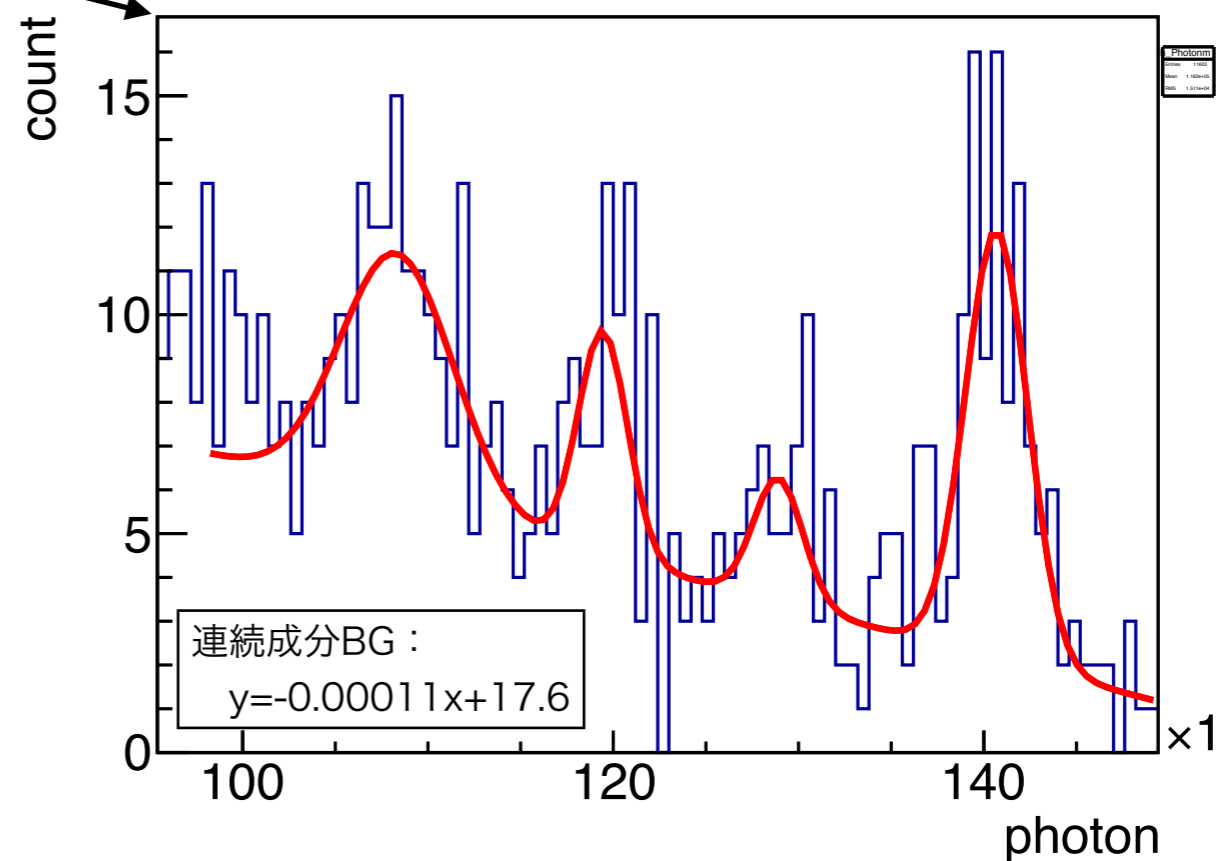
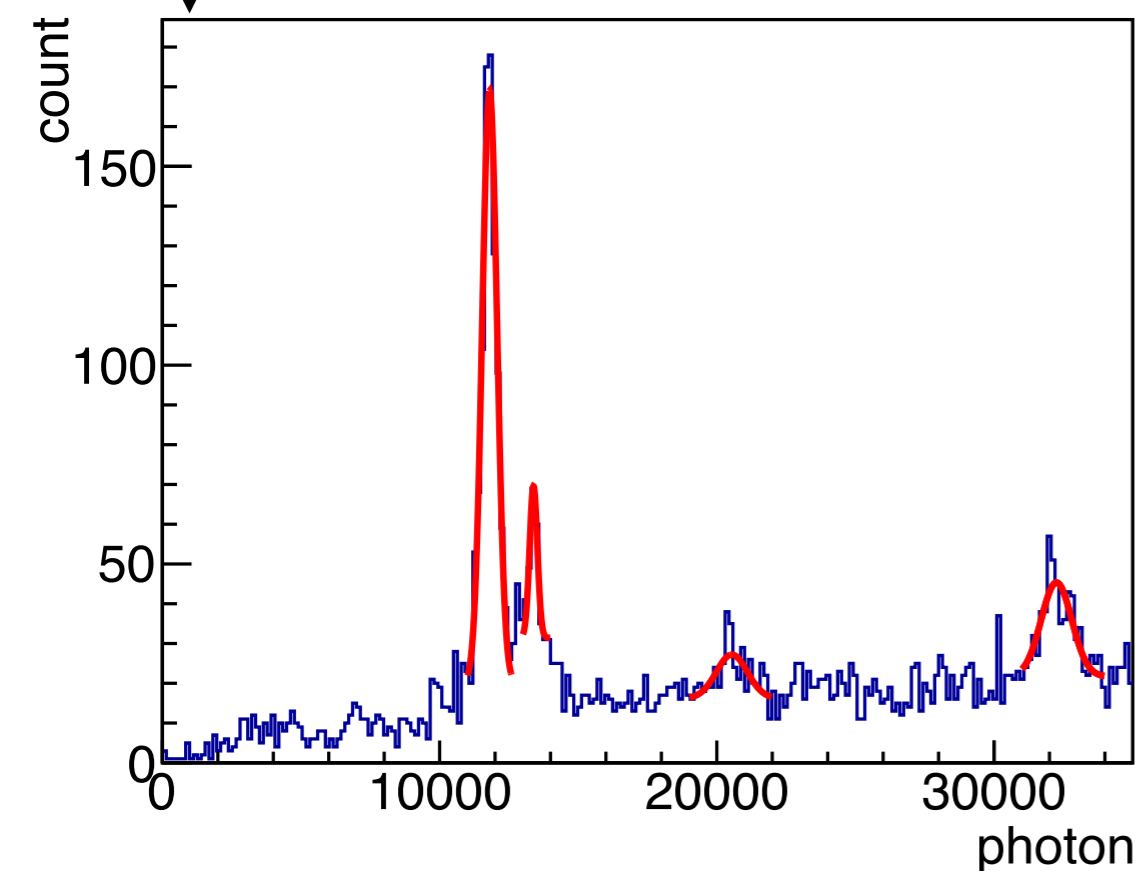
^{133}Ba による評価

それぞれのピークからエネルギー分解能を評価

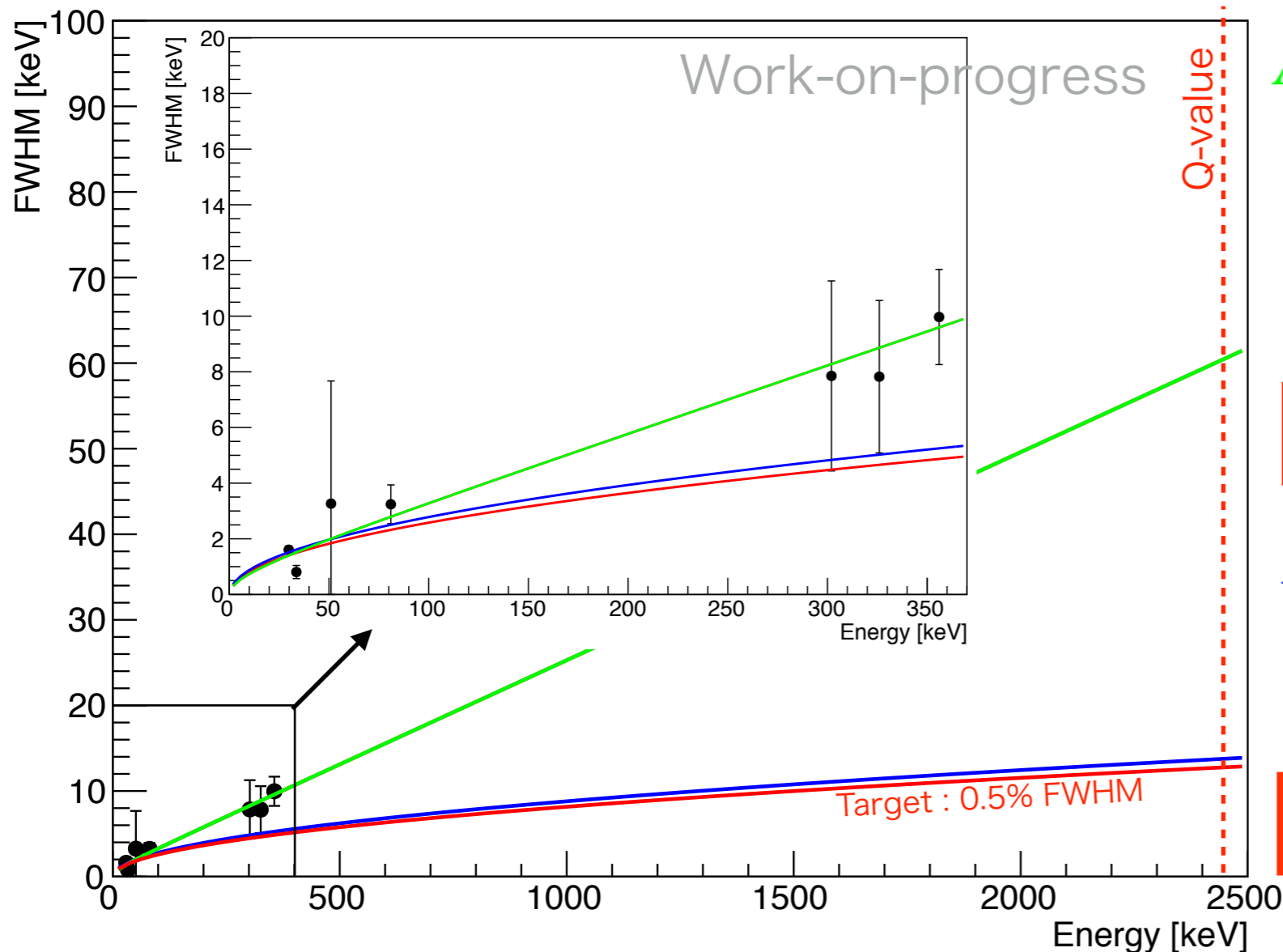


低エネルギー側はそれぞれ “Gaussian + const” でフィット
高エネルギー側は “ Σ Gaussian + pol(1)” でフィット

Energy [keV]	29.78	33.02	51	81	302	326	356
# of photons	11804.4	13387.5	20542.8	32253.4	119439.7	128912.2	140689.5
FWHM [%]	5.4 ± 0.44	2.4 ± 0.70	6.4 ± 8.74	4.0 ± 0.86	2.6 ± 1.13	2.4 ± 0.84	2.8 ± 0.48



^{133}Ba による評価/エネルギー分解能の評価



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

$$A = 0.220 \pm 0.0311$$

$$B = 0.012 \pm 0.0075$$

-> Extrapolate to Q-value

FWHM 2.47% (@2458keV)

$$A\sqrt{E}$$

$$A = 0.278 \pm 0.0192$$

-> Extrapolate to Q-value

FWHM 0.56% (@2458keV)

Eの一次の項の効果として、MPPCの飽和の影響が考えられる

(エネルギーが大きいほど、ヒットするMPPCの個数が増えるから)

→ MPPCの飽和の補正をチャンネルごとに行うことで、改善する可能性がある

(いまは、一律な回復時間による解析で約2%ほどの影響)

次の測定では、より多くのデータを蓄積する予定 (シフト制、Triggerの工夫)

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

2.1 ^{133}Ba を用いた性能評価

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

有感領域 $\phi 10\text{cm} \times 9\text{cm}$ の小型の試作機を制作し、性能評価を行っている

- 8気圧のキセノンガスで評価
- ^{133}Ba 線源を用いて評価

^{133}Ba 由来の356keVのガンマ線に対して2.8%(FWHM)の分解能
→ Q値のエネルギー分解能に外挿して **0.56 ~ 2.47 % (FWHM)**

大光量信号によるMPPCの飽和が問題となっている

→ 個々のMPPCの回復時間を測定することで、さらに分解能が向上する可能性

データ量を貯めるために、シフト制の導入やトリガー条件の改善などを行う予定