

511keVガンマ線を用いた AXEL検出器の試作機の性能評価

^A京都大学 理学研究科
博士後期課程1年 ^A潘 晟

^A市川温子、^A中家剛、^A南野彰宏、^A中村輝石、^A石山優貴、^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

2016年9月23日 JPS秋季大会@宮崎大

Contents

AXEL - A Xe ElectroLuminescence detector -

試作機の性能評価：122 keV gamma-ray

試作機の性能評価：511 keV gamma-ray ……？

次期大型試作機の開発に向けて

Summary

Contents

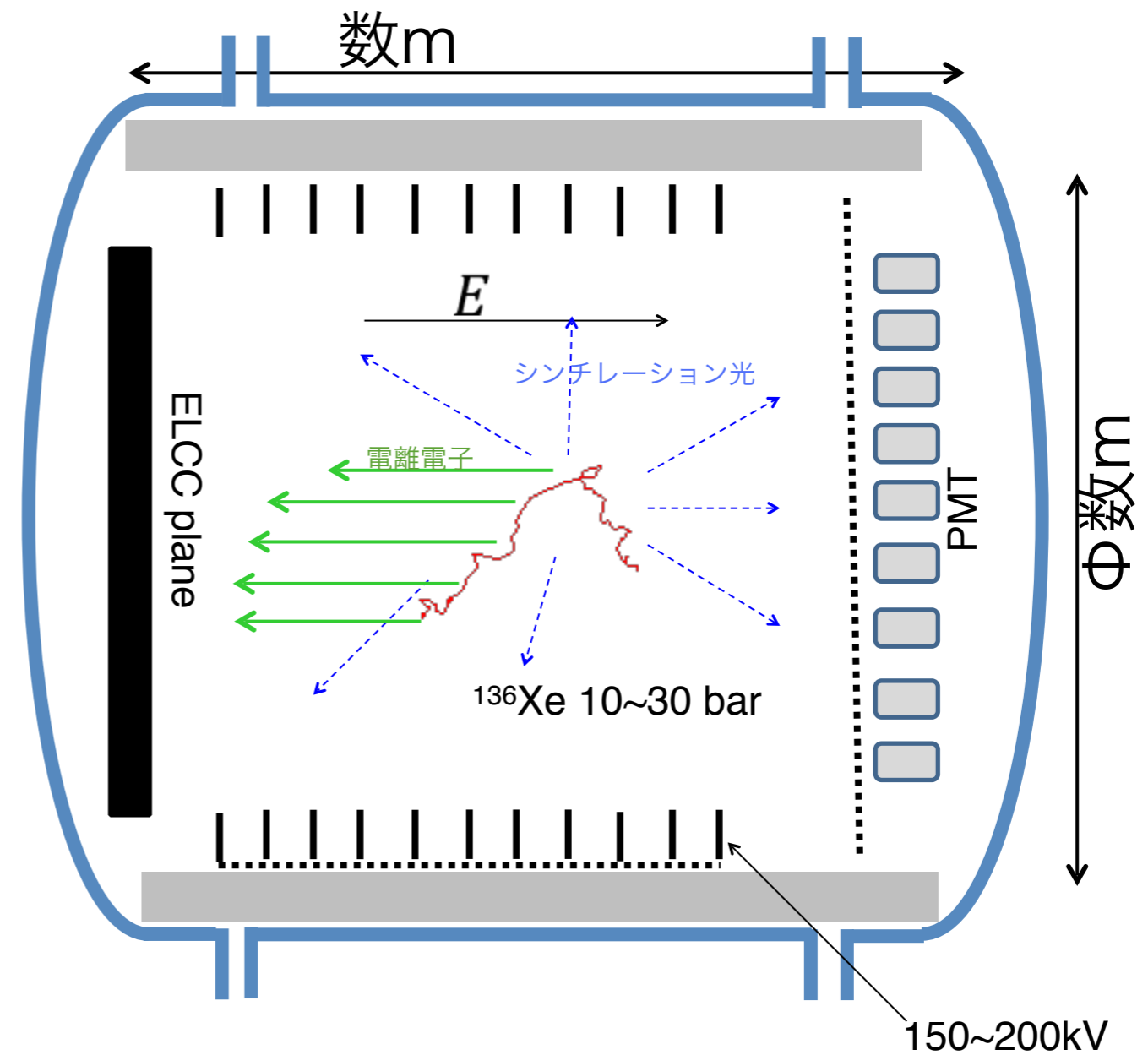
AXEL - A Xe ElectroLuminescence detector -

試作機の性能評価：122 keV gamma-ray

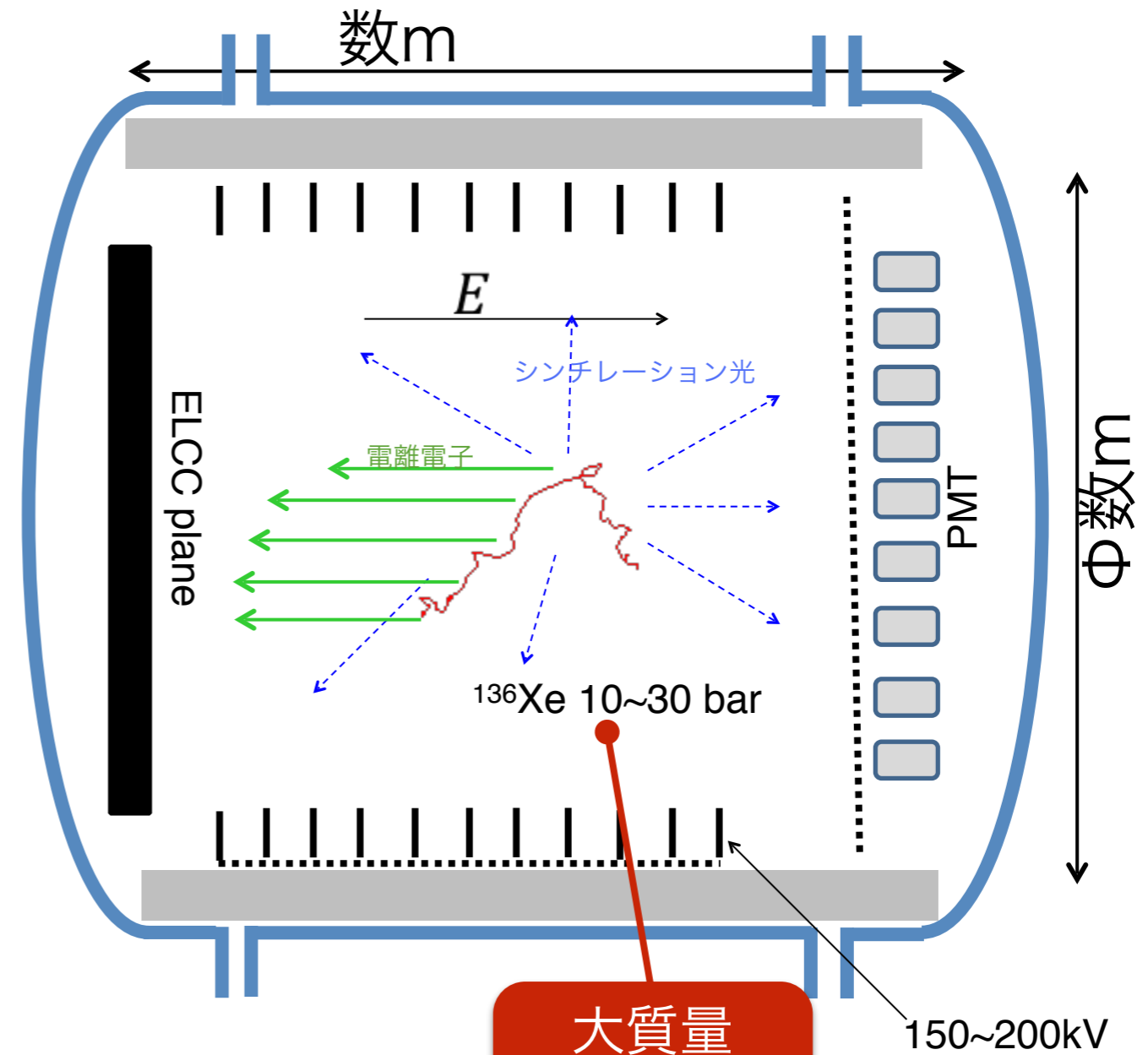
試作機の性能評価：511 keV gamma-ray ……？

次期大型試作機の開発に向けて

Summary

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

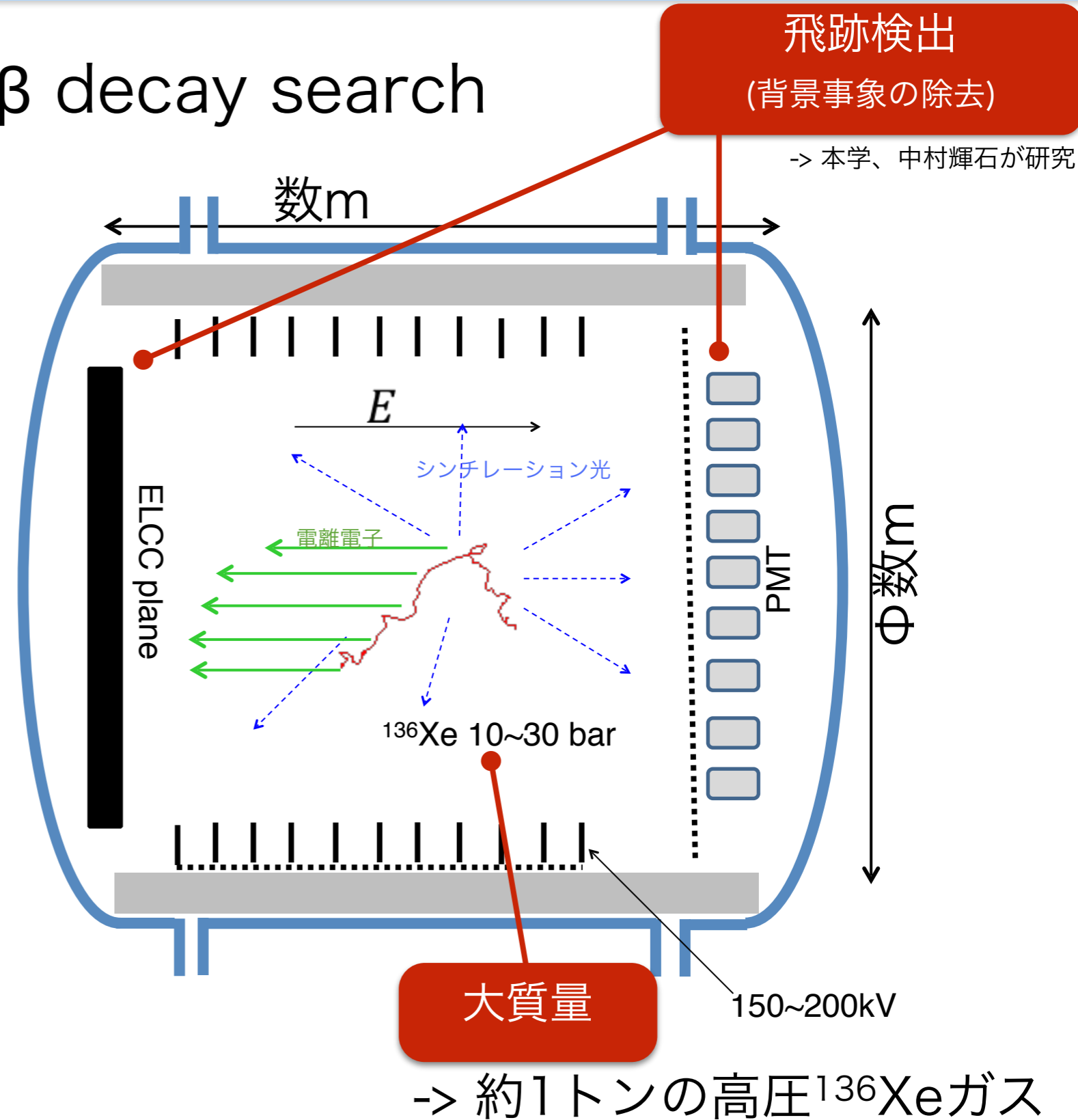
高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



-> 約1トンの高圧 ^{136}Xe ガス

AXEL実験 - A Xenon ElectroLuminescence detector -

6

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

AXEL実験 - A Xenon ElectroLuminescence detector -

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

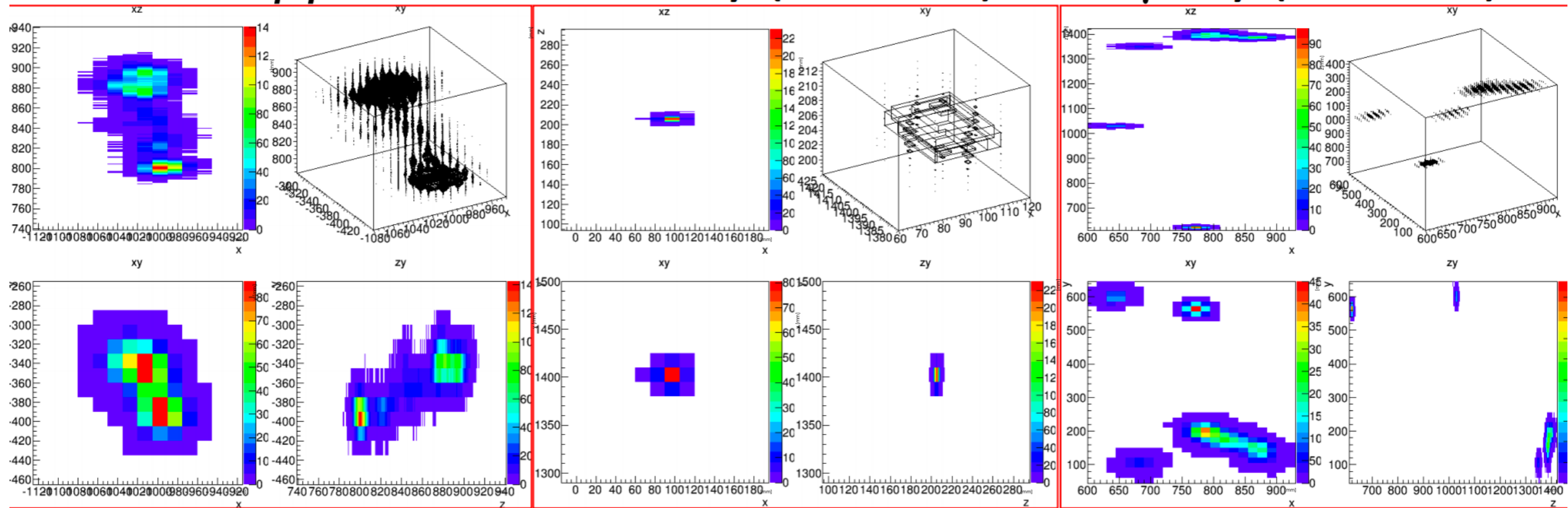
飛跡検出
(背景事象の除去)

-> 本学、中村輝石が研究

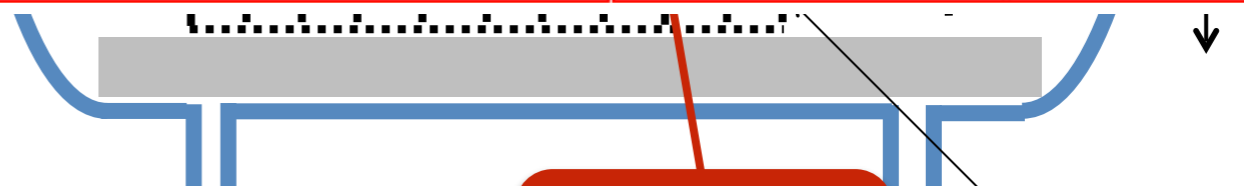
$0\nu\beta\beta$

α -ray (2.5MeV)

γ -ray (2.5MeV)



Event display
(simulation)



大質量

150~200kV

-> 約1トンの高圧 ^{136}Xe ガス

AXEL実験 - A Xenon ElectroLuminescence detector -

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

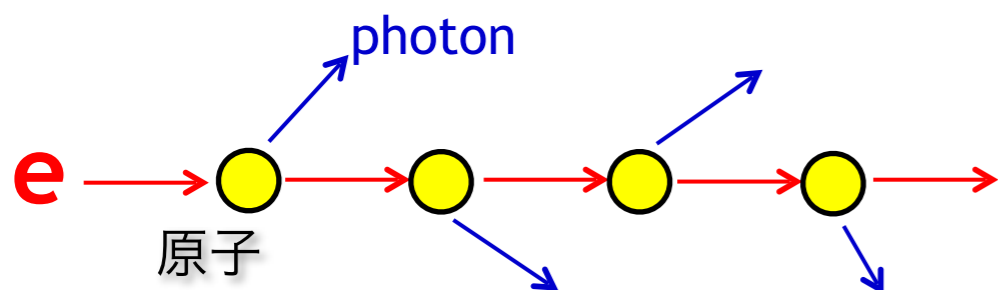
飛跡検出

(背景事象の除去)

-> 本学、中村輝石が研究

電離信号の読み出し

- エレクトロルミネッセンス(EL)過程

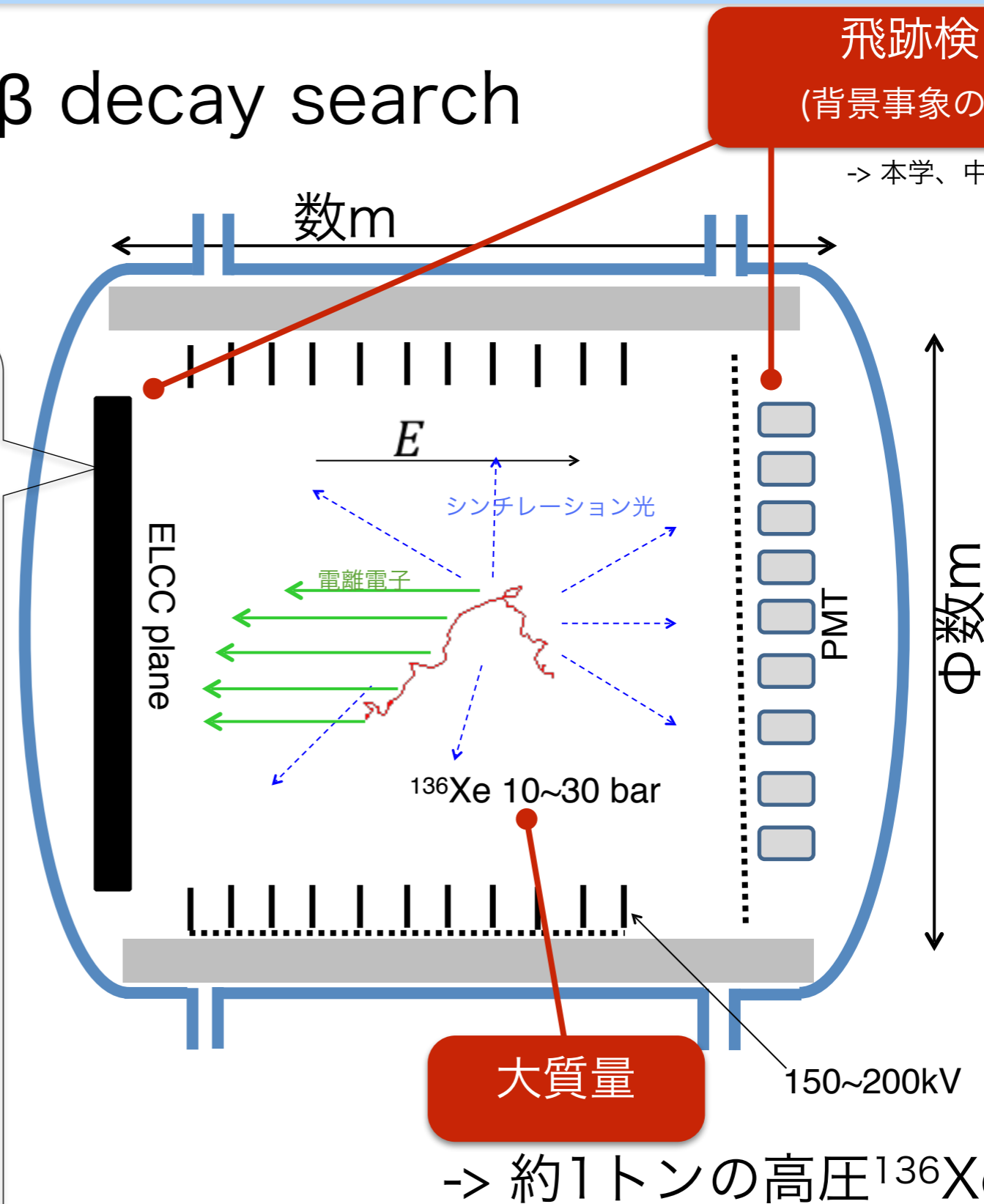


掛けた電場に比例して増幅率が増加

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



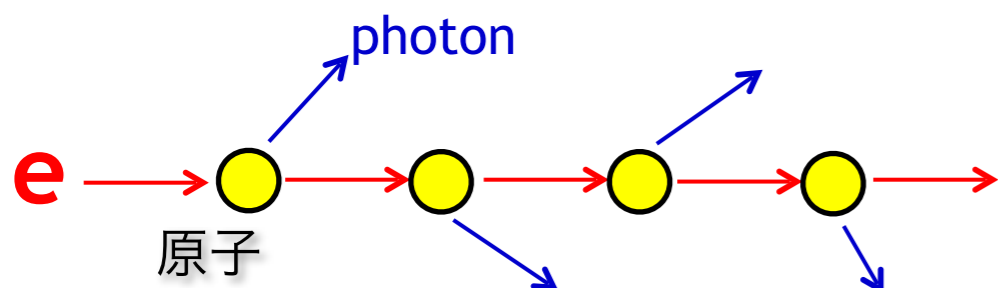
大質量

-> 約1トンの高圧 ^{136}Xe ガス

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

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

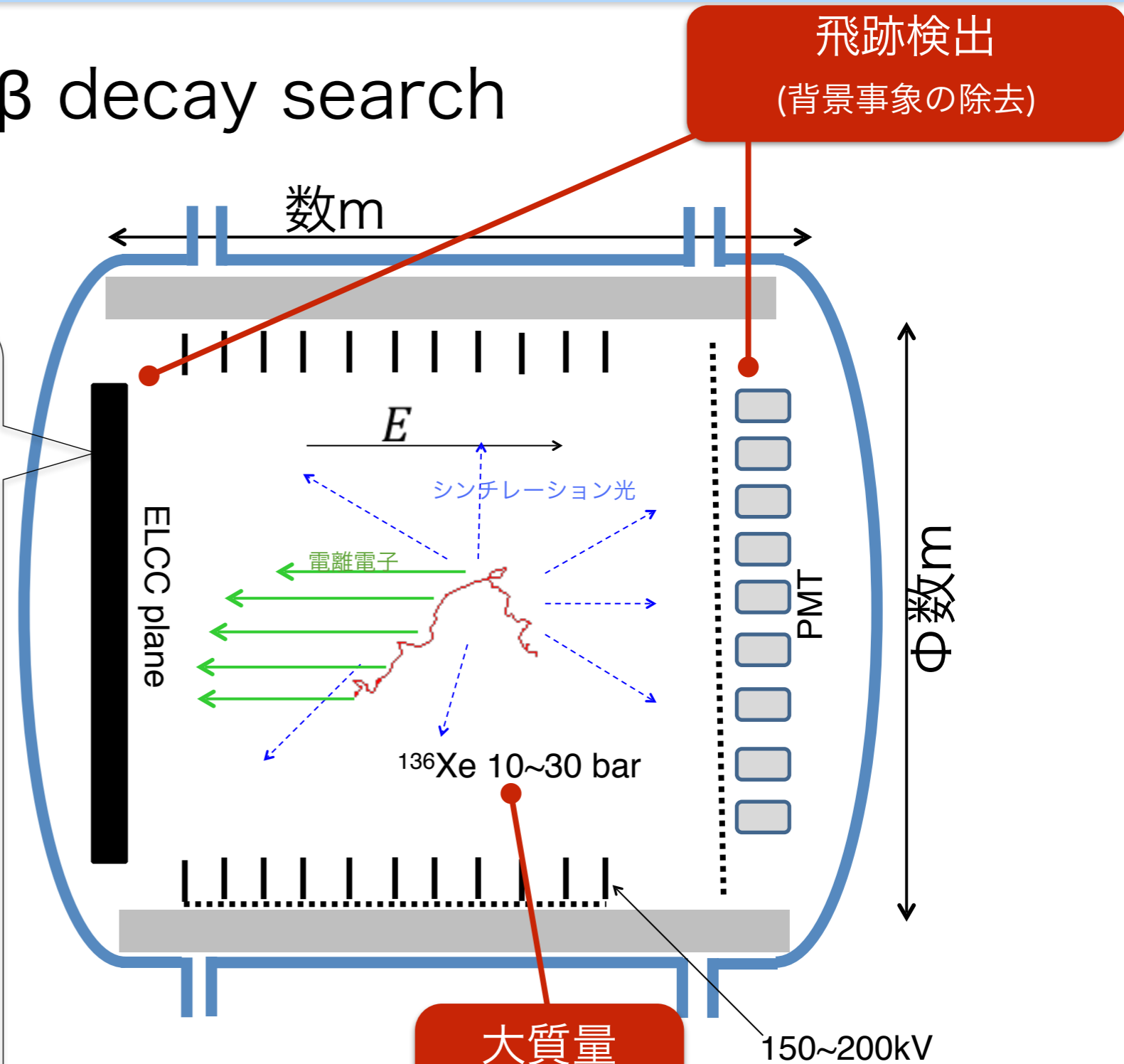
指数関数的増幅過程を伴わない

-> 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(2458 keV)



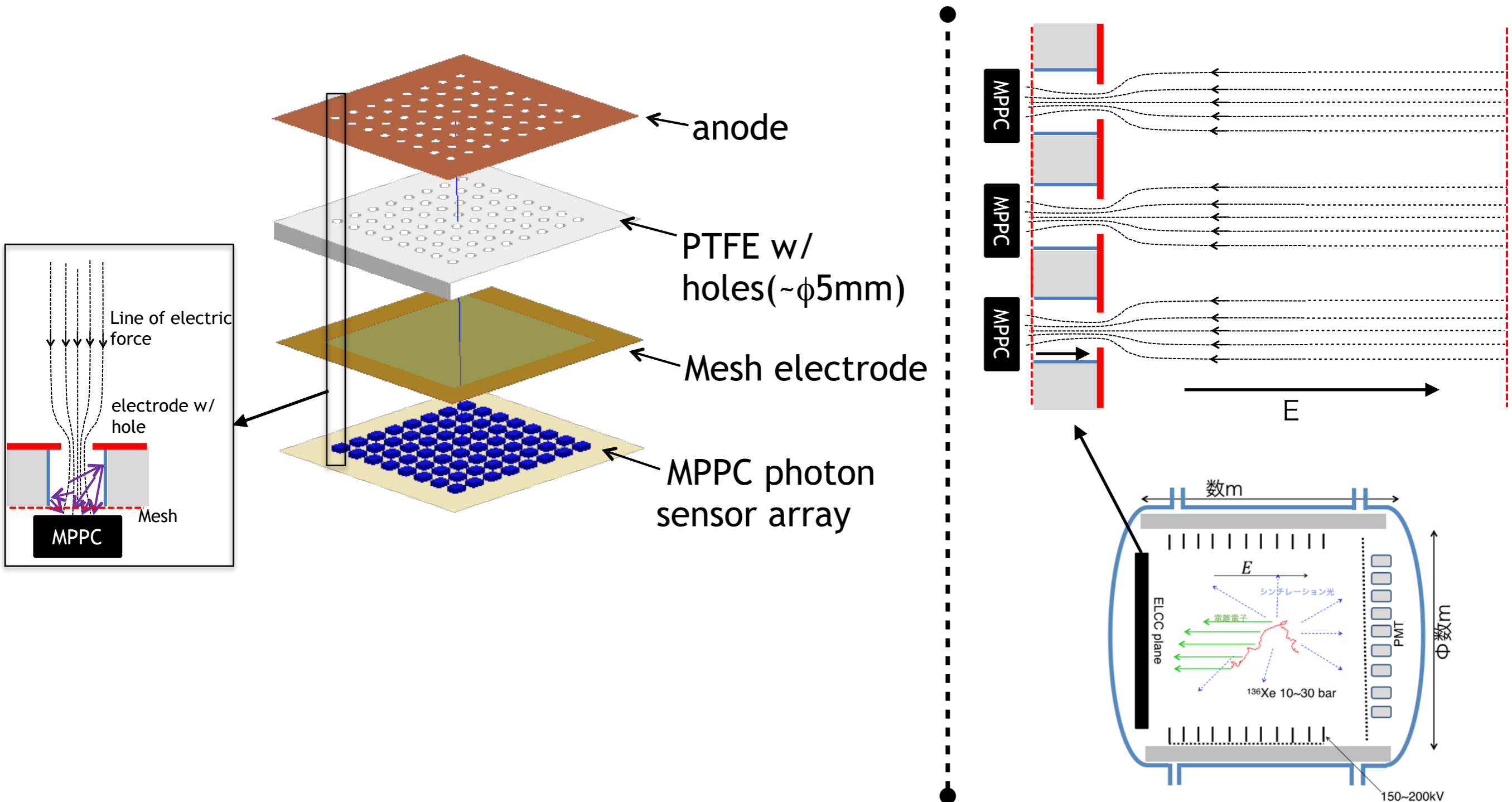
飛跡検出
(背景事象の除去)

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、光量の検出器内位置依存性を軽減 (要実証)
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)



Contents

AXEL - A Xe ElectroLuminescence detector -

試作機の性能評価：122 keV gamma-ray

試作機の性能評価：511 keV gamma-ray ……？

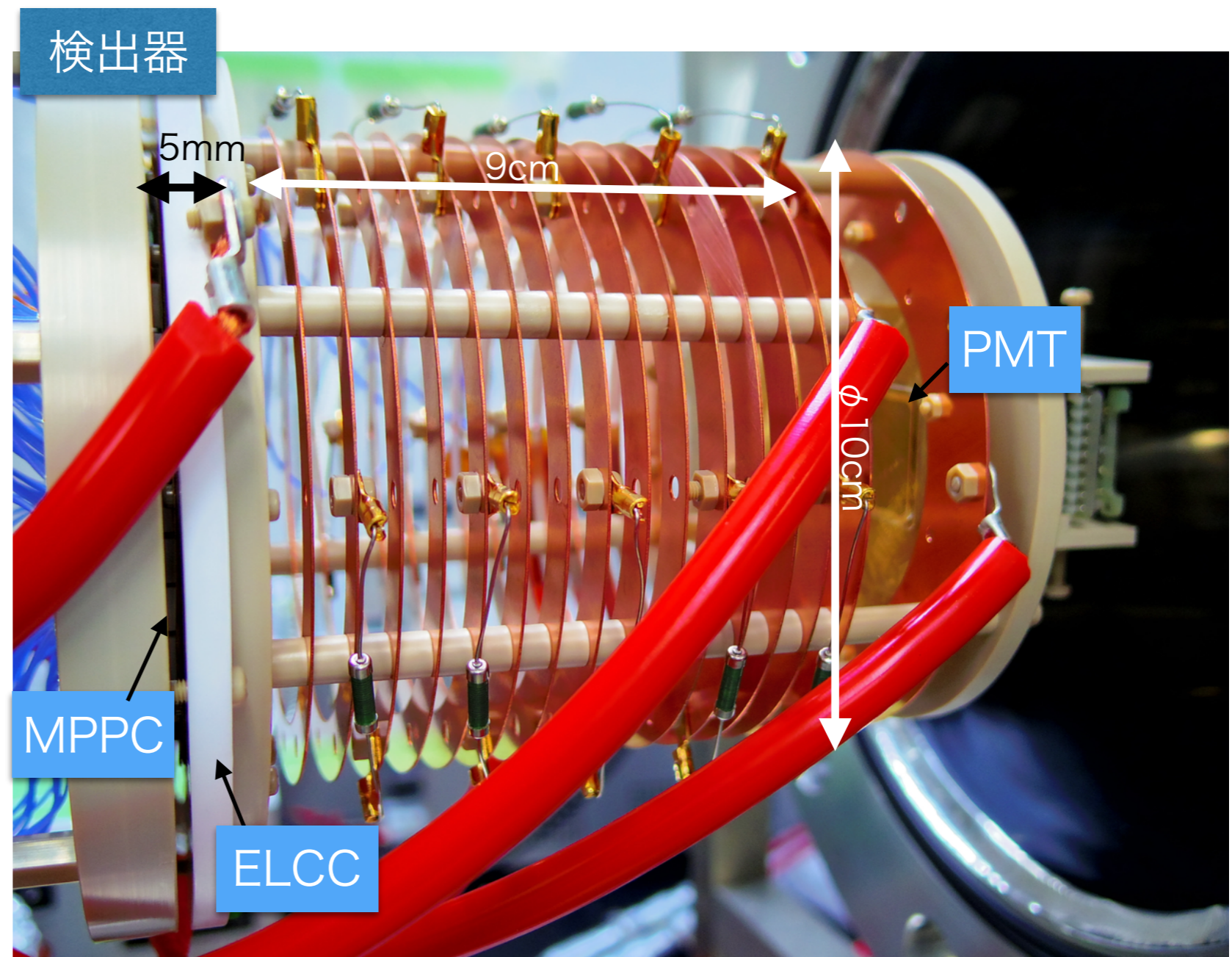
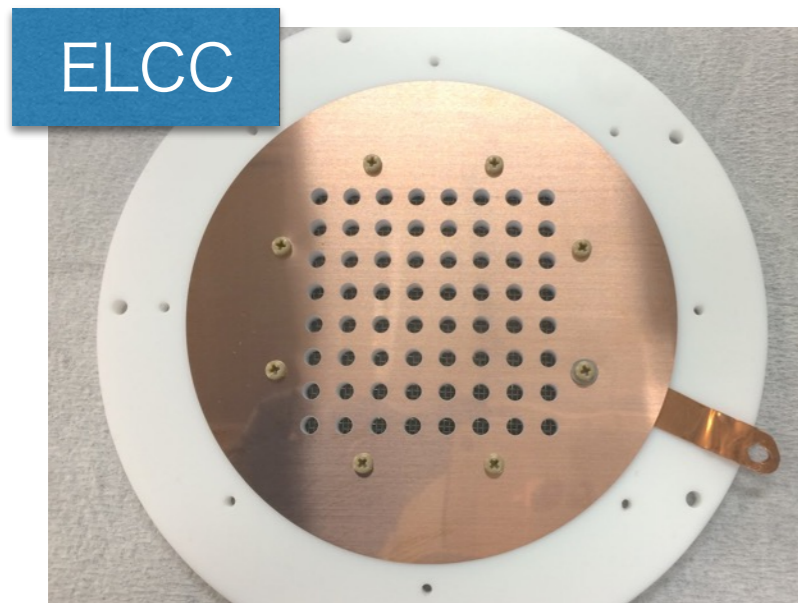
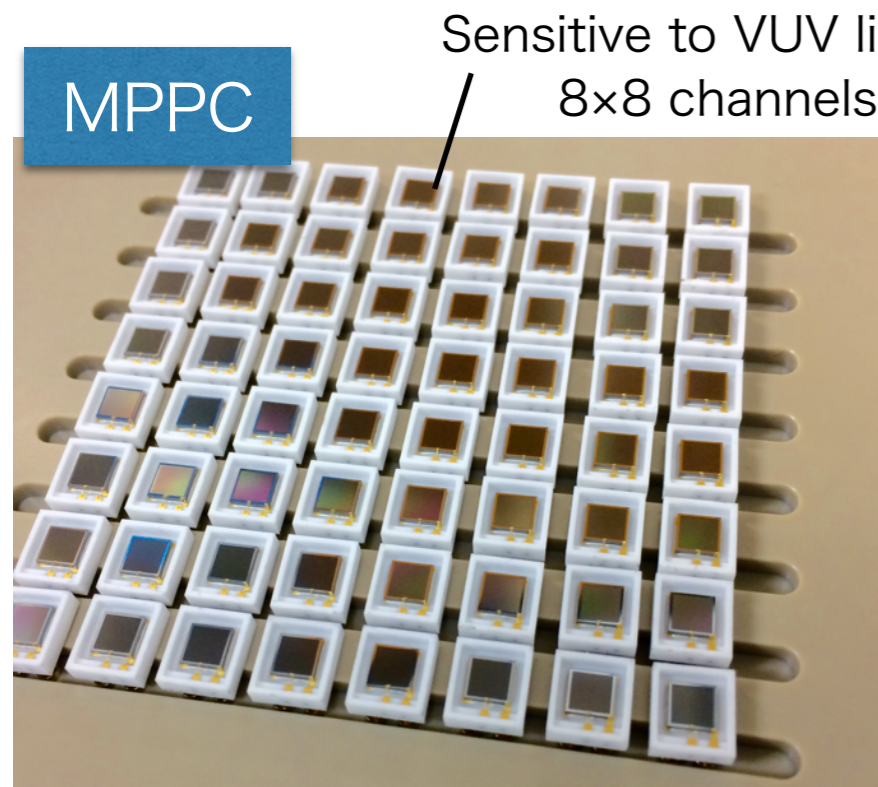
次期大型試作機の開発に向けて

Summary

10L試作概要

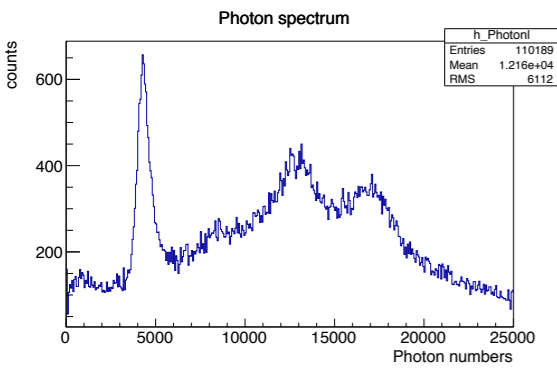
有効領域： $\phi 10\text{cm}$ 、長さ 9cm 、64chの試作機を製作

ガンマ線源(511keVなど)を用いてエネルギー分解能の評価を行うことが目的



試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

Photon spectrum

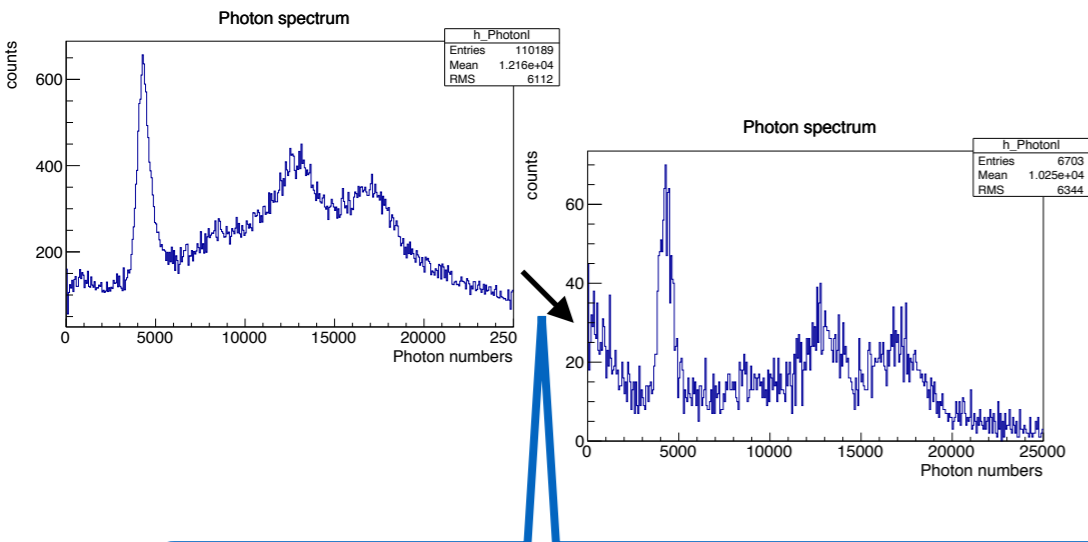


Measurement conditions

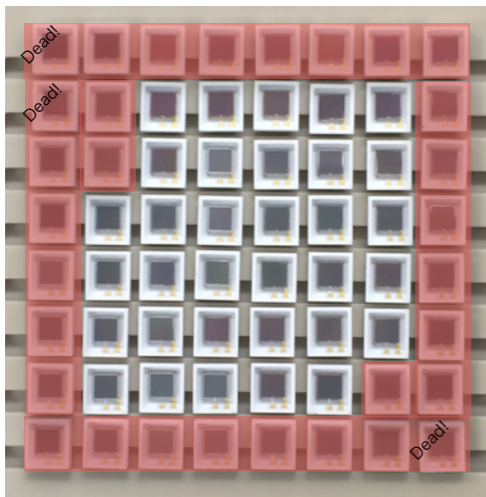
Gas Pressure	4.0 気圧
E (EL regeion)	2.7 kV/cm/atm
E (drift region)	100 V/cm/atm
Source	^{57}Co (122 keV γ -ray)

試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

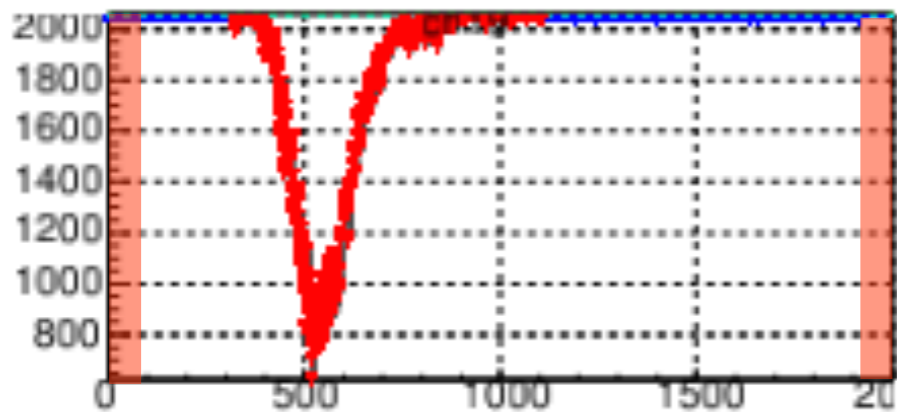
Photon spectrum



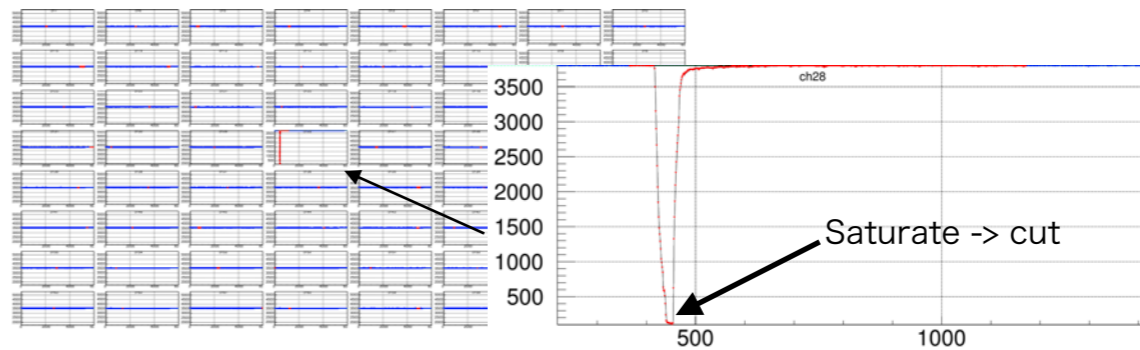
Fiducial cut



Red : veto

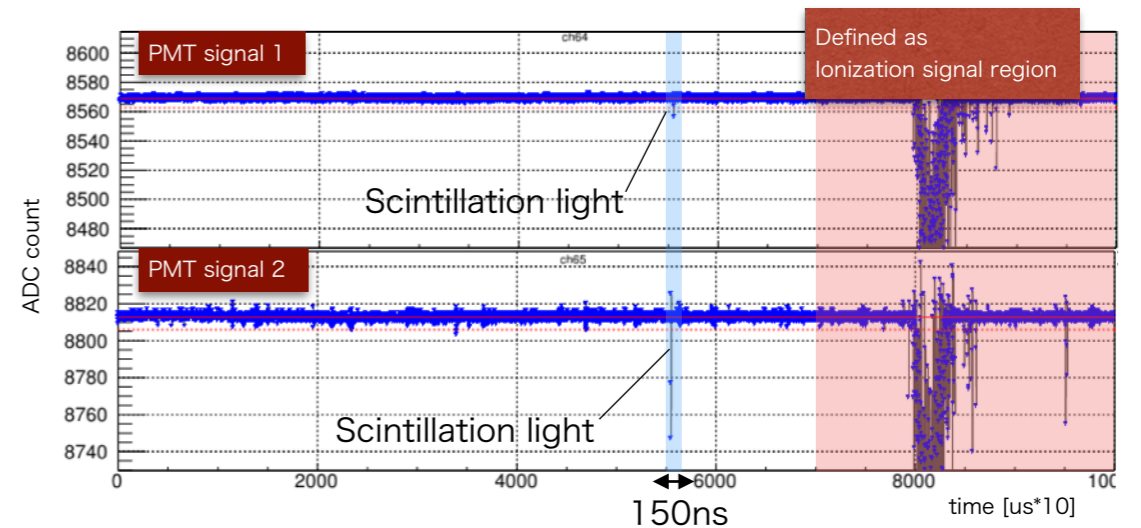


Saturation cut



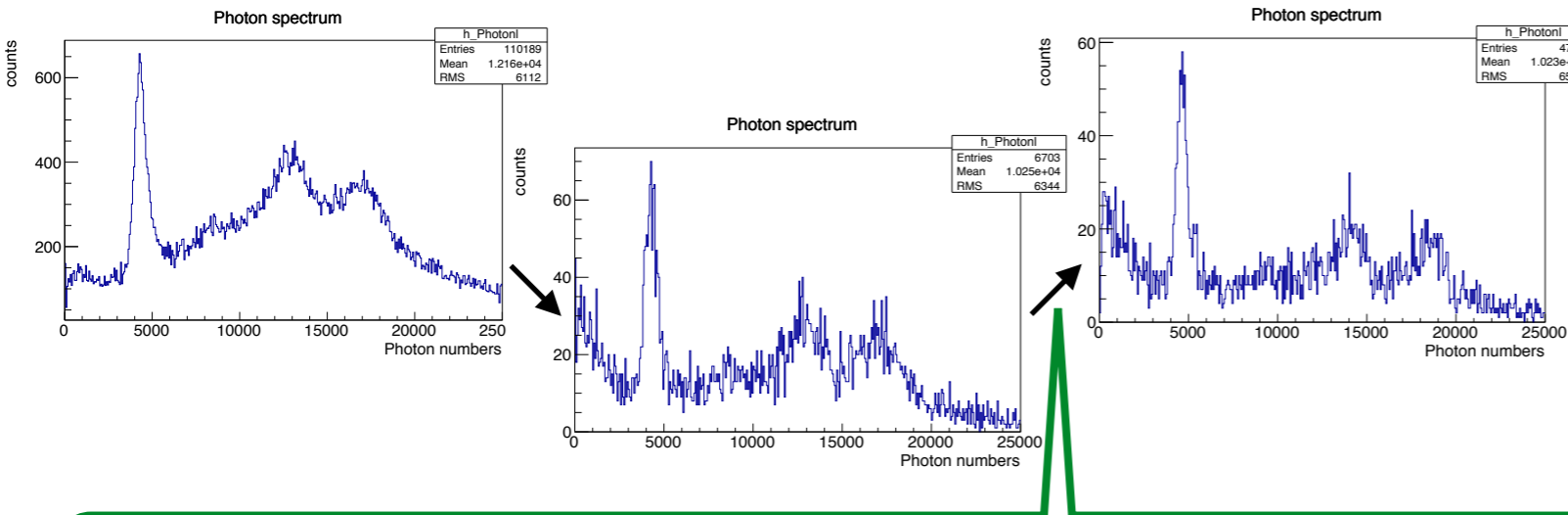
Event which has no coincidence of two PMTs

-> cut

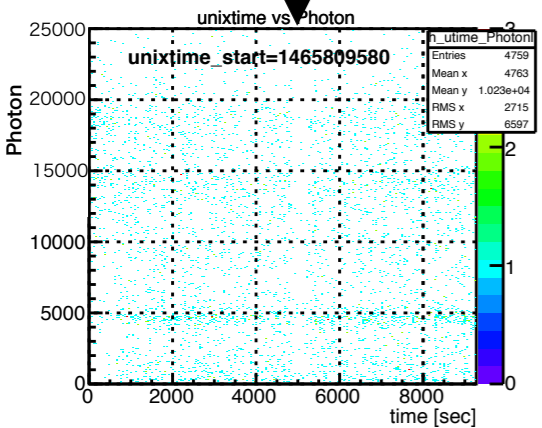
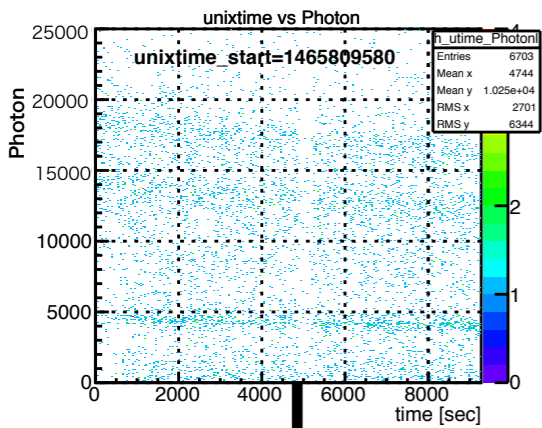


試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

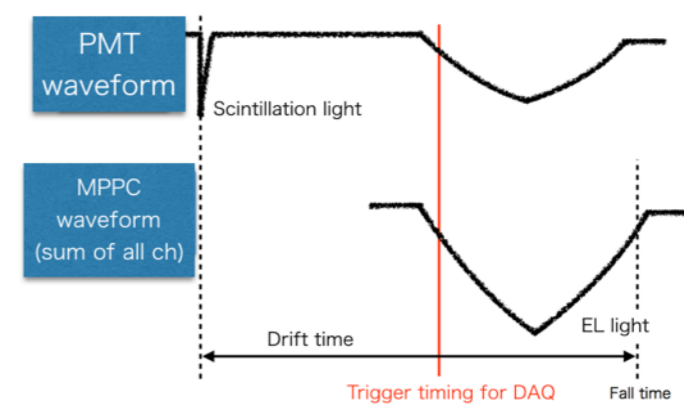
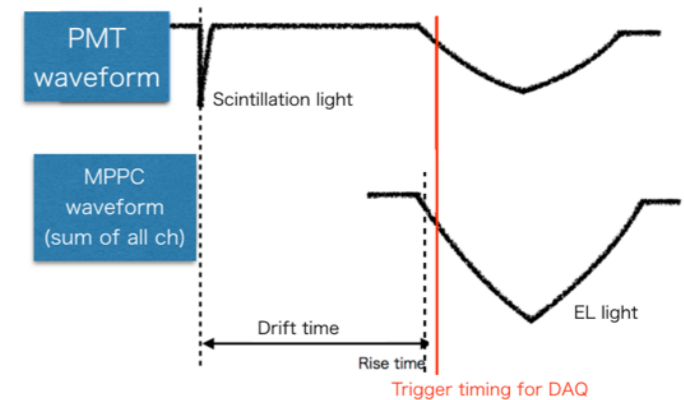
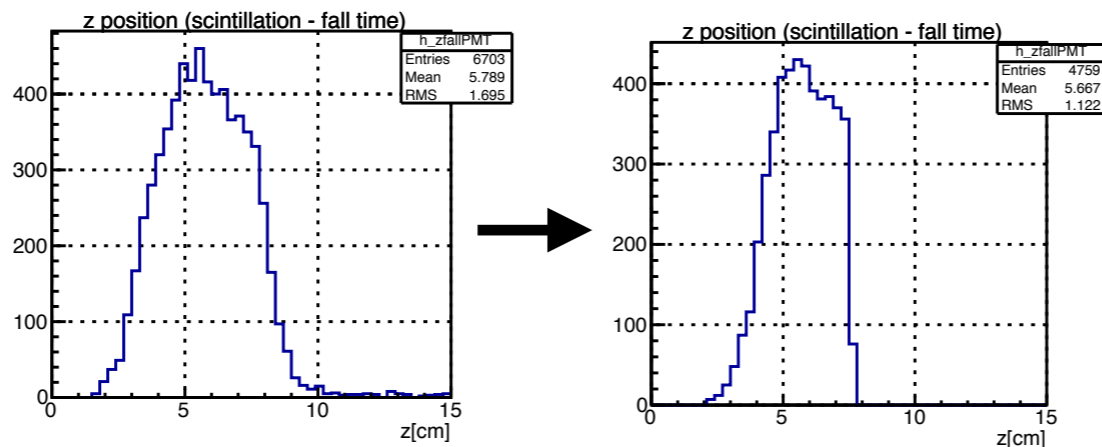
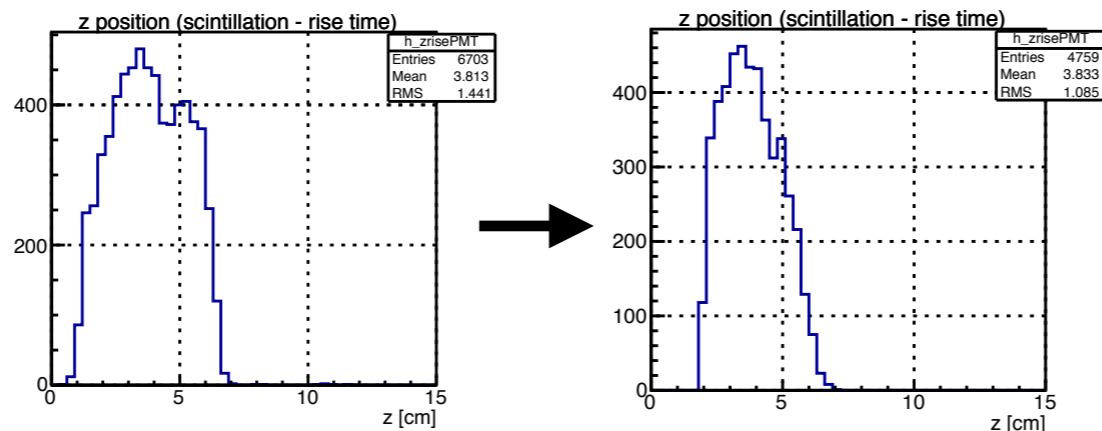
Photon spectrum



Time vs Photon correction

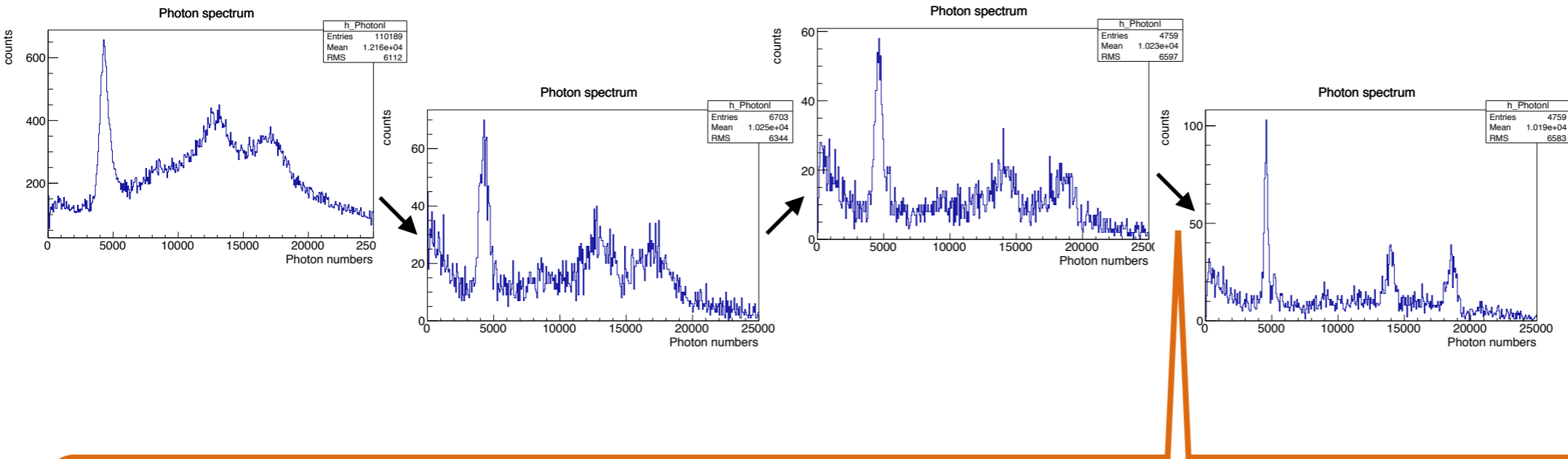


Fiducial cut of drift direction (2 - 7.5 cm)



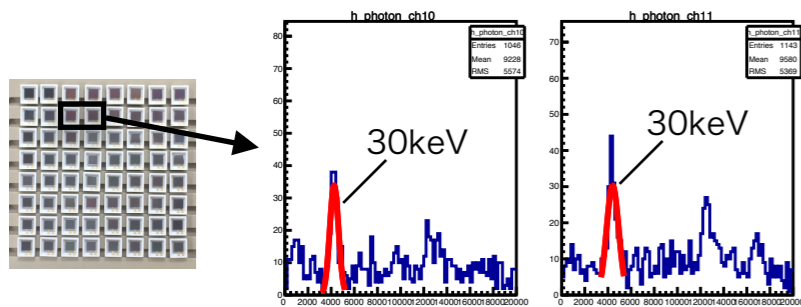
試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

Photon spectrum

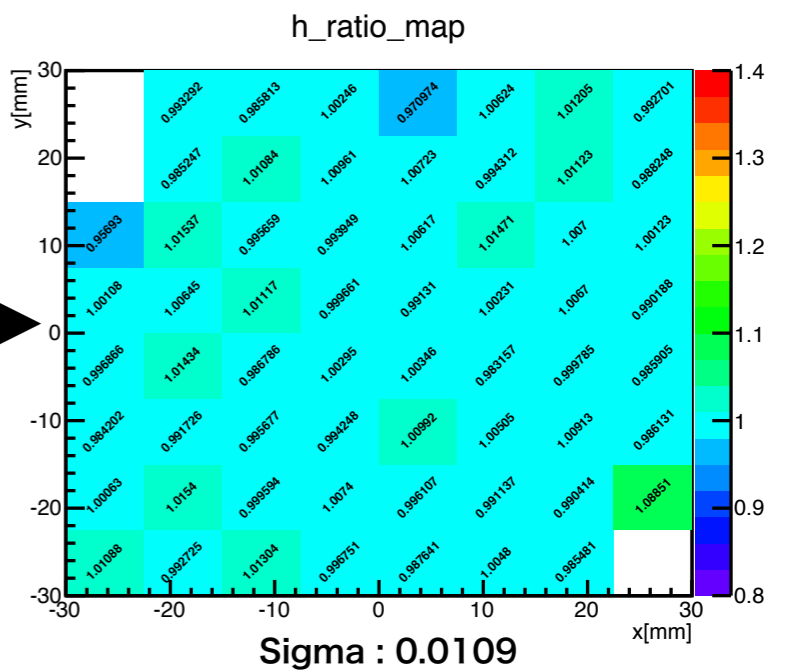
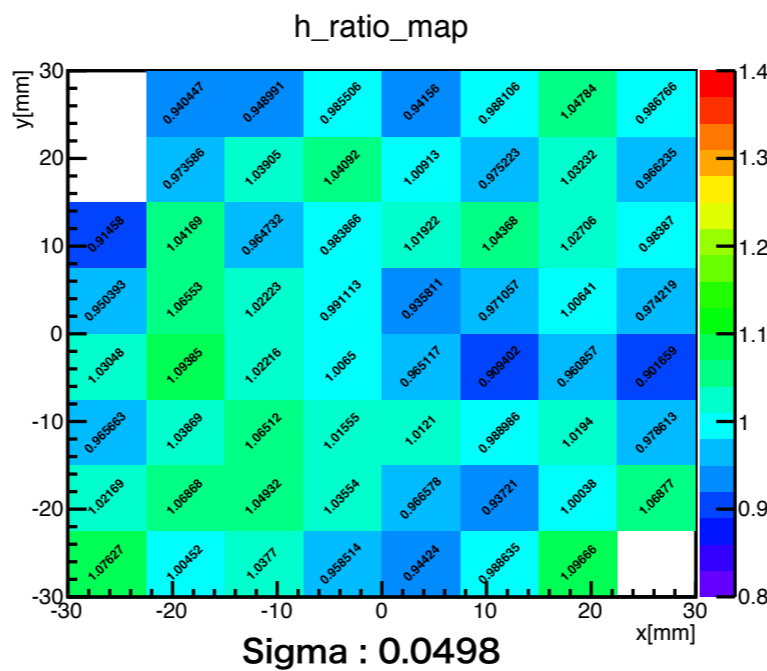


EL gain correction

Total number of photon of 30 keV gamma ray for "each cell"

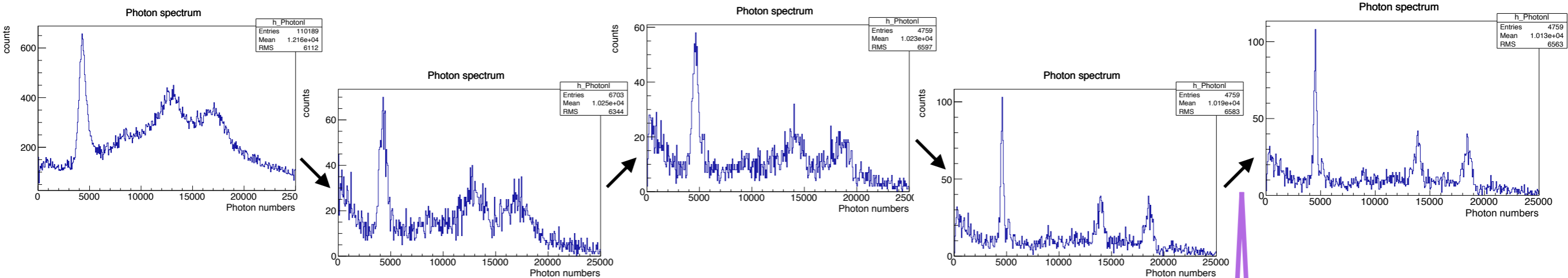


Correction using 30 keV X-ray peak position

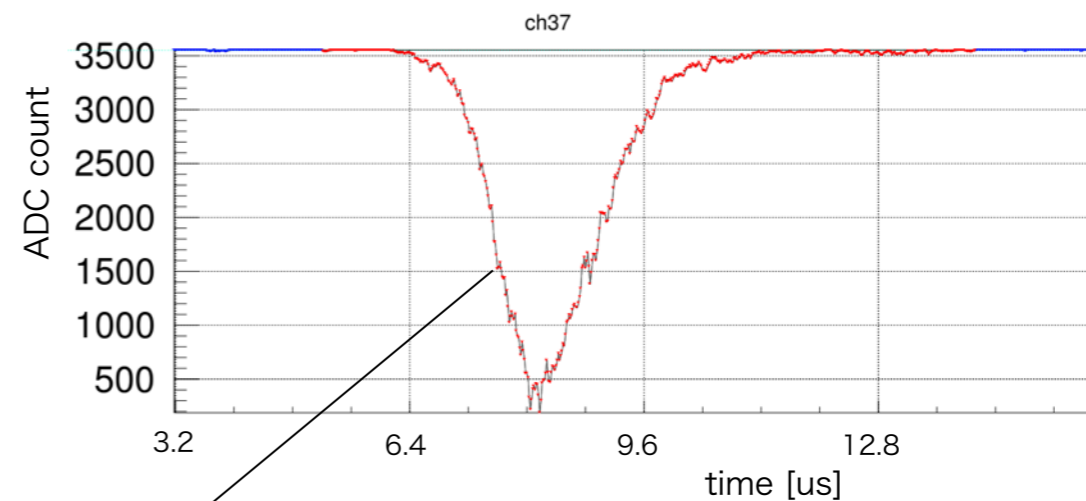


試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

Photon spectrum



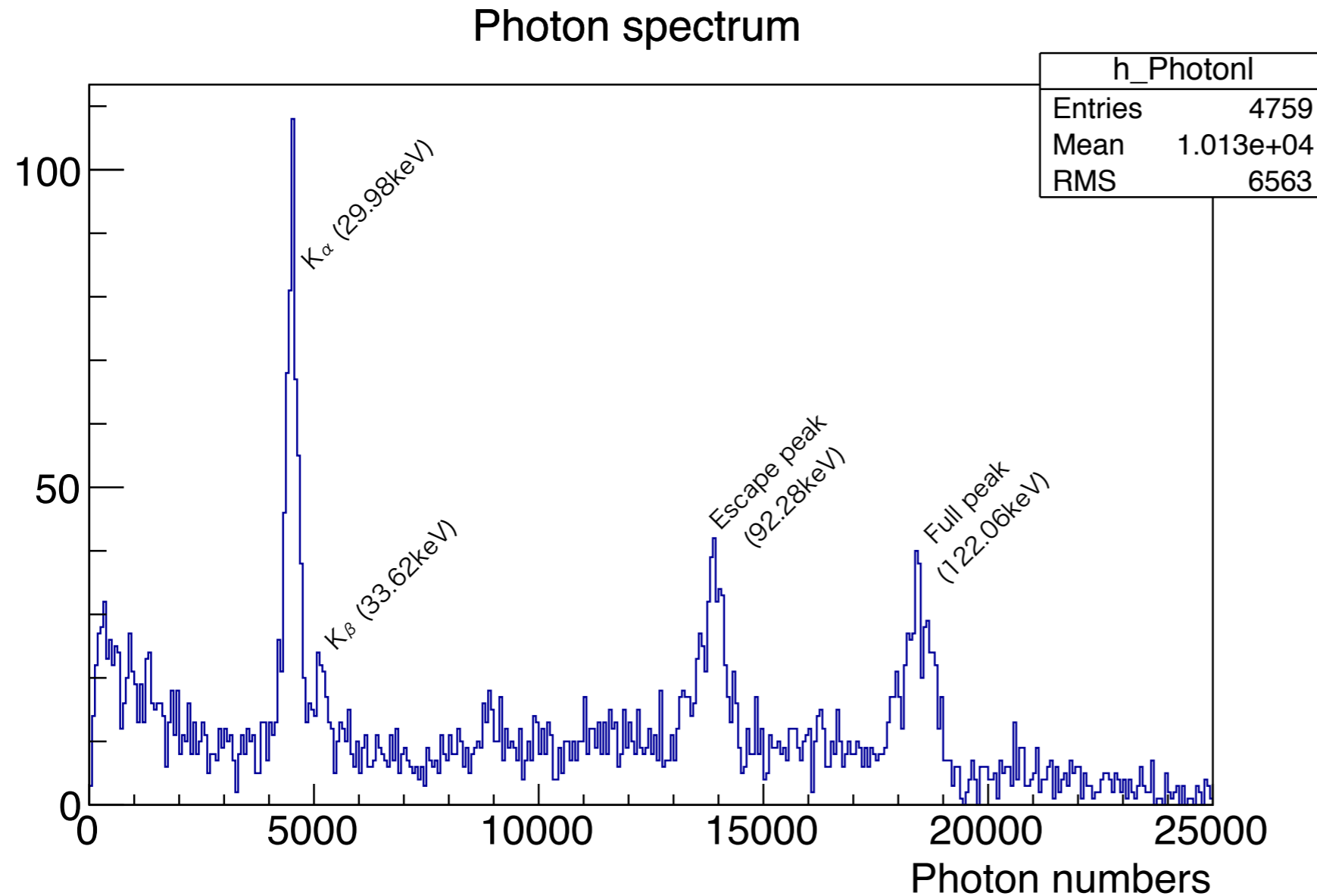
Dark current correction



Dark current contaminates in EL signal
 -> Subtract the contribution channel by channel.

試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

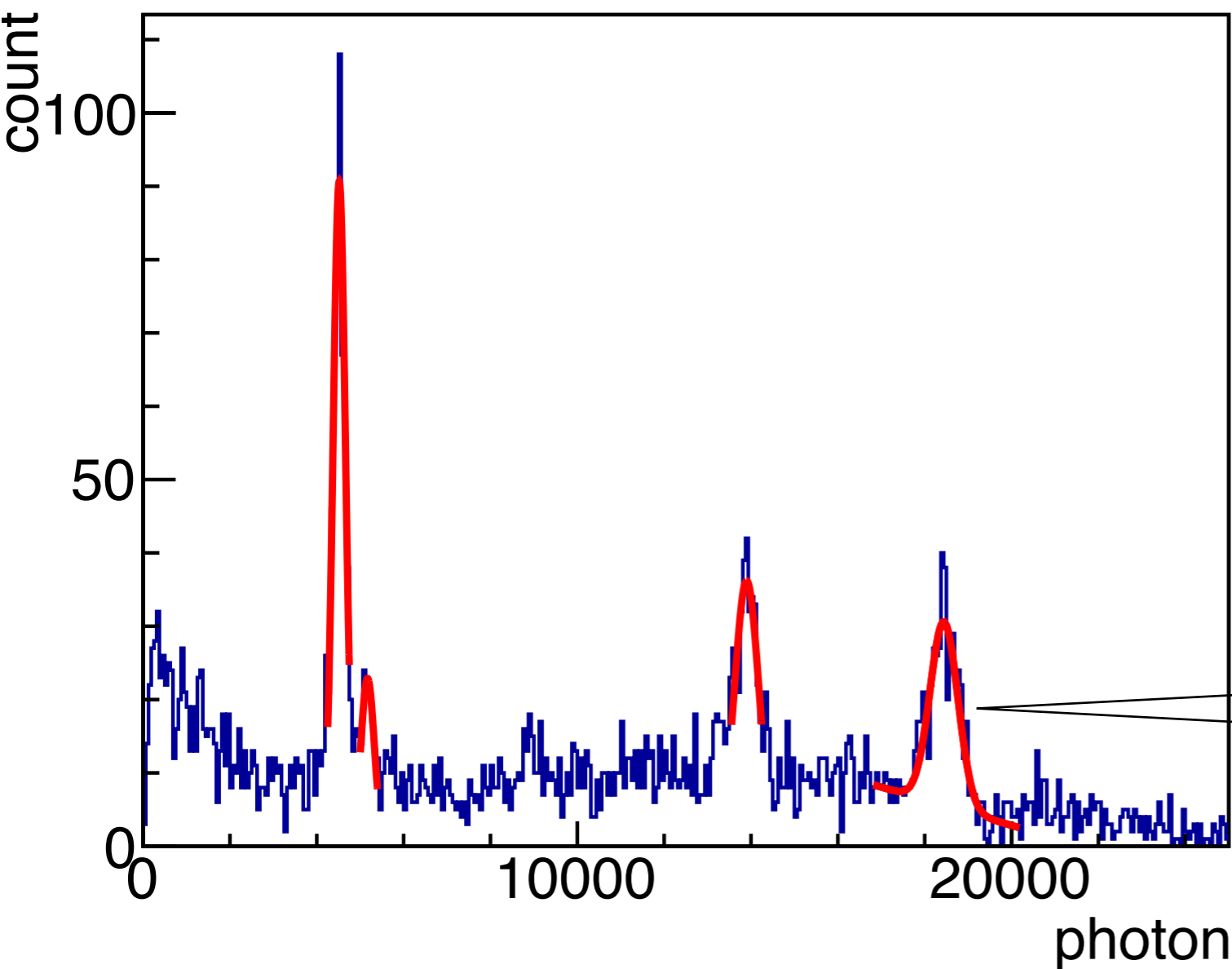
Photon spectrum after all cut & corrections



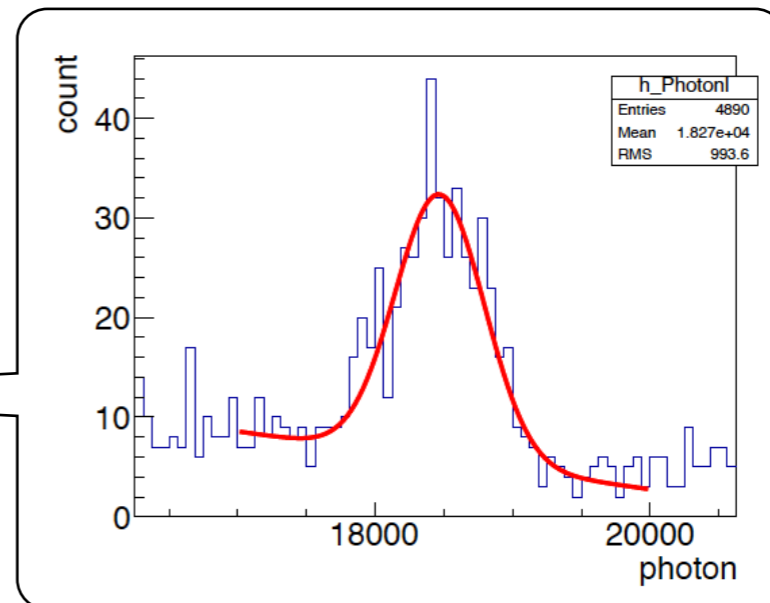
統計がたりないため、(特に90keVの)ピーク構造がはっきりしない
長時間測定をしようと思うと、ガスの純度と放電が問題となっている

試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

Energy resolution



ガウシアンでフィット
 122keVだけはバックグラウンドの影響
 を考慮するため、
 “ガウシアン + ax + b”でフィット

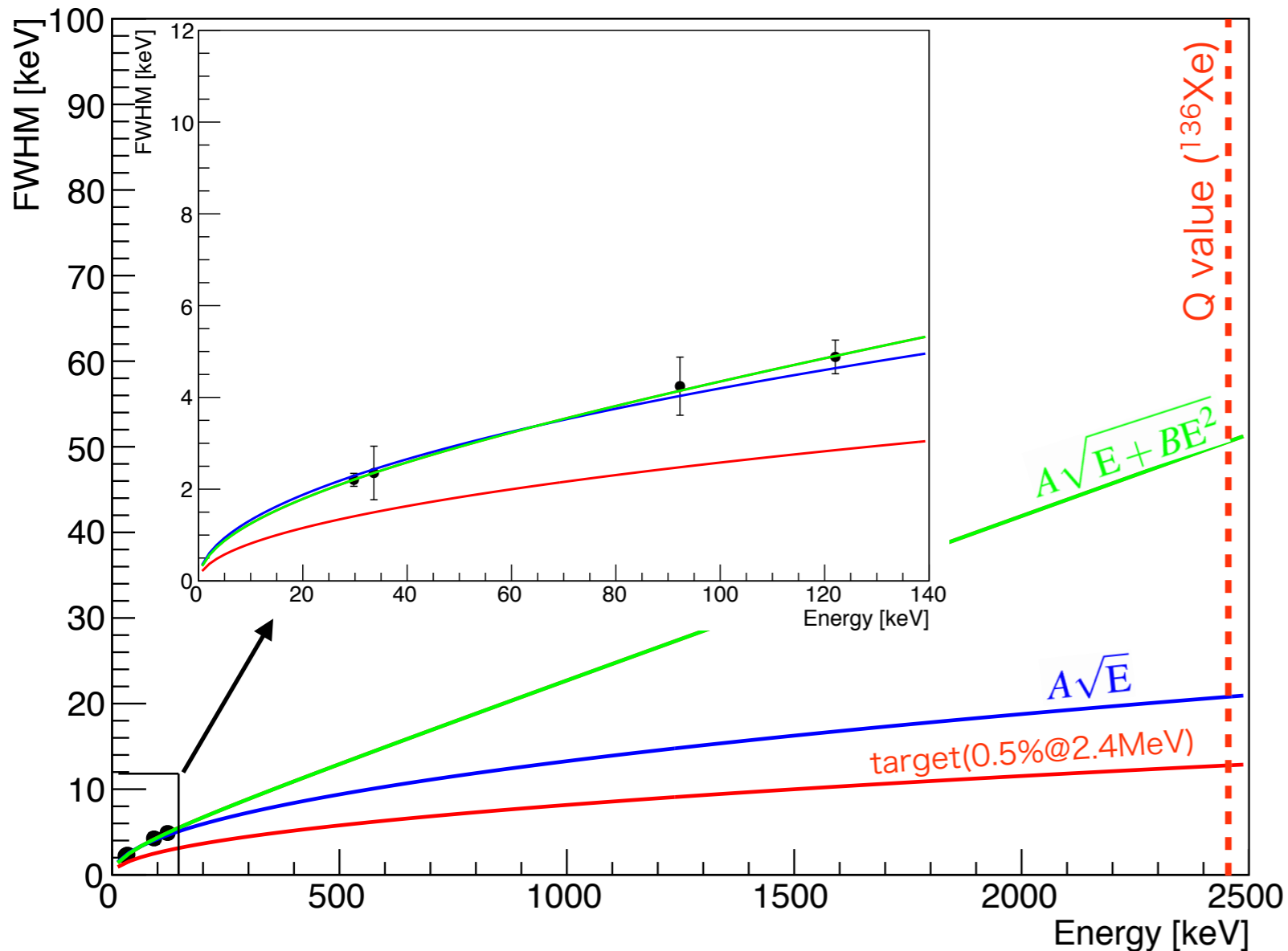


Energy [keV]	29.78	33.62	92.28	122.06
# of photon	4517.3	5169.5	13900.2	18445.0
FWHM	7.3%	7.0%	4.6%	4.0%

試作機の性能評価 - 122keV @ 4気圧 -

- Extrapolated energy resolution at Q-value

Deposit energy [keV] vs FWHM [keV]



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

$$A = 0.3907 \pm 0.0365$$

$$B = 0.0023 \pm 0.0028$$

-> Extrapolate to Q-value

FWHM 2.03% (@2458keV)

$$A\sqrt{E}$$

$$A = 0.4197 \pm 0.0191$$

-> Extrapolate to Q-value

FWHM 0.85% (@2458keV)

前回学会との比較

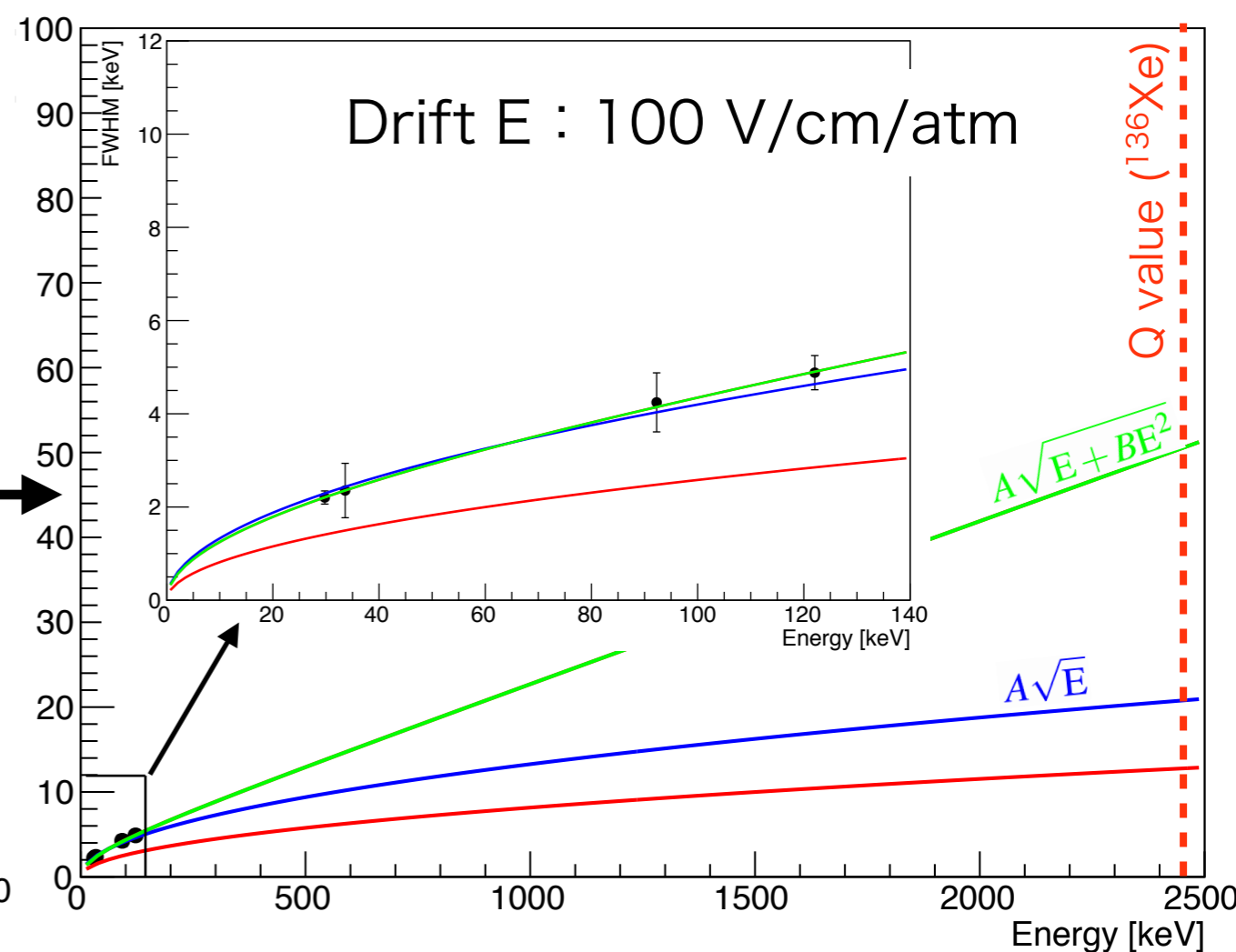
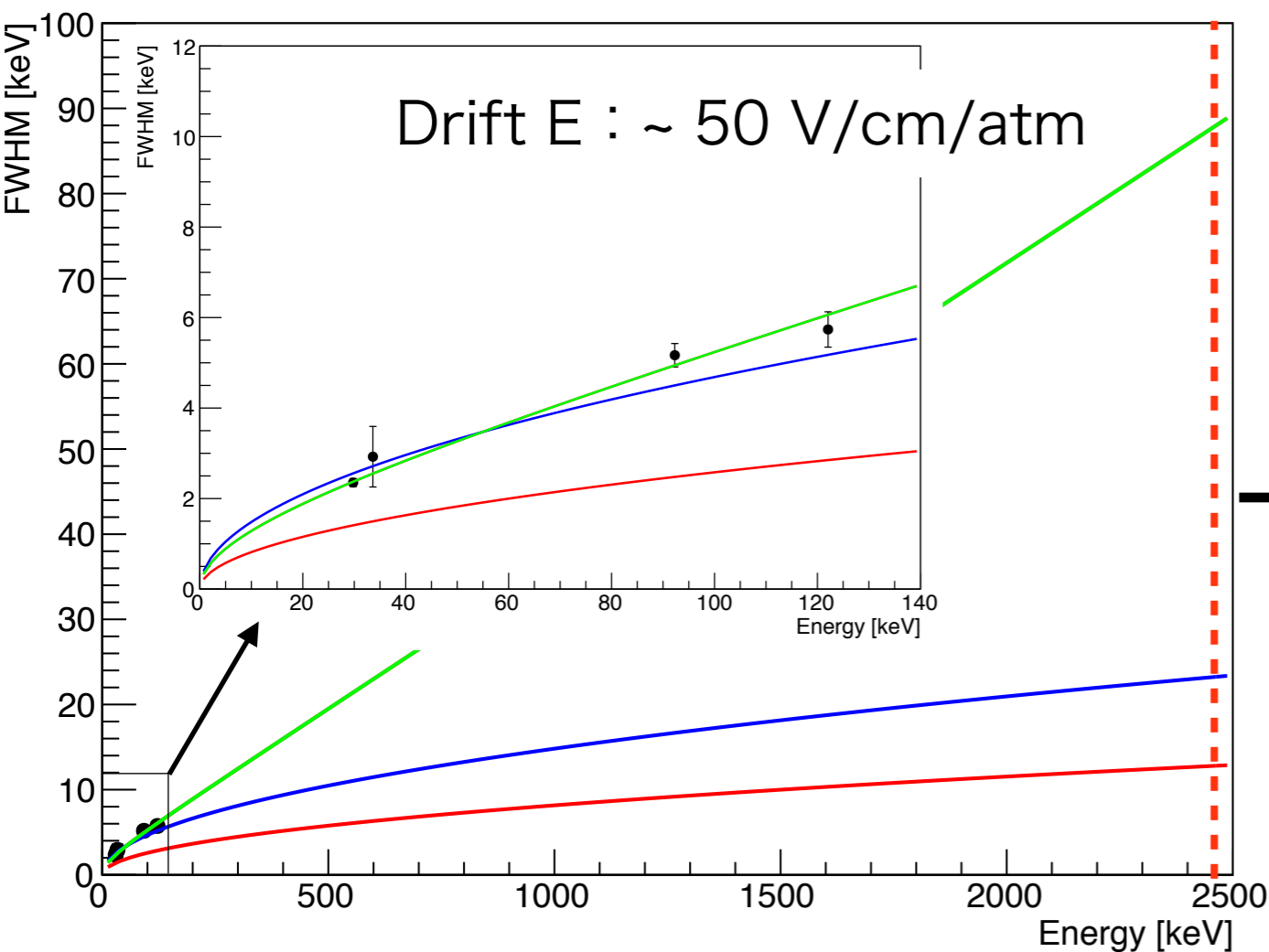
Improved!!!

MPPC + WLS (previous JPS)

VUV-MPPC (This work)

Deposit energy [keV] vs FWHM [keV]

Deposit energy [keV] vs FWHM [keV]



Energy [keV]	29.78	33.62	92.28	122.06
FWHM@Q値 (converted by \sqrt{E})	0.9%	1.0%	1.1%	1.0%

Energy [keV]	29.78	33.62	92.28	122.06
FWHM@Q値 (converted by \sqrt{E})	0.8%	0.8%	0.9%	0.9%

文献によると、ドリフト電場を上げればさらにエネルギー分解能は上がるはず

Contents

AXEL -A Xe ElectroLuminescence

試作機の性能評価：122 keV gamma-ray

試作機の性能評価：511 keV gamma-ray ……？

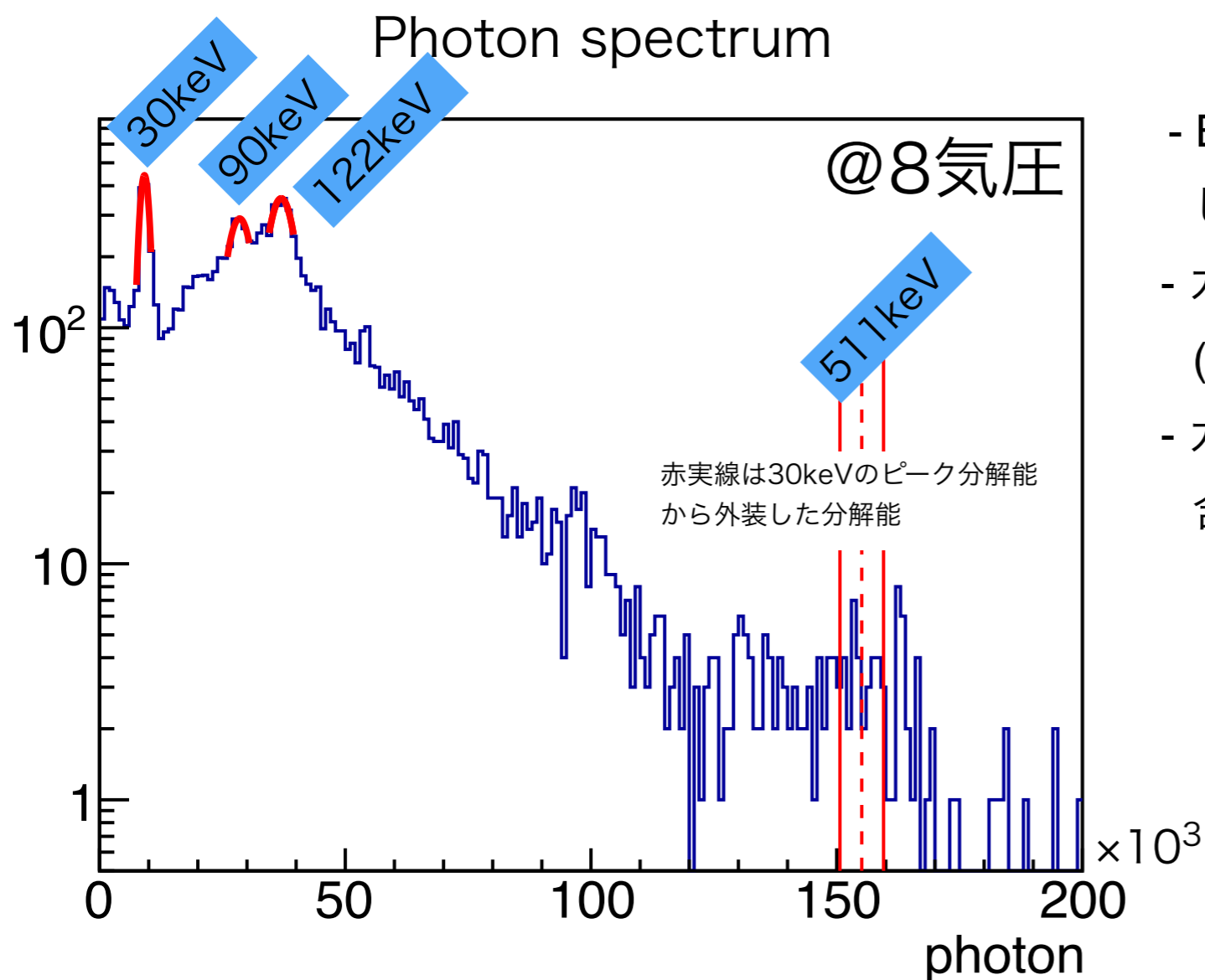
次期大型試作機の開発に向けて

Summary

試作機の性能評価 - 511keV @ 8気圧 -

消滅ガンマ線由来の511keVのピークははっきりとは見えなかった
放電のせいで電圧をあげられないことが原因？

- Drift電場が低いと、recombination、拡散などが問題となる
- EL増幅領域の電場が低いと、cellへの収集効率の悪化



- EL増幅領域の電場は、電極とPTFEの穴の配置を改良して電圧を上げられそう
- カソードについては、放電箇所を調査中 (原理的な問題ではない)
- ガスの純度悪化については、まもなくフィルターを含んだ循環系が稼働するはず

Measurement conditions

Gas Pressure	8.0 気圧
E (EL regeion)	2.125 kV/cm/atm
E (drift region)	57.8 V/cm/atm
Source	²² Na (511 keV γ -ray)

Contents

AXEL - A Xe ElectroLuminescence detector -

試作機の性能評価：122 keV gamma-ray

試作機の性能評価：511 keV gamma-ray ……？

次期大型試作機の開発に向けて

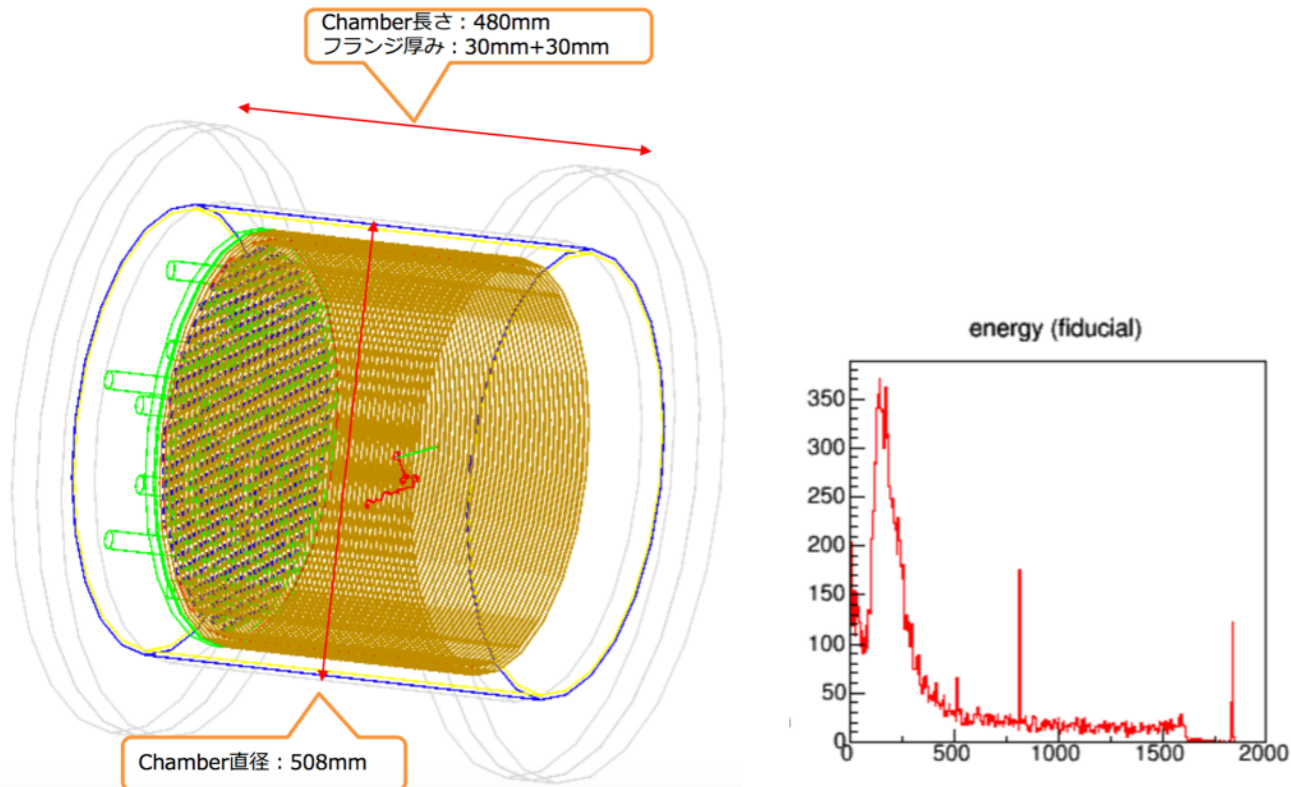
Summary

次期試作機の開発に向けて

次期試作機で大型化のノウハウ獲得とQ値(2458keV)に近いエネルギーのガンマ線による性能評価

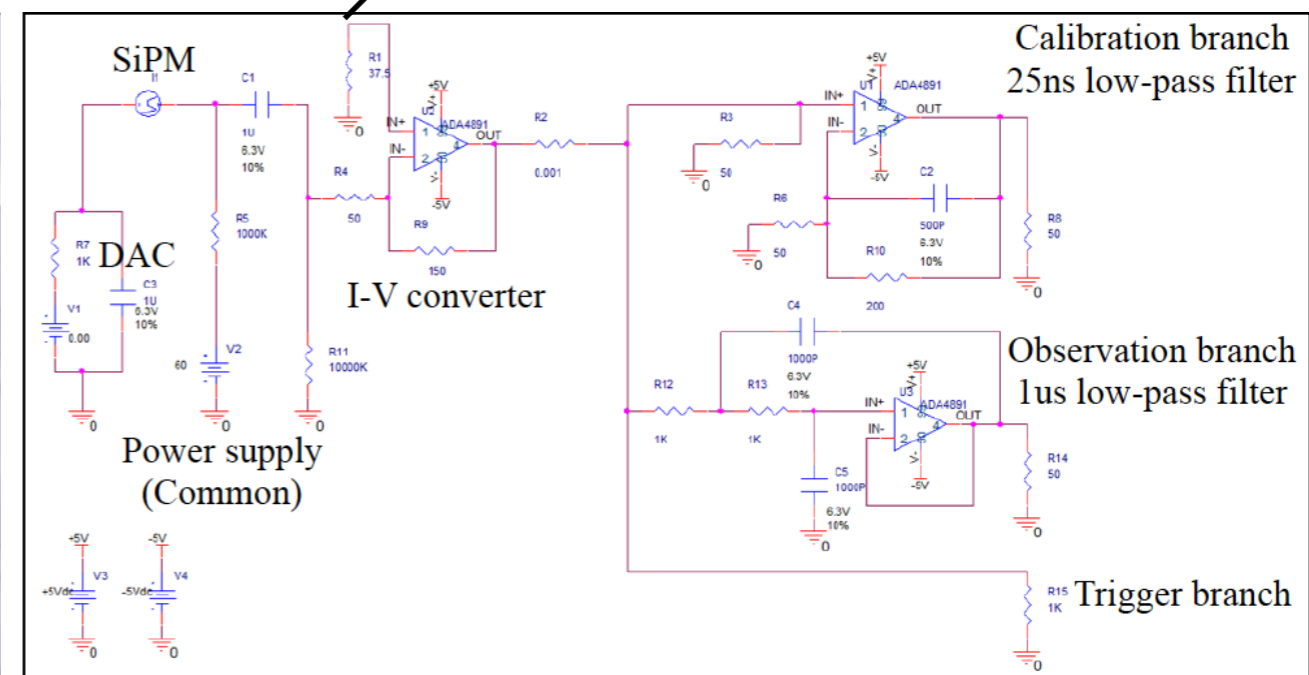
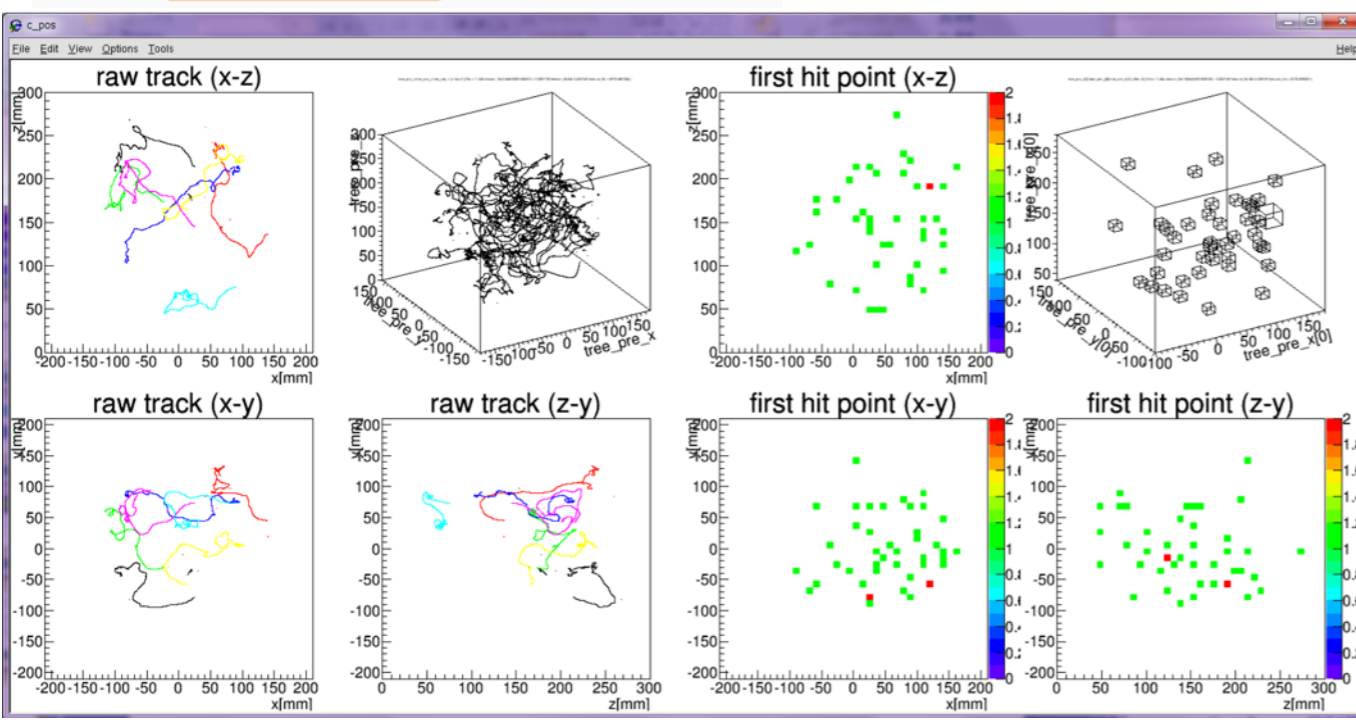
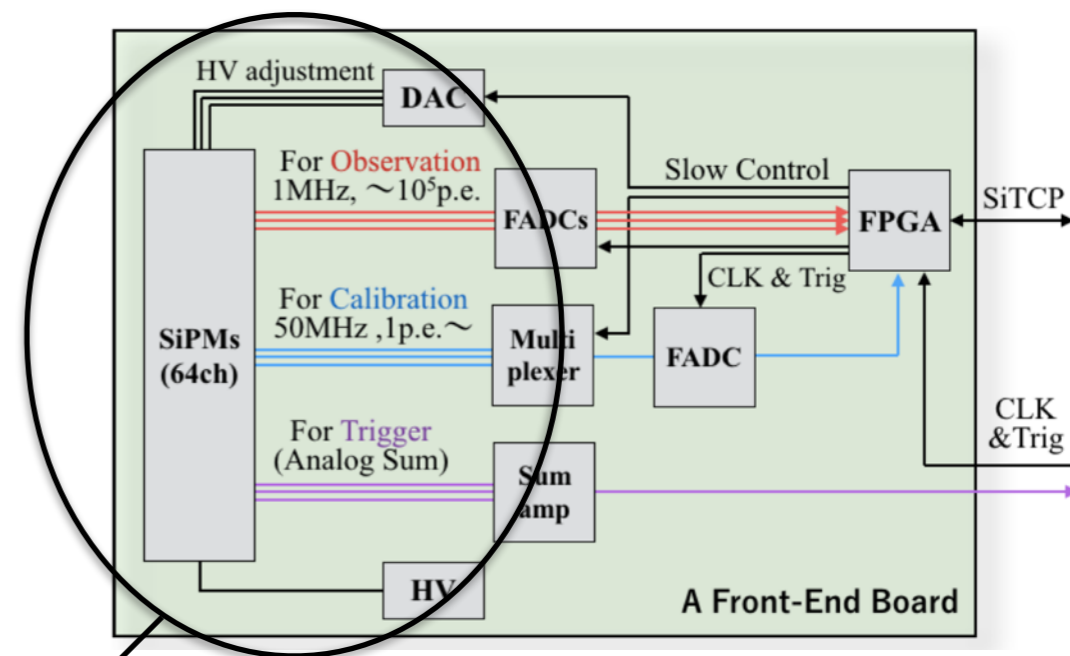
-> 設計・製作のためのstudy中

Simulation by 中村 輝石



Readout Electronics by 田中駿祐

-> 講演: 24aSF-4



Contents

AXEL - A Xe ElectroLuminescence detector -

試作機の性能評価：122 keV gamma-ray

試作機の性能評価：511 keV gamma-ray ……？

次期大型試作機の開発に向けて

Summary

Summary

^{136}Xe を二重ベータ崩壊核とした高圧キセノンガスTPC：AXELを開発

- 大質量、高エネルギー分解能、背景事象除去能を兼ね備えた検出器

試作機を開発、VUV-MPPCで ^{57}Co ガンマ線源を用いた性能評価

- 122keVのガンマ線で4.0%(FWHM)のエネルギー分解能
- 二重ベータ崩壊のQ値(2458keV)換算で0.9~2.0%(FWHM)のエネルギー分解能
- 目標分解能(0.5%FWHM@Q値)には届いていないが、ドリフト電場の最適化など、改善の余地はあり

試作機を開発、VUV-MPPCで ^{22}Na ガンマ線源を用いた性能評価

- 511keVのピークは見えず
- 放電対策が急務

次期大型試作機の開発に向けたstudy、設計の実施中

- AXELメンバー総出となって進めている
- 回路：田中駿祐(講演：24aSF-4)、シミュレーション：中村輝石