

# AXEL実験

京都大学 理学研究科

物理学第二教室 高エネルギー物理学

博士後期課程1年 潘 晟

2017年2月20日 ICEPPシンポジウム@白馬

# $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験

(起こったとしても)非常にレアなイベント： $^{136}\text{Xe}$ の $0\nu\beta\beta$ 崩壊の半減期

$$T_{1/2} > 1.07 \times 10^{26} \text{ 年} \quad (90\% \text{C.L.})$$

(by KamLAND-zen)



高エネルギー分解能

大質量崩壊核

BG除去(低BG環境)

**発見・観測に至るにはこれらの要素が不可欠！！**

# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

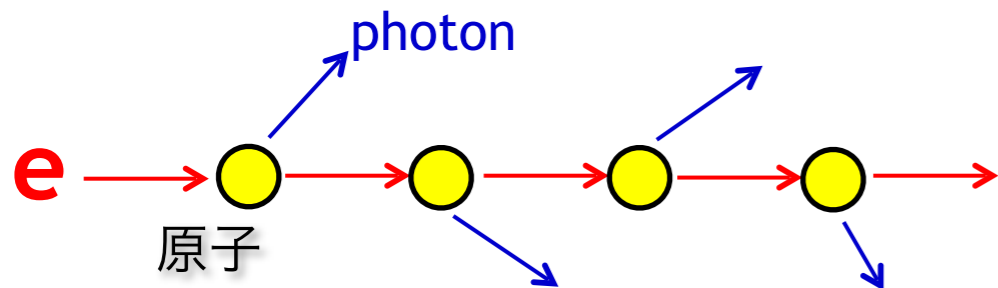
## 高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search

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

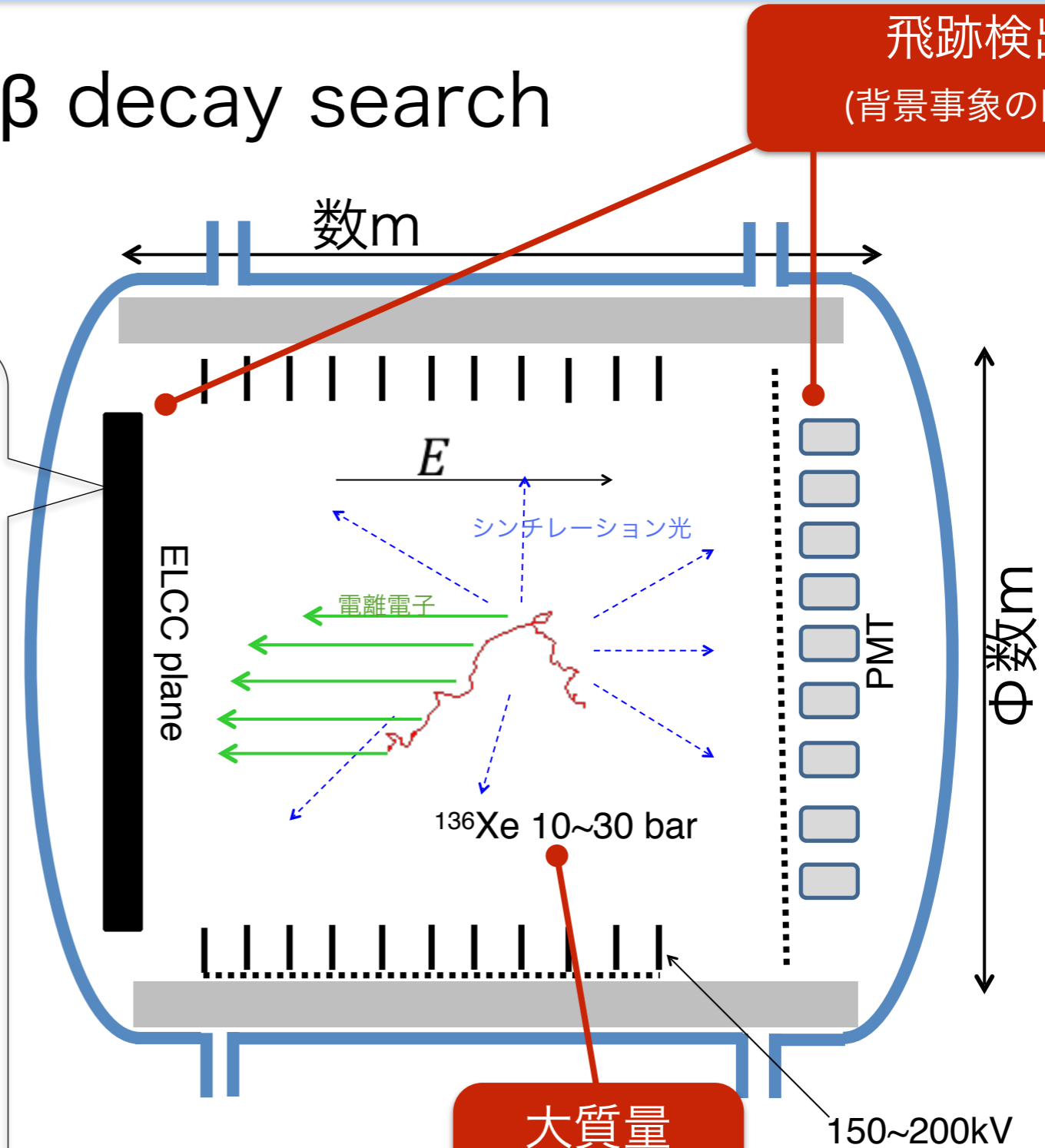
指数関数的増幅過程を伴わない

-> 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

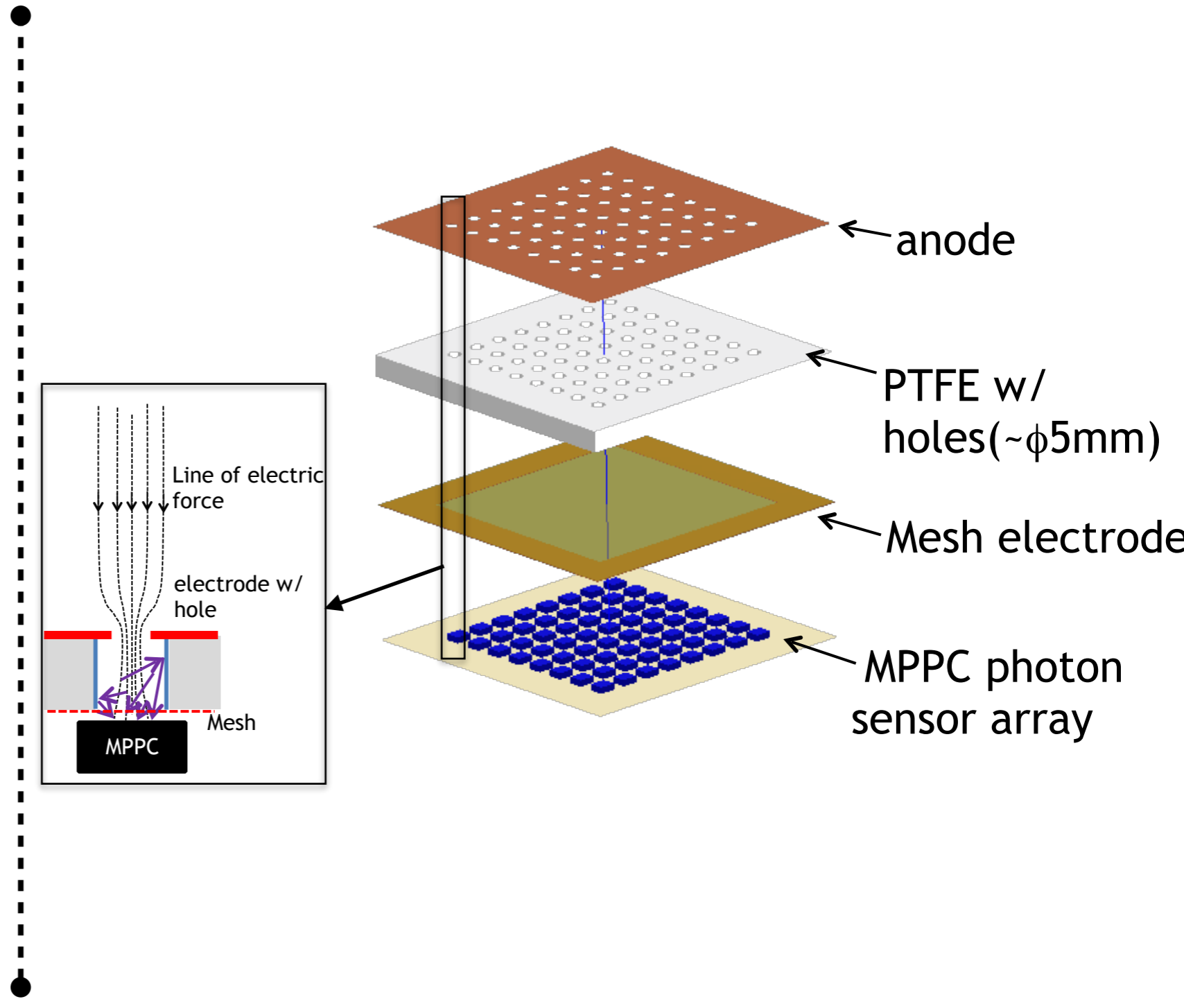
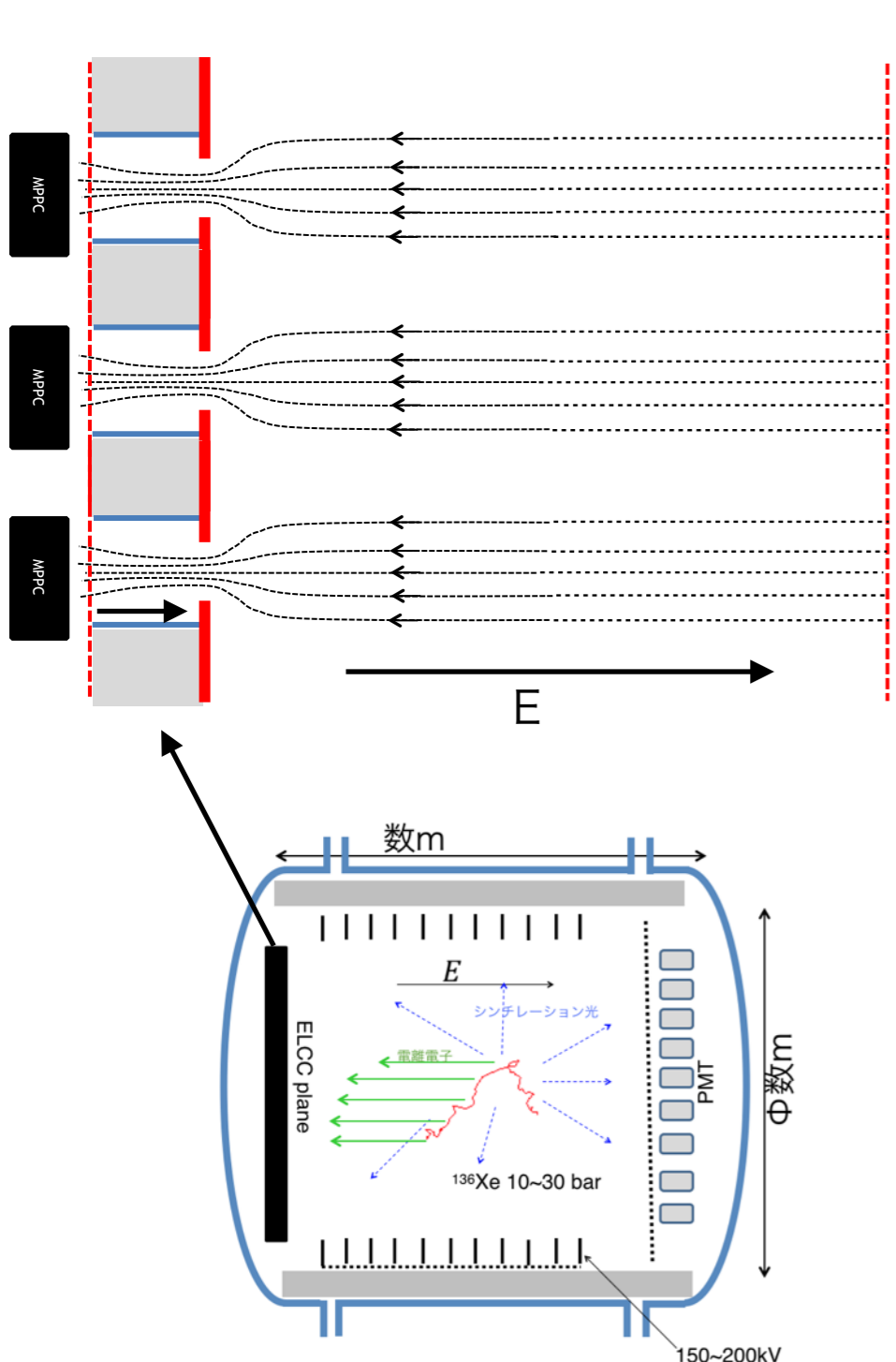


大質量

-> 約1トンの高圧 $^{136}\text{Xe}$ 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)

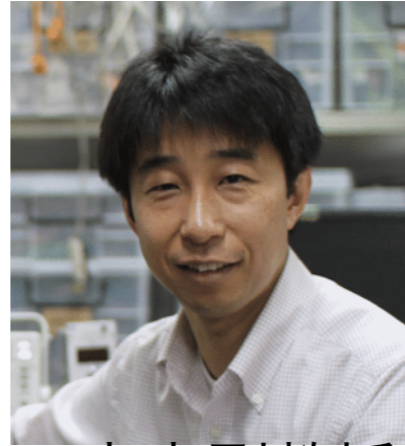


# AXEL実験 メンバー

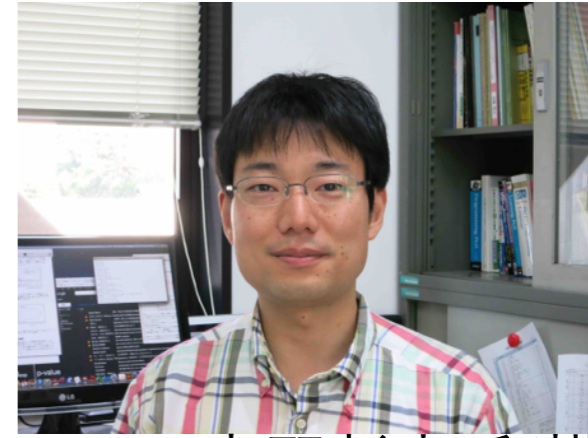
京都大学が中心となって進めている0nbb崩壊探索プロジェクト。



市川温子准教授



中家剛教授



南野彰宏氏(横国大)



中村輝石(Ph.D)



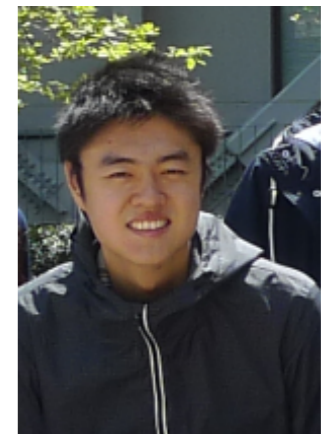
潘 晟(D1)



田中駿祐(M2)



吉田将(M1)



中村和広(M1)

廣瀬昌憲氏、関谷洋之氏(東大宇宙線研)、上島考太氏(東北大RCNS)、身内賢太郎氏(神戸大)

# 試作機の製作(UV-MPPPC)

有効領域： $\phi$  10cm、長さ9cm、64chの試作機を製作

$^{22}\text{Na}$ ガンマ線源(511keV)でエネルギー分解能の評価を行うことが目的

-> 放電が問題で、圧力をあげられず、 $^{57}\text{Co}$ (122keV)での評価

検出器

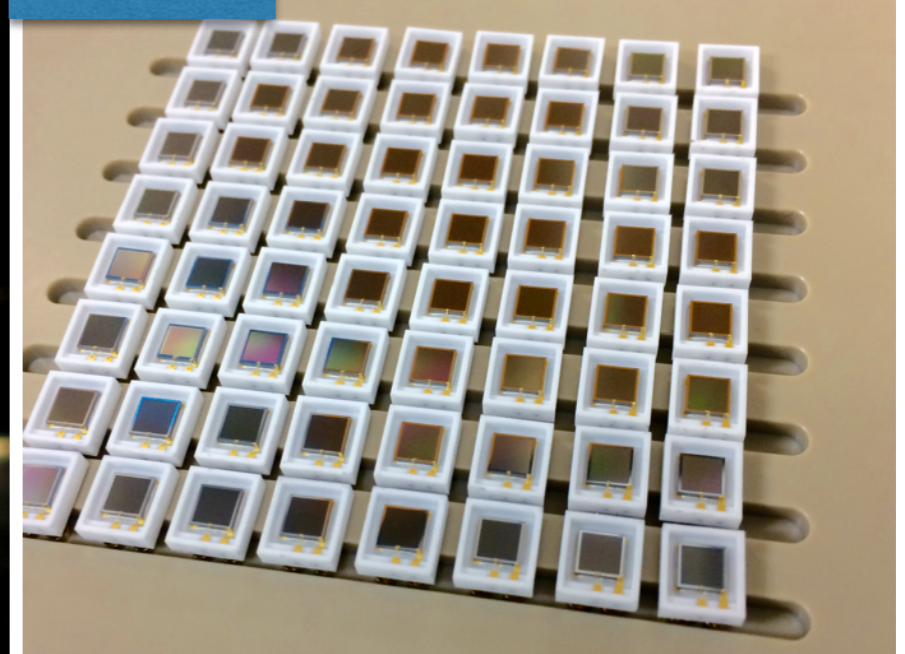
9cm

5mm

$\phi$  10cm

MPPPC

Sensitive to VUV light



Measurement conditions

Gas Pressure

4.0 bar

E (EL region)

2.7 kV/cm/atm

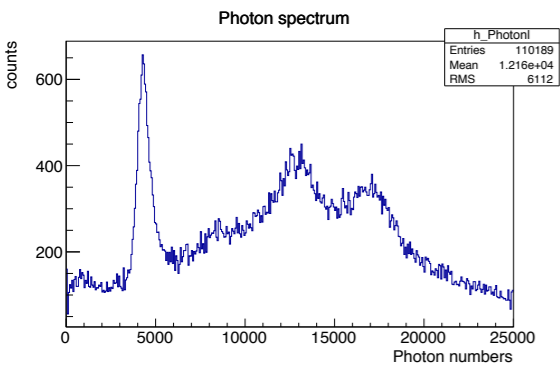
E (drift region)

100 V/cm/atm

Source

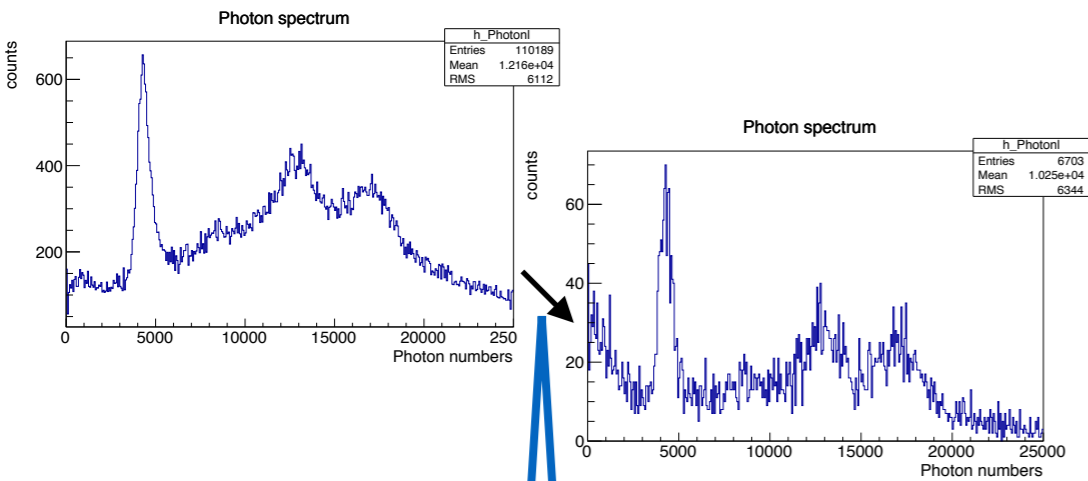
$^{57}\text{Co}$  (122 keV  $\gamma$ -ray)

## Distribution of Number-of-Photon

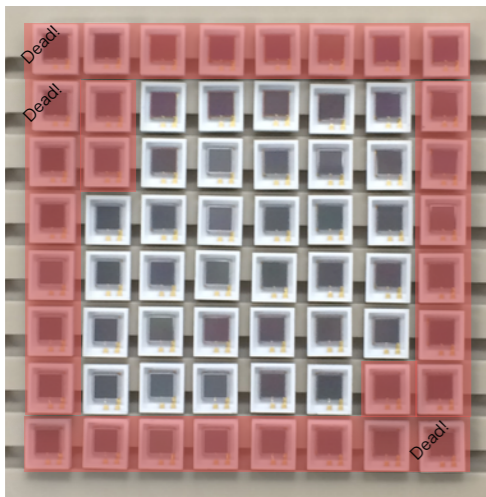


# 試作機の製作(UV-MPPC)

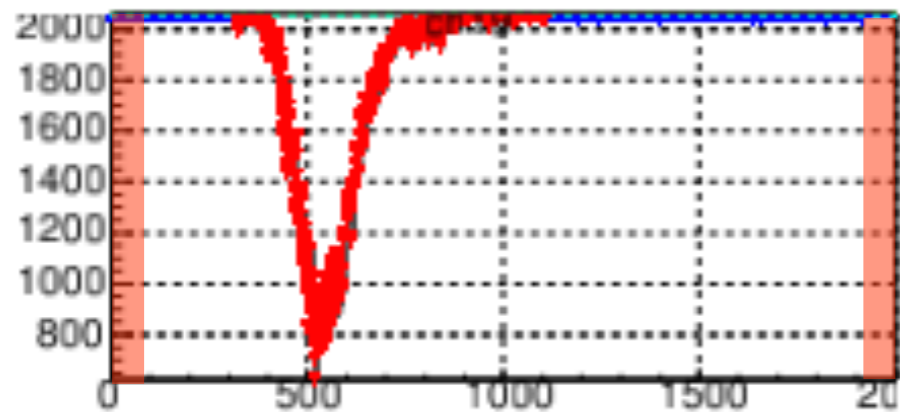
## Distribution of Number-of-Photon



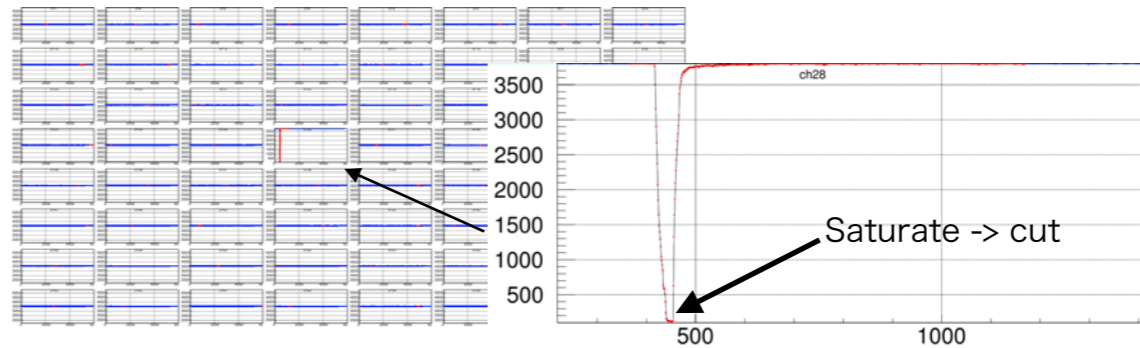
### Fiducial cut



Red : veto

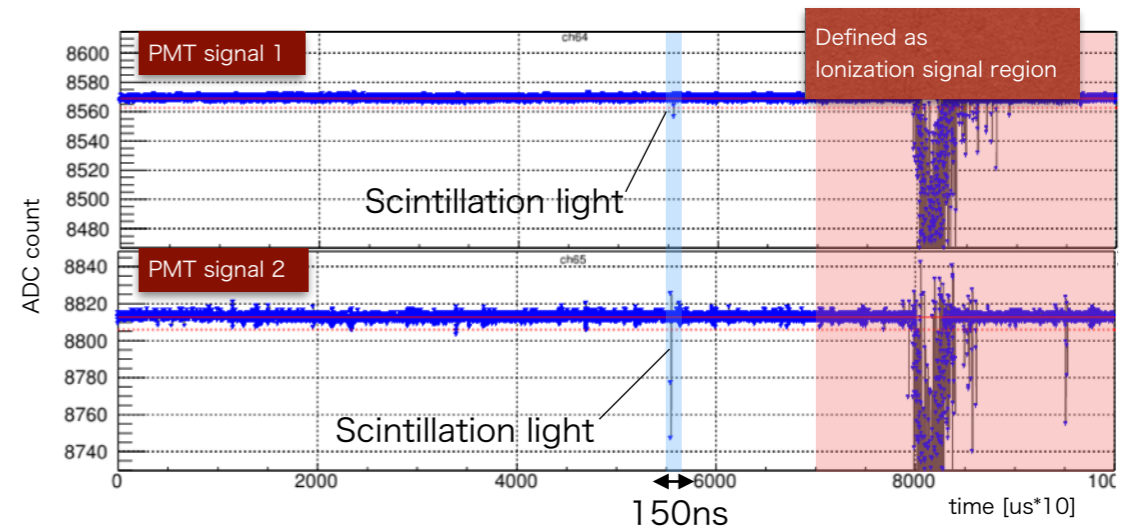


### Saturation cut



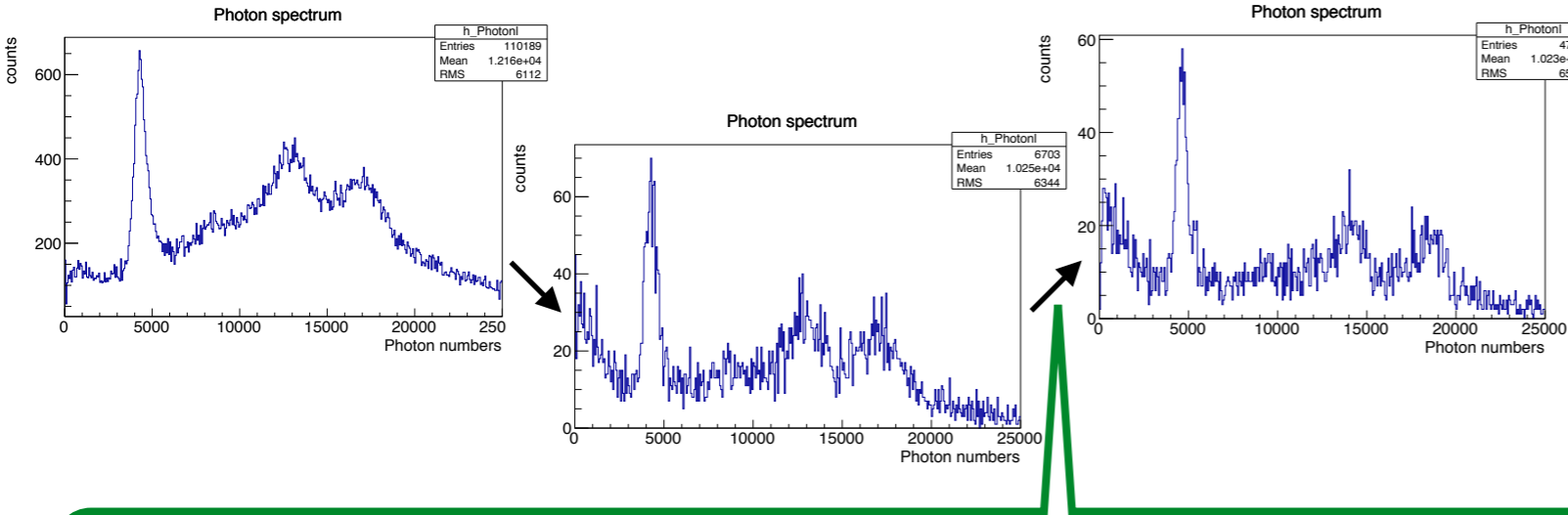
### Event which has no coincidence of two PMTs

-> cut

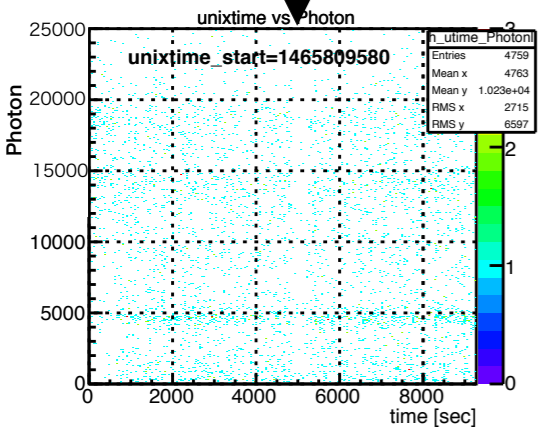
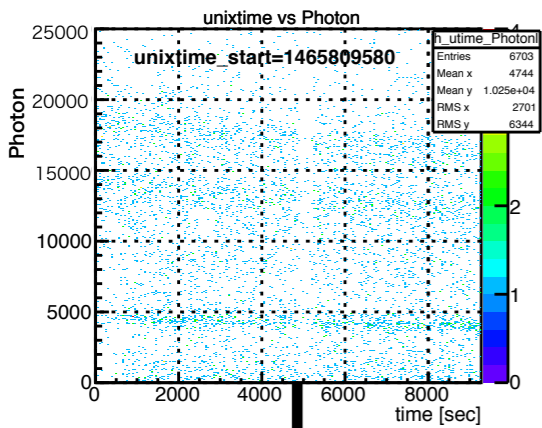




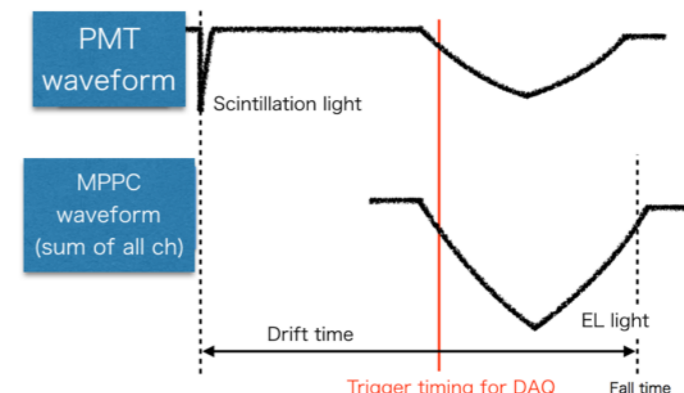
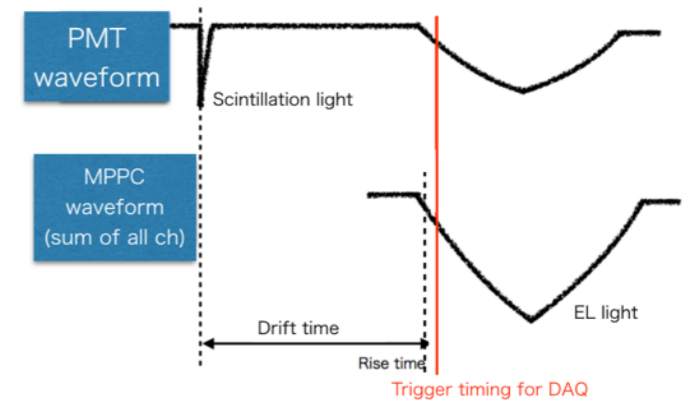
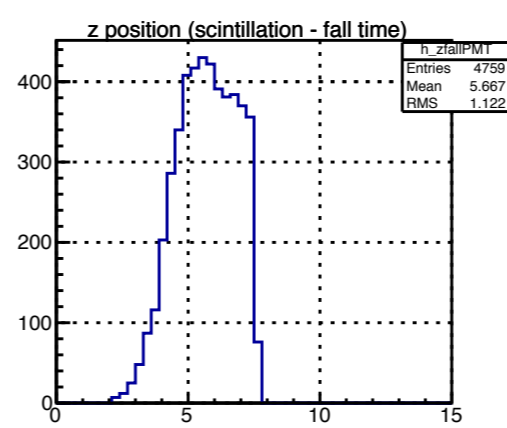
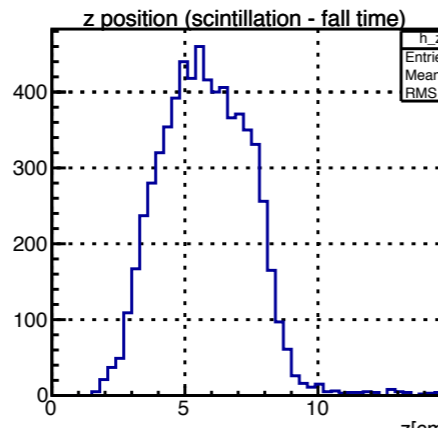
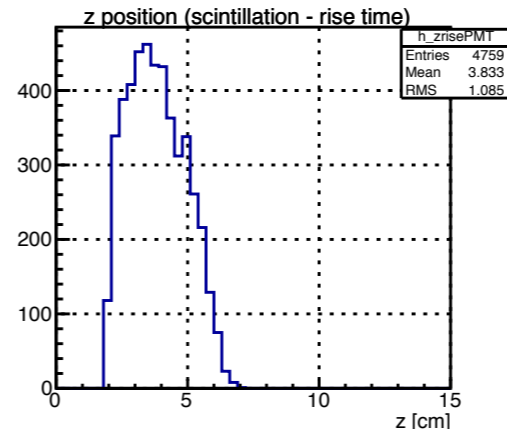
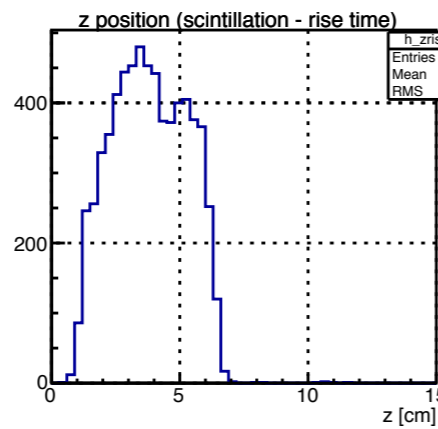
## Distribution of Number-of-Photon



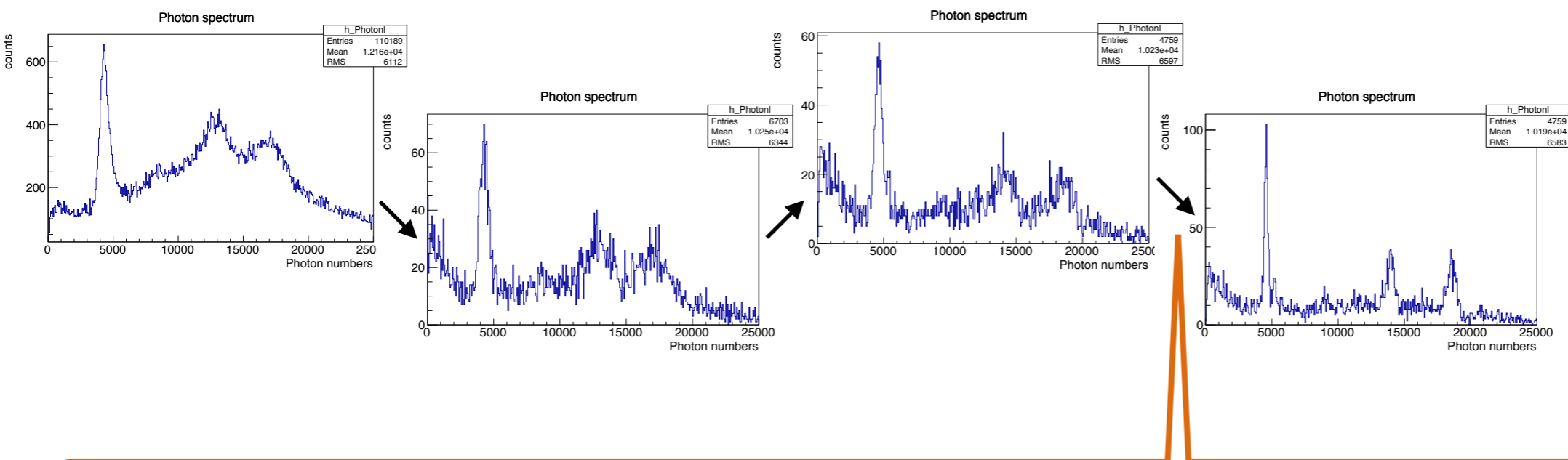
### Time vs Photon correction



### Fiducial cut of drift direction (2 - 7.5 cm)

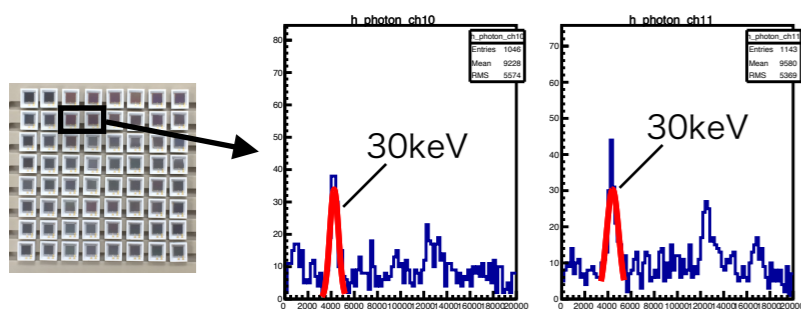


## Distribution of Number-of-Photon

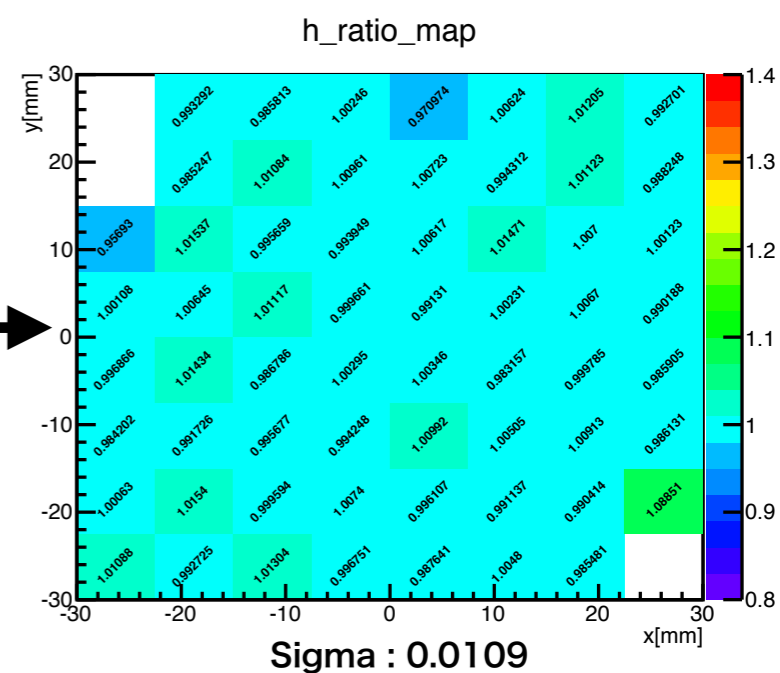
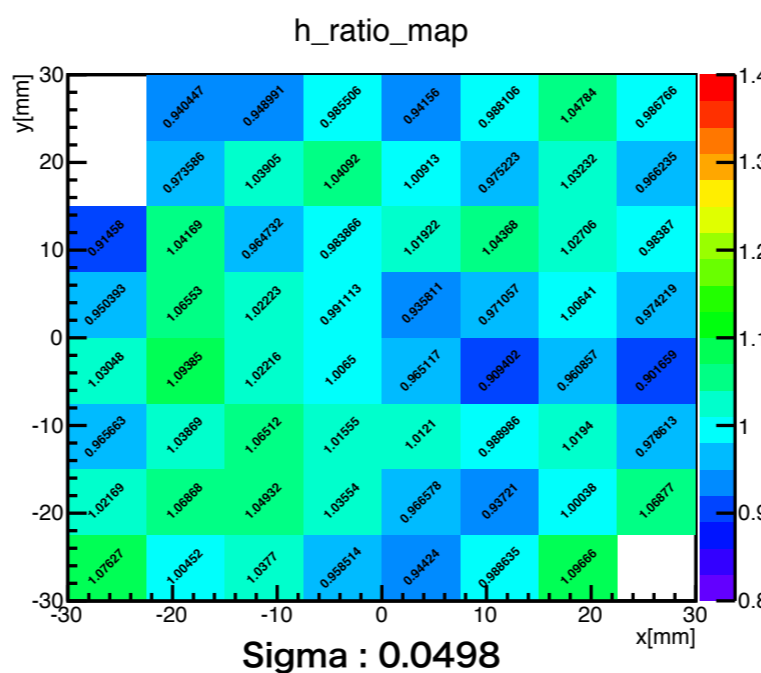


### EL gain correction

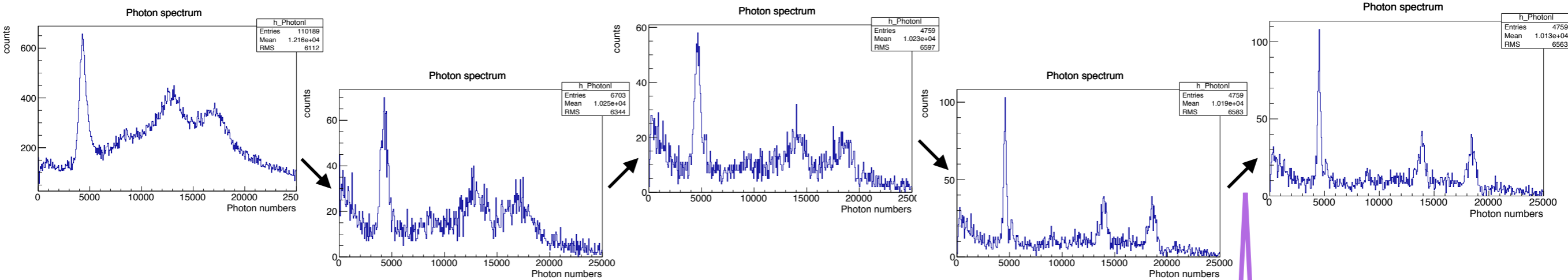
Total number of photon of 30 keV gamma ray for “each cell”



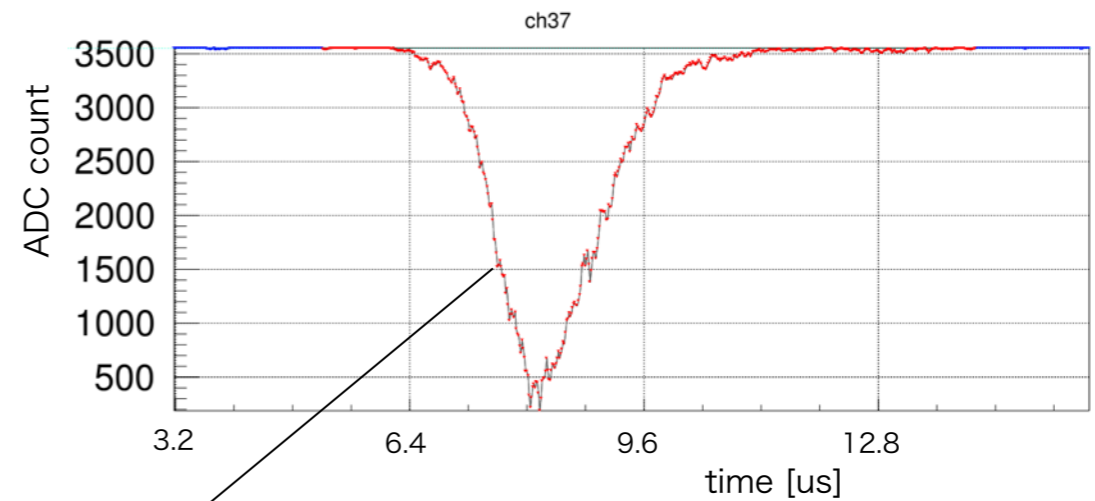
Correction using 30 keV  
X-ray peak position



## Distribution of Number-of-Photon



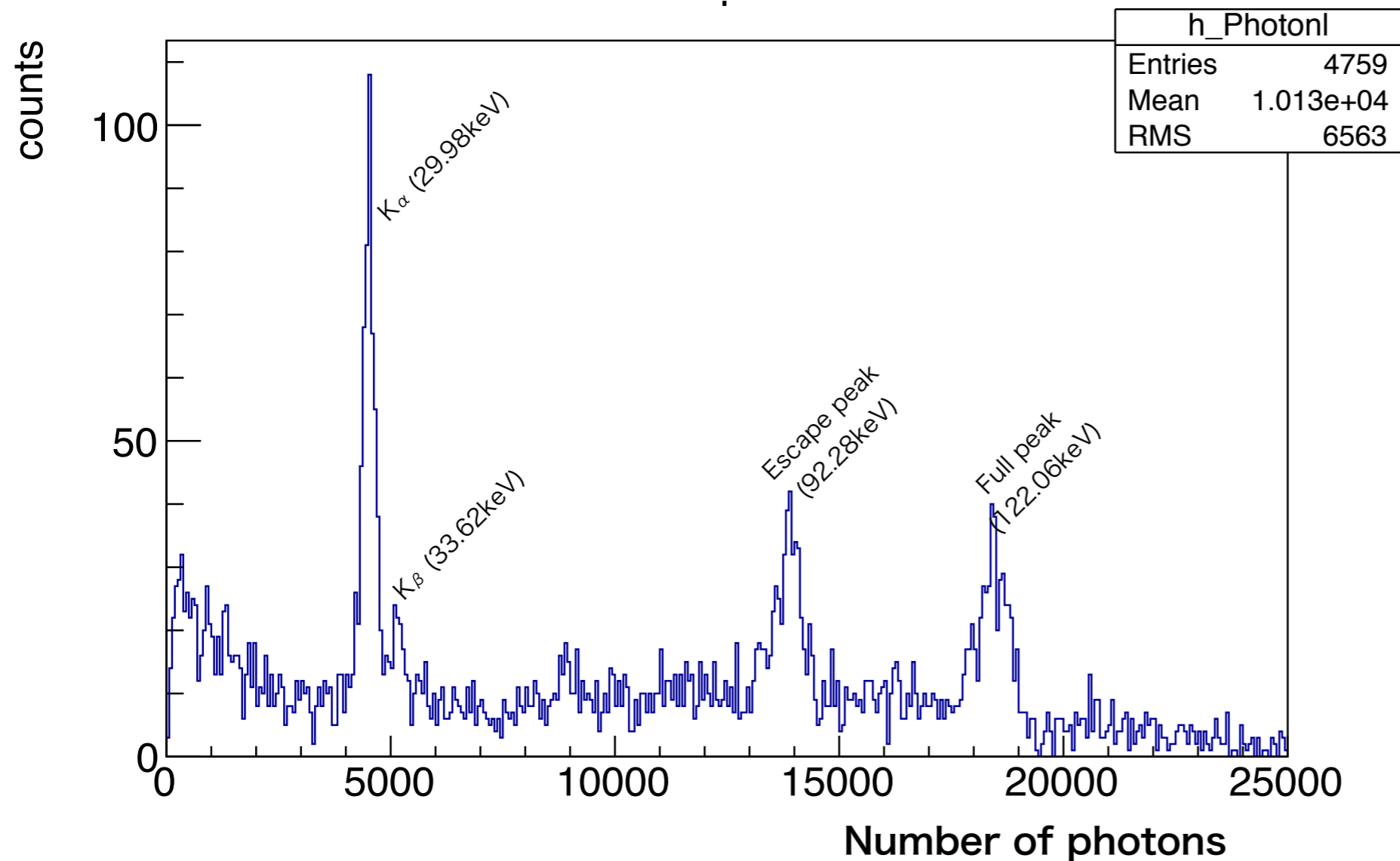
### Dark current correction



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

# 試作機の性能評価(UV-MPPC)

## Distribution of Number-of-Photon after all cut & corrections

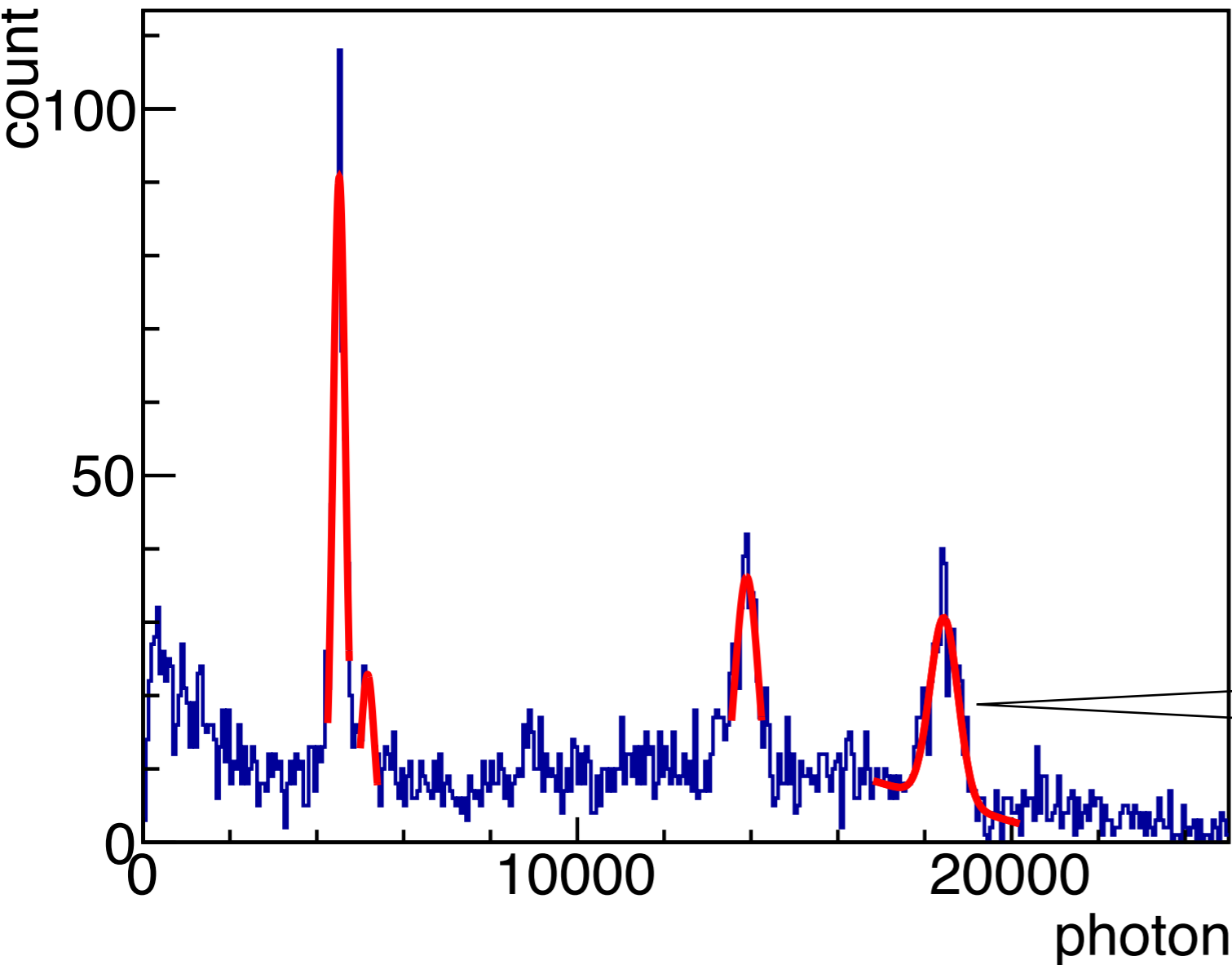


データ取得時間は5時間程度

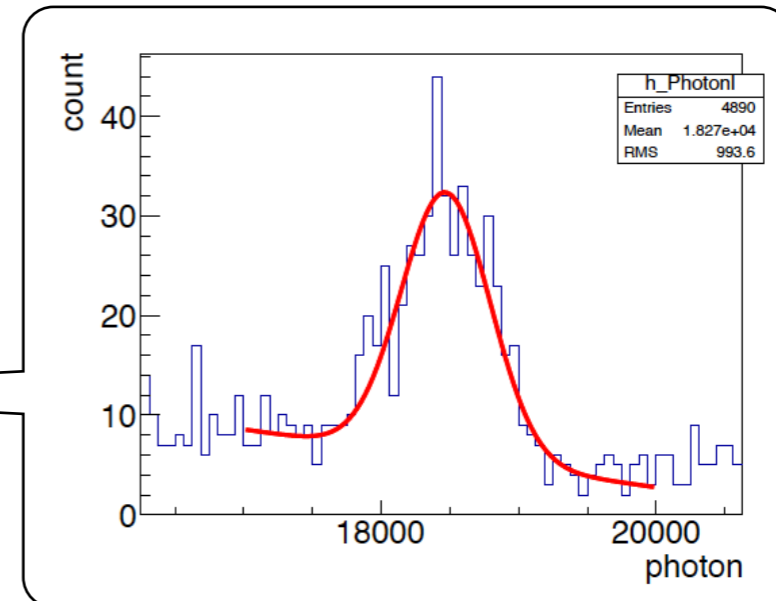
長時間測定をしようと思うと、ガスの純度と放電が問題となっている

# 試作機の性能評価(UV-MPPC)

## 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

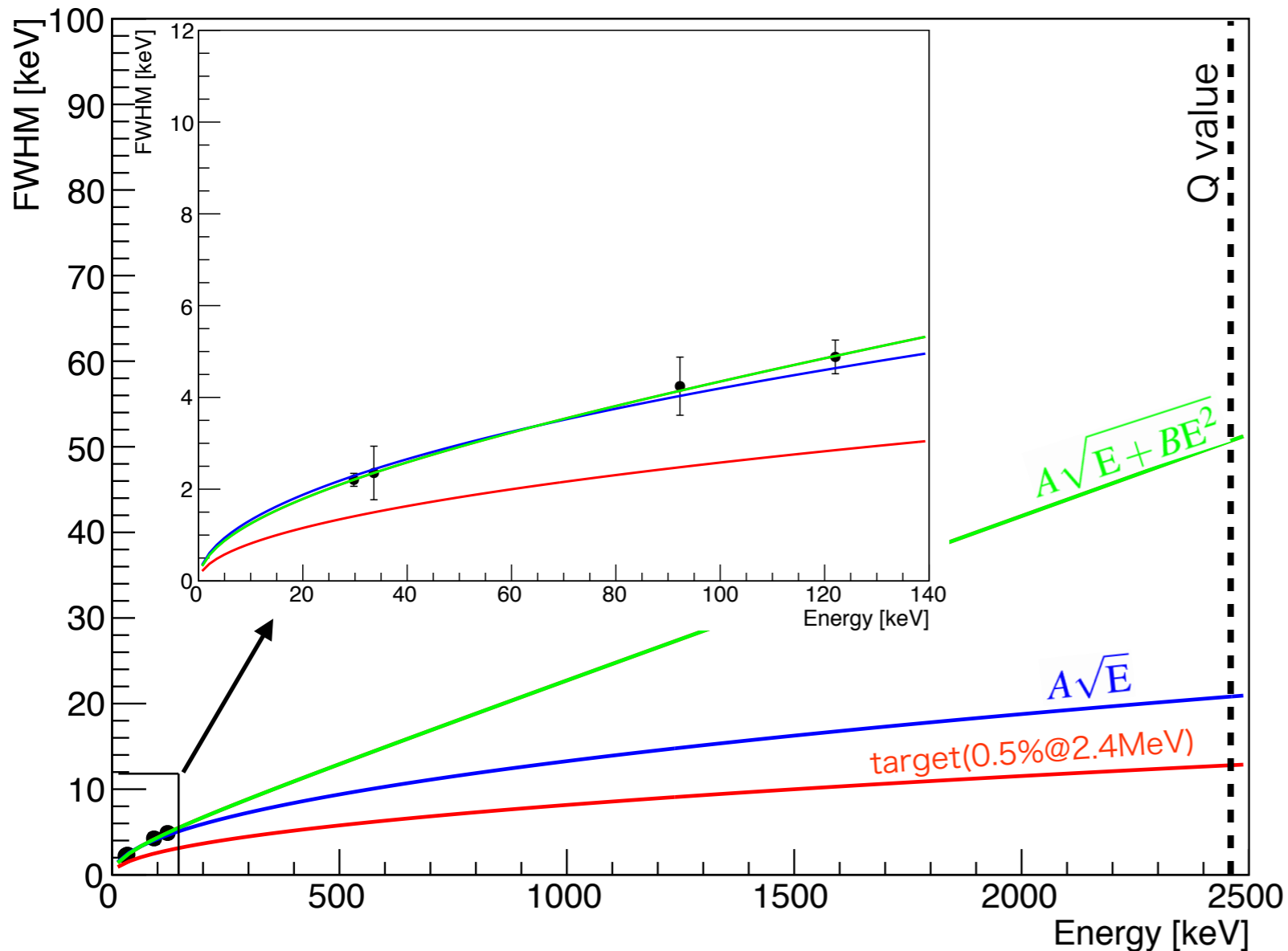


<b>Energy [keV]</b>	<b>29.78</b>	<b>33.62</b>	<b>92.28</b>	<b>122.06</b>
<b># of photon</b>	4517.3	5169.5	13900.2	18445.0
<b>FWHM</b>	7.3%	7.0%	4.6%	4.0%

# 試作機の性能評価(UV-MPPC)

- 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)**

要改善点：

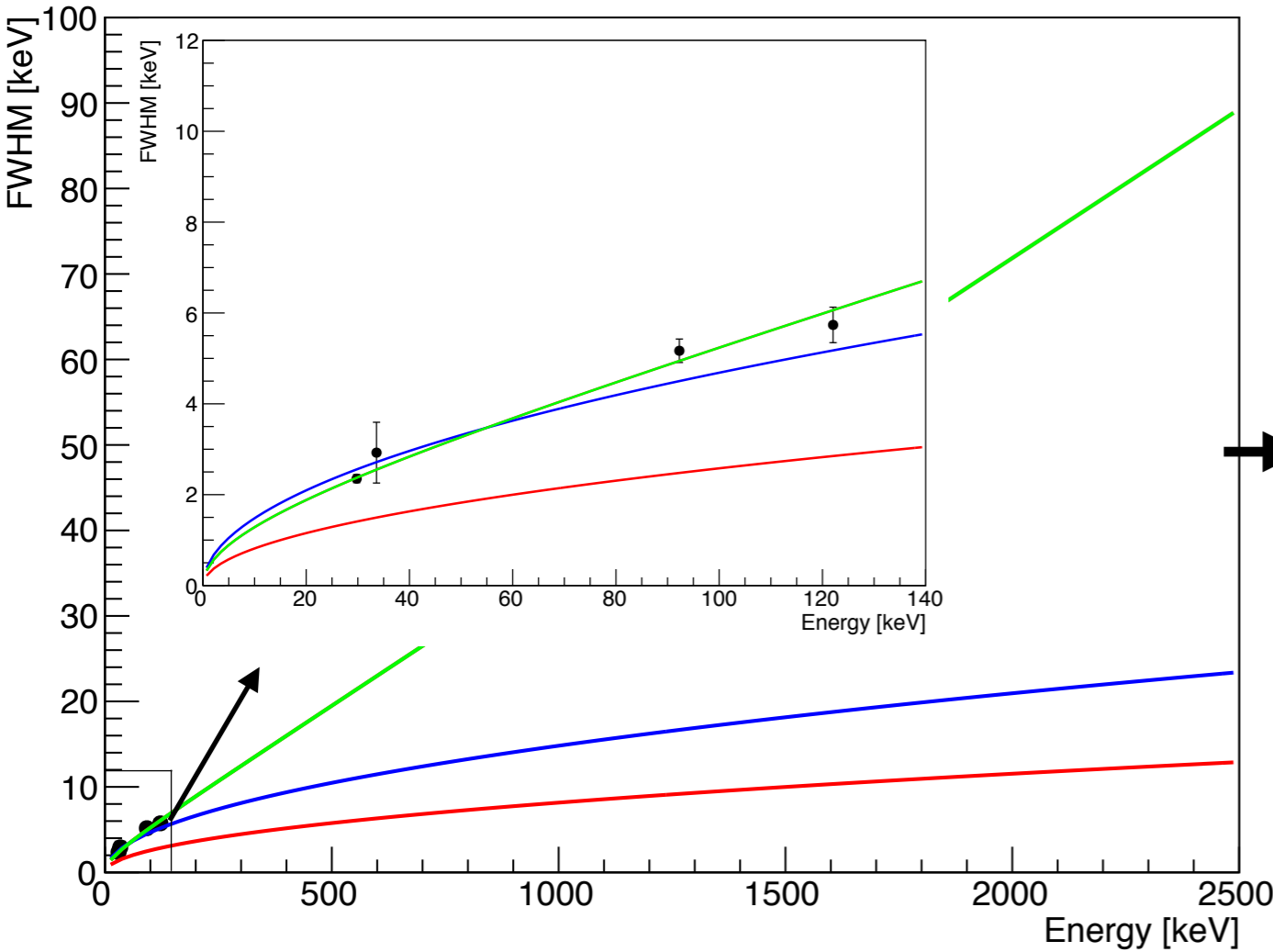
ガスの純化

さらに電場の最適化 (放電対策)

etc.....

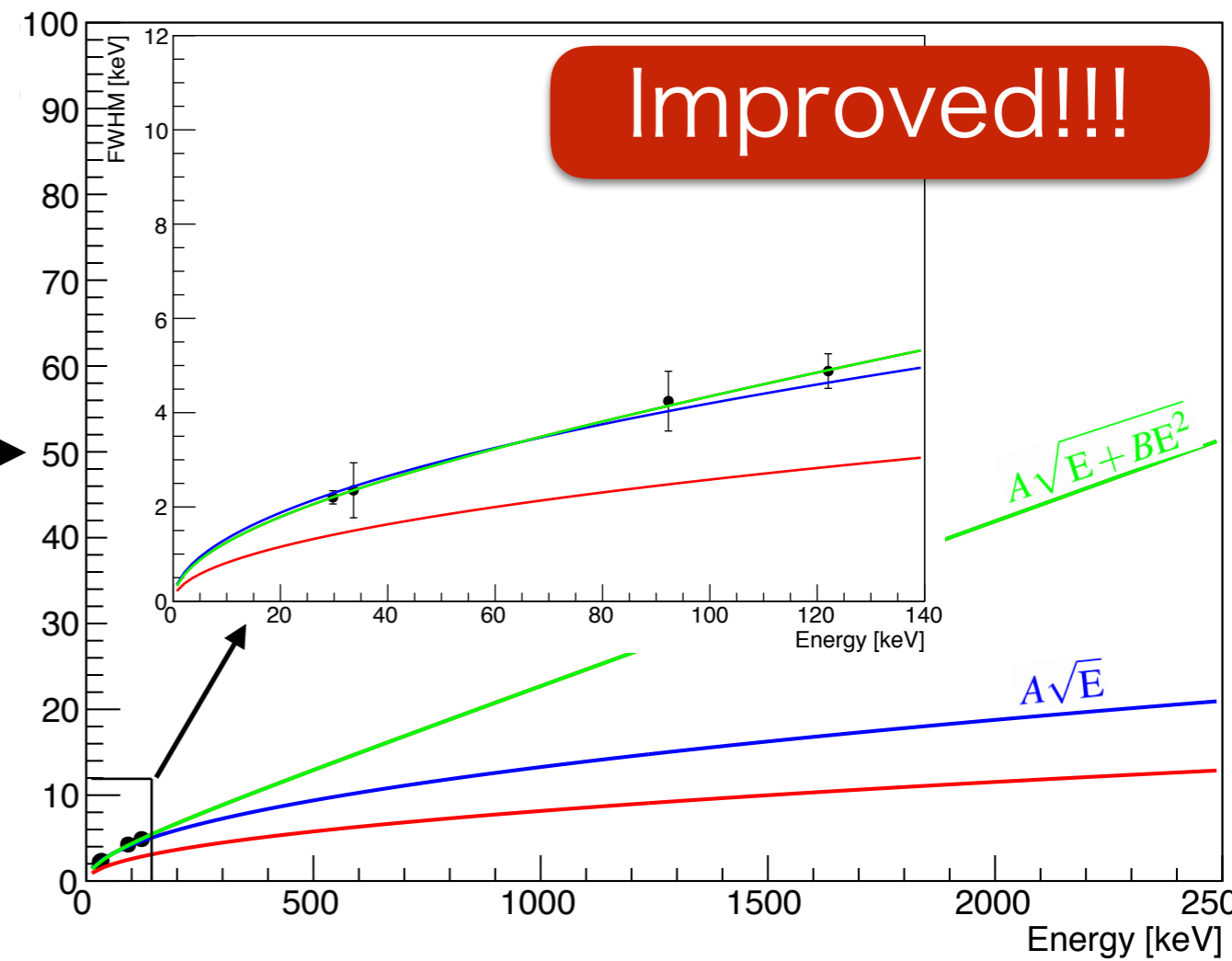
## MPPC + WLS (previous)

Deposit energy [keV] vs FWHM [keV]



## VUV-MPPC (This work)

Deposit energy [keV] vs FWHM [keV]

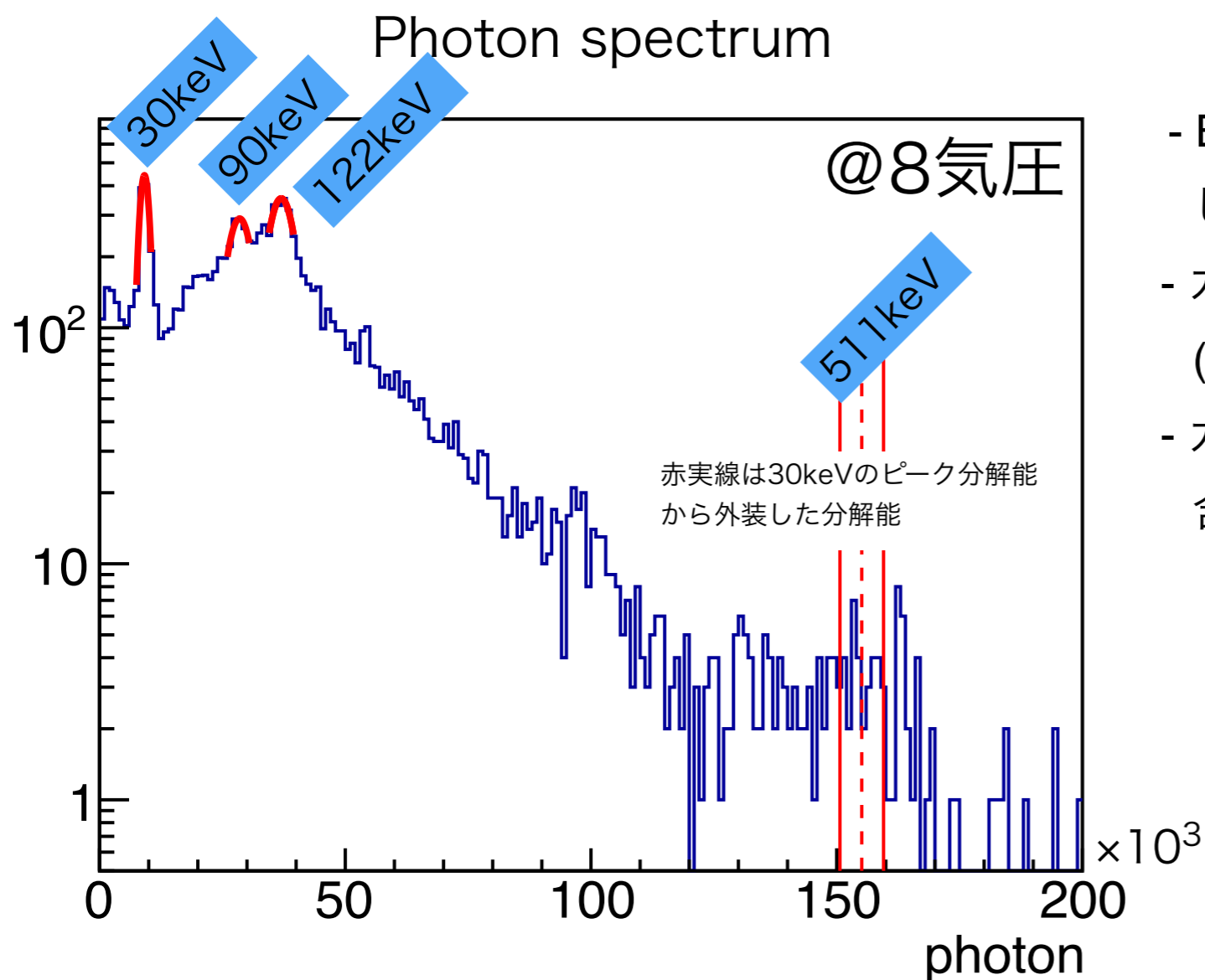


VUV-MPPCで性能評価を行った結果については、現在NIMに投稿中  
(arXiv:1701.03931)

# 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

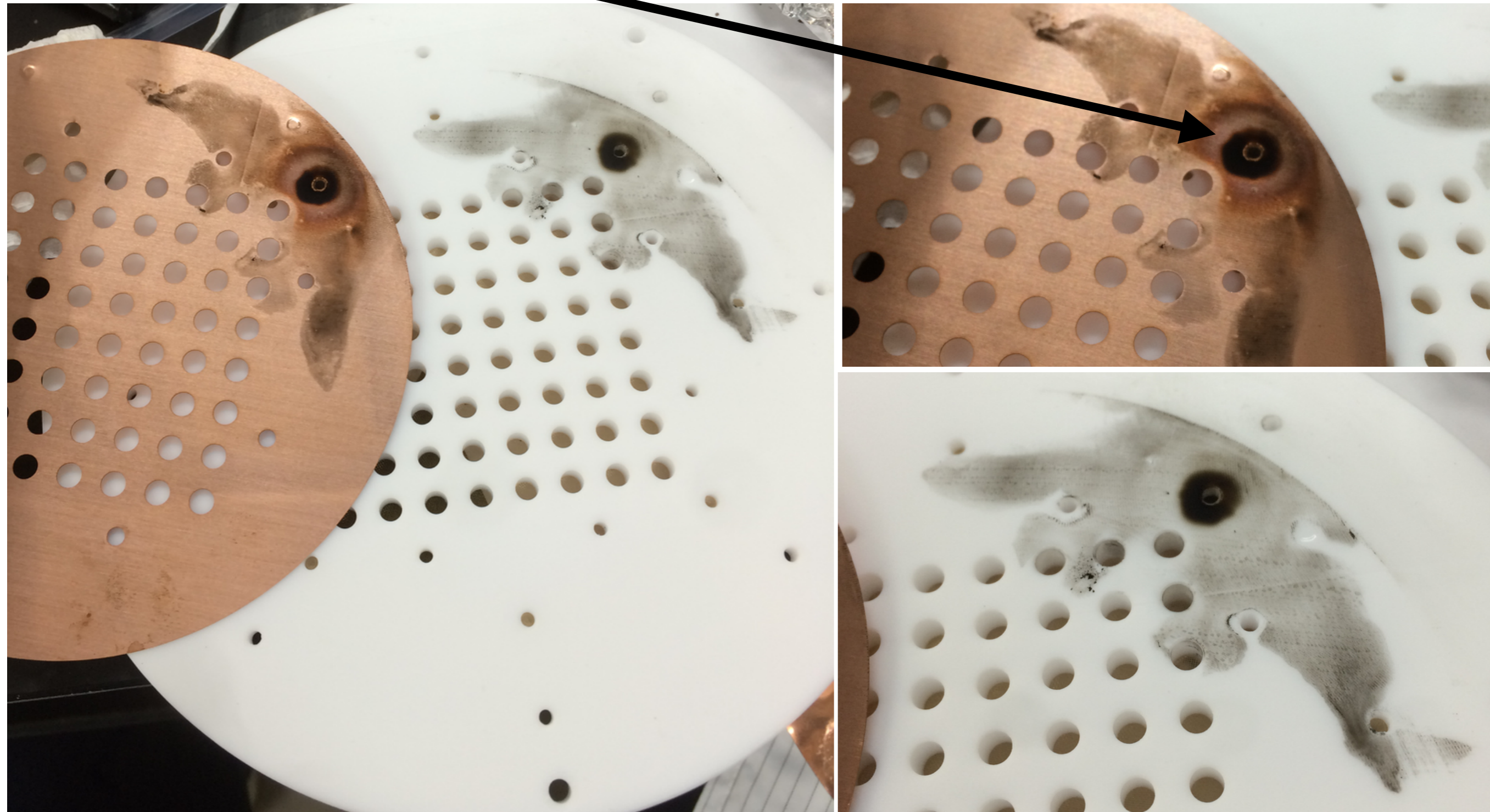
Gas Pressure	8.0 気圧
E (EL regeion)	2.125 kV/cm/atm
E (drift region)	57.8 V/cm/atm
Source	<sup>22</sup> Na (511 keV $\gamma$ -ray)



# 放電跡！！

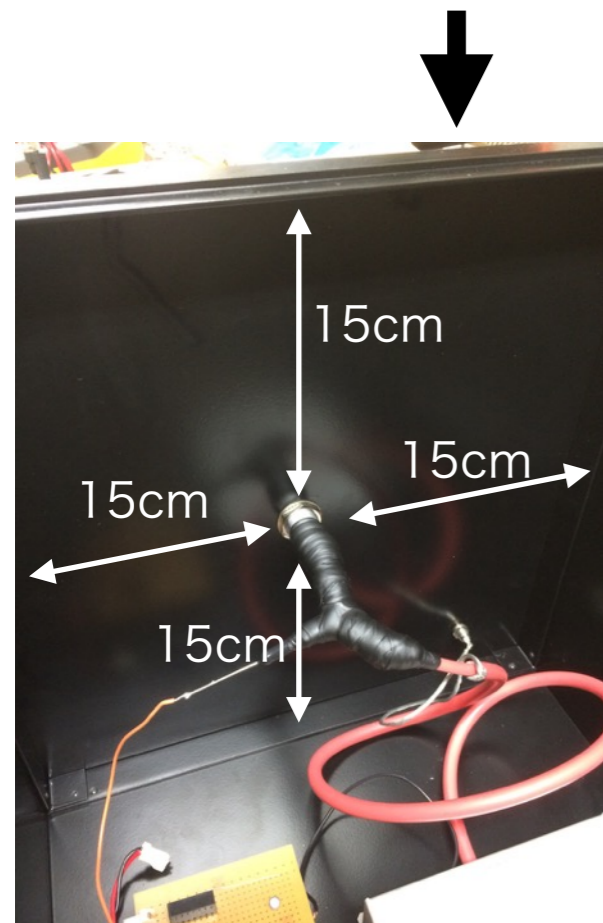
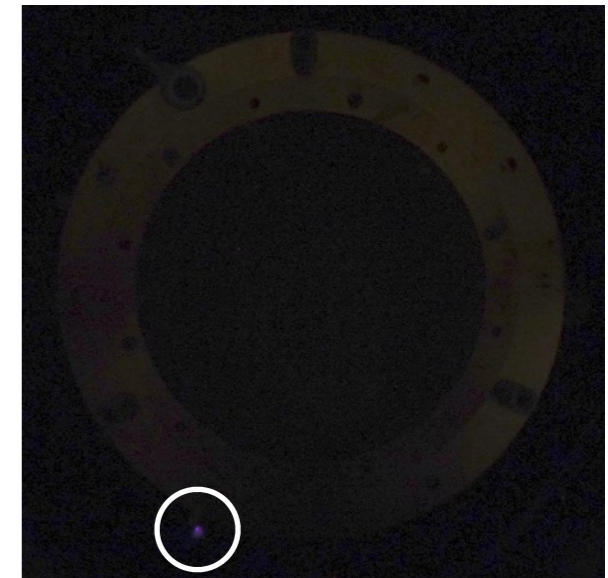
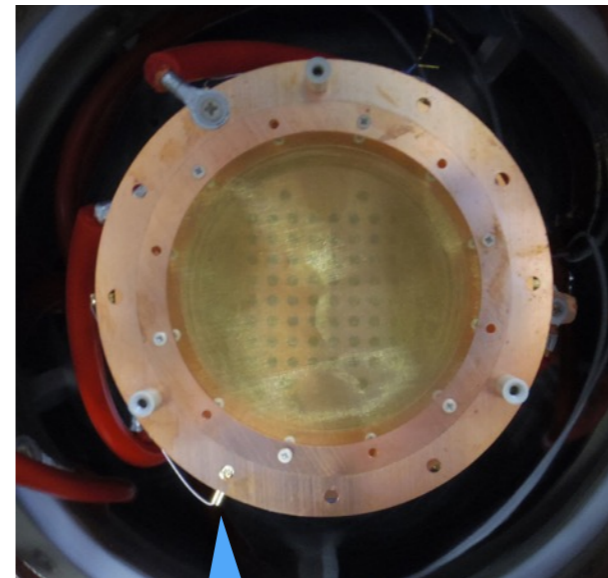
HP10Lを開けてみると、放電箇所と思われるところが大きく炭化

特にこの部分が一番放電跡が濃い。拭いても周りの銅の色が変わっている



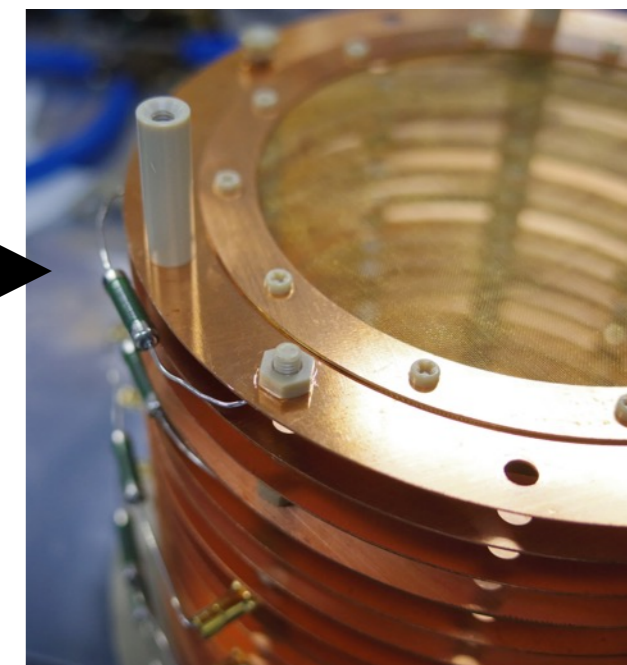
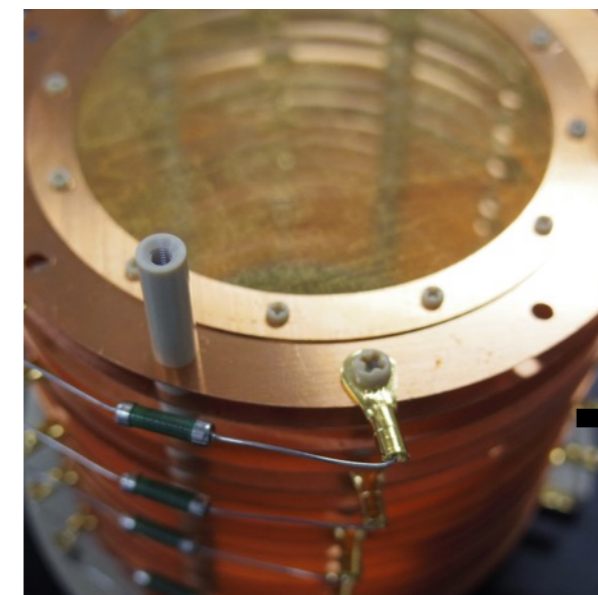
# Problem : 放電

放電箇所の特特定と、対策を進めている



高圧電源用のシャーシ

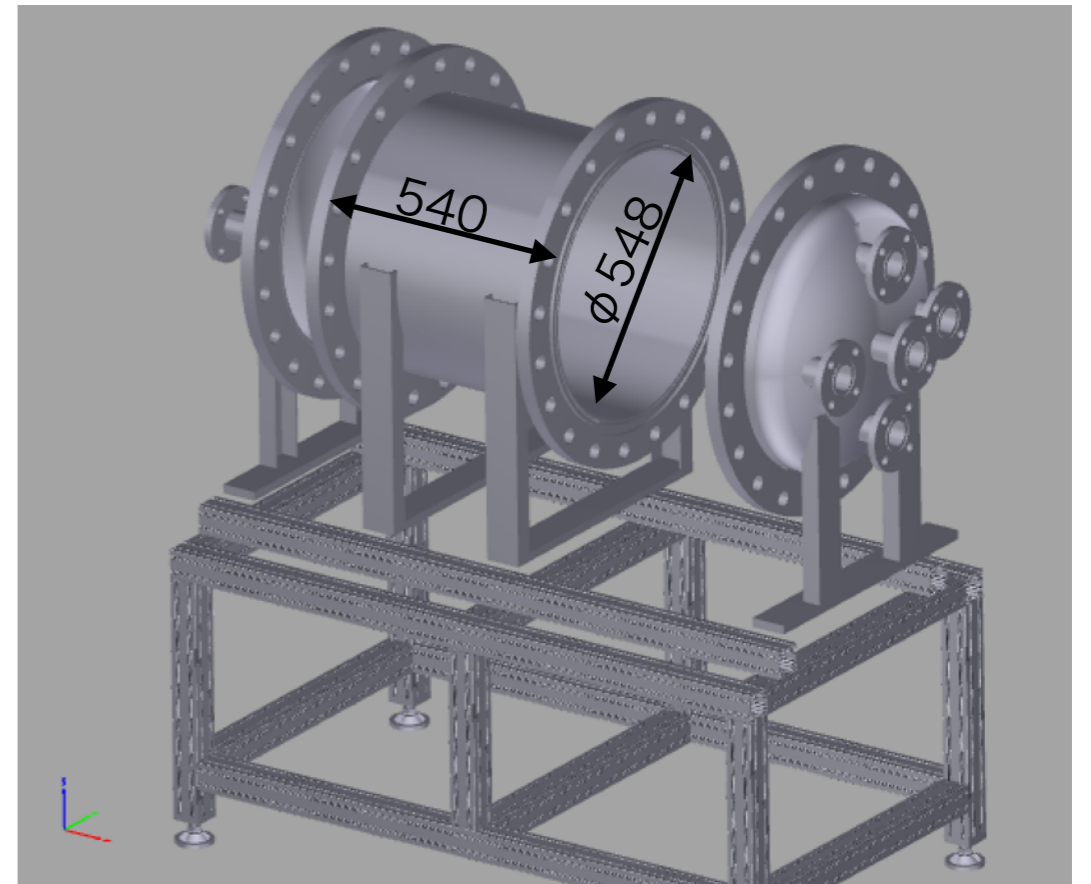
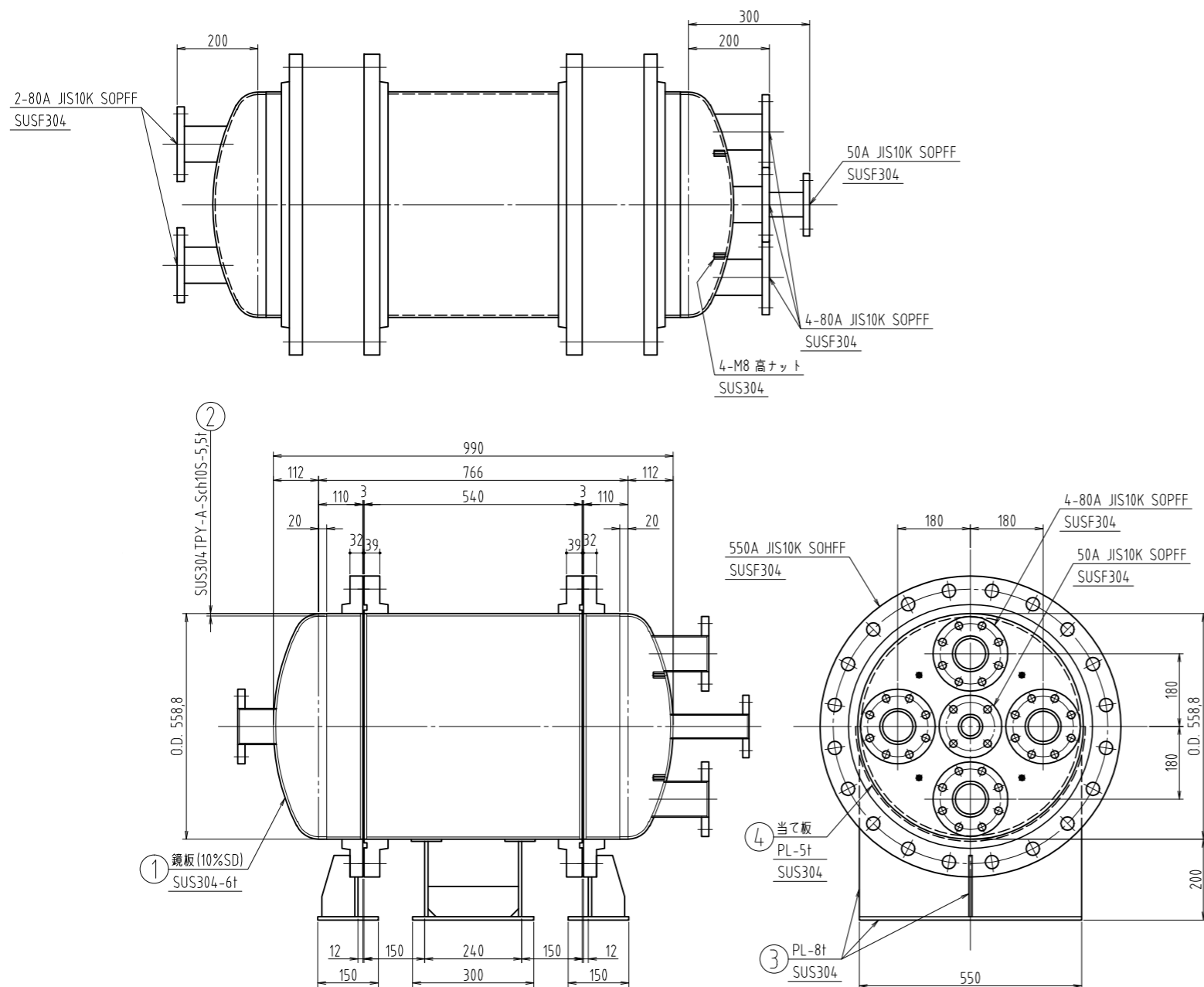
コネクタ部分とシャーシ  
までの距離を離して、  
放電を防いだ



# 次期試作機

次期試作機で大型化のノウハウ獲得とQ値に近いエネルギーのガンマ線による性能評価  
-> メンバー総出となって設計・製作のためのstudy中

## 圧力容器 設計図



圧力容器内部でのケーブリングの取り回し、信号減衰の影響など  
-> Kazuhiro Nakamura

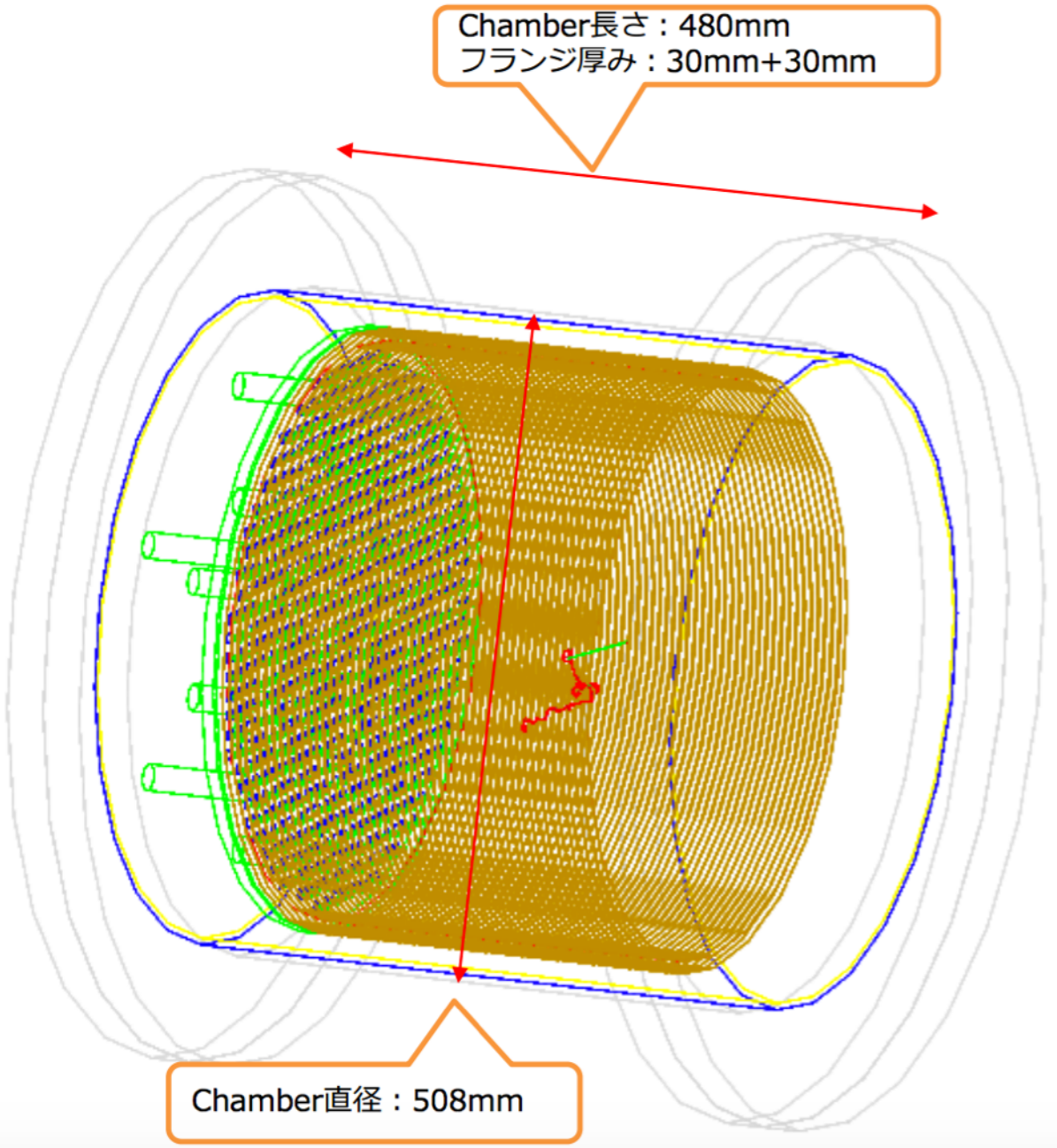
高電圧印加

コッククロフト・ウォルトン電源

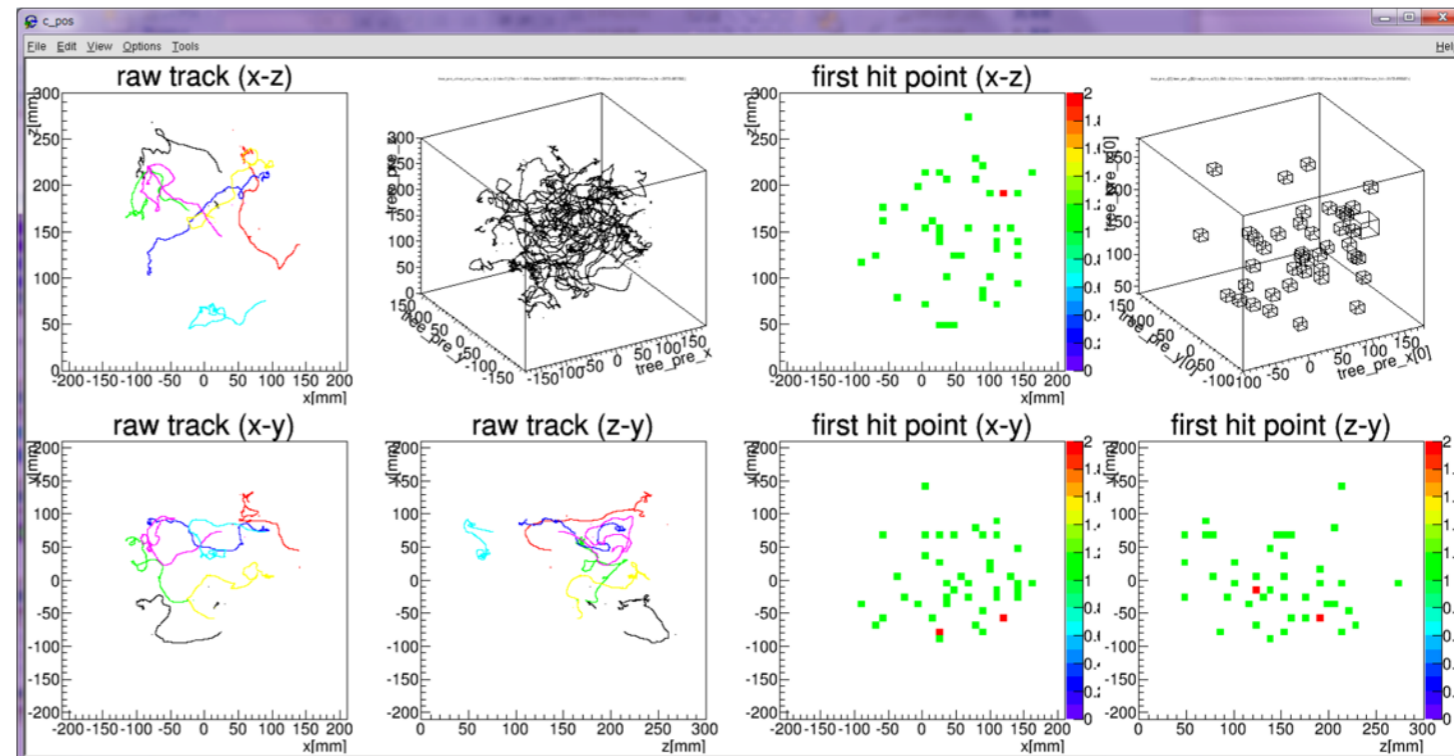
-> Masashi Yoshida

# 次期試作機

次期試作機で大型化のノウハウ獲得とQ値に近いエネルギーのガンマ線による性能評価  
 → メンバー総出となって設計・製作のためのstudy中



## Simulation by Kiseki Nakamura



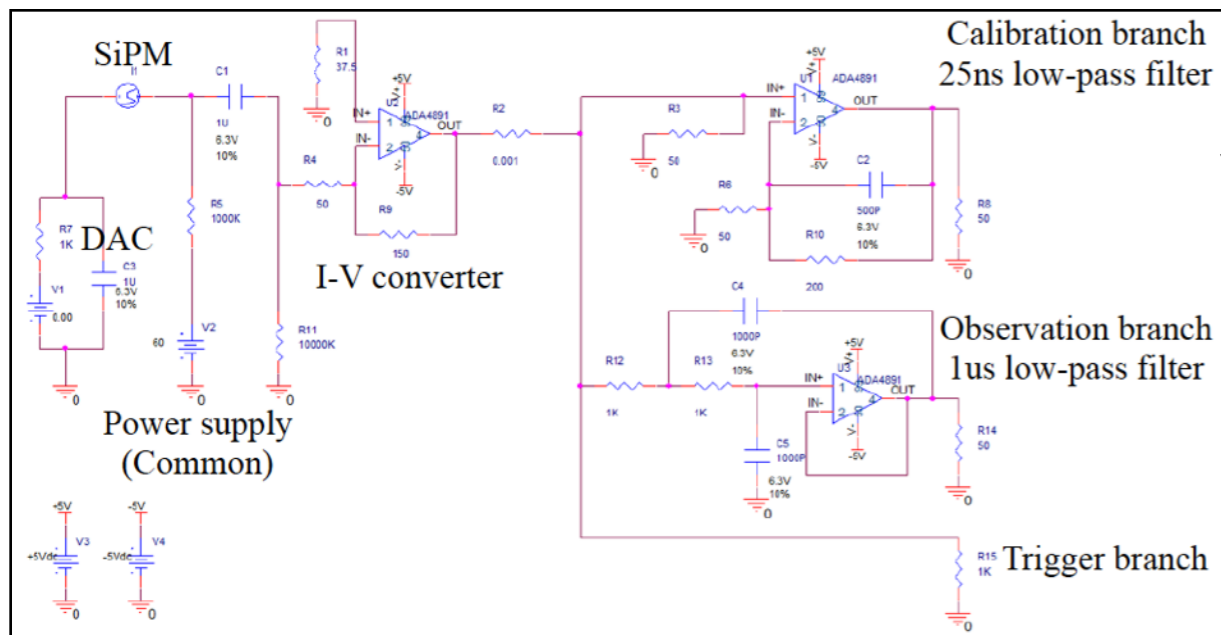
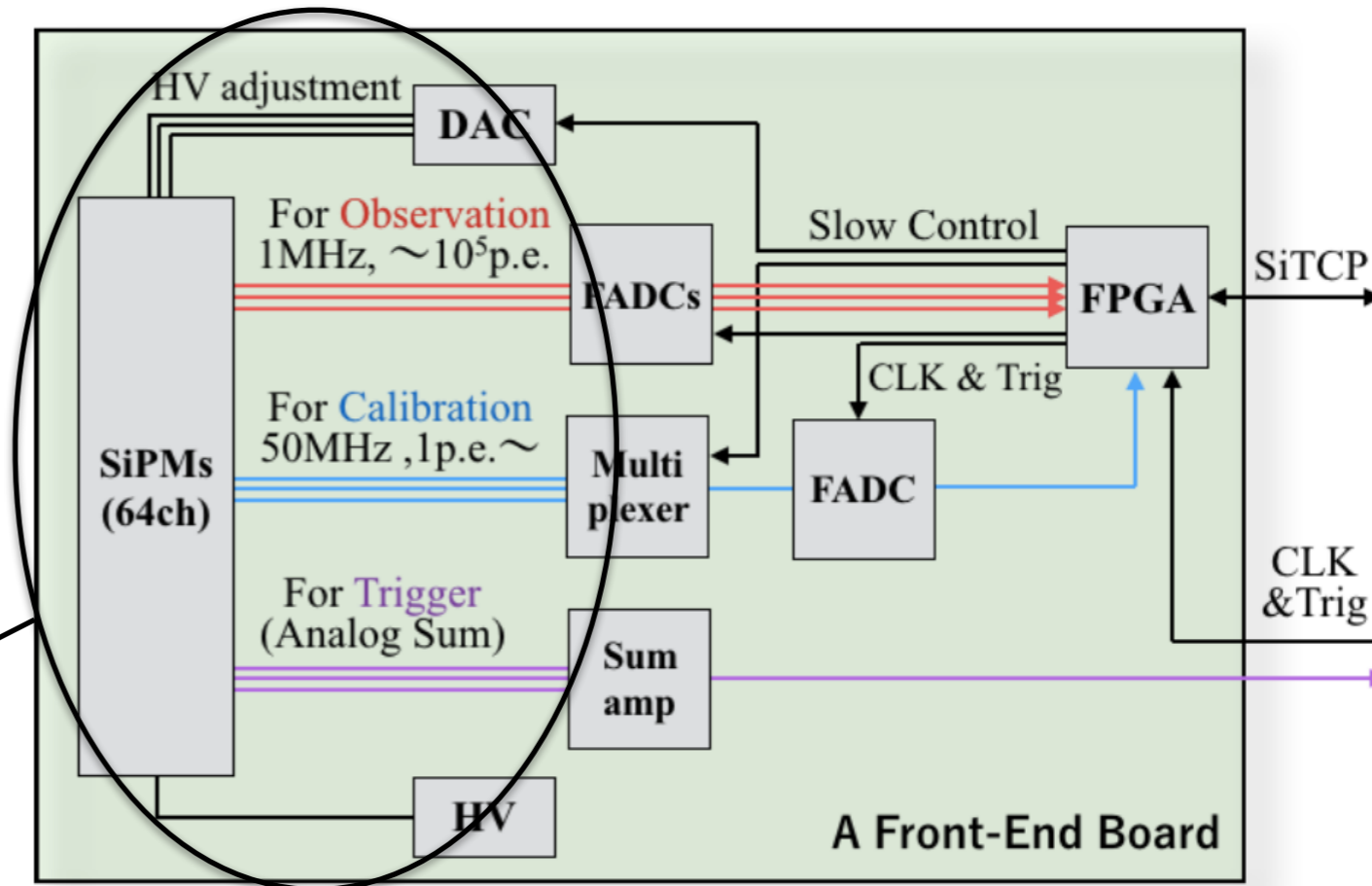
# 次期試作機

次期試作機で大型化のノウハウ獲得とQ値に近いエネルギーのガンマ線による性能評価  
-> メンバー総出となって設計・製作のためのstudy中

読み出しエレキの開発

読み出しチャンネル数：数千ch

by Syunsuke Tanaka



# まとめ

高圧キセノンガスを用いたニュートリノレス二重ベータ崩壊探索

- 大質量
- 高エネルギー分解能
- トラッキング(BG除去)

小型試作機(有効体積0.7L程度)では、FWHM : 0.8 - 2.0% @Q-value

ただし、4atmのXeで $^{57}\text{Co}$ (122keV)で評価

より高圧なガスでの高エネルギー測定(511keV)は、放電でlimit……

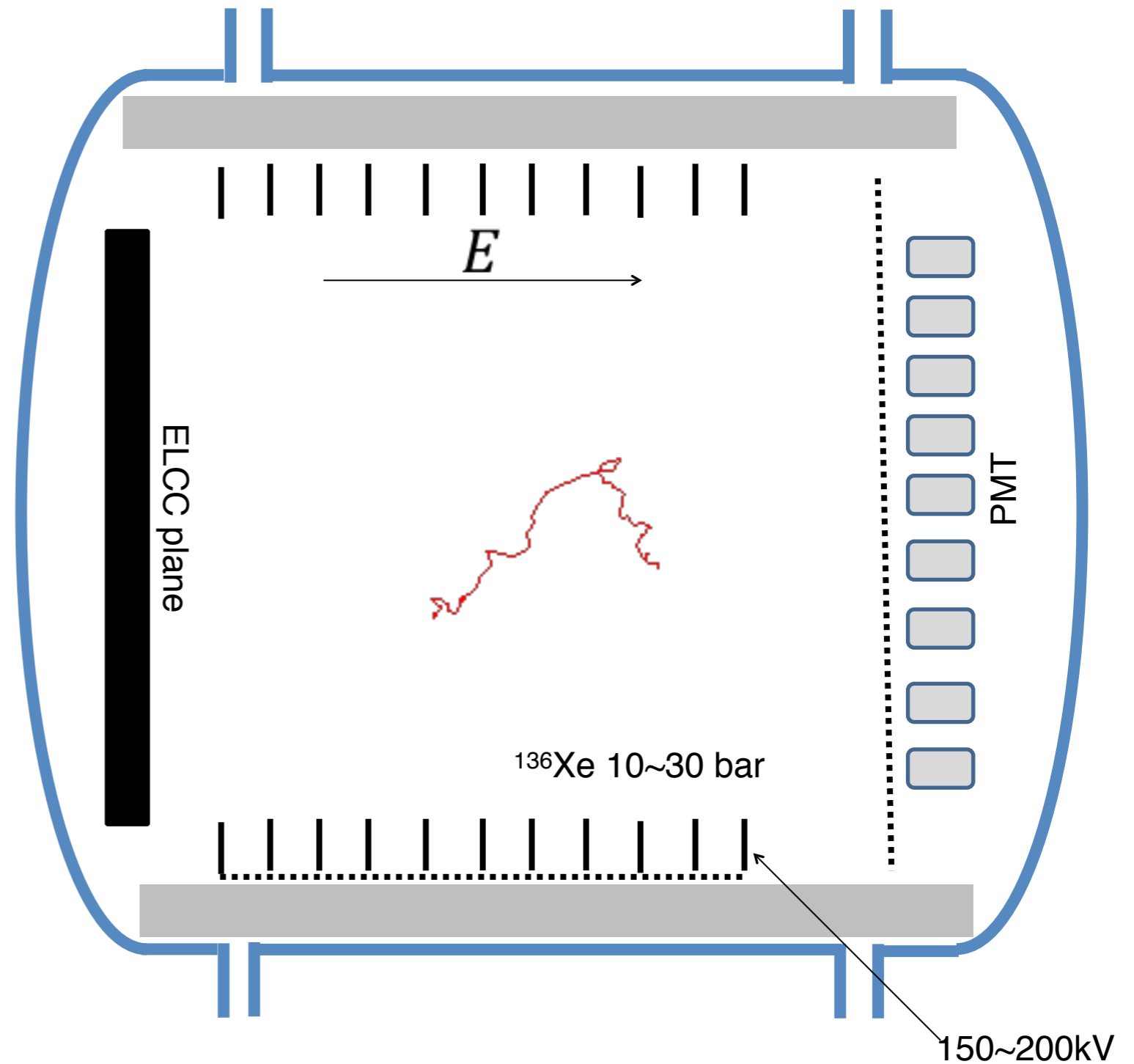
-> 放電対策を進めている

次の試作機の開発も進めている

-> 本年中に稼働を目指している

Backup

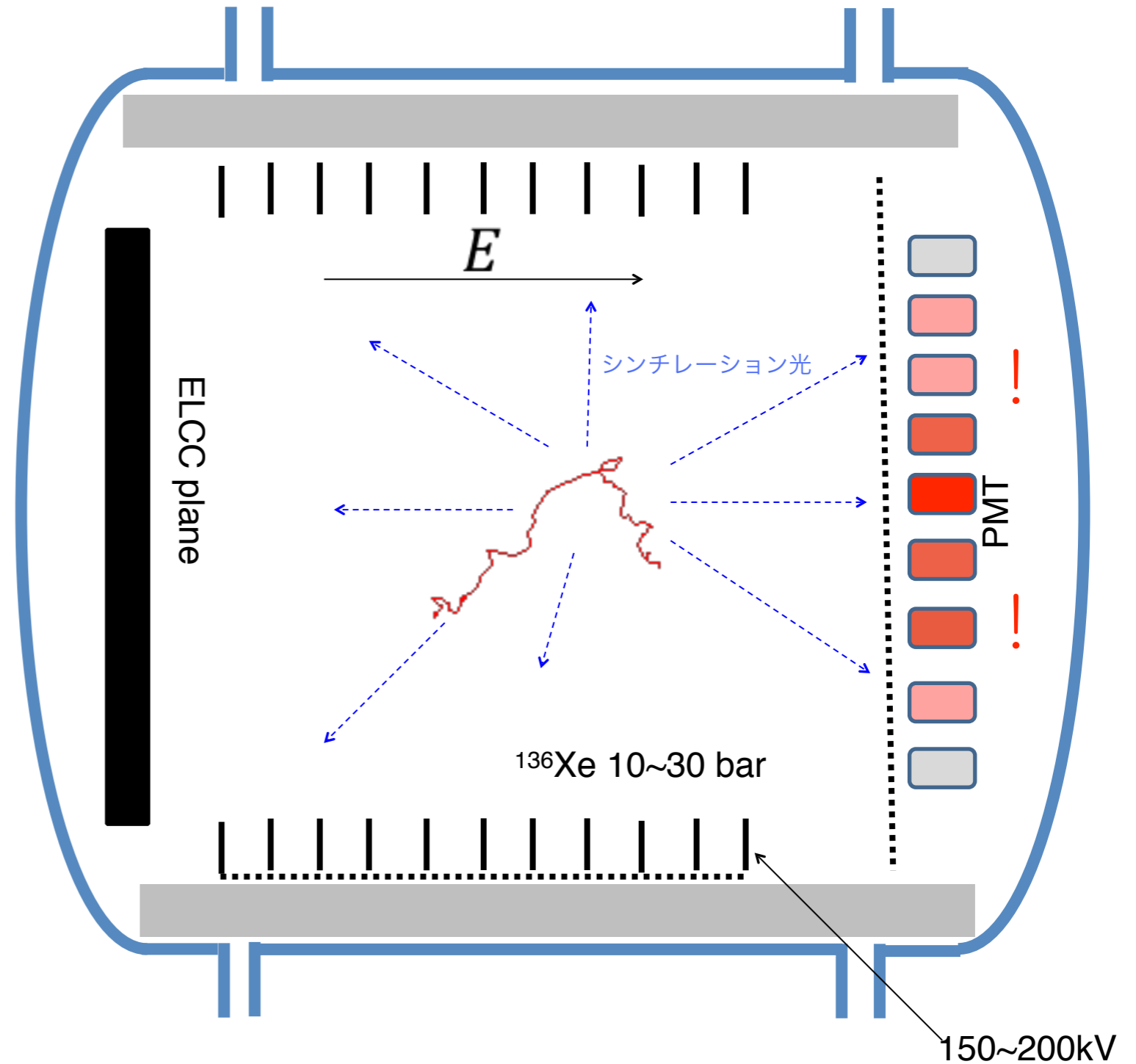
## AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

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



# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

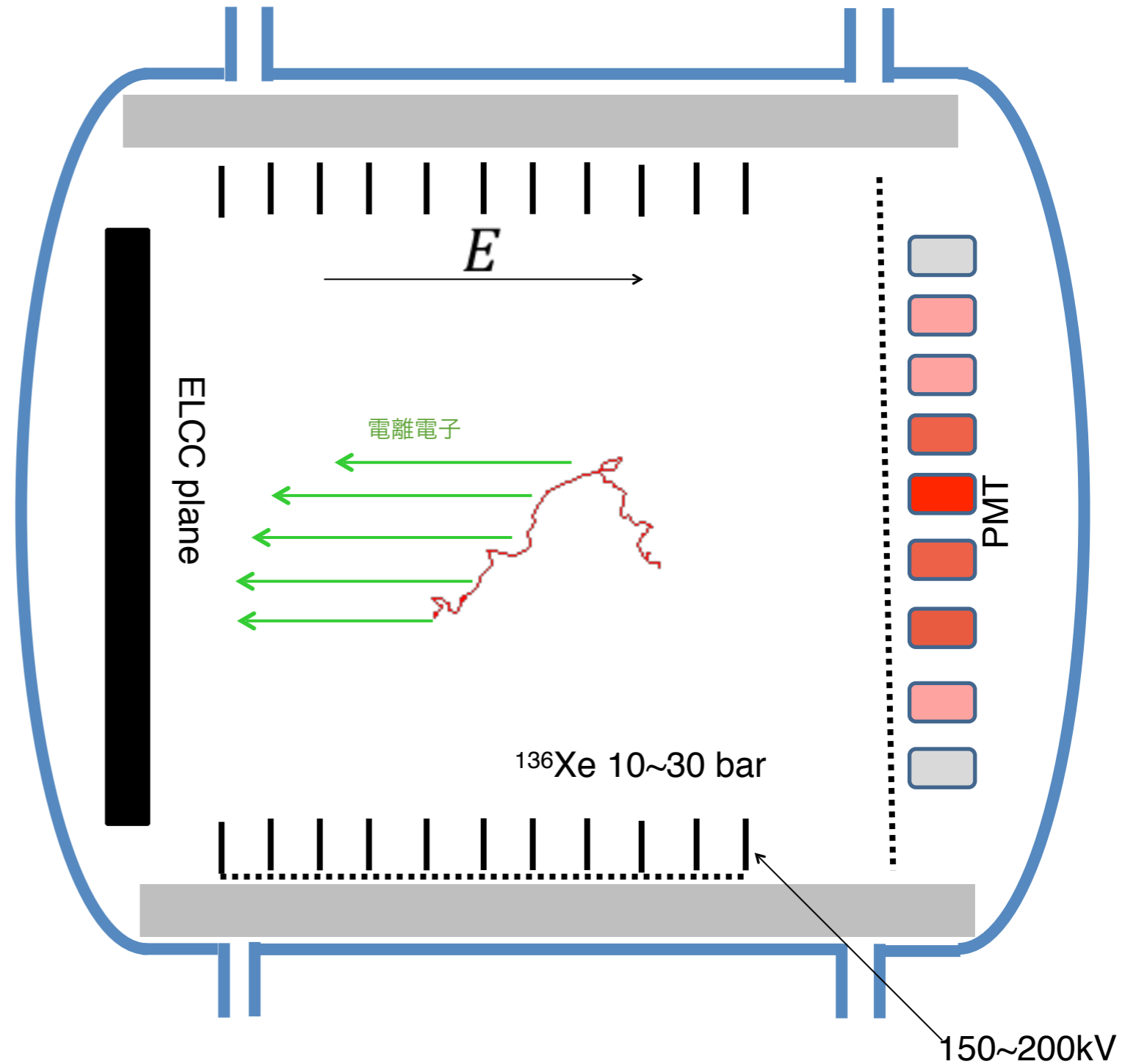
## 高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



Start!

# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

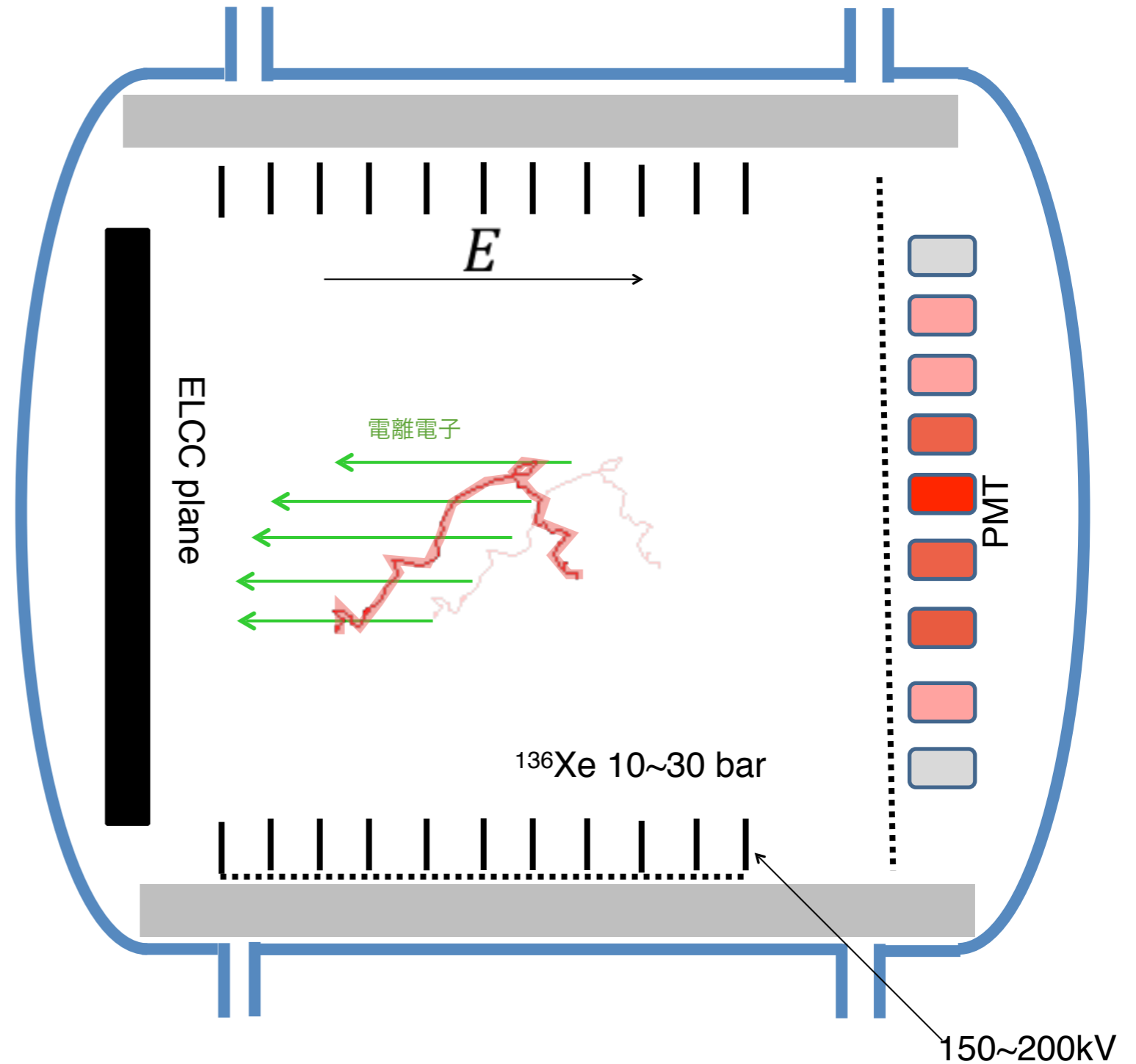
## 高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



Start!

# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

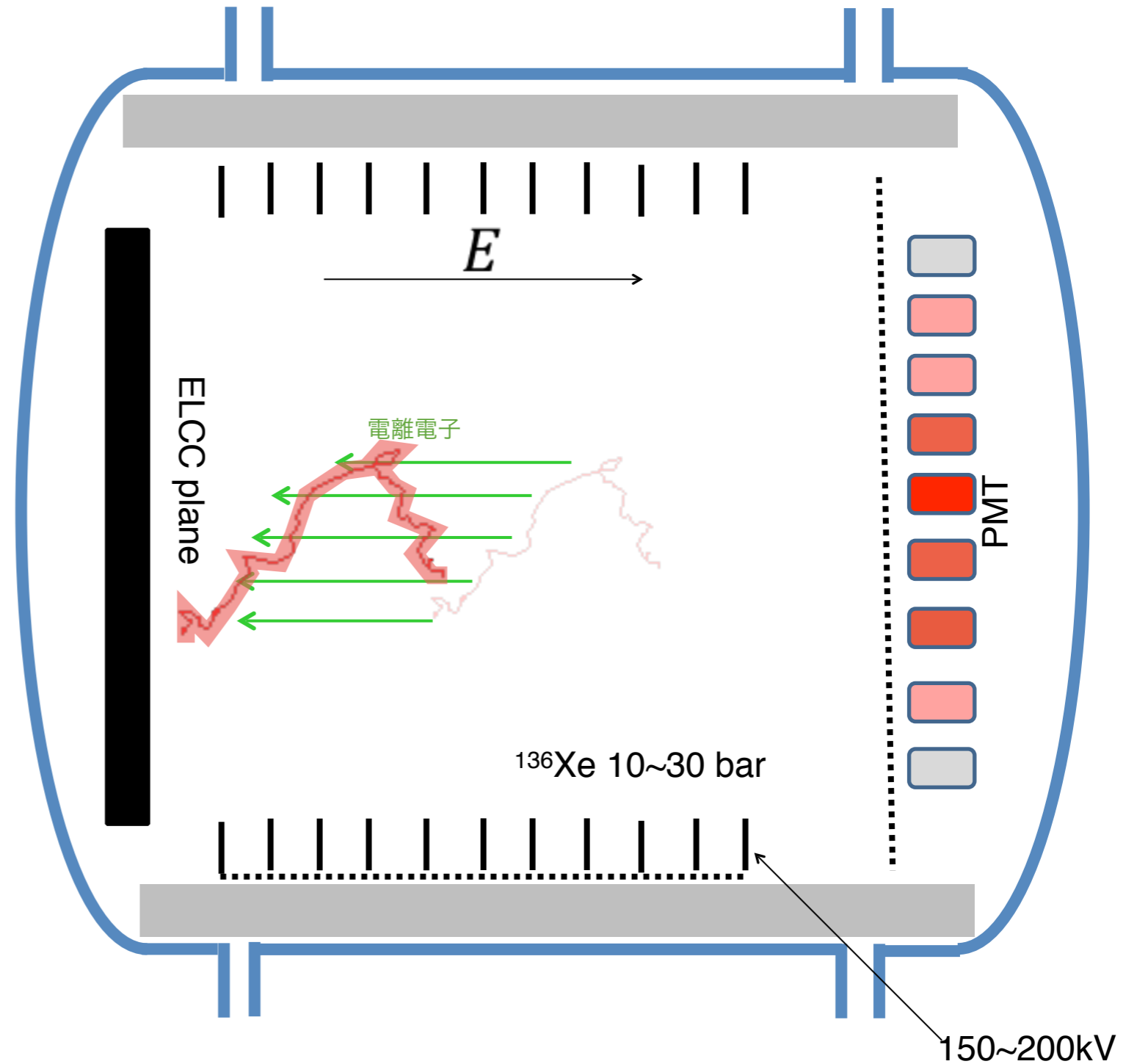
## 高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



Start!

# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

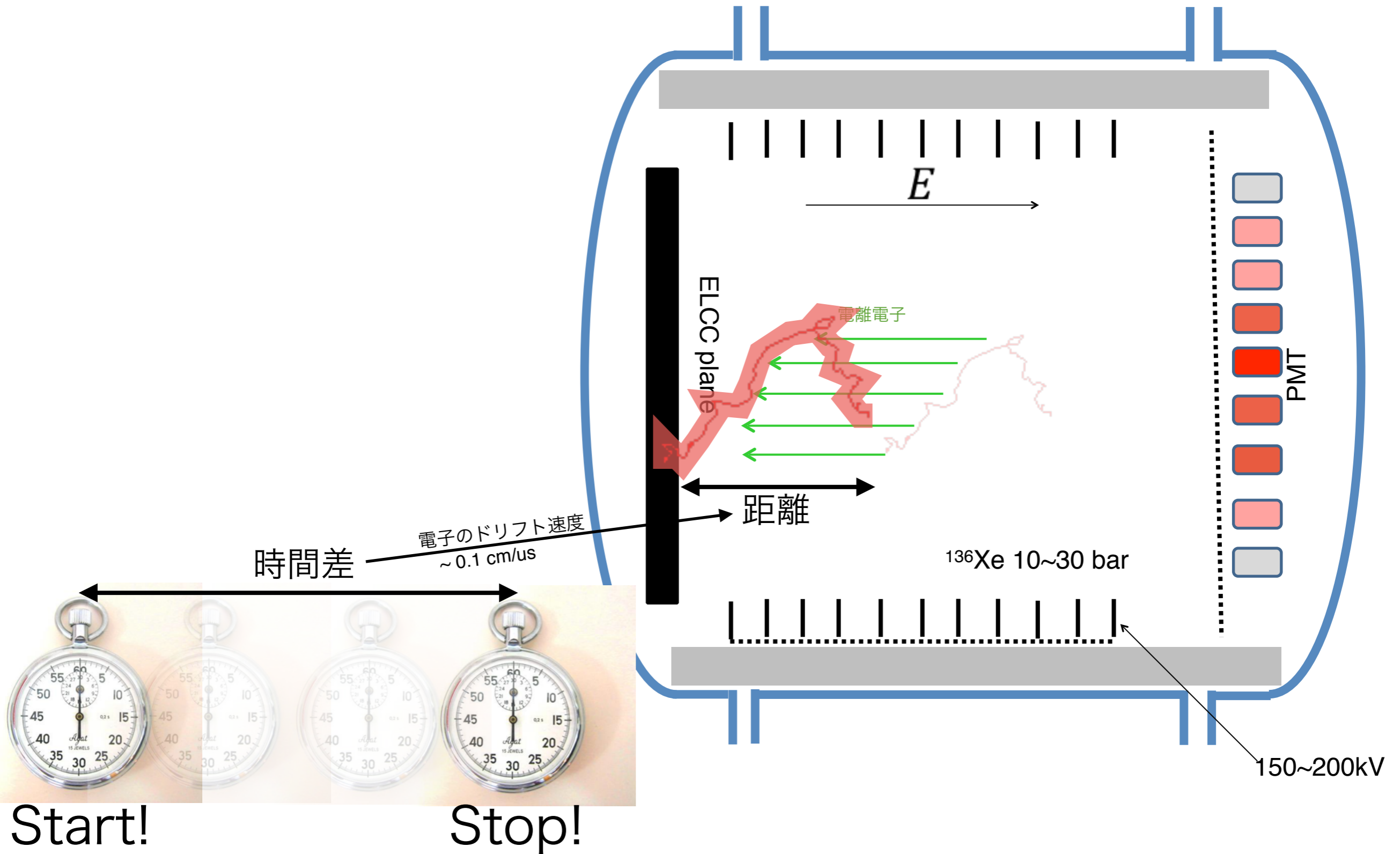
## 高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



Start!

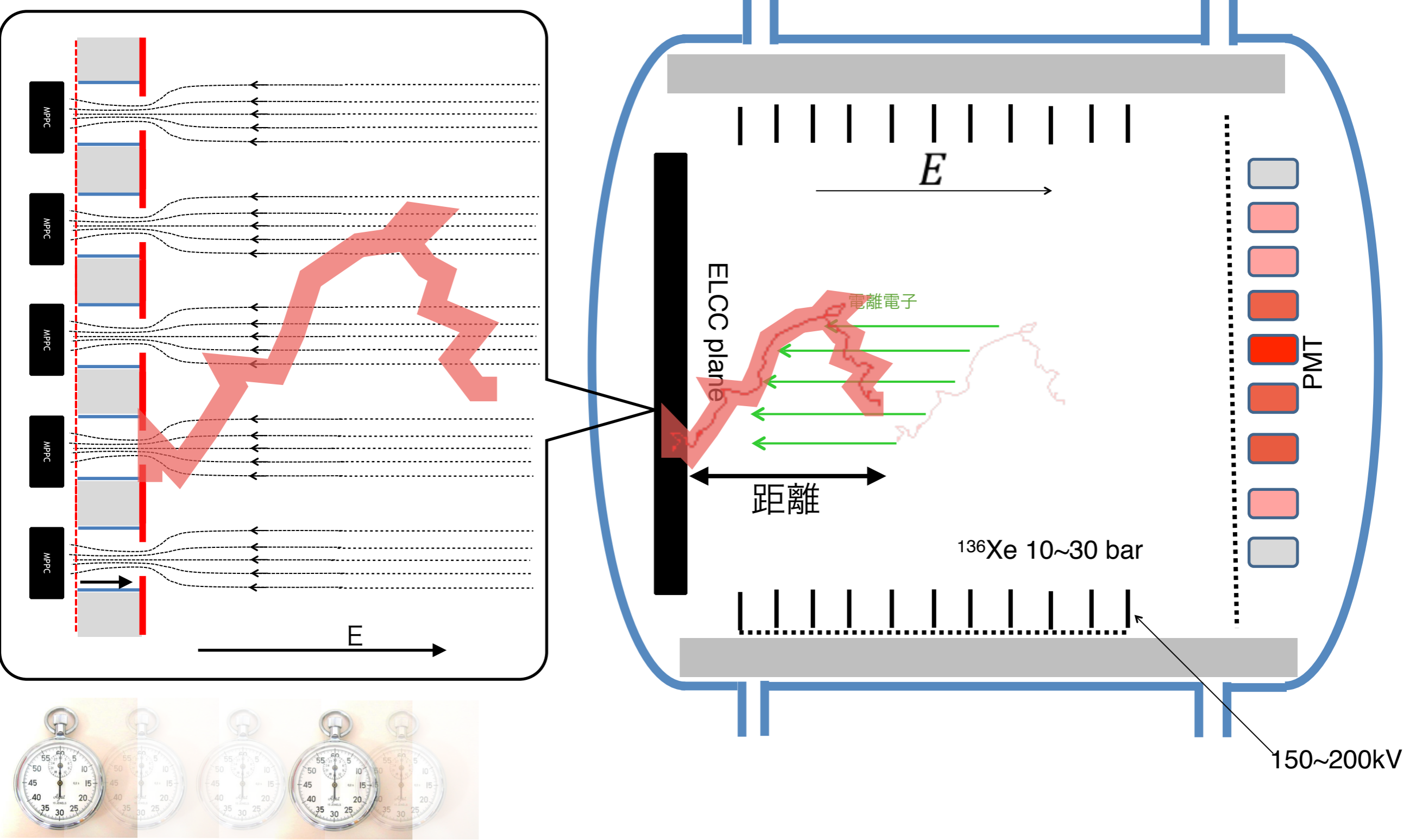
# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

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



# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

## 高压XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search

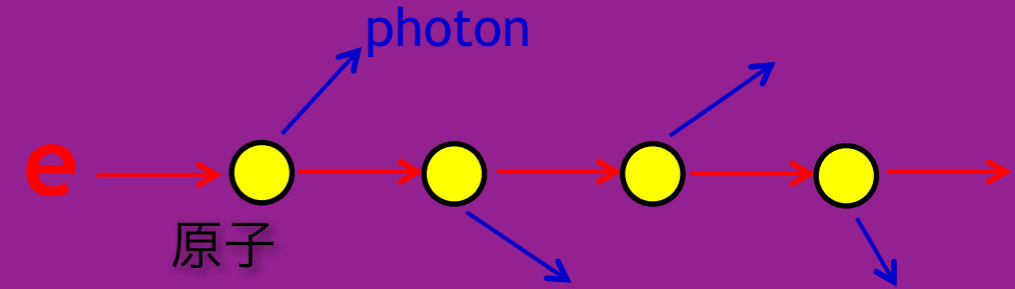


# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

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

### 電離信号の読み出し

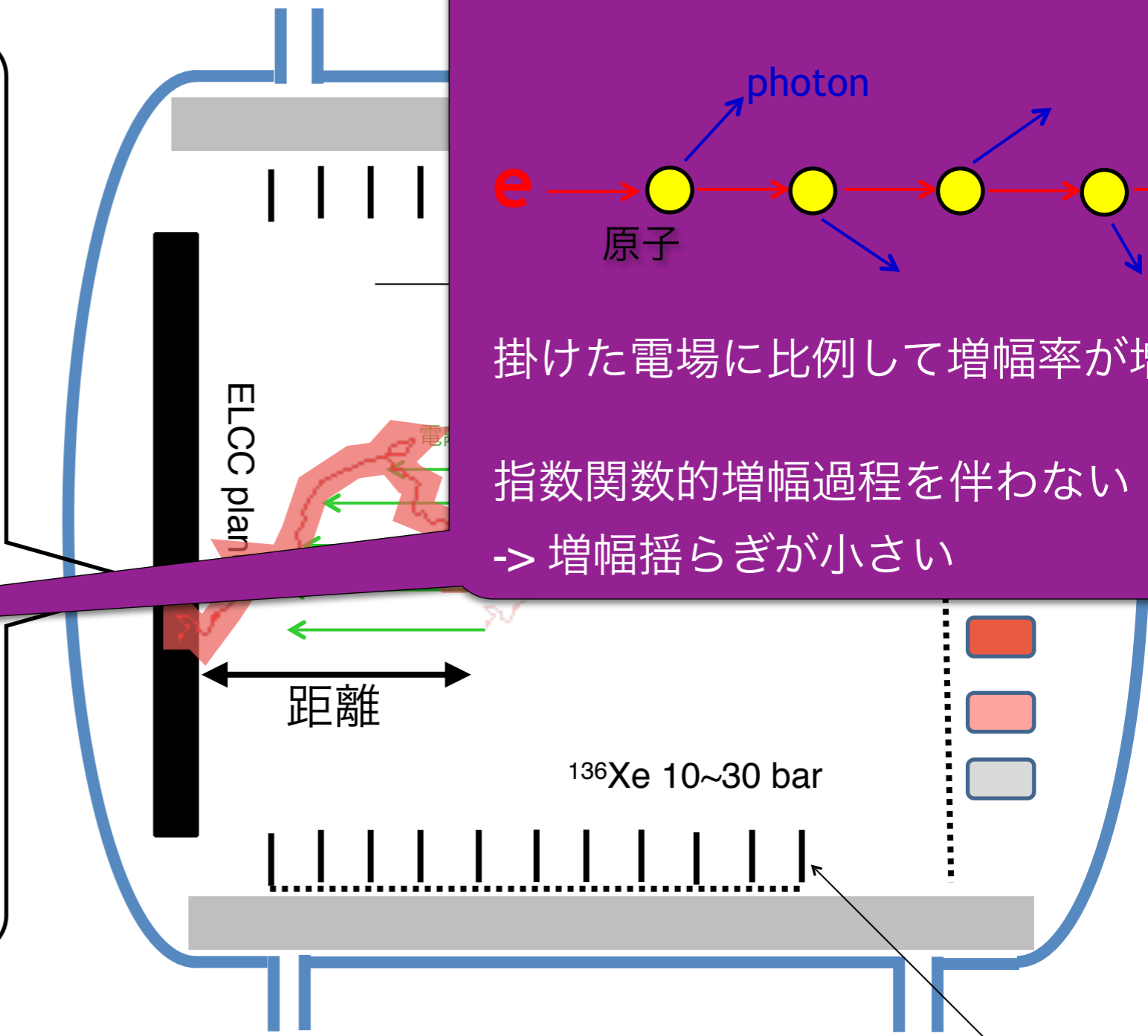
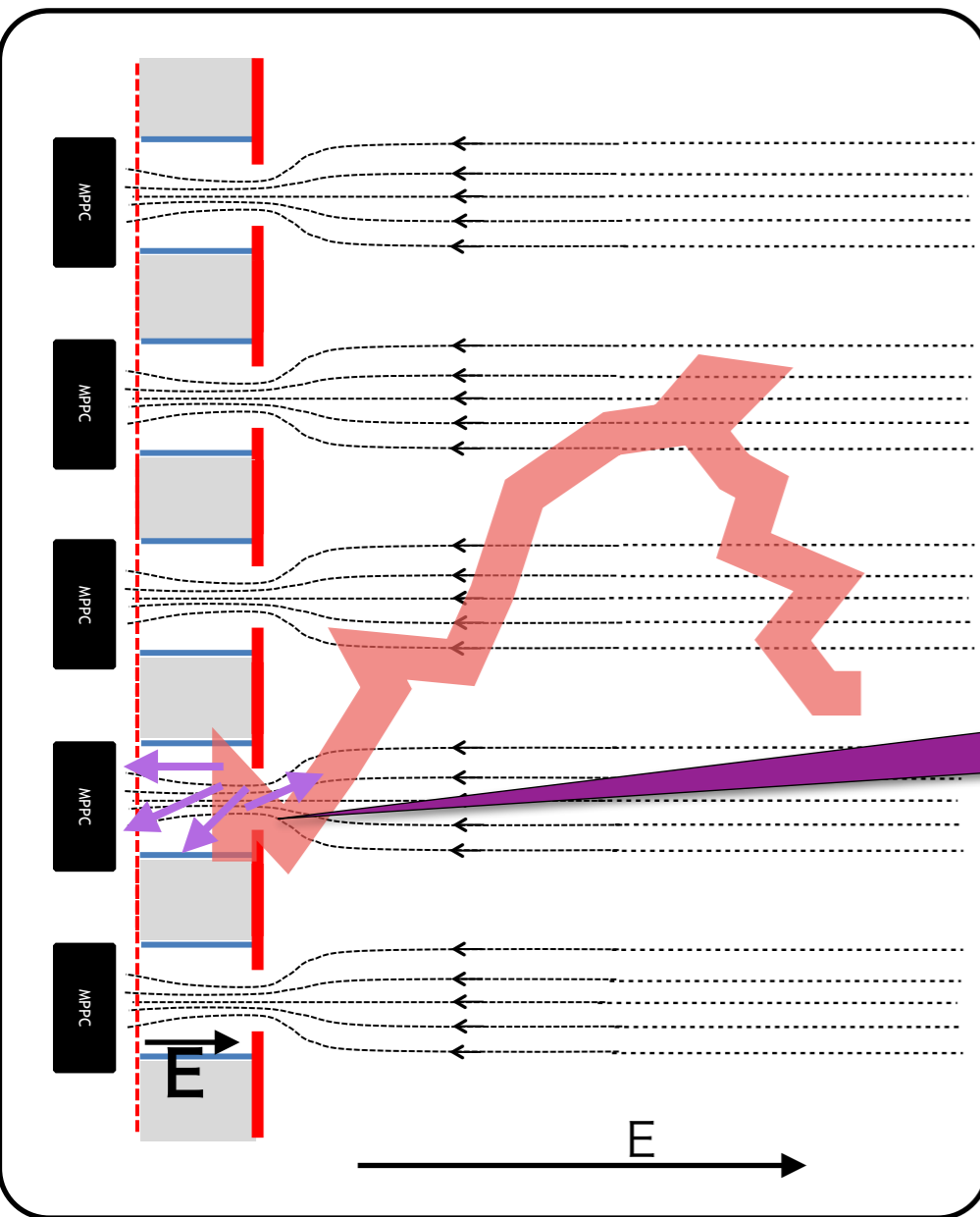
- エレクトロルミネッセンス(EL)過程



掛けた電場に比例して増幅率が増加

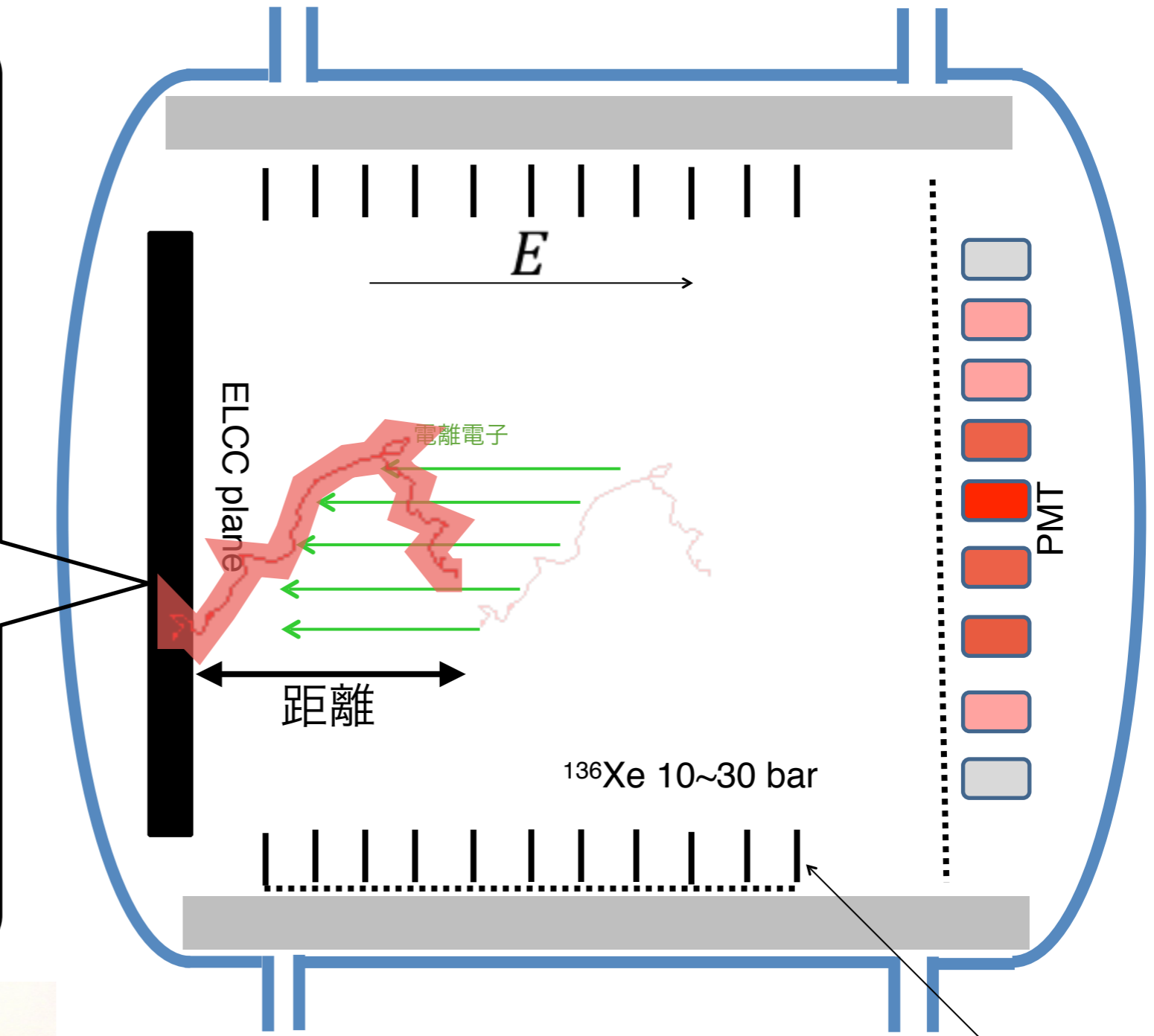
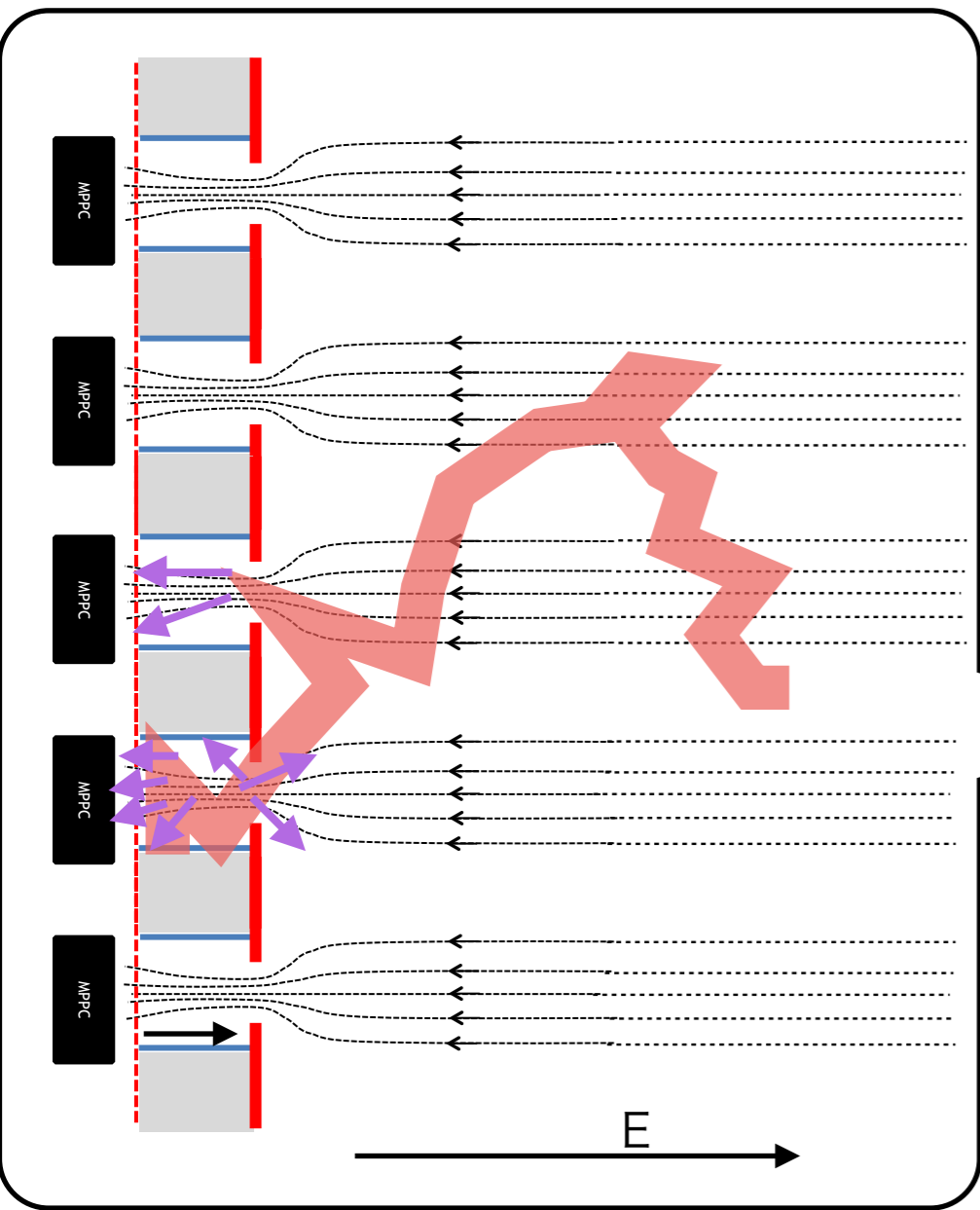
指数関数的増幅過程を伴わない

-> 増幅揺らぎが小さい



# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

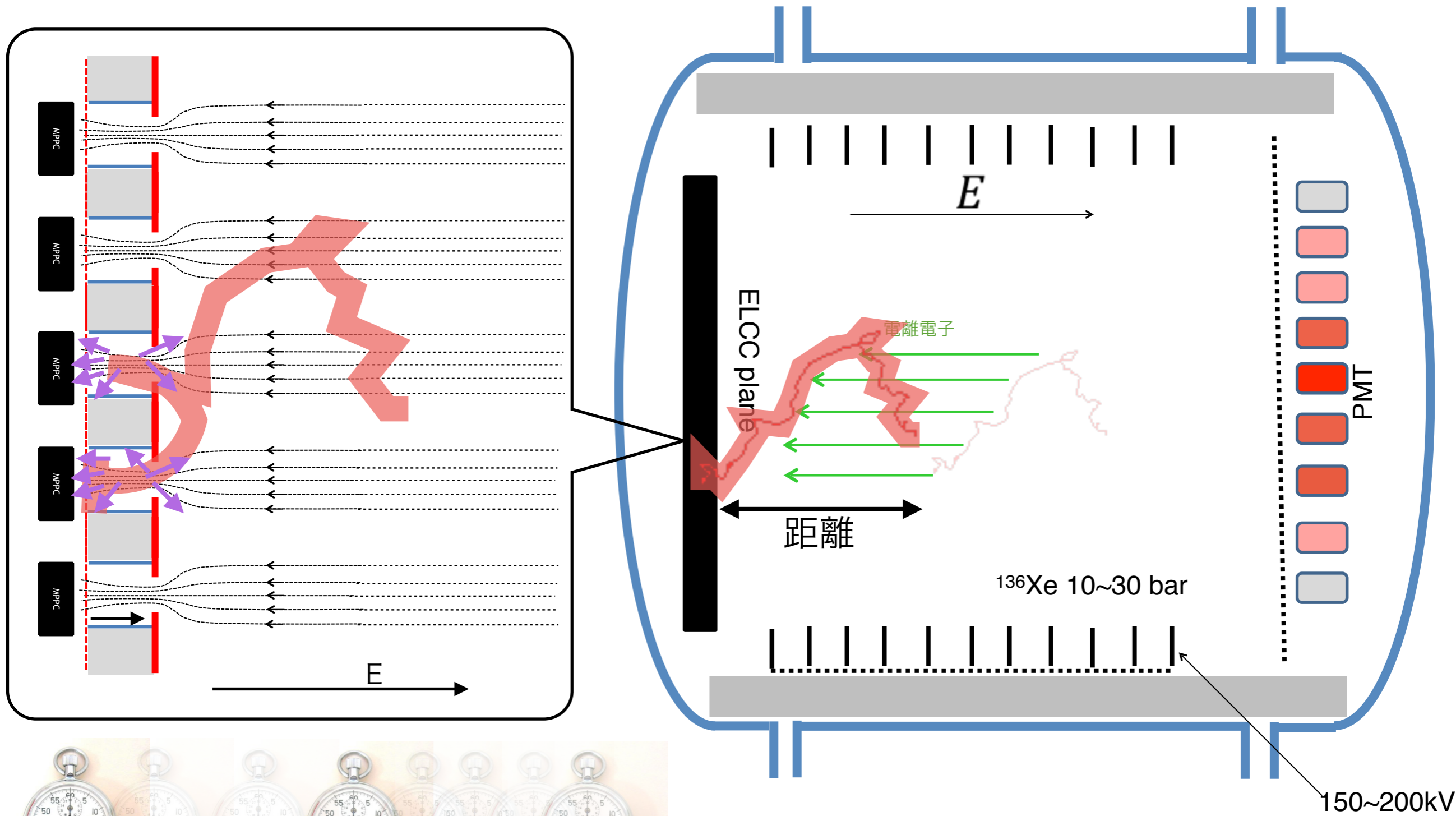
## 高压XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search





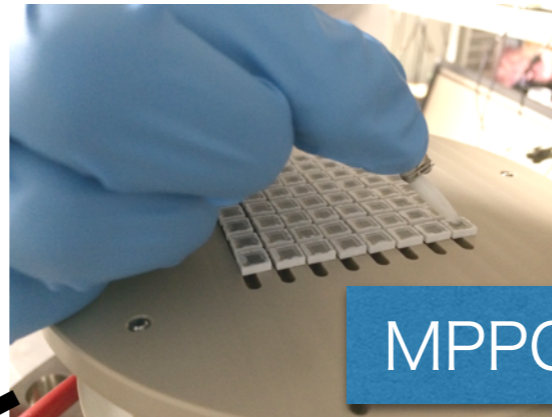
# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

## 高压XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



# 試作機の製作(WLS) : Previous symposium

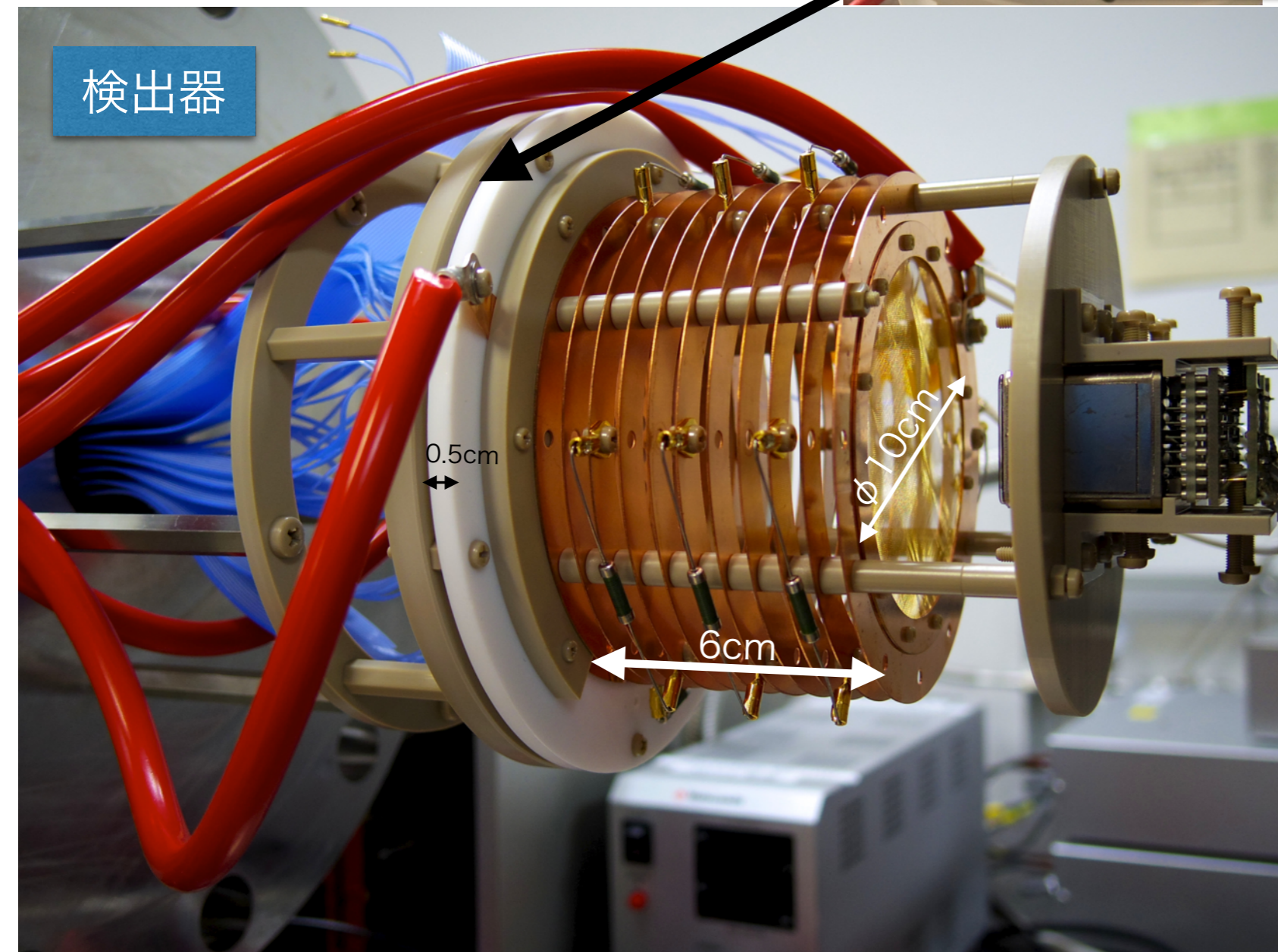
AXEL検出器の製作にあたり、有効領域： $\phi 10\text{cm}$ 、長さ $6\text{cm}$ 、64chの試作機を製作



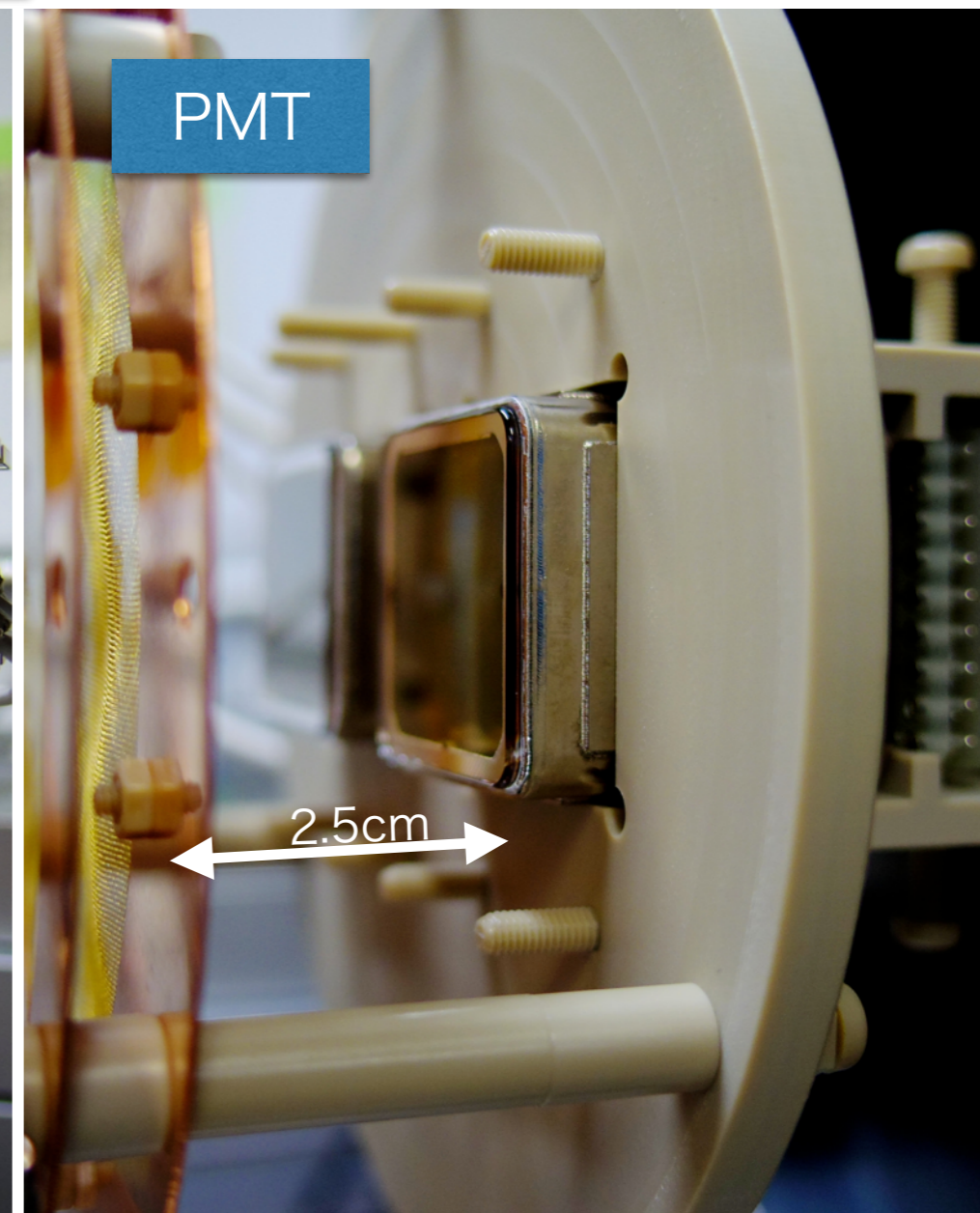
MPPC

VUVに感度を持たないMPPC  
+ 波長変換材

検出器

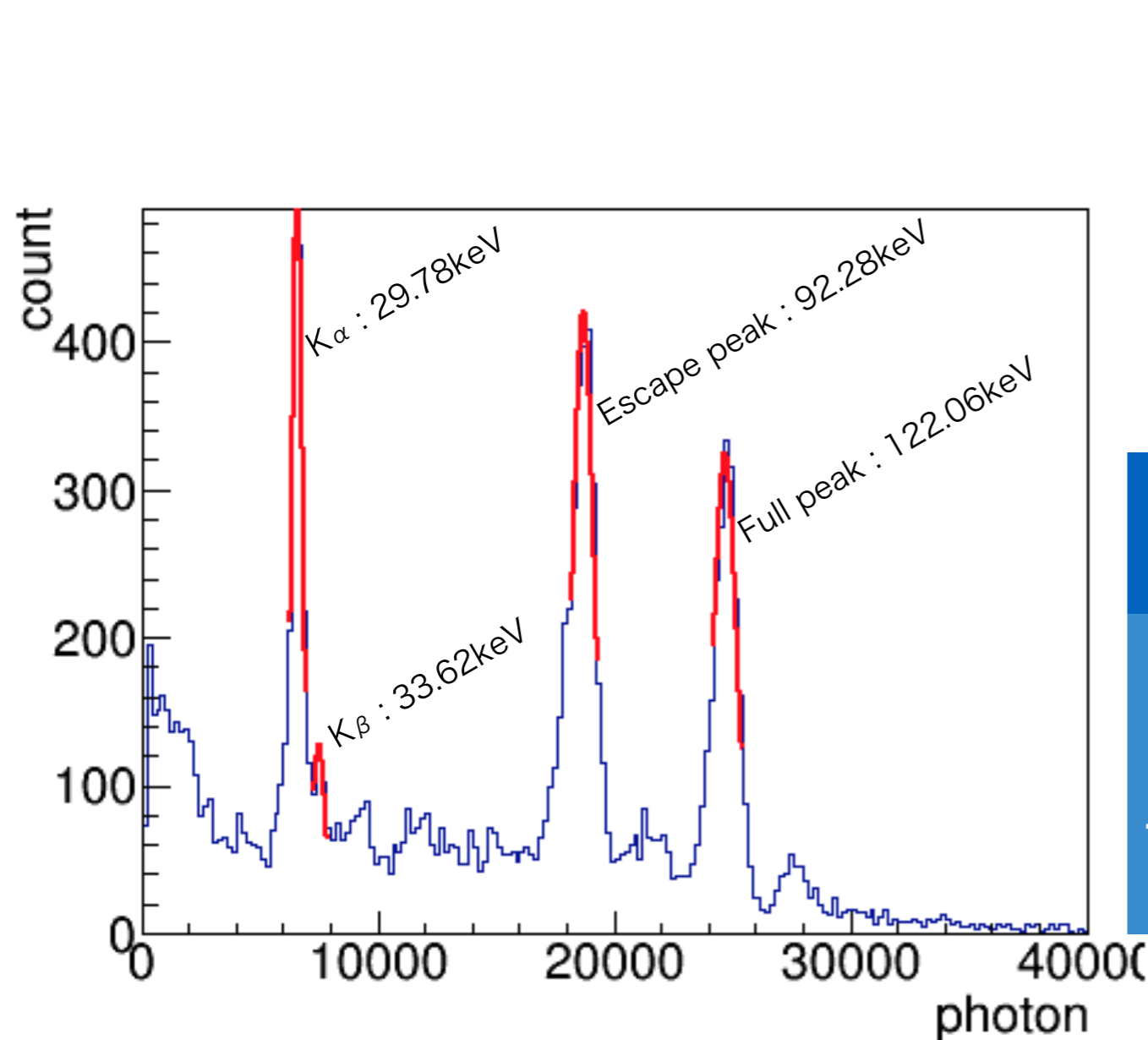


PMT



# 試作機の性能評価(WLS) : Previous symposium

- ・ 4気圧のキセノンガス
  - ・  $^{57}\text{Co}$ ガンマ線源を用いて性能評価(122keV)
  - ・ 4つのピークを観測
- > それぞれのピークをガウス関数でフィットし、エネルギー分解能(FWHM)を評価



## Measurement conditions

Gas Pressure	4.0 bar
E (EL regeion)	2.4 kV/cm/atm
E (drift region)	50 V/cm/atm
Source	$^{57}\text{Co}$ (122 keV $\gamma$ -ray)

ピーク [keV]	29.78	33.62	92.28	122.06
Photon数	6605	7516	18711	24710
エネルギー分解能 (FWHM)	7.9%	8.7%	5.6%	4.7%

# 試作機の性能評価(WLS) : Previous symposium

各ピークのエネルギーと分解能(FWHM)をプロット  
(エラーバーはフィッティングの際の誤差)

エネルギー分解能 @ Q値(2458keV) : 3.6% (FWHM)

-> 目標(0.5%)に比べると1桁ほど悪い(constant termを除くことができれば1.03%(FWHM))

要改善点：

VUV-sensitive MPPC化

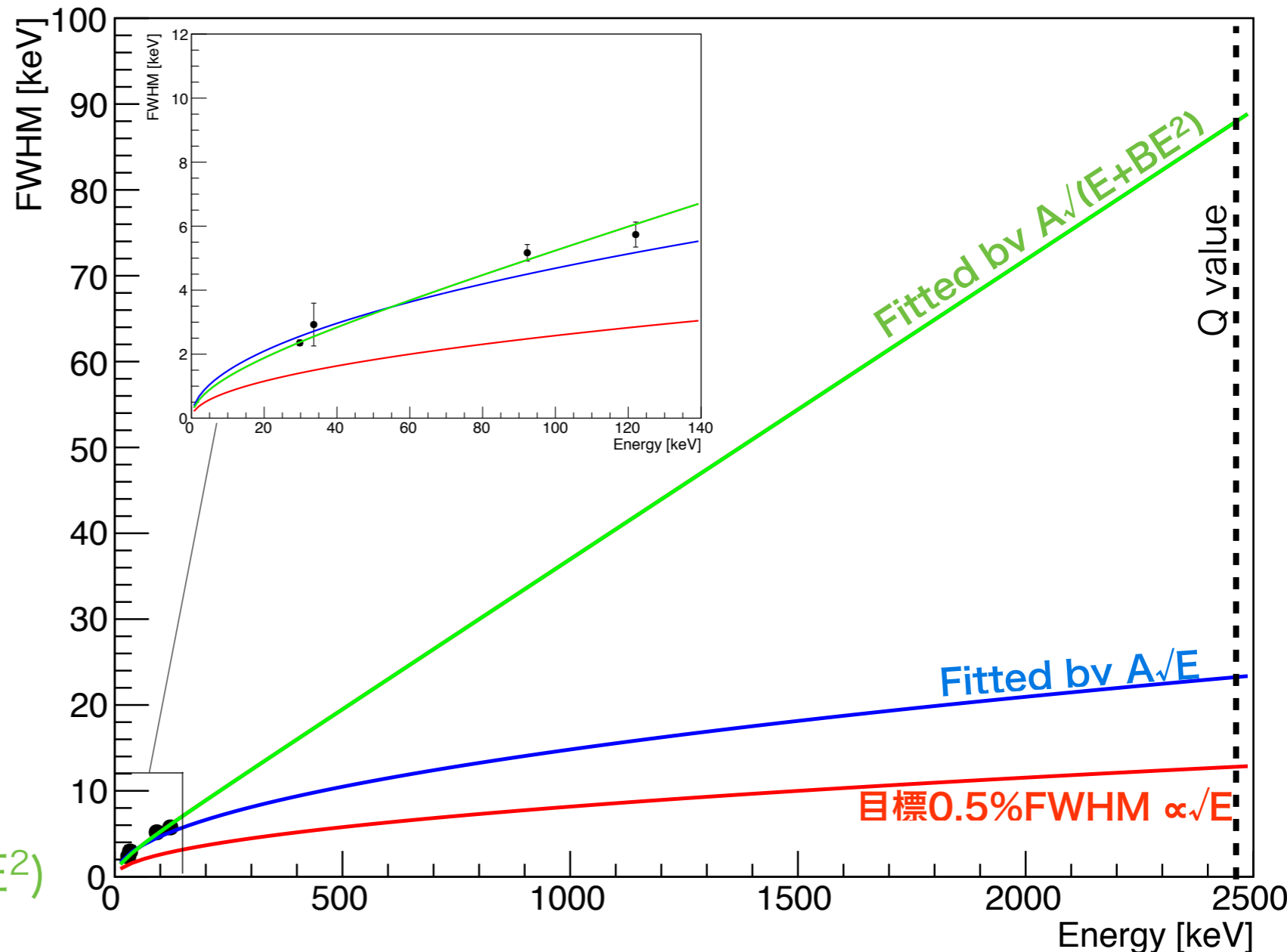
ガスの純化

電場の最適化

etc.....

$$\text{FWHM} = 0.47\sqrt{E}$$

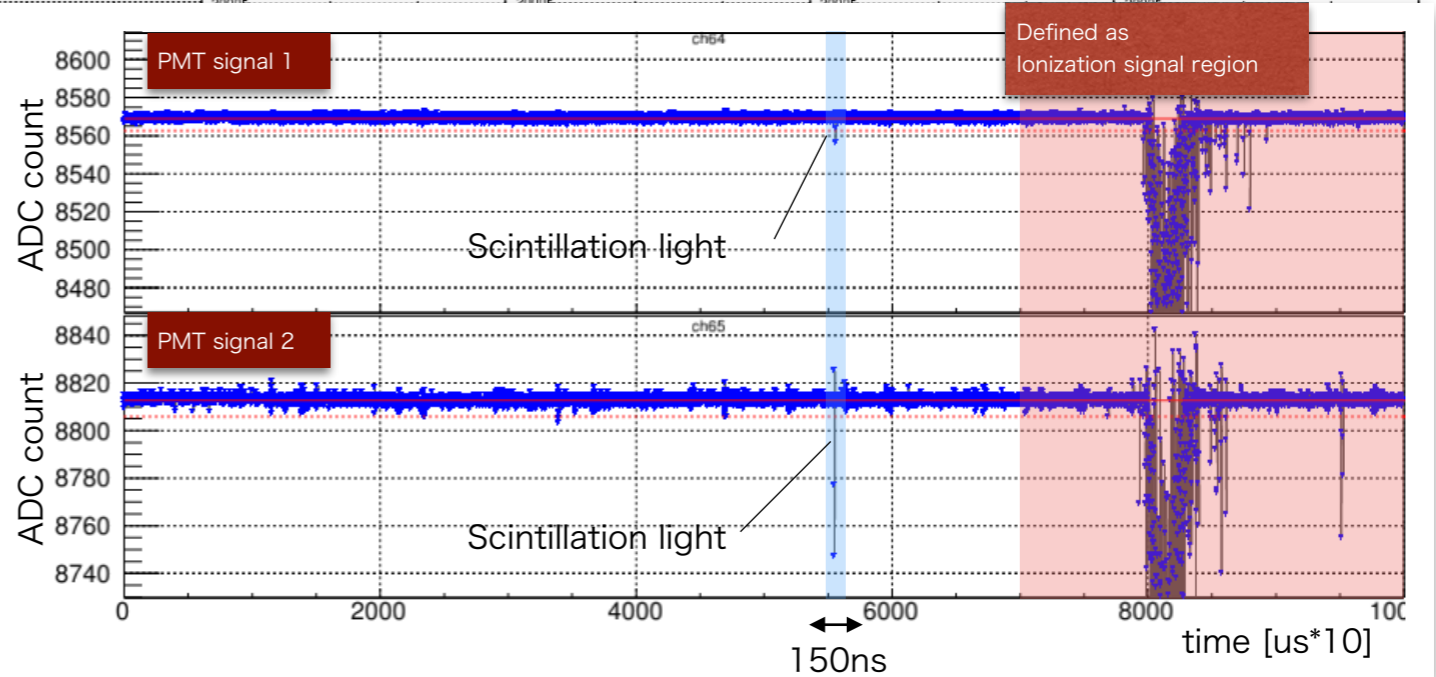
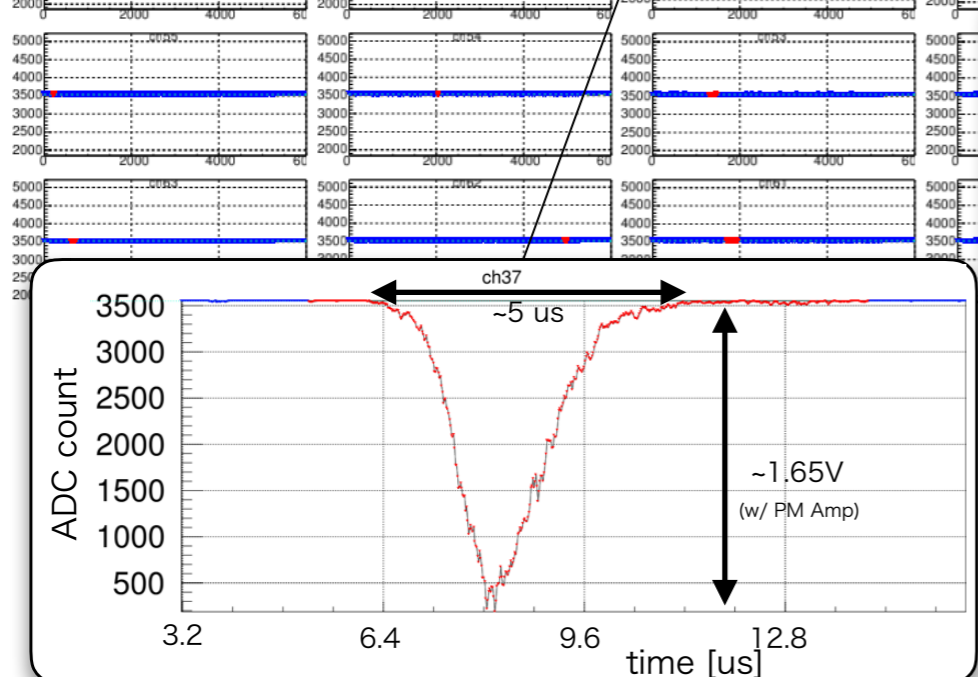
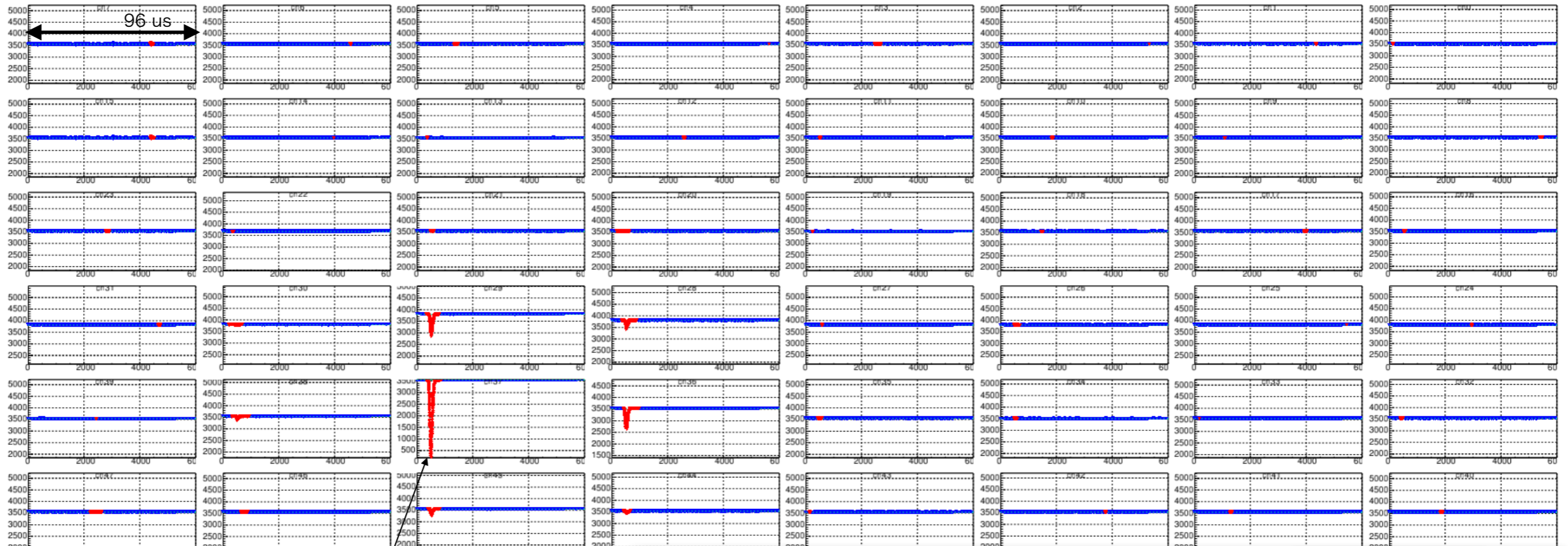
$$\text{FWHM} = 0.39\sqrt{(E+0.0079E^2)}$$



# 試作機の製作(UV-MPPC)

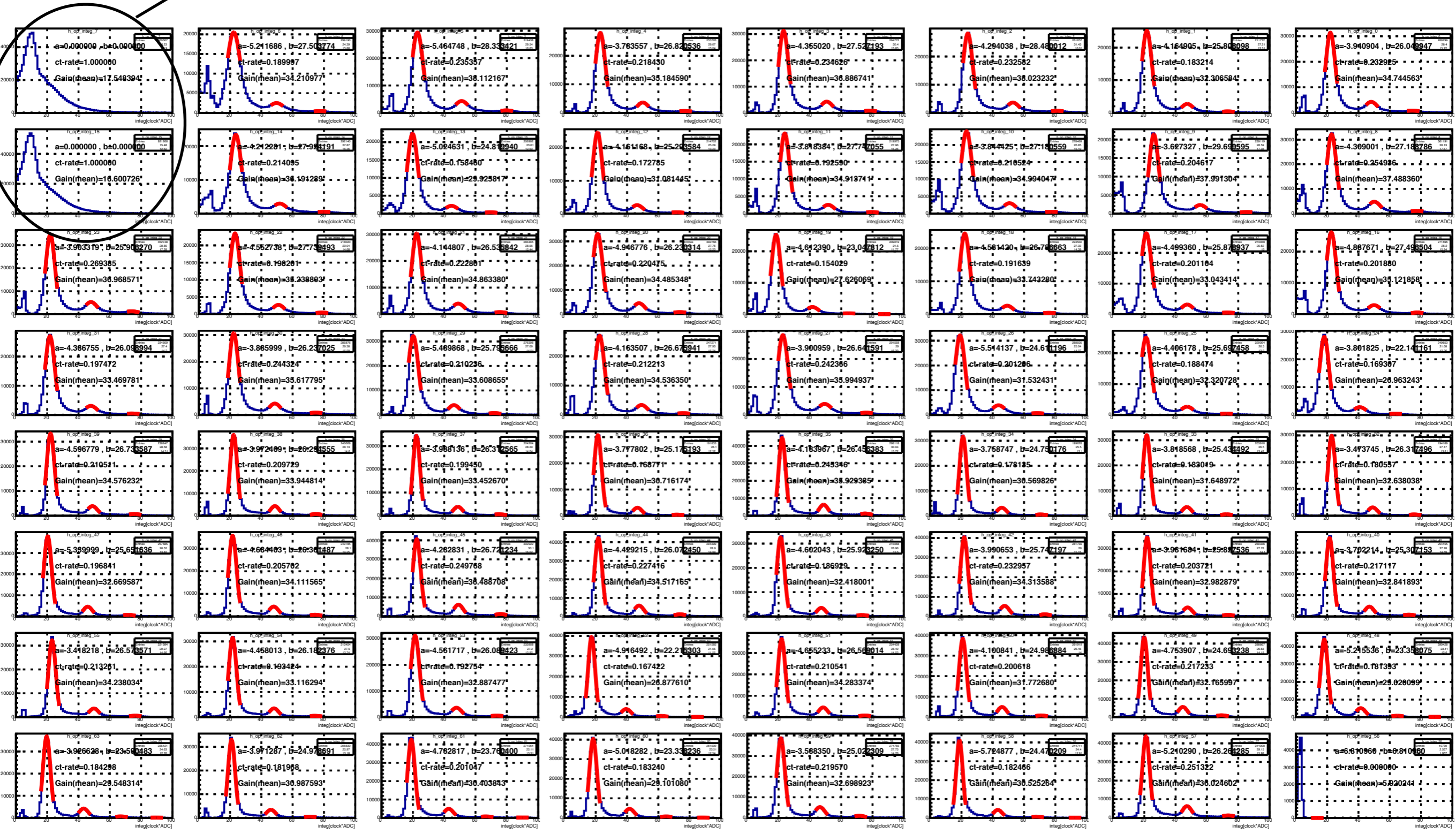
Wave form (122 keV event)

-> OK as a TPC.



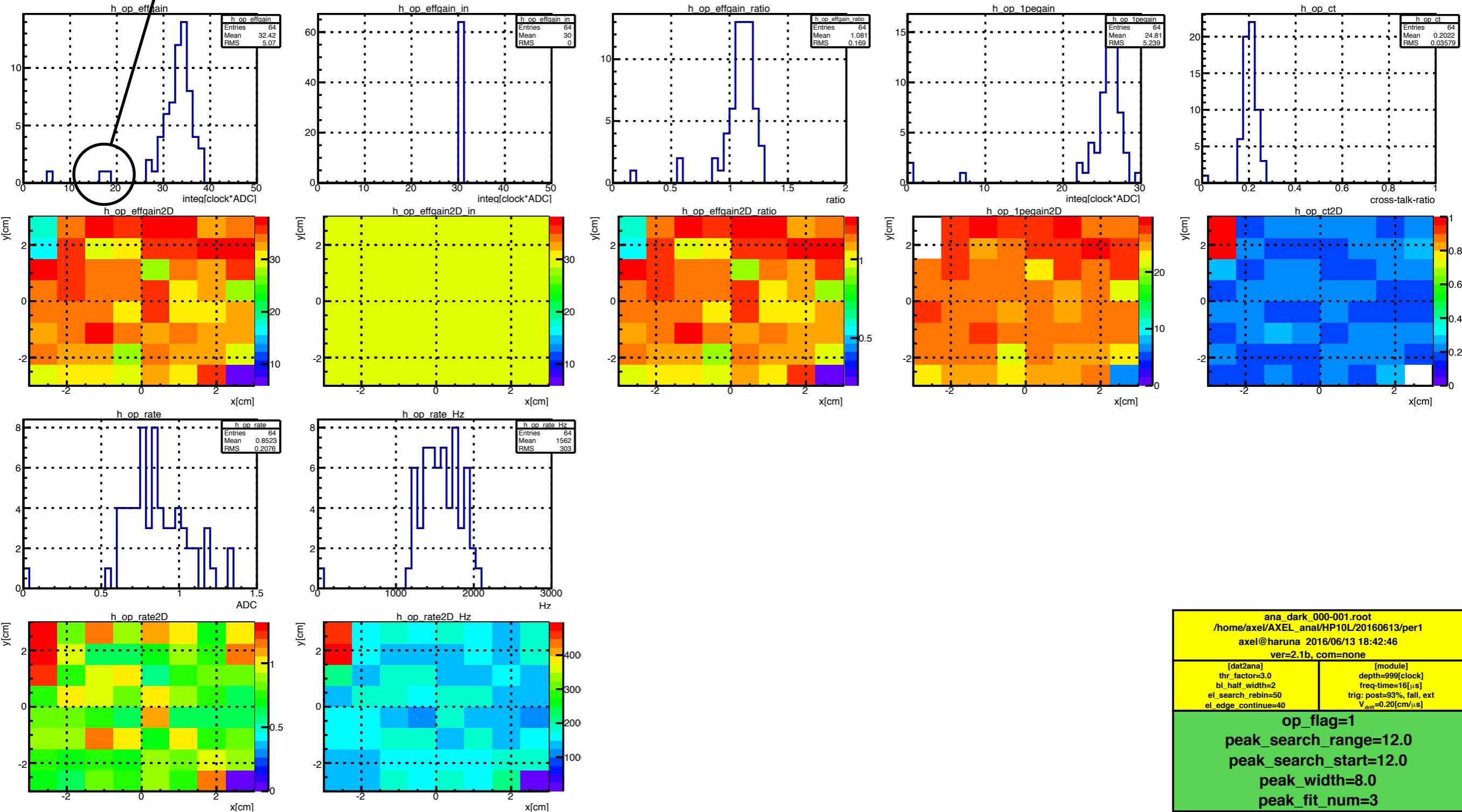
## Dark analysis

また壊れていた……。左上のチャンネルは新しくしたばかり。何故？



### Dark analysis

壊れていた2つのチャンネル



ana_dark_000-001.root /home/axel/AXEL_ana/HP10L/20160613/per1 axel@haruna 2016/06/13 18:42:46 ver=2.1b, com=None	
[dat2ana] thr_factor=3.0 bl_half_width=2 el_search_rebin=50 el_edge_continue=40	[module] depth=999[clock] freq-time=16[us] trig: post=93%, fall, ext V <sub>emit</sub> =0.20[cm/us]
<b>op_flag=1</b> <b>peak_search_range=12.0</b> <b>peak_search_start=12.0</b> <b>peak_width=8.0</b> <b>peak_fit_num=3</b>	

# Problem : ガス純度

循環・純化系統  
の整備

