



# 高圧キセノンガスTPC：AXELの読み出し機構の 最適化と試作機による評価

京都大学 理学研究科  
博士後期課程3年 潘 晟  
for the AXEL collaboration

2019年3月16日 JPS年次大会@九州大学

## 1. AXEL実験

## 2. 小型AXEL試作機について

## 3. 大型AXEL試作機について

## 4. まとめ

## 1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

3. 大型AXEL試作機について

4. まとめ

# AXEL -A Xenon ElectroLuminescence-

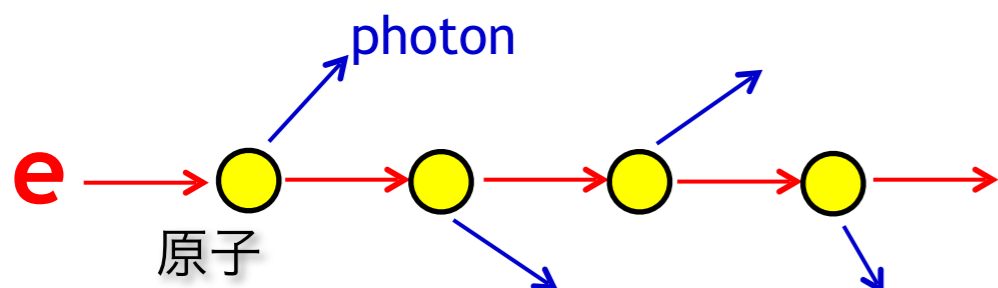
## 高圧XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search

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

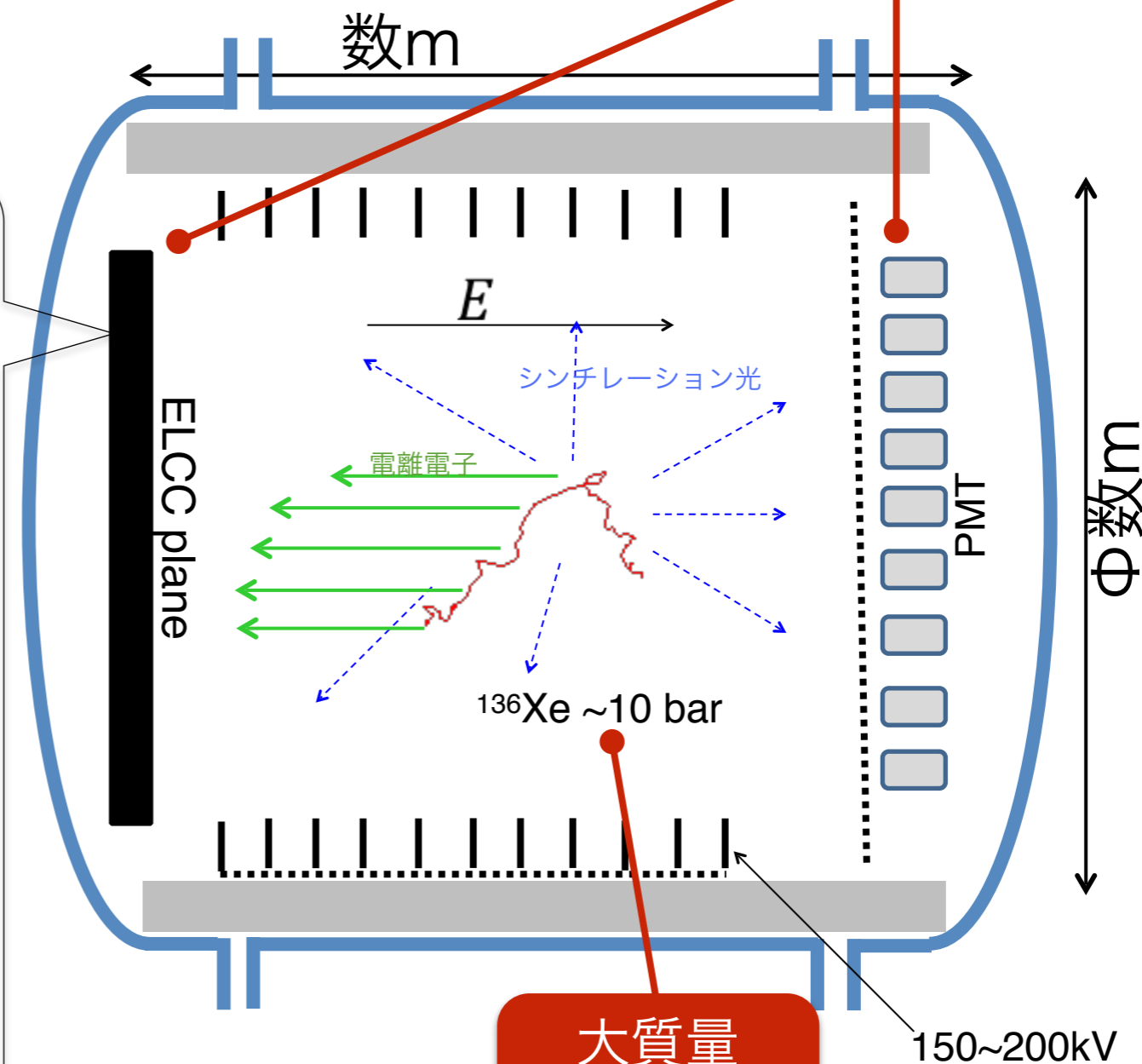
指数関数的増幅過程を伴わない

-> 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

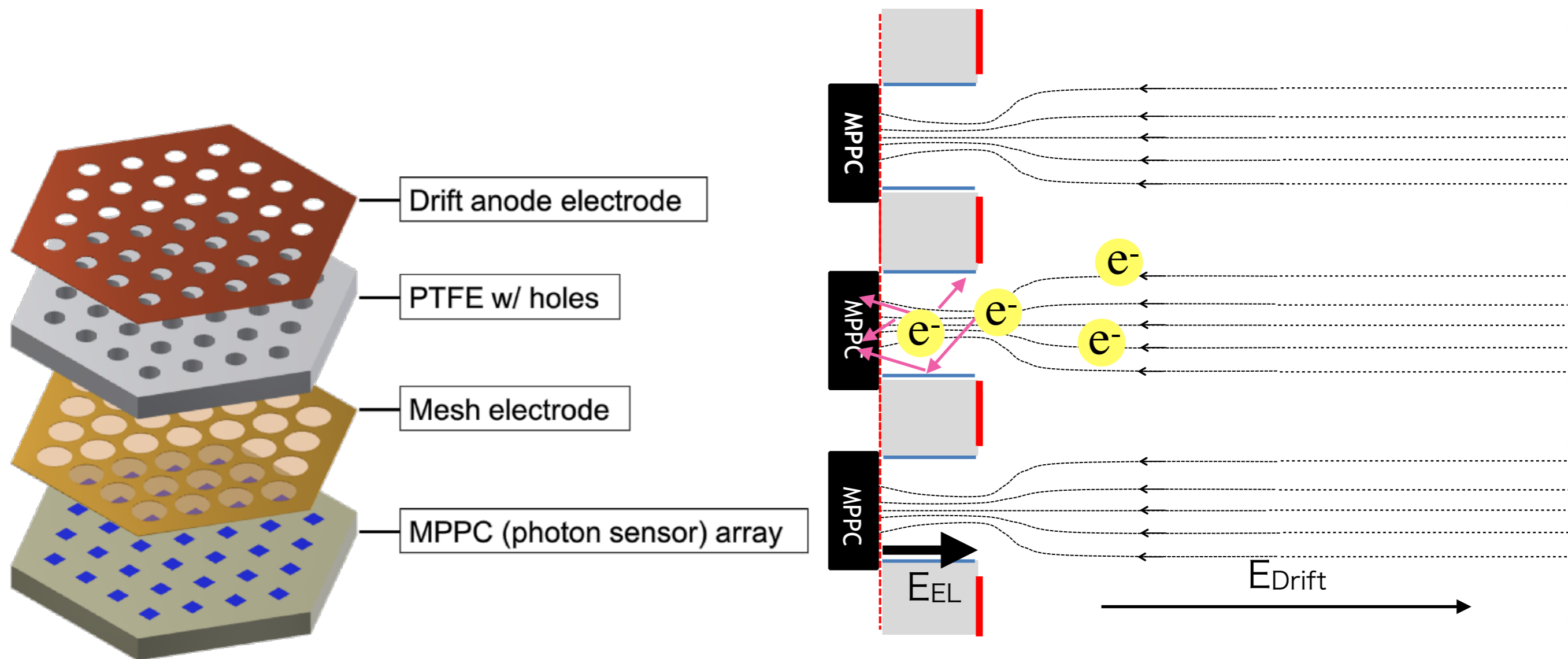


大質量

-> 約1トンの高圧 $^{136}\text{Xe}$ ガス

# Electroluminescence Light Collection Cell (ELCC)

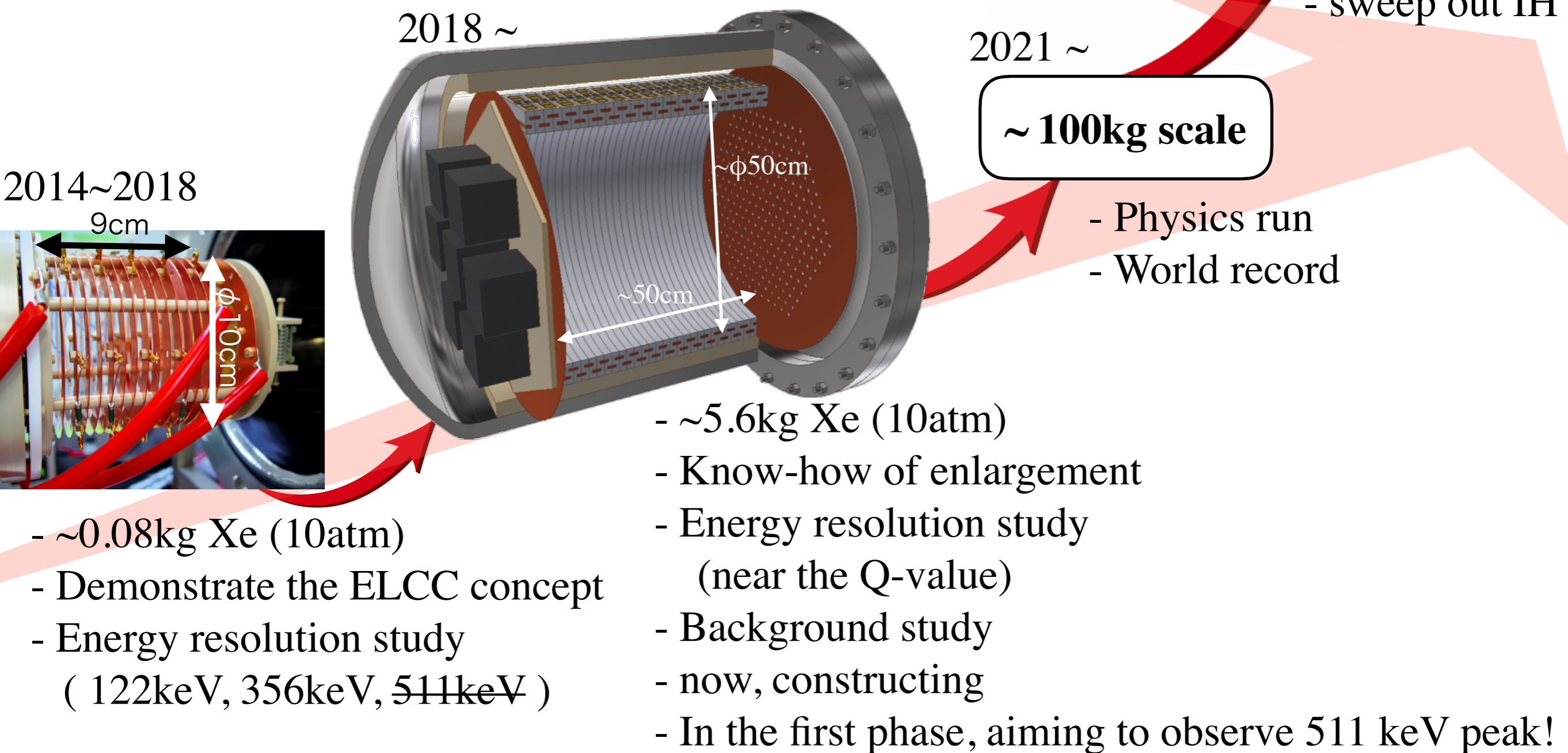
セル状の各領域でEL光を検出することで、エネルギー測定と飛跡検出を同時に行う  
 電気力線をセル内に引き込む構造なので、光量の位置依存性を軽減  
 堅い素材で構成されているため、大型化が容易(メッシュのたわみのような問題が無い)



Ionization electrons are collected into cells if  $E_{EL} > E_{Drift}$ , And converted into EL light

## Road map of the AXEL experiment

- Finish evaluation of the prototype detectors until 2020
- aiming to start physics run from 2021



1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

3. 大型AXEL試作機について

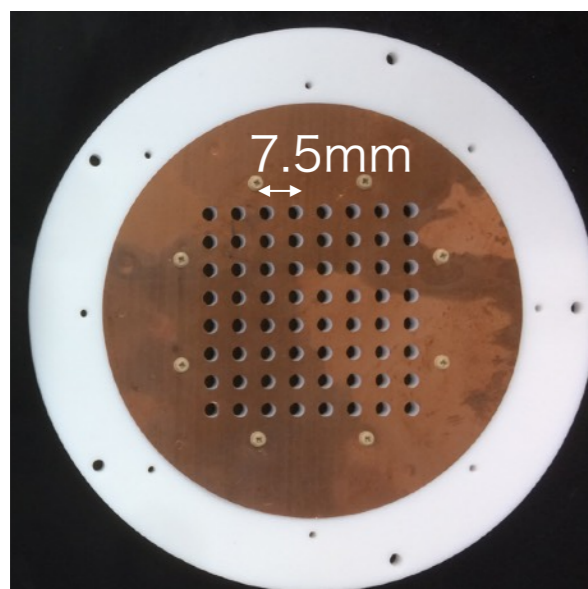
4. まとめ

# 小型試作機：Tetra

有効領域：φ10cm、長さ9cm、64chの試作機を製作

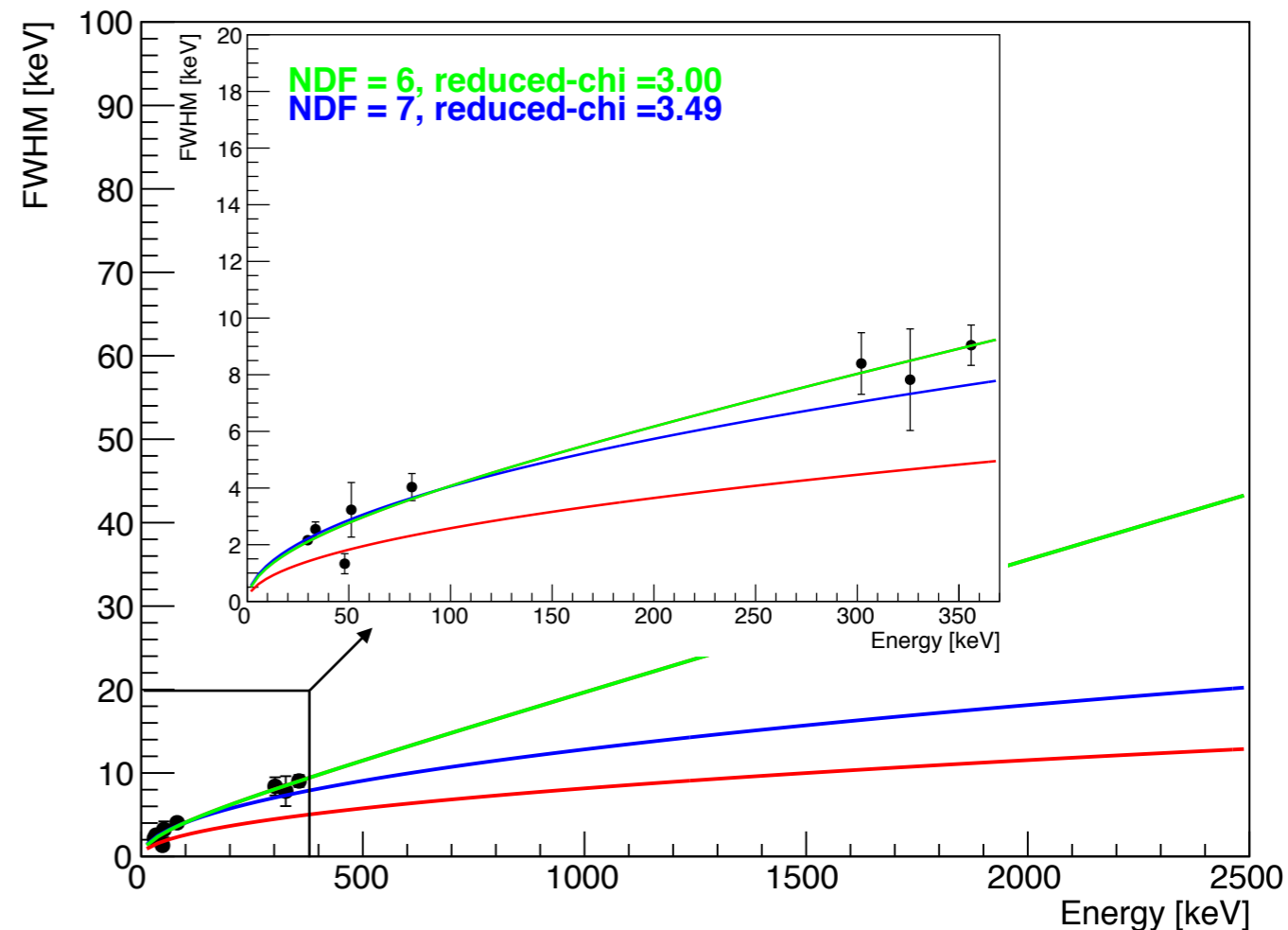
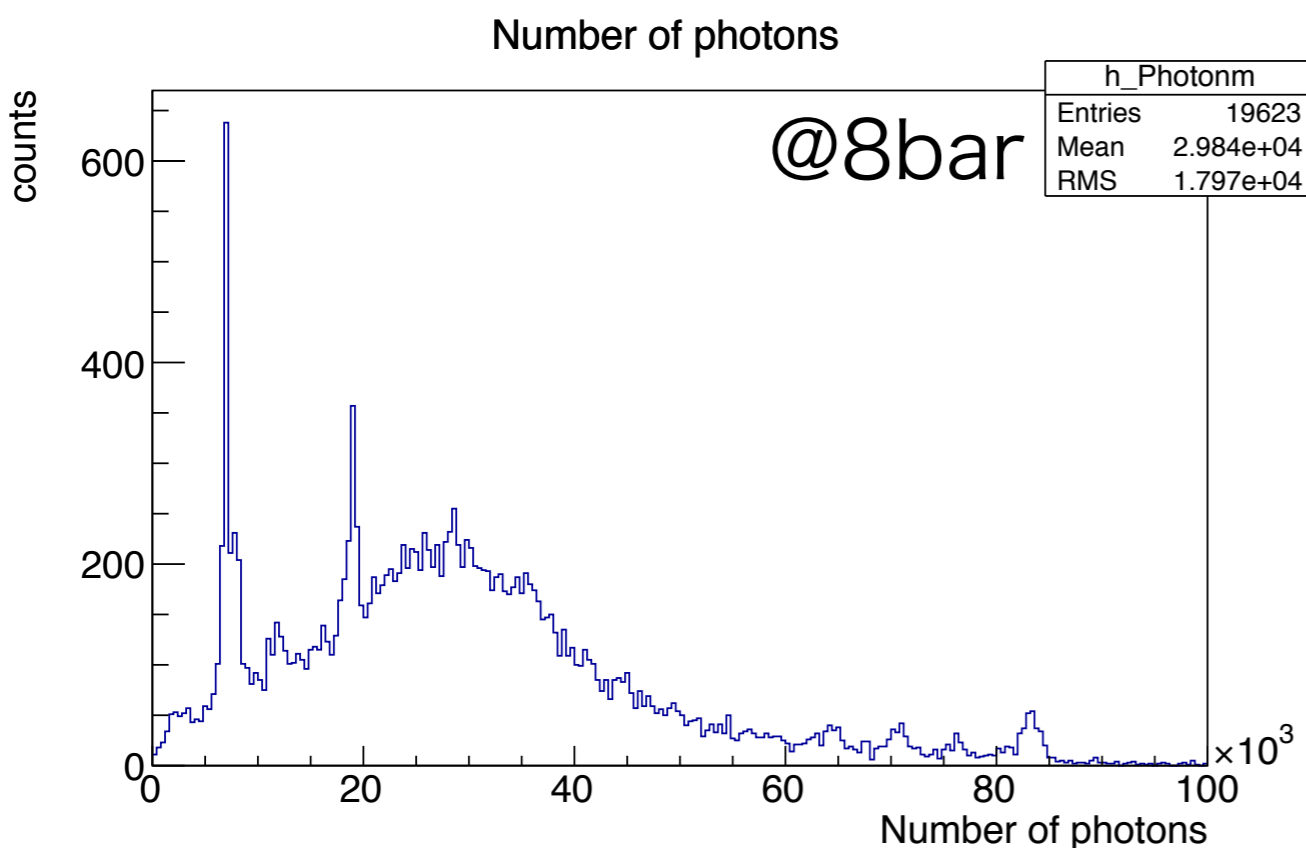
MPPC(Cell)は四角形配置で7.5mm-pitch、穴径φ5mm

356keVのガンマ線を用いて性能評価：**FWHM 0.82~1.74% @Q値**



**A\*sqrt(E)**  
 A = 0.406 +/- 0.01401  
 FWHM : 0.82 per cent at Q-value

**A\*sqrt(E+B\*E^2)**  
 A = 0.376 +/- 0.01868  
 B = 0.002 +/- 0.00084  
 FWHM : 1.74 per cent at Q-value



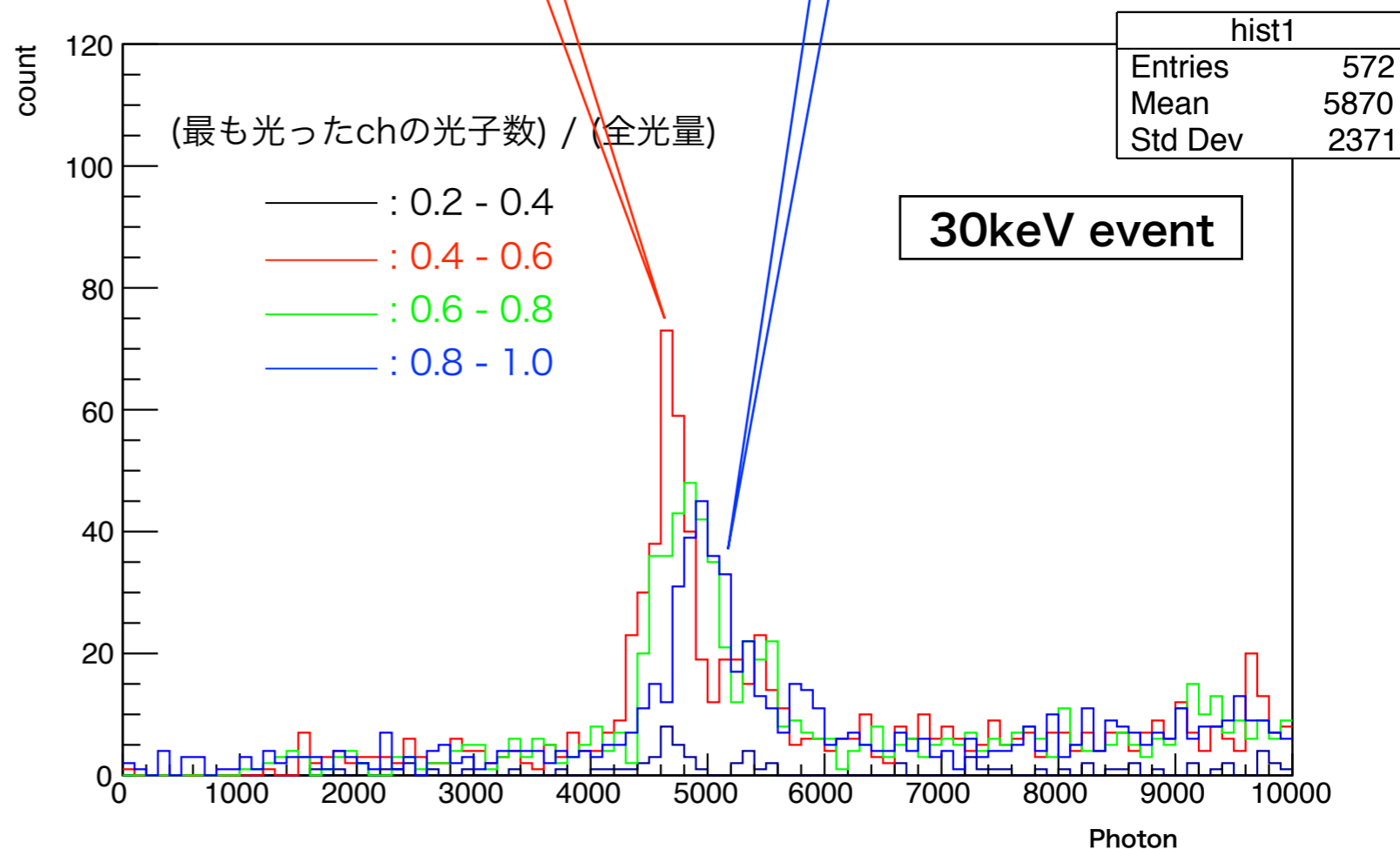
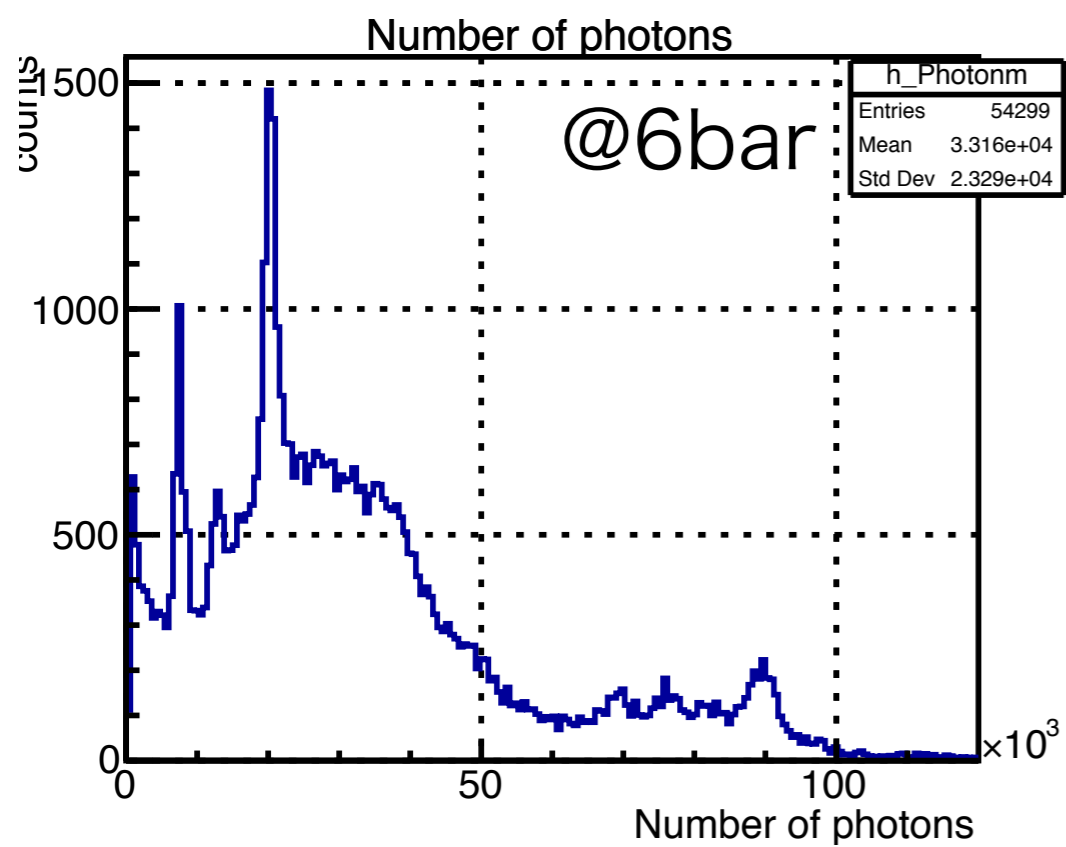
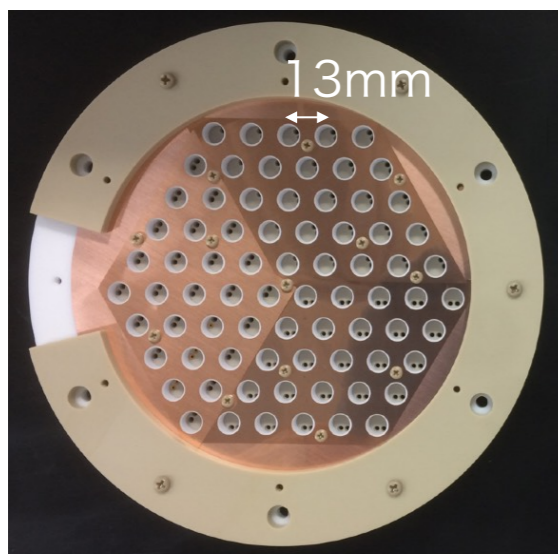


# 小型試作機：Hex

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

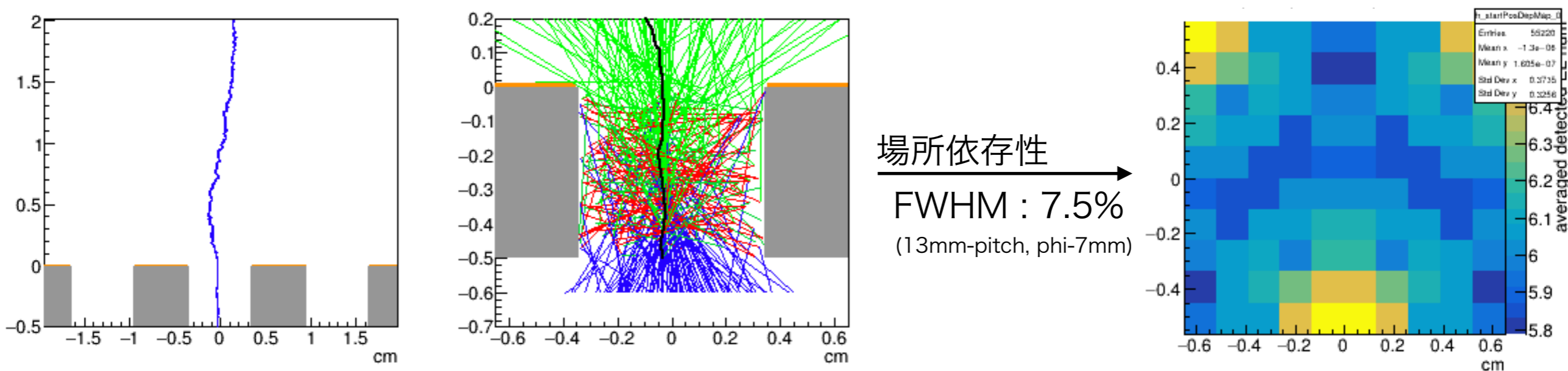
MPPC(Cell)は六角形配置で $13\text{mm}$ -pitch、穴径 $\phi 7\text{mm}$

356keVガンマ線で評価を行うも良い結果を得ず → 場所依存性が問題



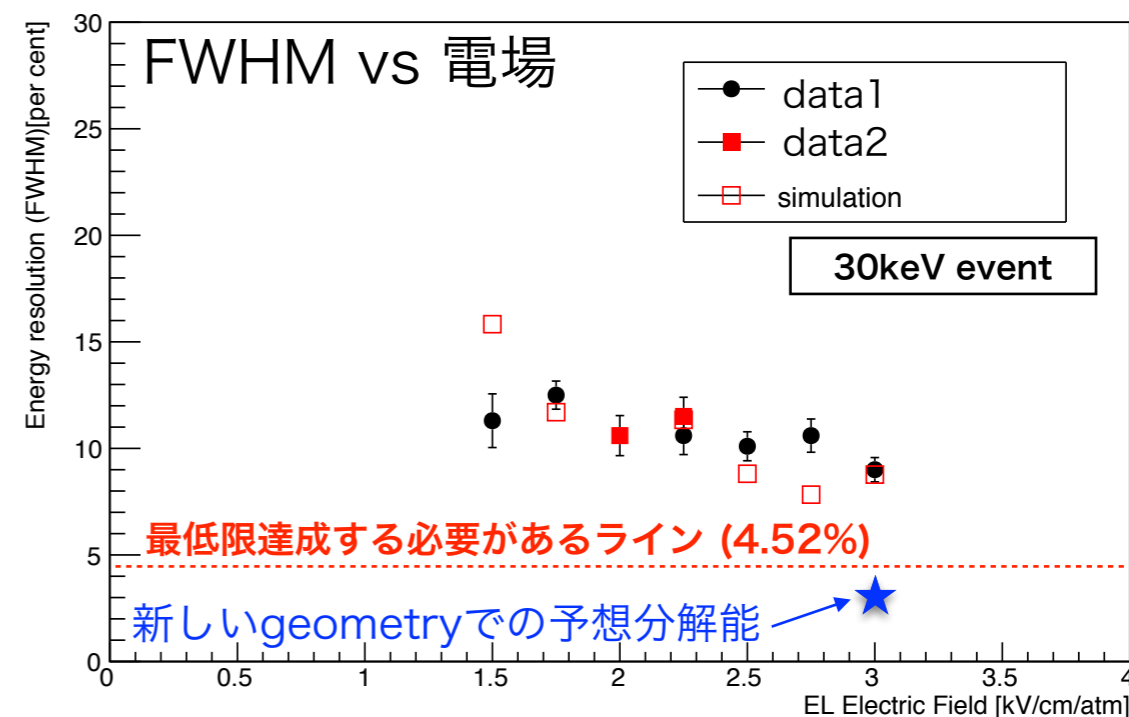
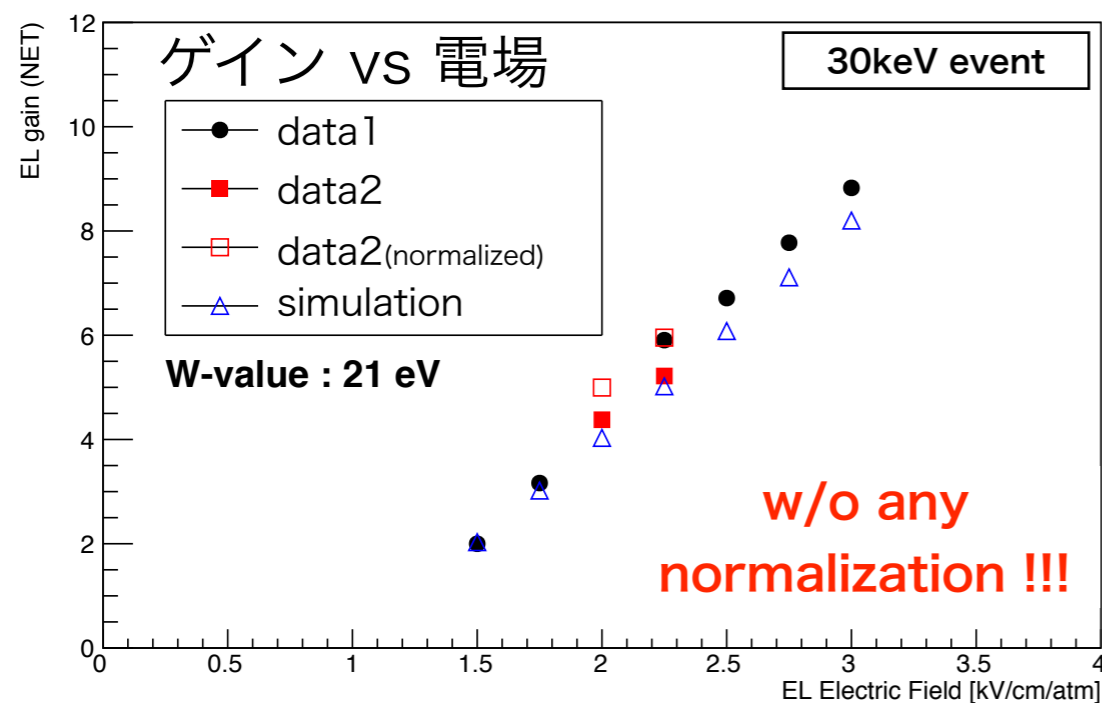
# ELCC仕様の再決定/シミュレーション

- 電子トラックシミュレーション → ELゲインの場所依存性
- Geant4による30keVイベント生成 → 場所依存性ありのEL光信号の再現
- これらを元に最適なピッチ、穴径を設計：10mmピッチ、 $\phi 5.5\text{mm}$
- 実機データとも比較し、シミュレーションの妥当性を確認



場所依存性

FWHM : 7.5%  
(13mm-pitch, phi-7mm)



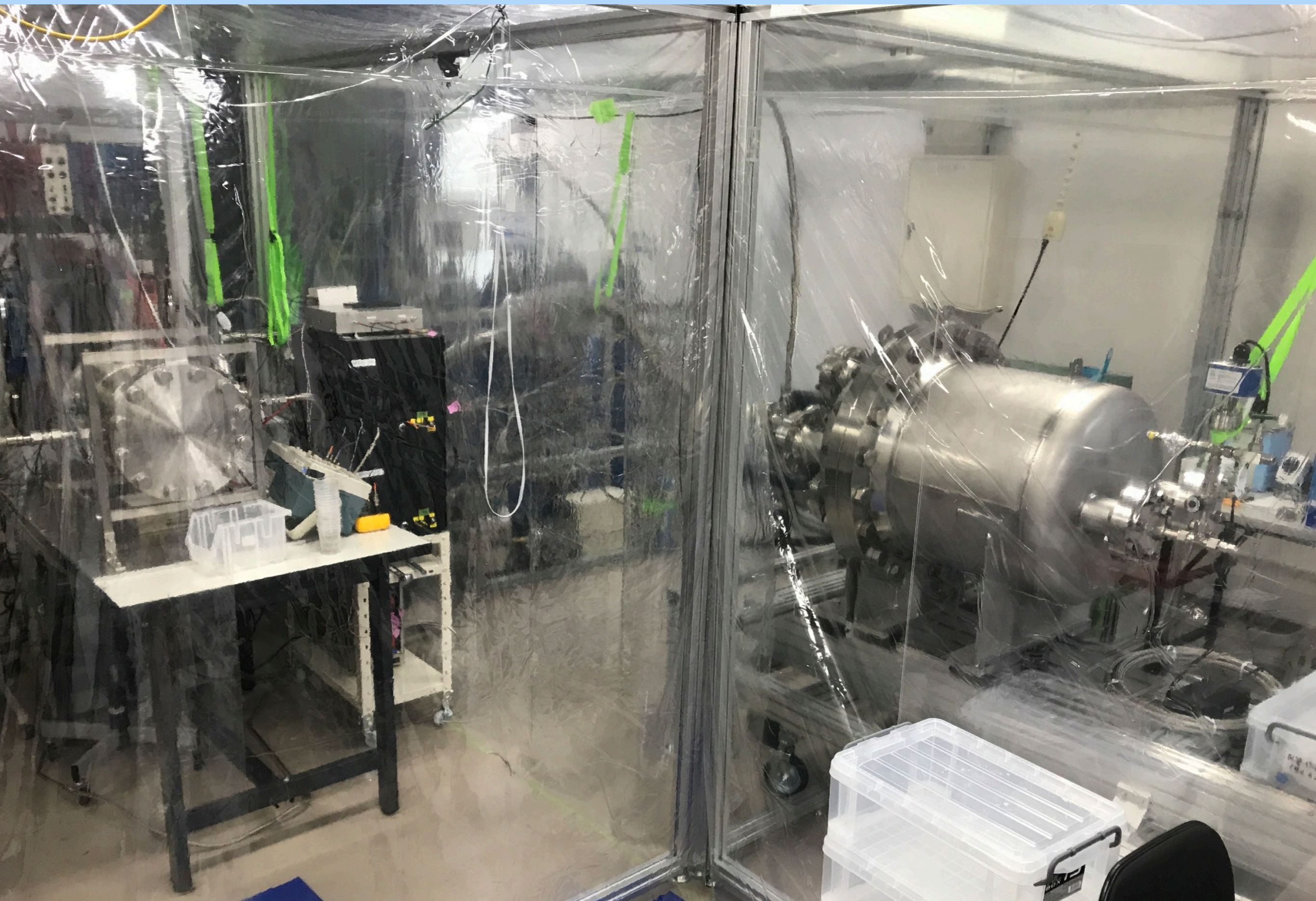
1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

3. 大型AXEL試作機について

4. まとめ

# 大型試作機(HP180L)

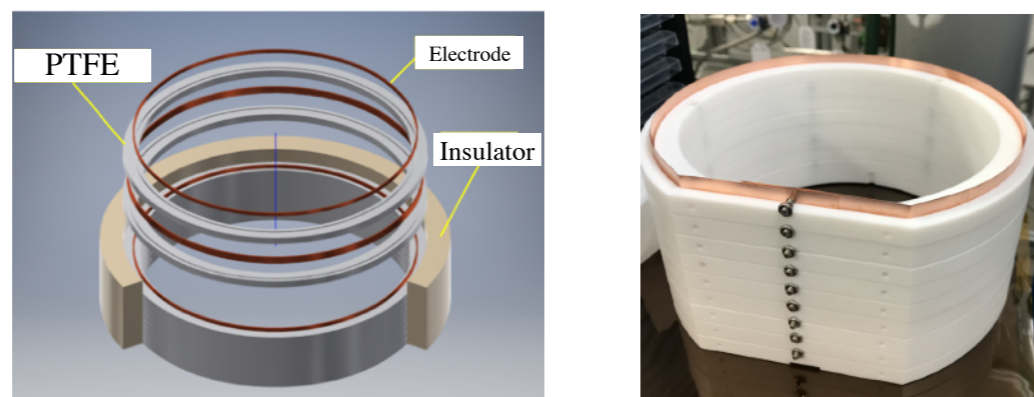


# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある

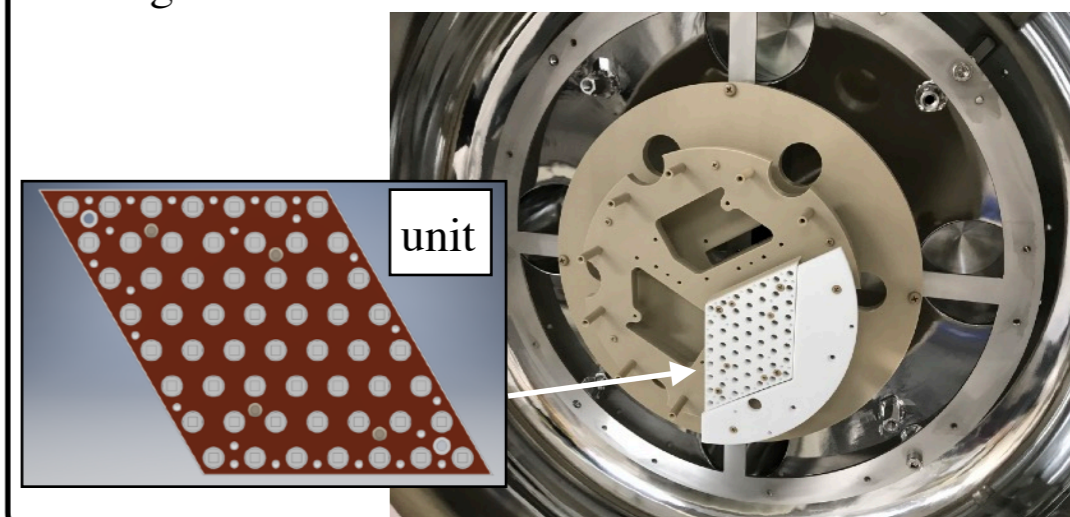
## - Field Shaper

- Discharge resistant : embedded electrode, insulator
- increase scintillation light yield due to PTFE reflection



## - ELCC (readout structure of ionization signal)

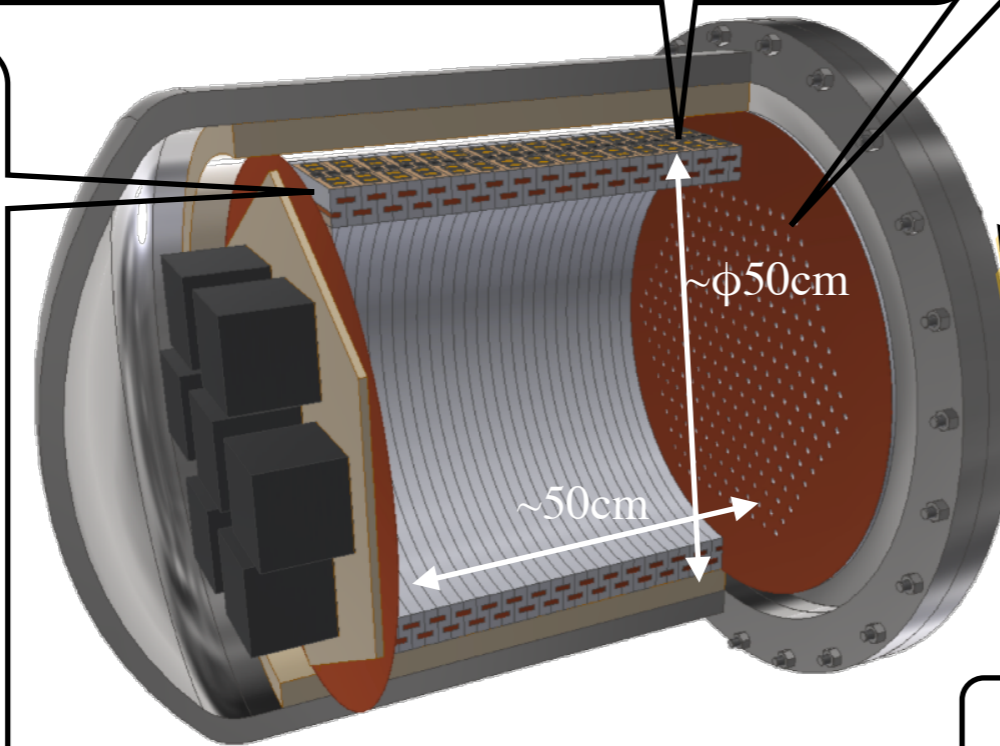
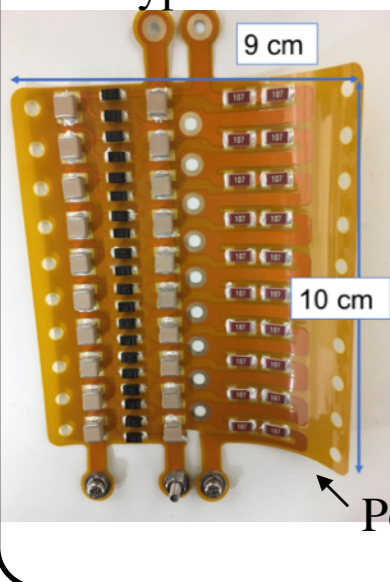
- Prefabricated style → easily to extend
- Number of channels : ~1000 ch
- Design is almost fixed



## - Cockcroft-walton

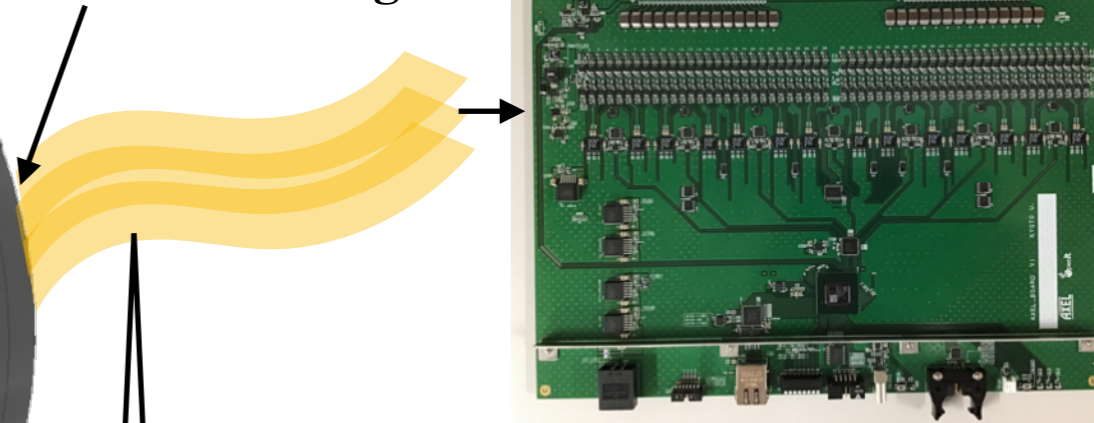
- Generate ~65kV inside the vessel
- Low outgas (Polyimide)

Prototype



- Gas line
- Calibration of MPPCs
- Analysis code

## - Feedthrough



## - FPC

- Mainly inside the chamber

## - Readout electronics

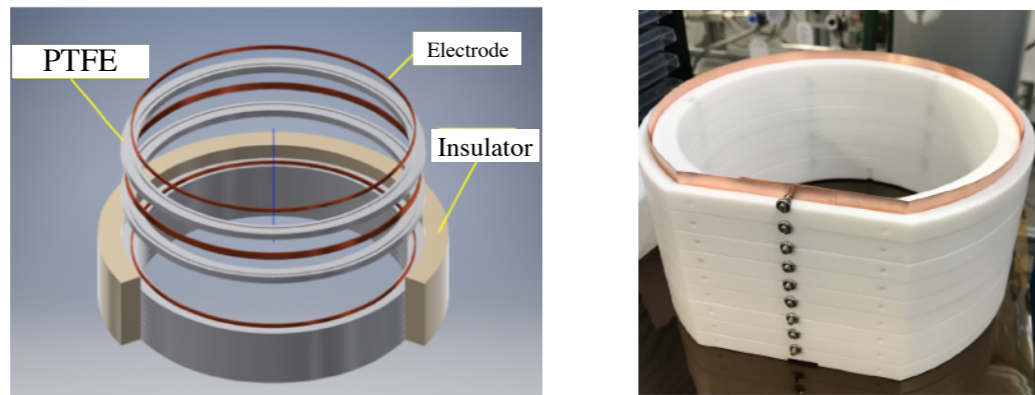
- Readout waveforms of MPPC : 56 ch/board
- High Voltage supply to MPPCs (in the 0.2mV)
- Two Flash ADCs to achieve wide dynamic range : 1 p.e ~ 10<sup>4</sup>p.e

# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある

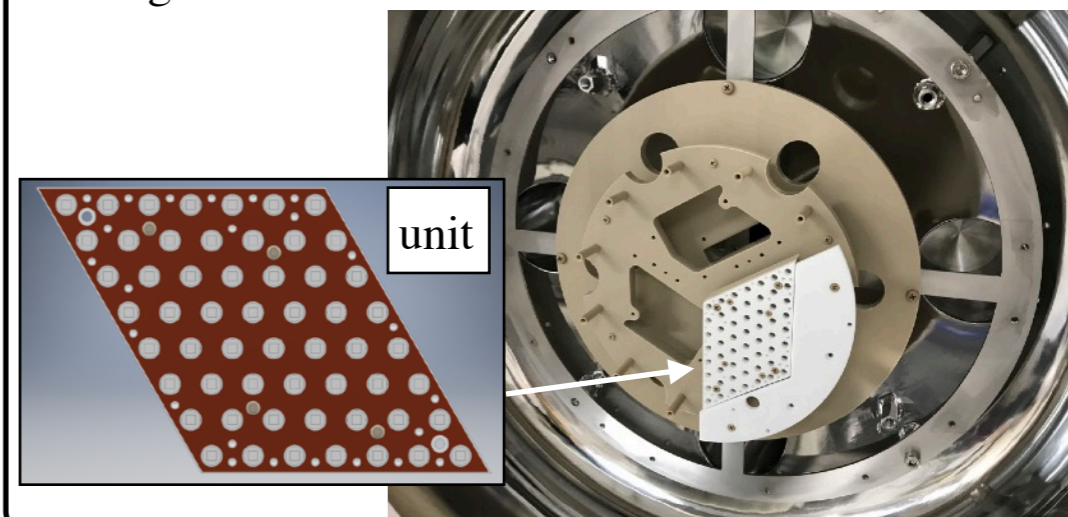
## - Field Shaper

- Discharge resistant : embedded electrode, insulator
- increase scintillation light yield due to PTFE reflection



## - ELCC (readout structure of ionization signal)

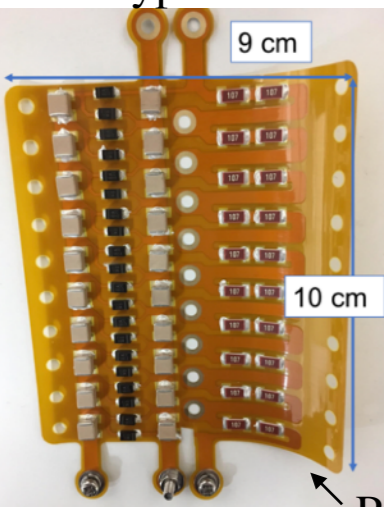
- Prefabricated style → easily to extend
- Number of channels : ~1000 ch
- Design is almost fixed



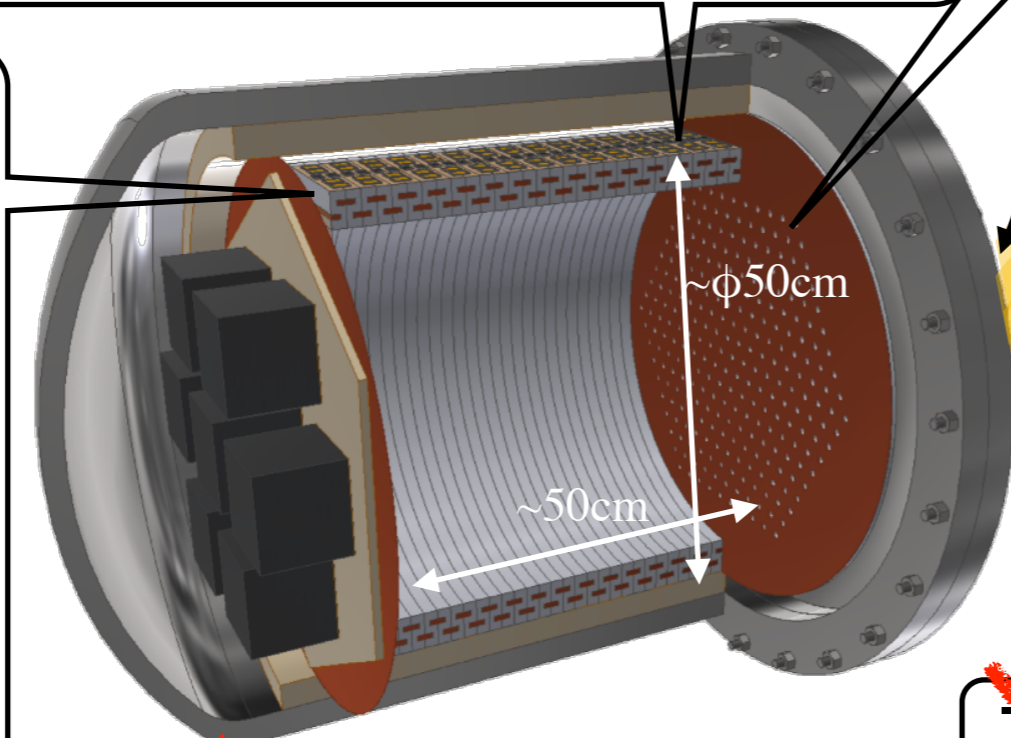
## - Cockcroft-walton

- Generate ~65kV inside the vessel
- Low outgas (Polyimide)

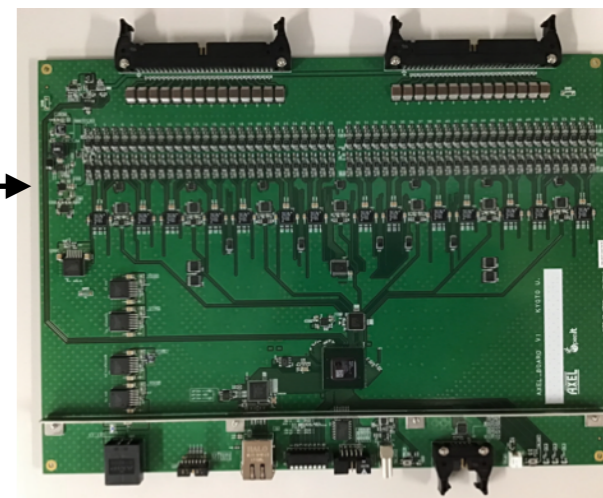
Prototype



Polyimide FPC



Feedthrough



## - FPC

- Mainly inside the chamber

## - Readout electronics

- Readout waveforms of MPPC : 56 ch/board
- High Voltage supply to MPPCs (in the 0.2mV)
- Two Flash ADCs to achieve wide dynamic range : 1 p.e ~ 10<sup>4</sup>p.e

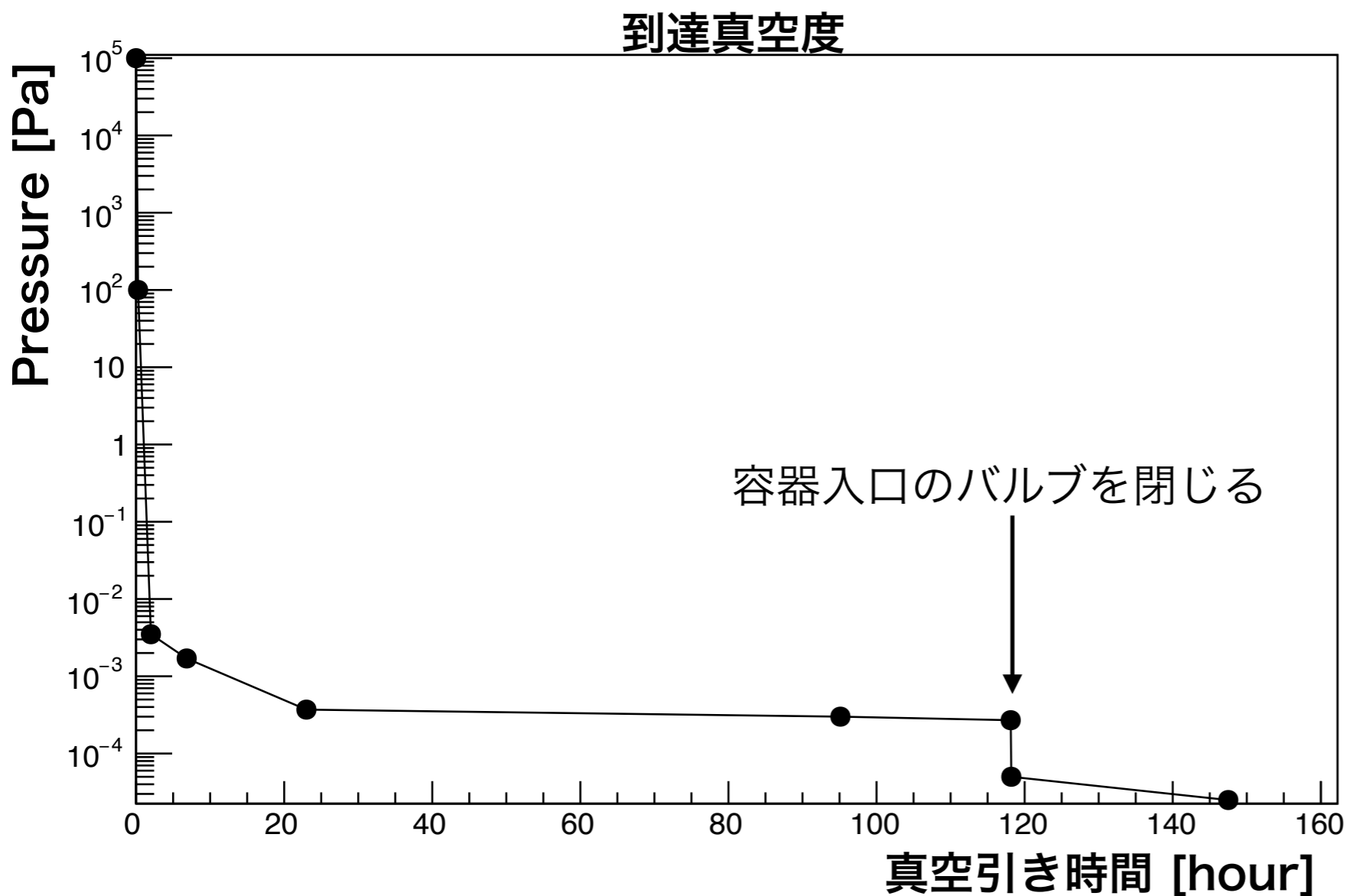
- Gas line

- Calibration of MPPCs

- Analysis code

# 大型試作機(HP180L)/真空引き試験

- 大型試作機の圧力容器の真空引き試験
- 内容物は、チェンバー内壁に巻きつけられた放電防止用のHPDE筒のみ
- JIS25A配管→NW50配管ラインにて真空引き
- 120時間で $2.7 \times 10^{-4}$  Paを達成 (真空ポンプ付近)



CARTEN社製 HFC25A-PC2FSM

1. AXEL実験

2. 小型AXEL試作機について

3. 大型AXEL試作機について

4. 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

小型試作機では、13mmピッチ、 $\phi 7\text{mm}$ のELCCによる性能評価を進めていたが、  
良い結果は得られなかった

- シミュレーションにより、事象場所依存性が問題となっていることが判明

シミュレーションを元に、最適なELCCのピッチおよび穴径を決定

- 10mmピッチ、 $\phi 5.5\text{mm}$

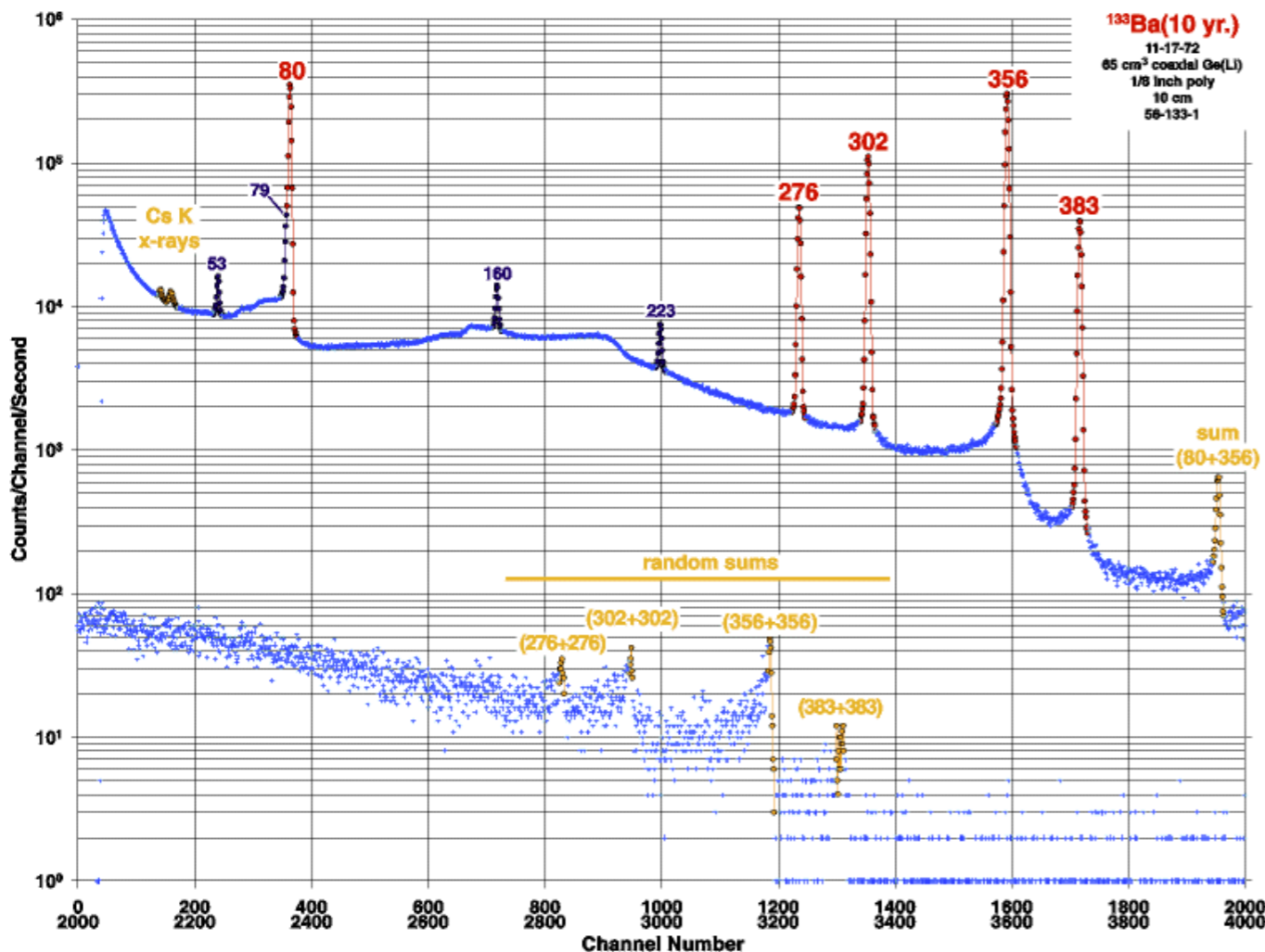
大型試作機(HP180L)の最初期フェーズとしてチャンネル数168の試作機を製作中

- 各項目ほとんど準備OK
- 真空引き試験も行い、 $2.7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ を達成

Back up

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

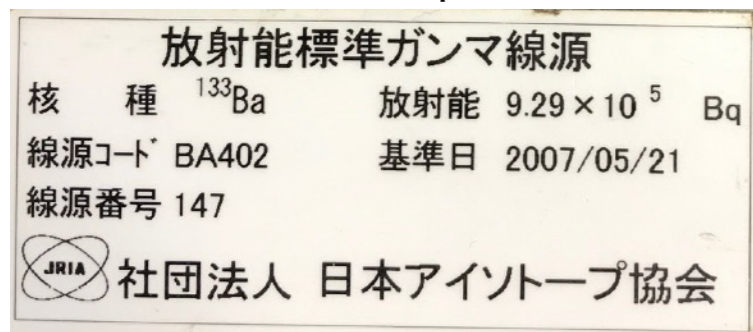


<http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ba133.shtml> より

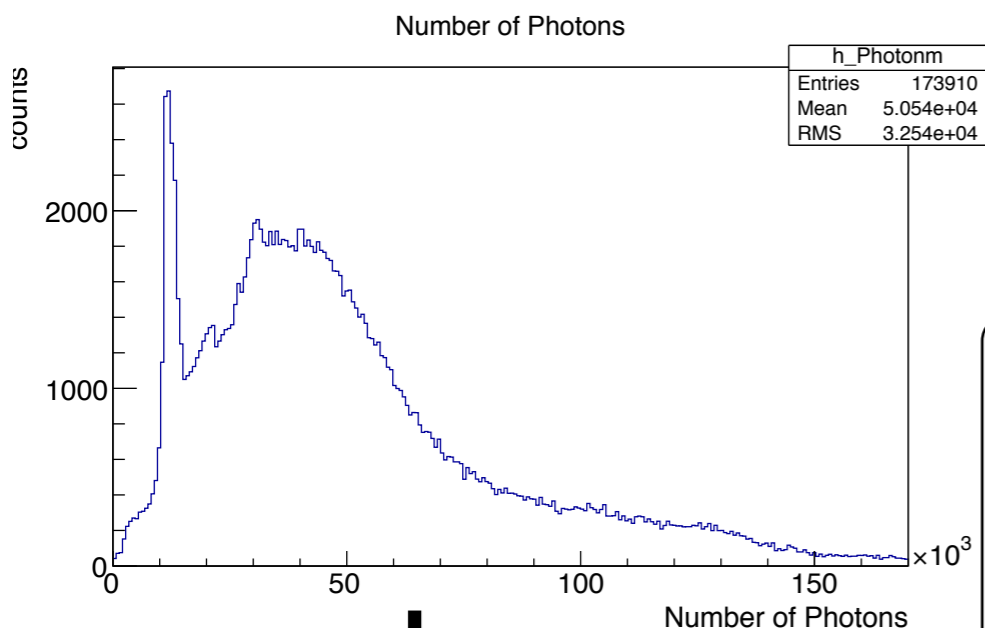
Gamma ray		X ray	
Energy (keV)	Intensity (%)	Energy (keV)	Intensity (%)
53.161	2.199	3.795	0.24
79.621	2.62	4.142	0.11
80.997	34.06	4.272	0.66
160.613	0.645	4.286	6
223.398	0.45	4.62	3.8
276.398	7.164	4.649	0.56
302.853	18.33	4.717	0.93
356.017	62.05	4.781	0.048
383.851	8.94	4.934	1.19
		5.281	0.54
		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

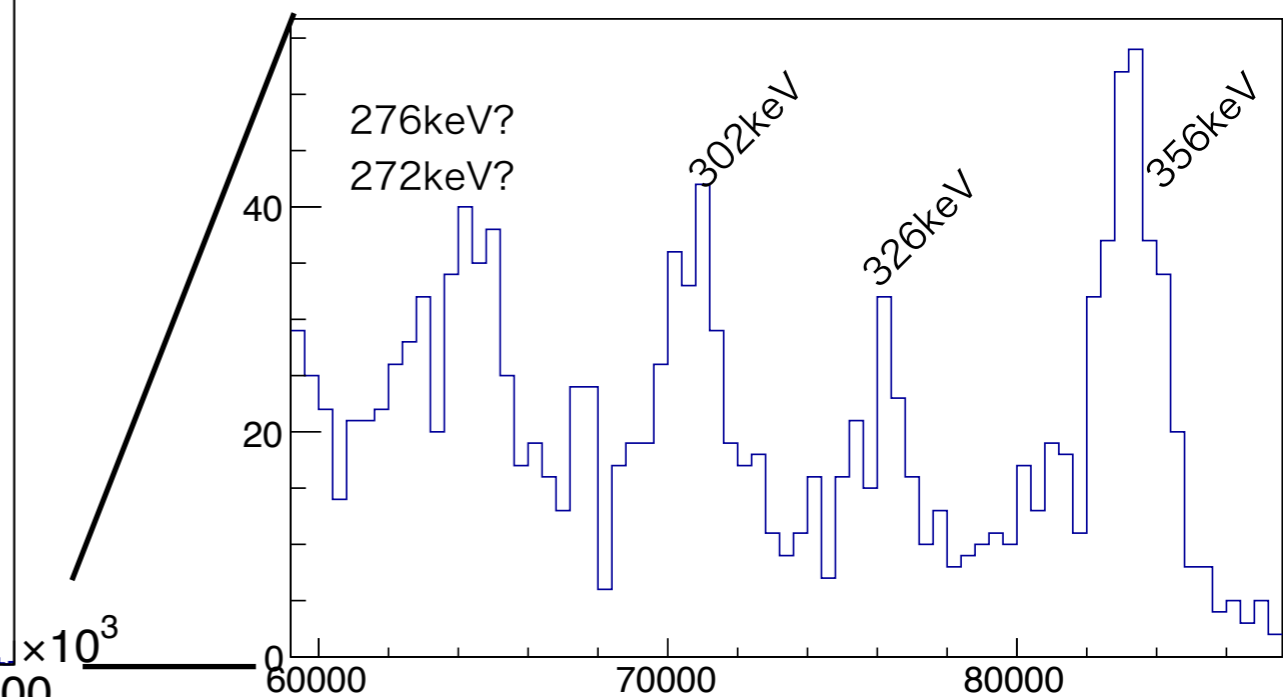
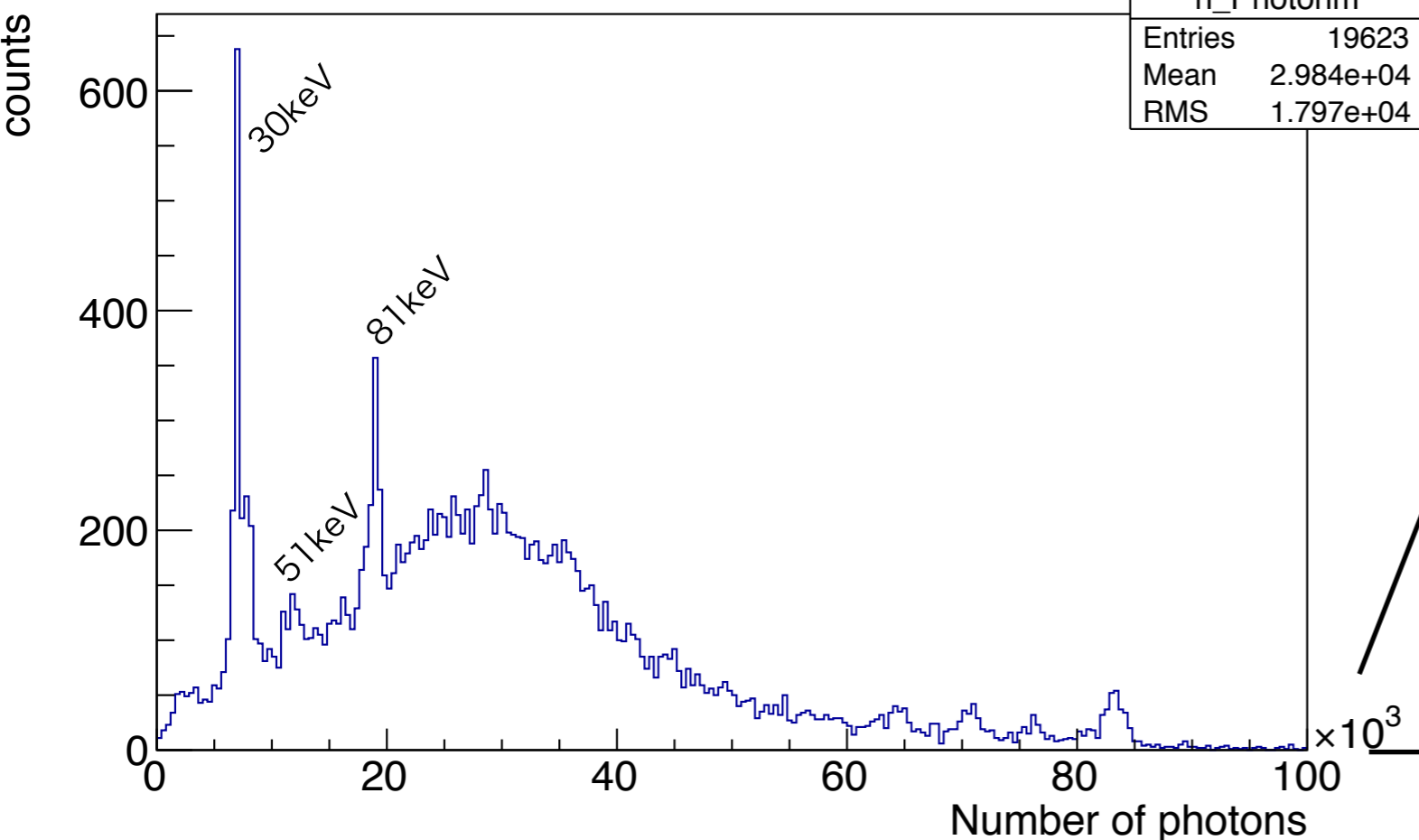
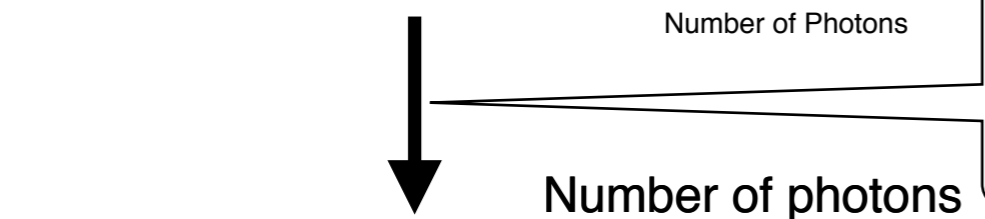
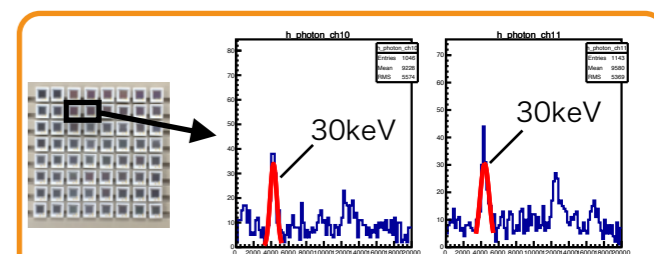
→ 現在は約500kBqくらいのハズ(半減期~10年)



ガス : Xe 8 bar  
ドリフト電場 : 83 V/cm/bar  
EL電場 : 2.375 kV/cm/bar  
source :  $^{133}\text{Ba}$



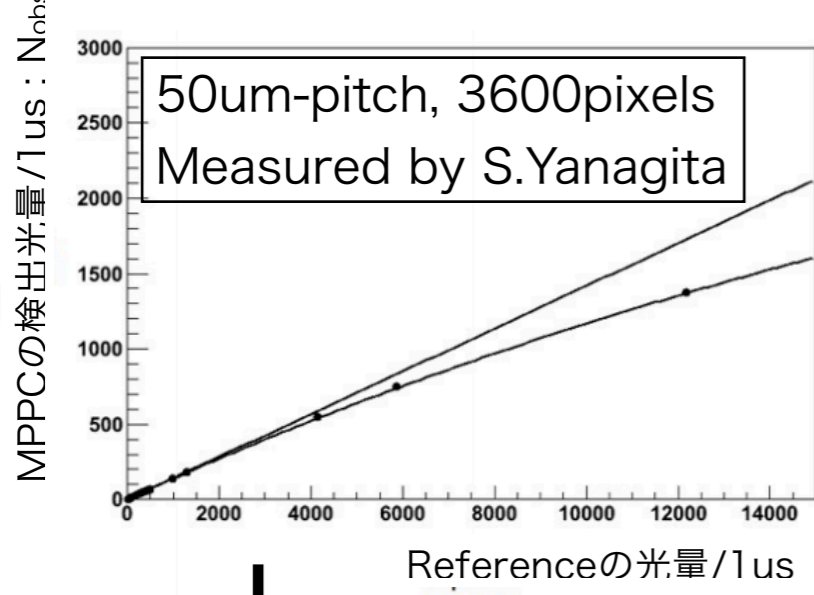
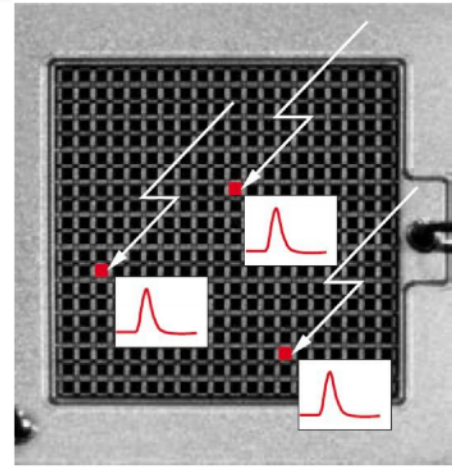
- Fiducial cut
- Saturated event  $\rightarrow$  cut
- Cell gain calibration
- MPPC saturation correction
- etc.....



次ページで詳細

# MPPC saturation correction

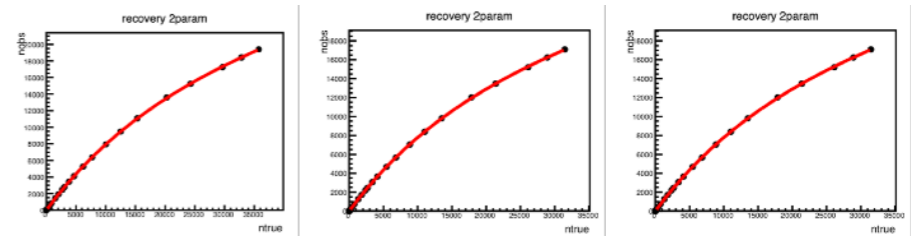
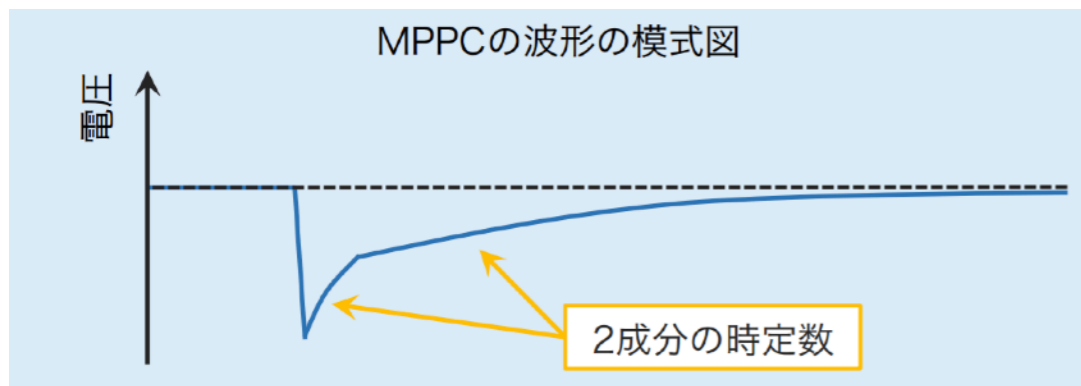
- 入射光子数がMPPCの総ピクセル数に近づくと、信号は飽和する
- 飽和曲線はMPPCのピクセルの回復時間によって決まっている



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

kは単位ピクセル、単位時間あたりの光量  
 $\tau$ が回復時間

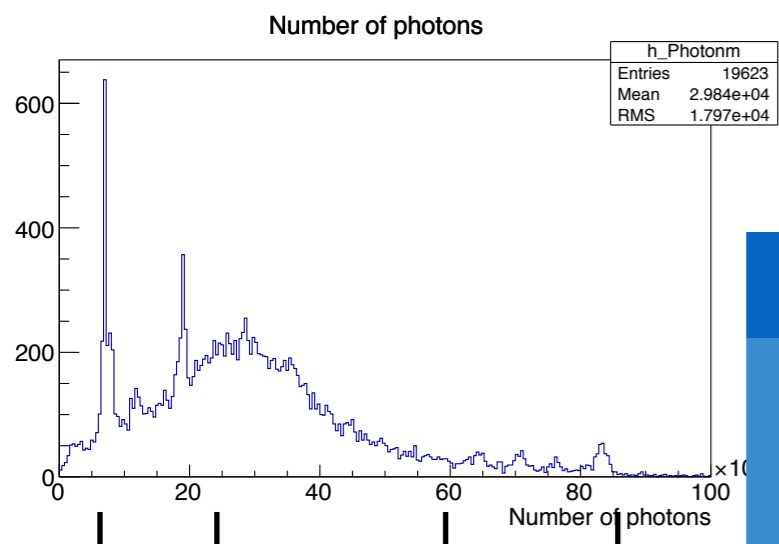
- MPPCに2成分の時定数があることを仮定し、以下の修正したモデルを用いて補正



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

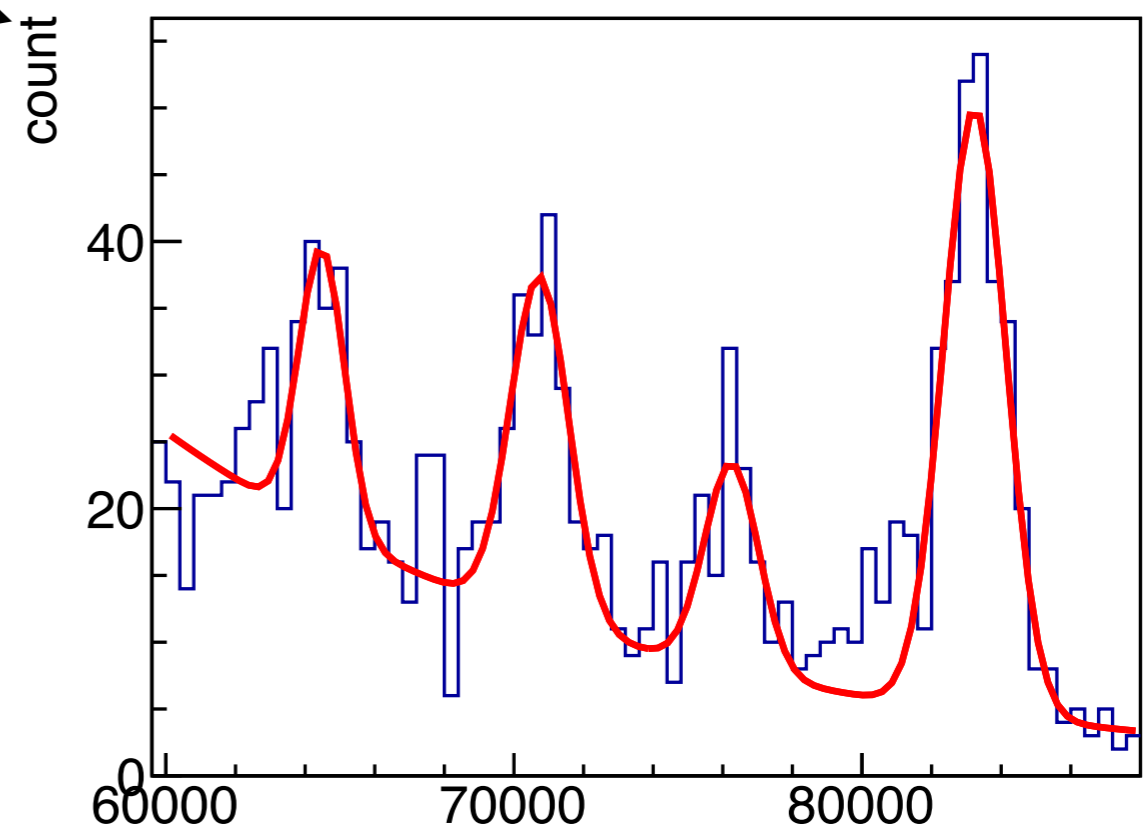
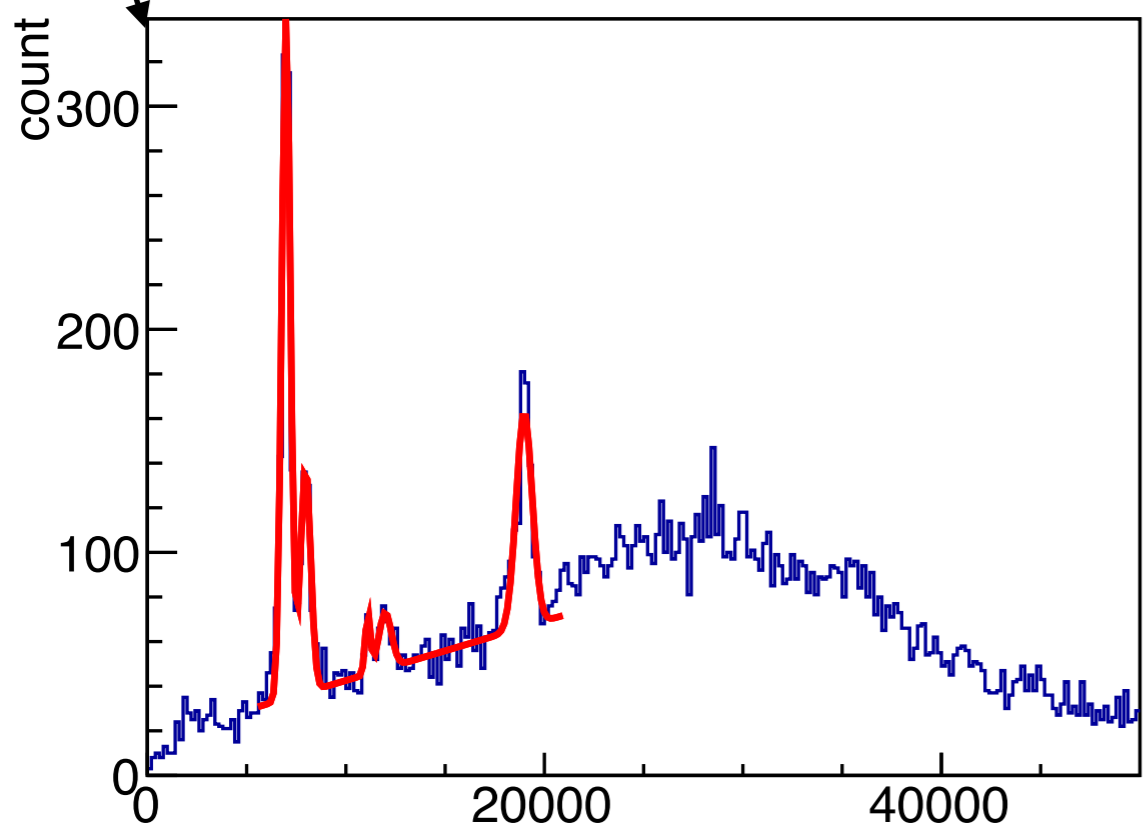
中村和広が64ch分の回復時間を測定、その結果を補正に反映：25aL401  
 ただし、測定条件と試作機の条件の違いから系統誤差を含む可能性がある：要確認

それぞれのピークからエネルギー分解能を評価

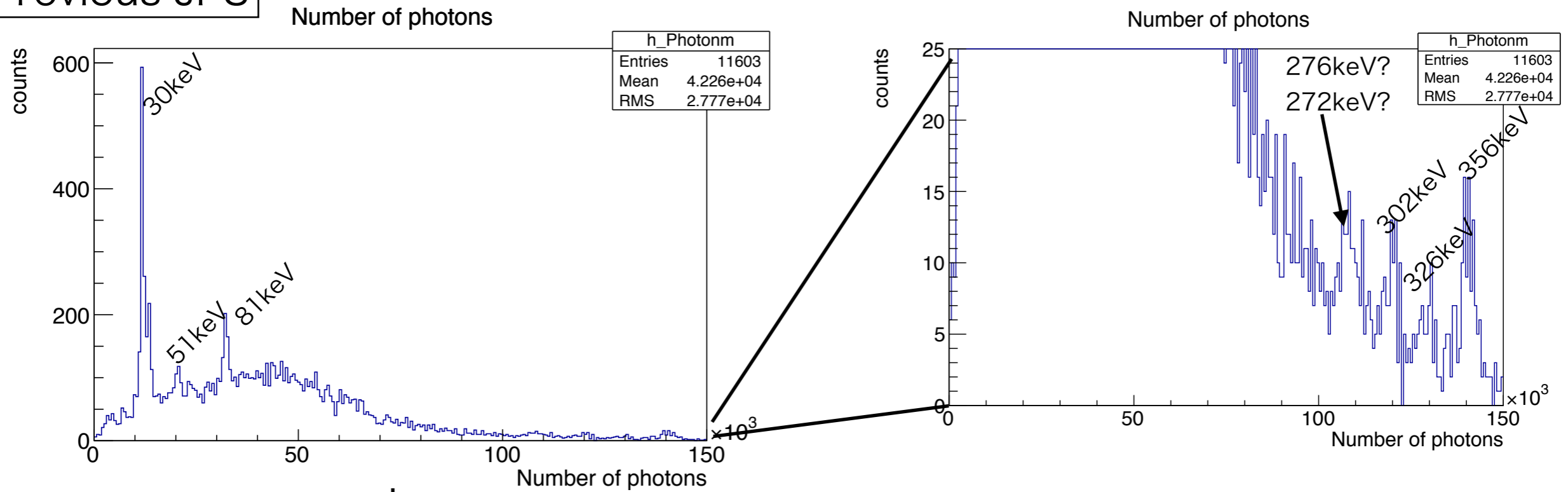


低エネルギー側は “ $\sum \text{Gaussian} + ax + b$ ” でフィット  
 高エネルギー側は “ $\sum \text{Gaussian} + \text{exp}$ ” でフィット

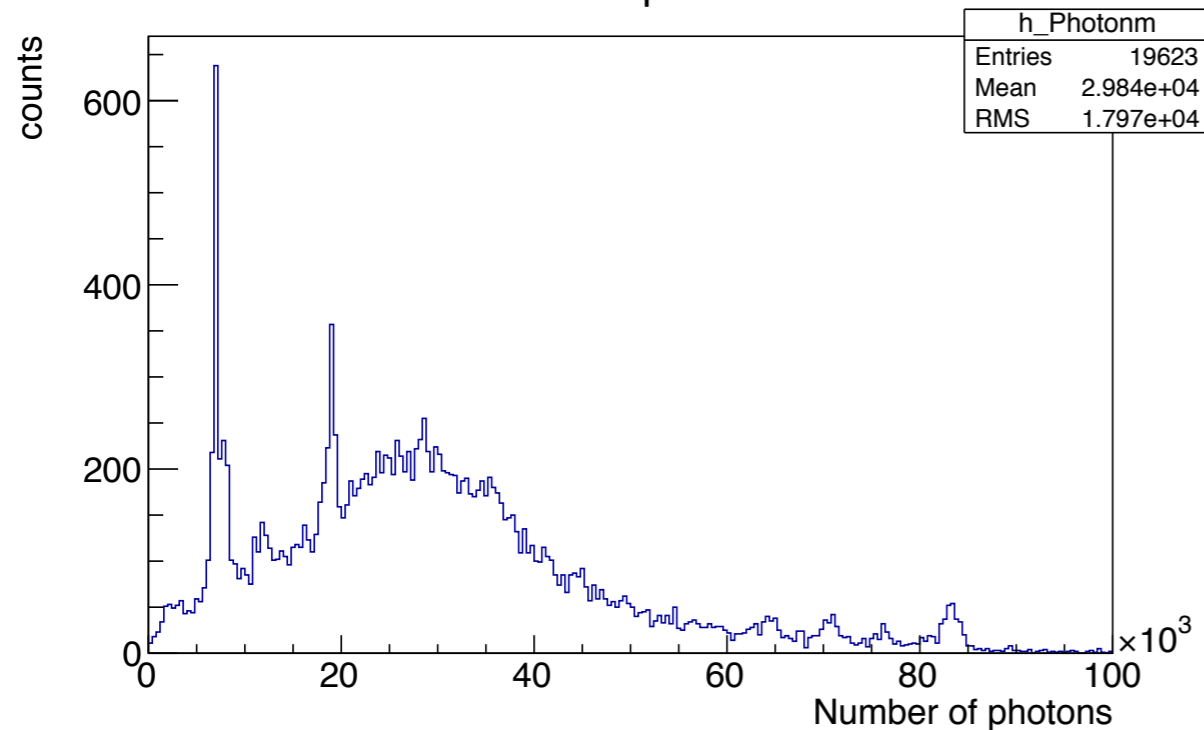
Energy [keV]	29.78	33.02	81	302	326	356
# of photons	6986.6	7967.8	18979.7	70740.2	76256.9	83241.9
FWHM [%]	$7.25 \pm 0.35$	$7.57 \pm 0.77$	$4.98 \pm 0.59$	$2.78 \pm 0.36$	$2.40 \pm 0.55$	$2.54 \pm 0.20$

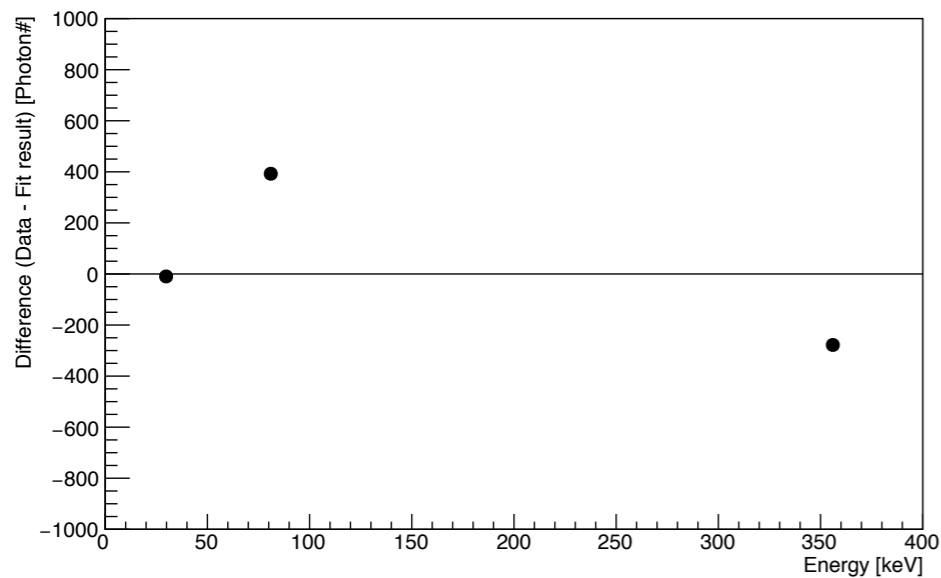
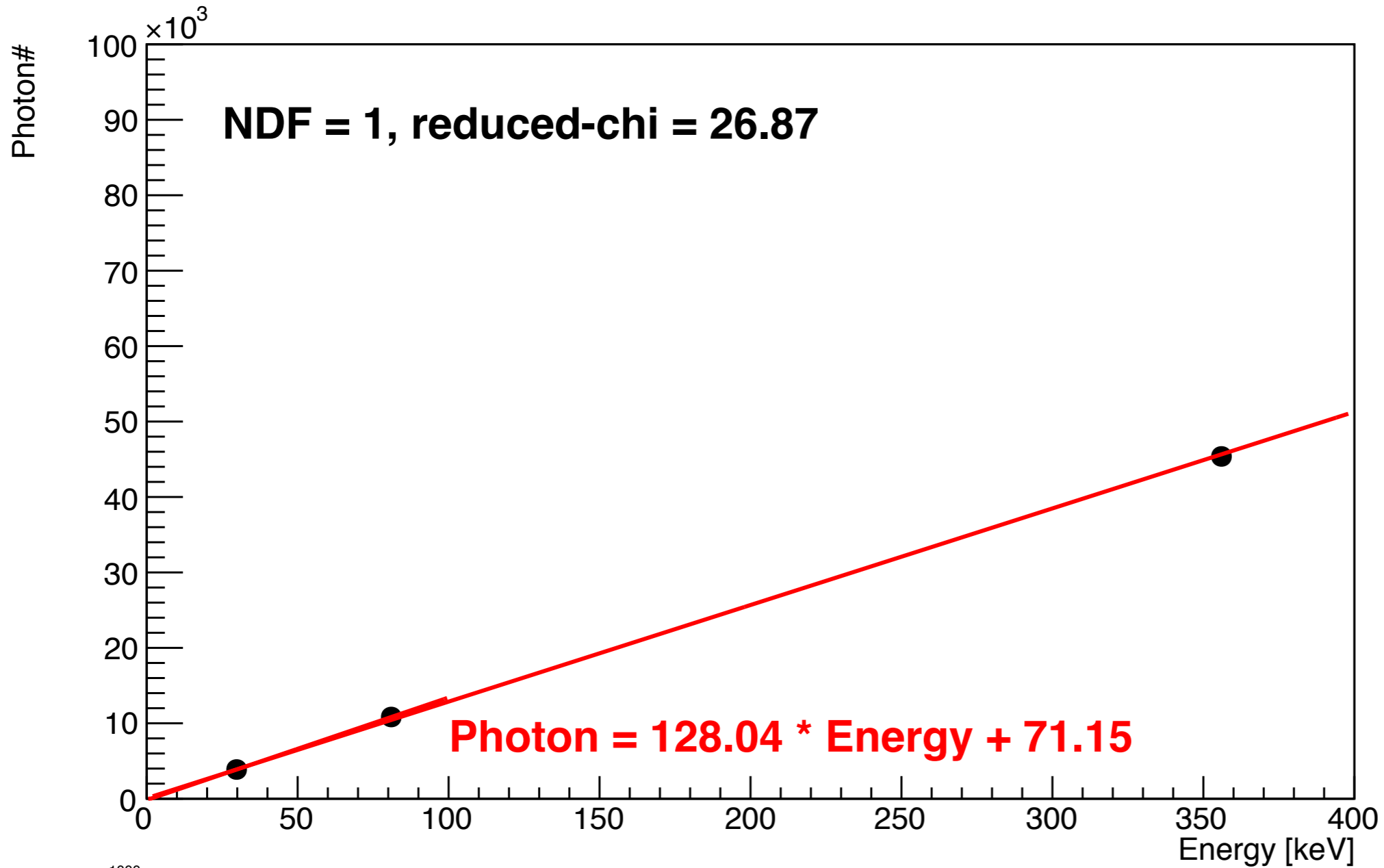


Previous JPS

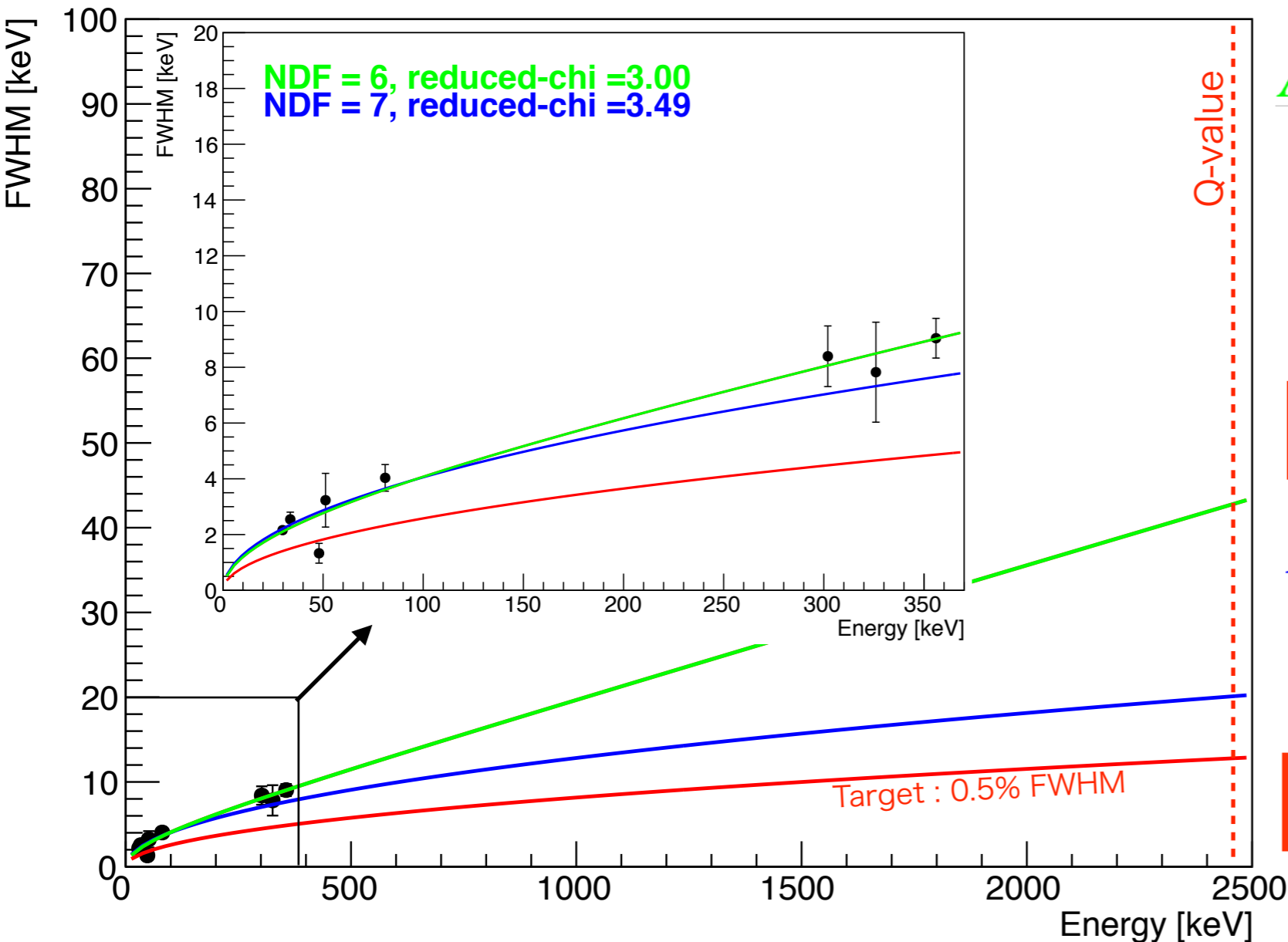


Number of photons









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

$$A = 0.376 \pm 0.0186$$

$$B = 0.002 \pm 0.0008$$

-> Extrapolate to Q-value

**FWHM 1.74% (@2458keV)**

$$A\sqrt{E}$$

$$A = 0.406 \pm 0.0140$$

-> Extrapolate to Q-value

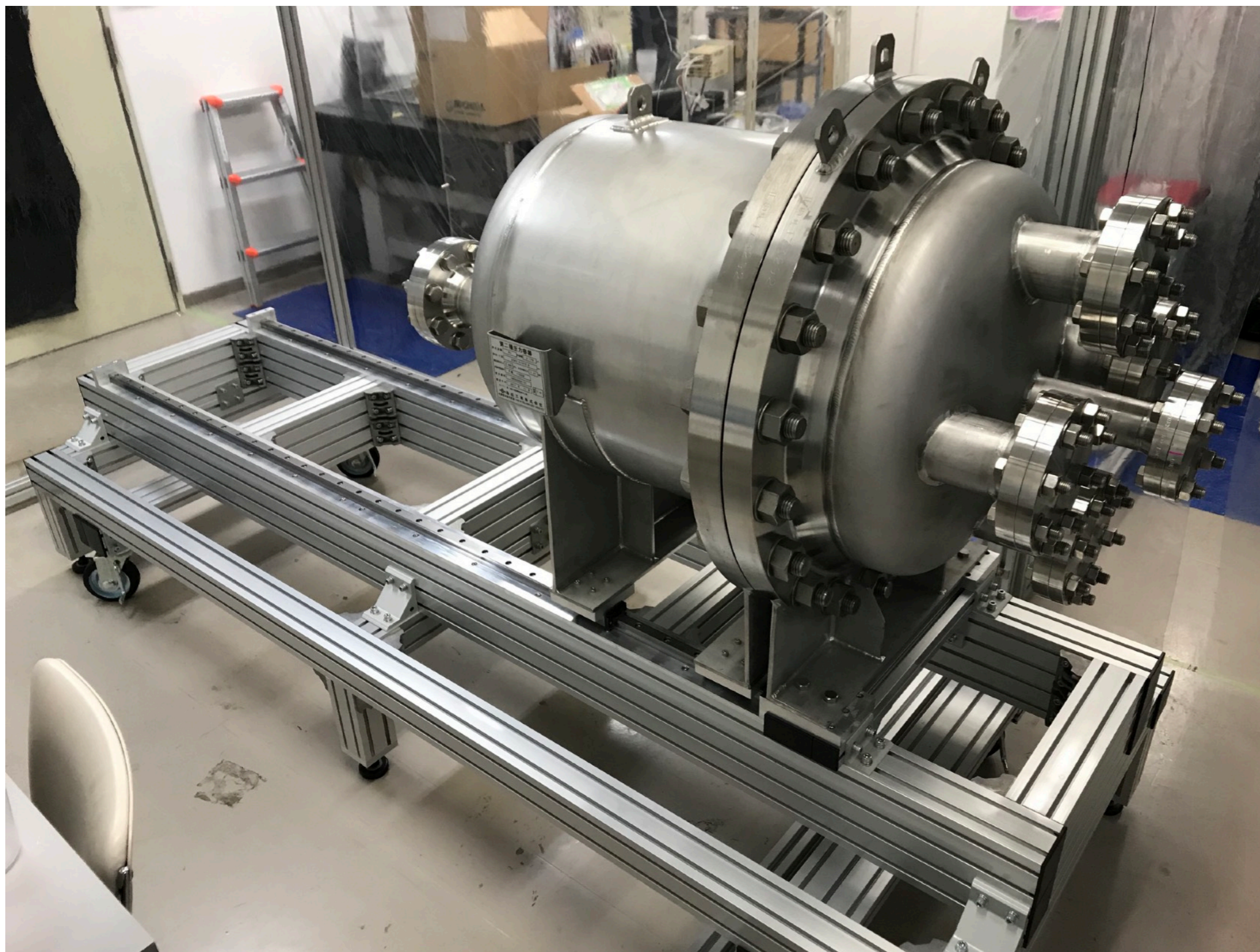
**FWHM 0.82% (@2458keV)**

$^{136}\text{Xe}$ 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)

# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある



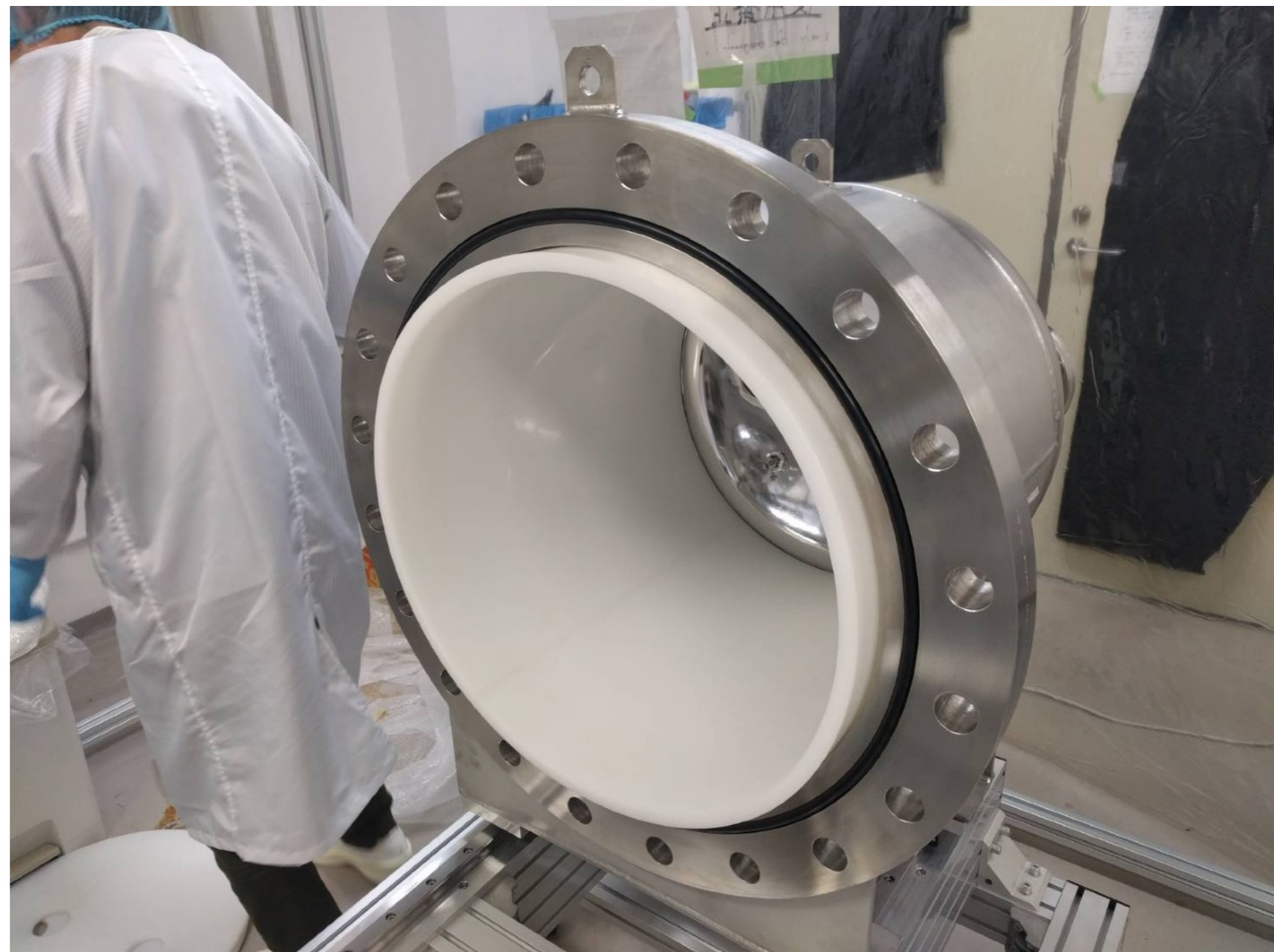
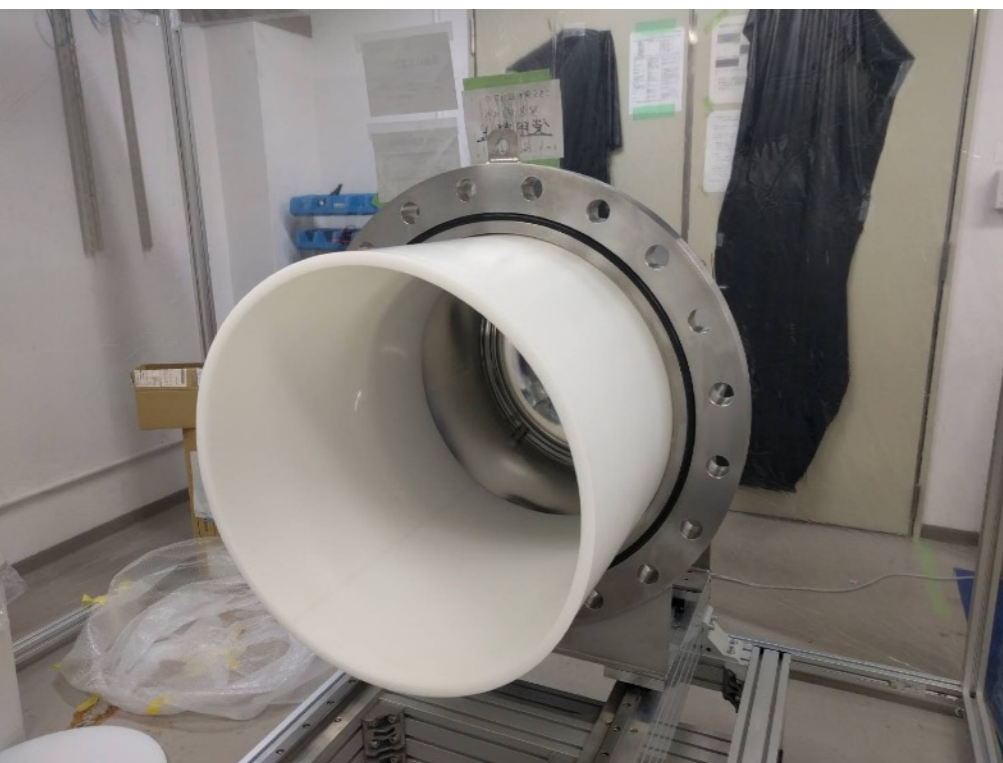
# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある



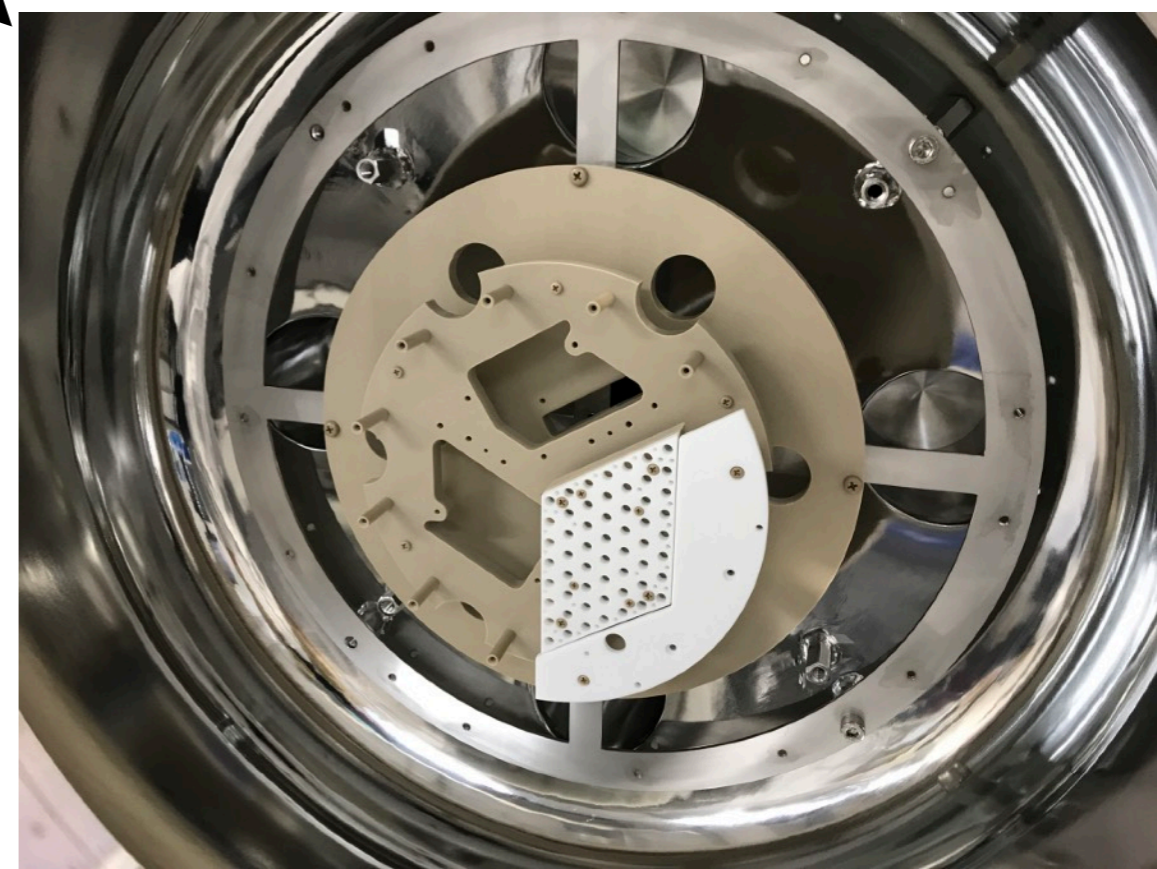
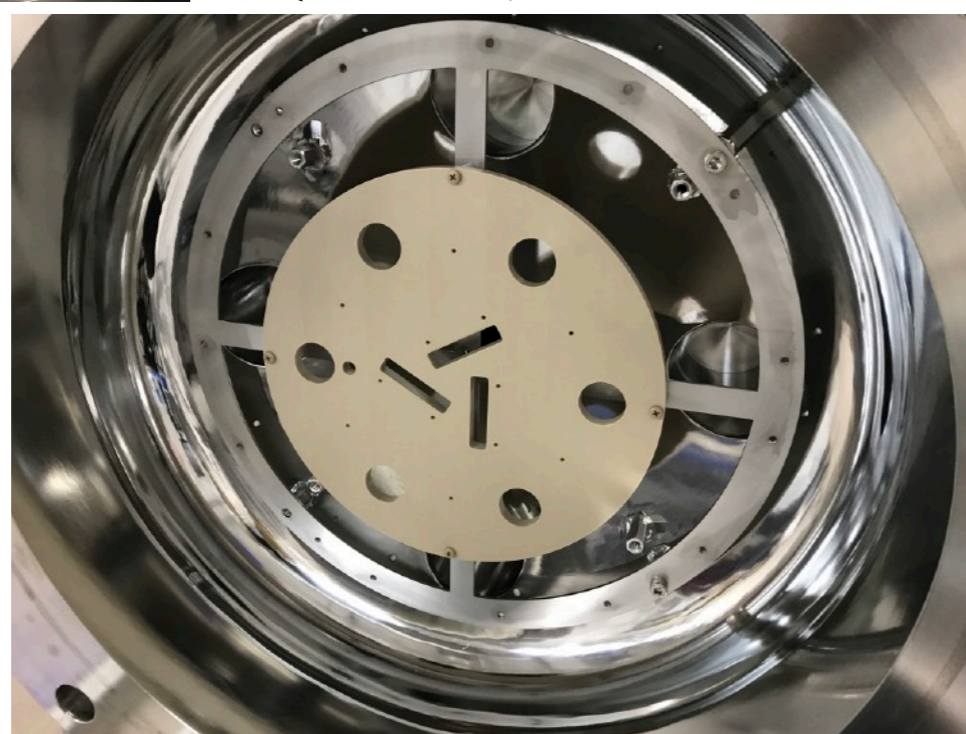
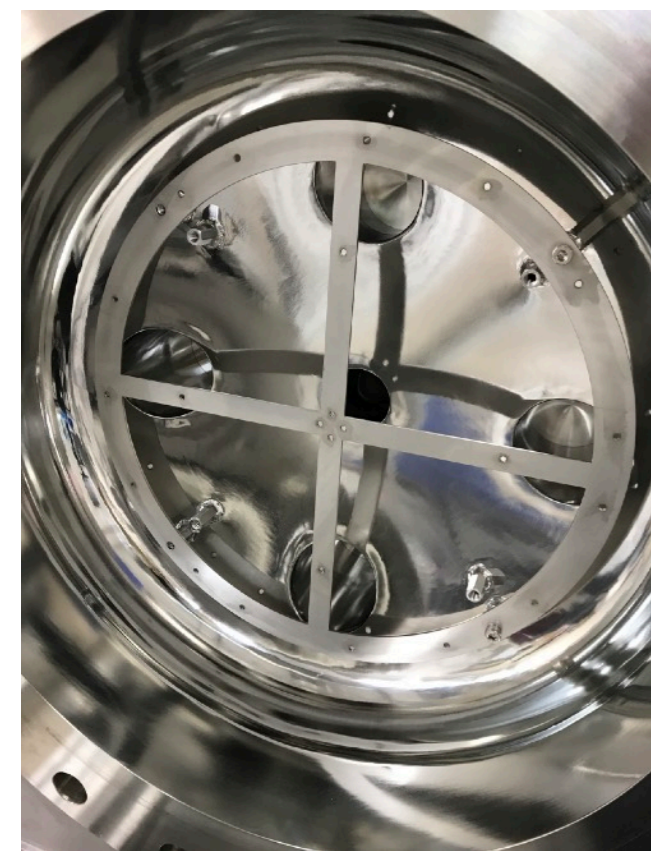
# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある



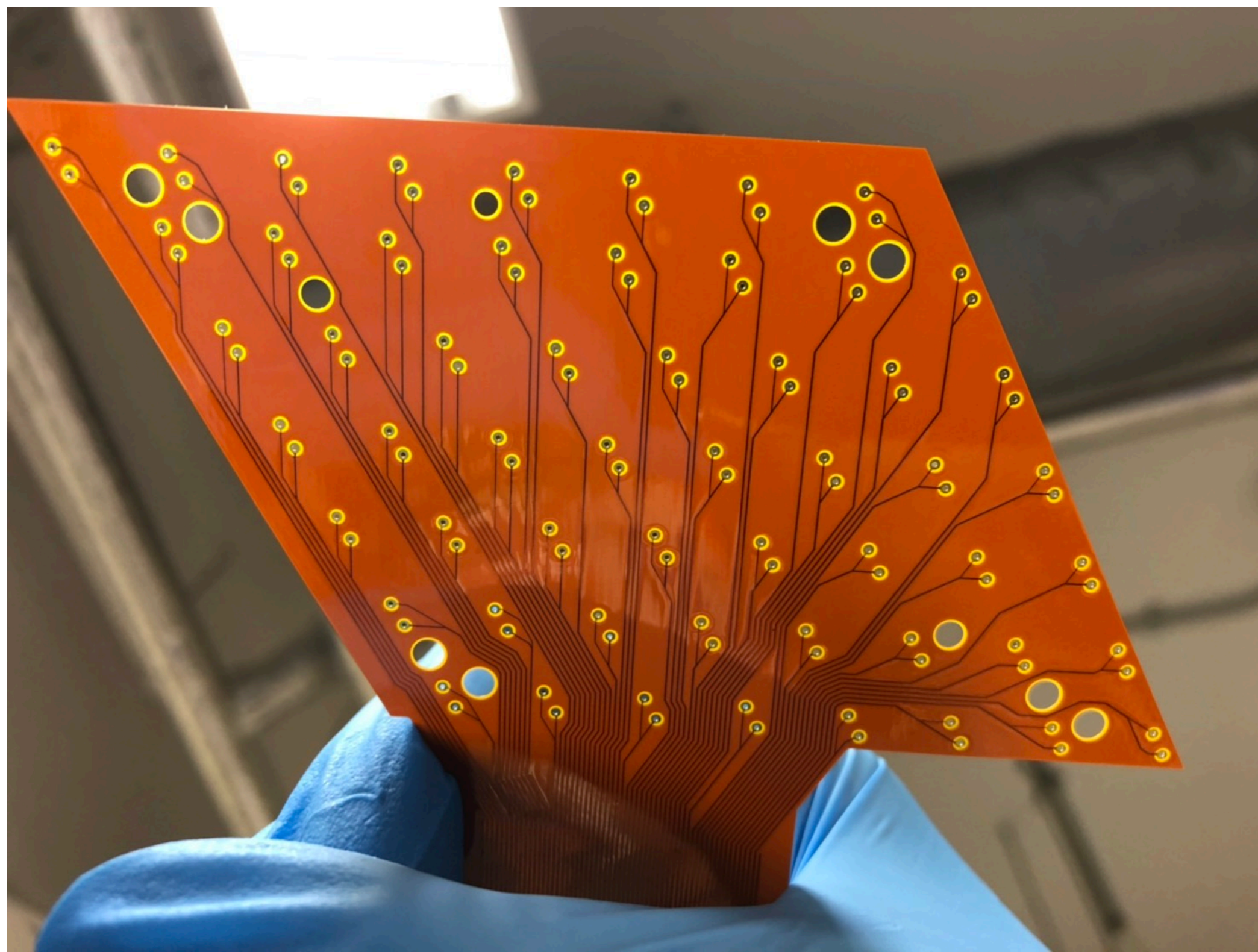
# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある



# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある



# 大型試作機(HP180L)

初期フェーズ (168ch)稼働に向けて準備中  
ほとんどの準備は整いつつある

