

高圧キセノンガス中での 紫外光に感度をもつMPPPCの PDE測定

京大理 東大宇宙線研^A 東北大ニュートリノセンター^B 神戸大理^C

潘 晟

市川 温子, 中家 剛, 南野 彰宏, 中村 輝石, 石山 優貴, 田中 駿祐
柳田 沙緒里, 羽田 顕人, 廣瀬 昌憲, 関谷 洋之^A, 上島考太^B, 身内賢太郎^C

27 Sep 2015

日本物理学会 2015年秋季大会 @大阪市立大学

Contents

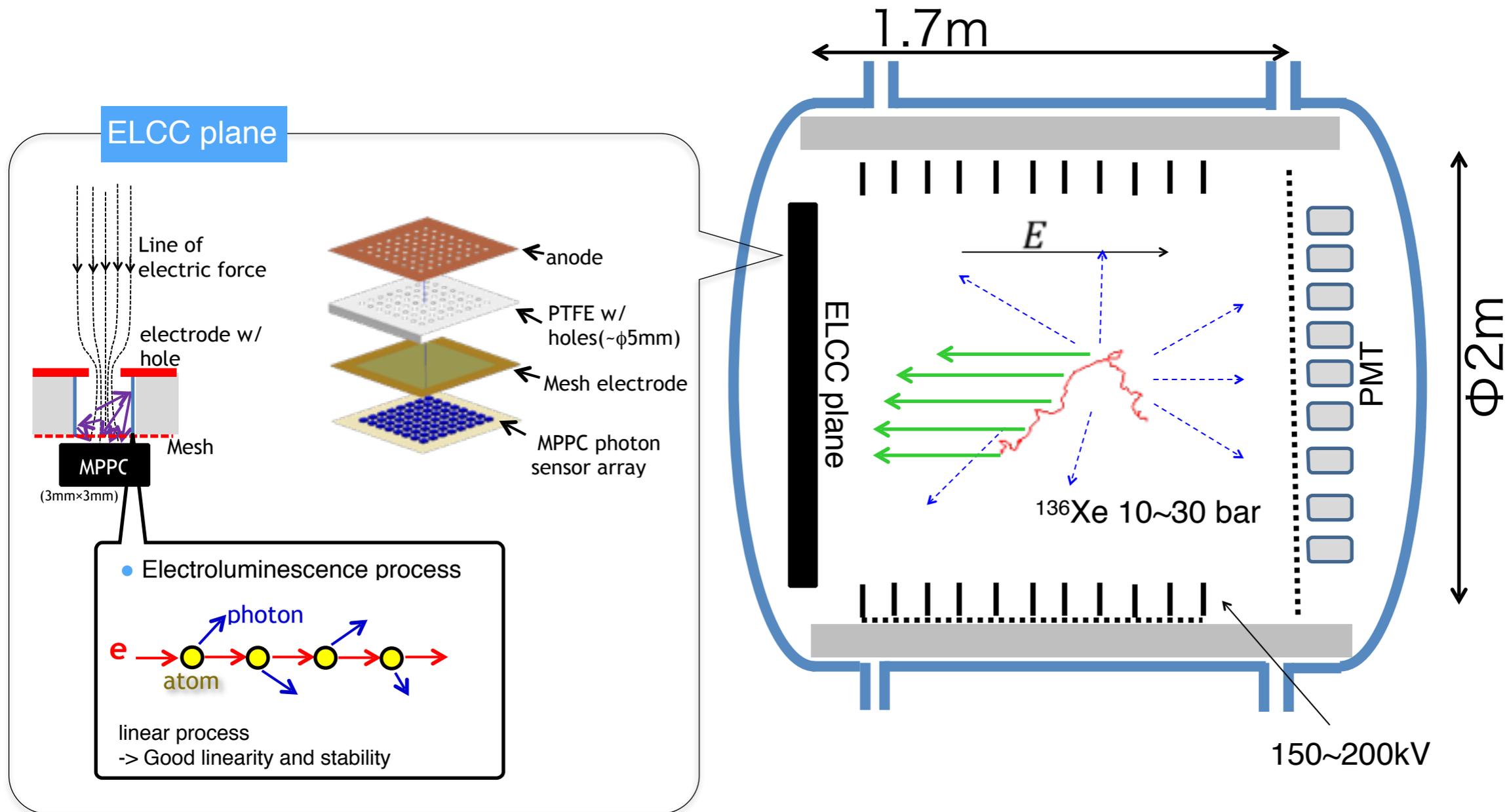
- What's AXEL ?
- 真空紫外光に感度を持つMPPPCの評価
- Prototype Chamberの評価
- Summary

Contents

- What's AXEL ?
- 真空紫外光に感度を持つMPPPCの評価
- Prototype Chamberの評価
- Summary

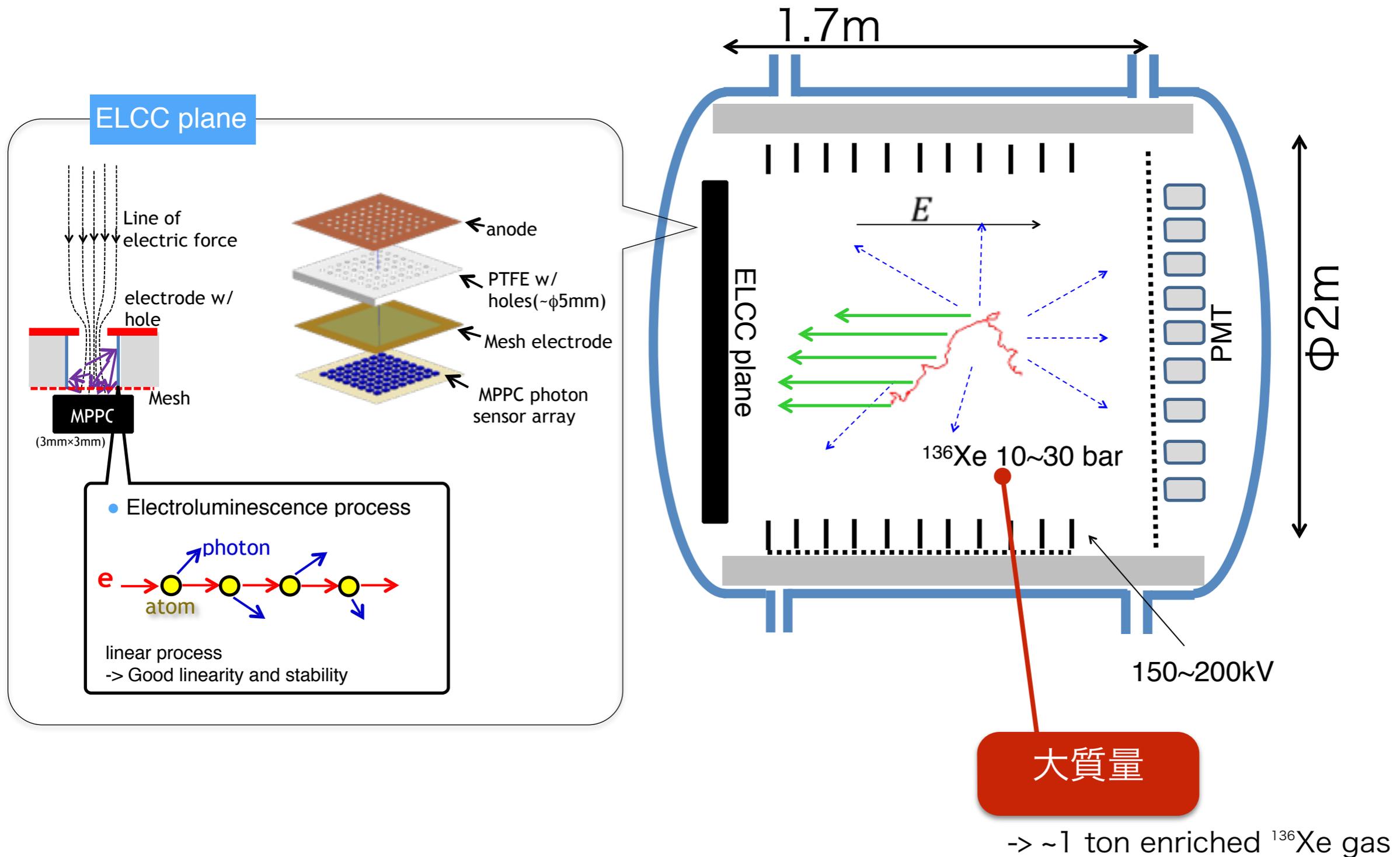
What's AXEL ?

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



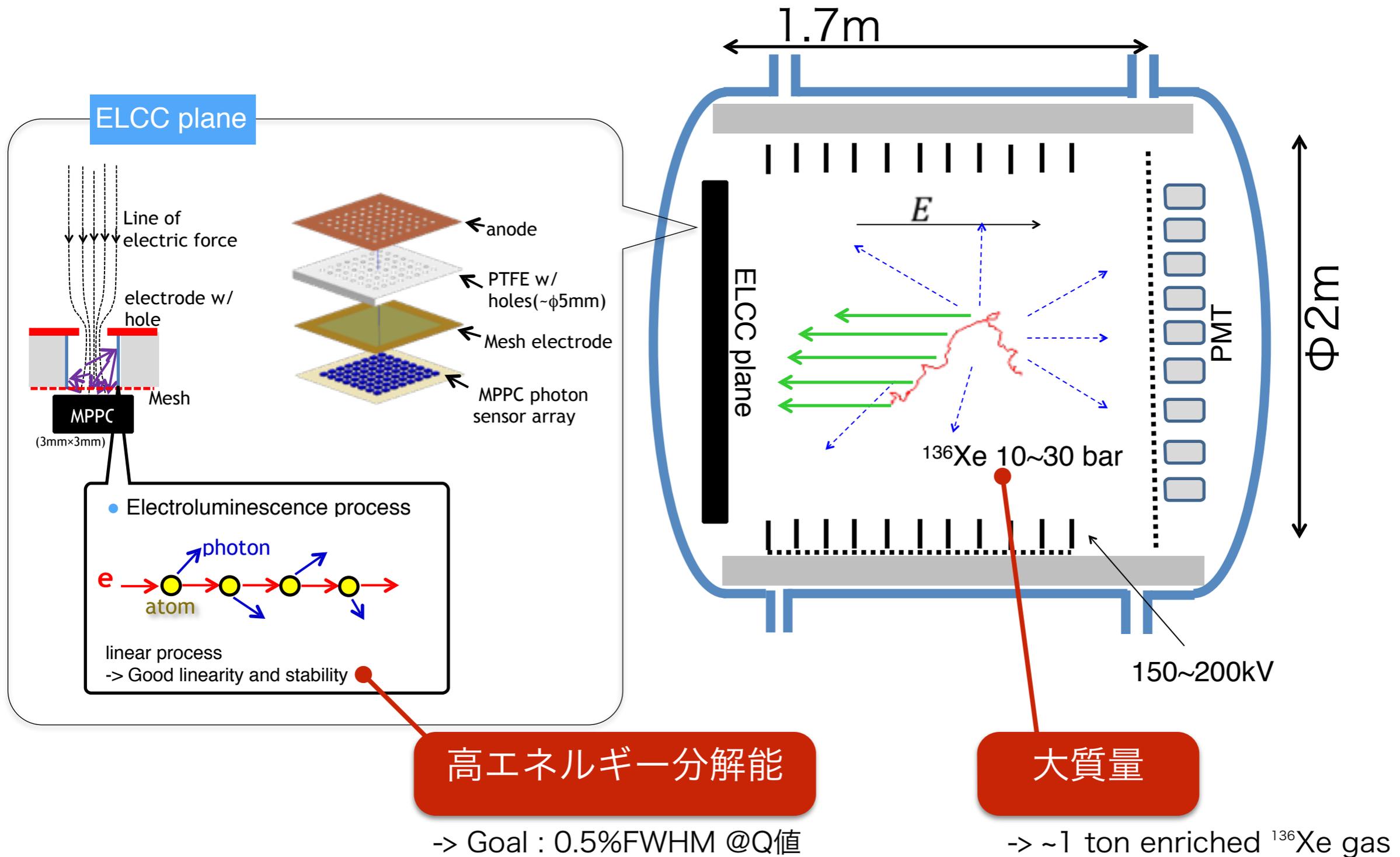
What's AXEL ?

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



What's AXEL ?

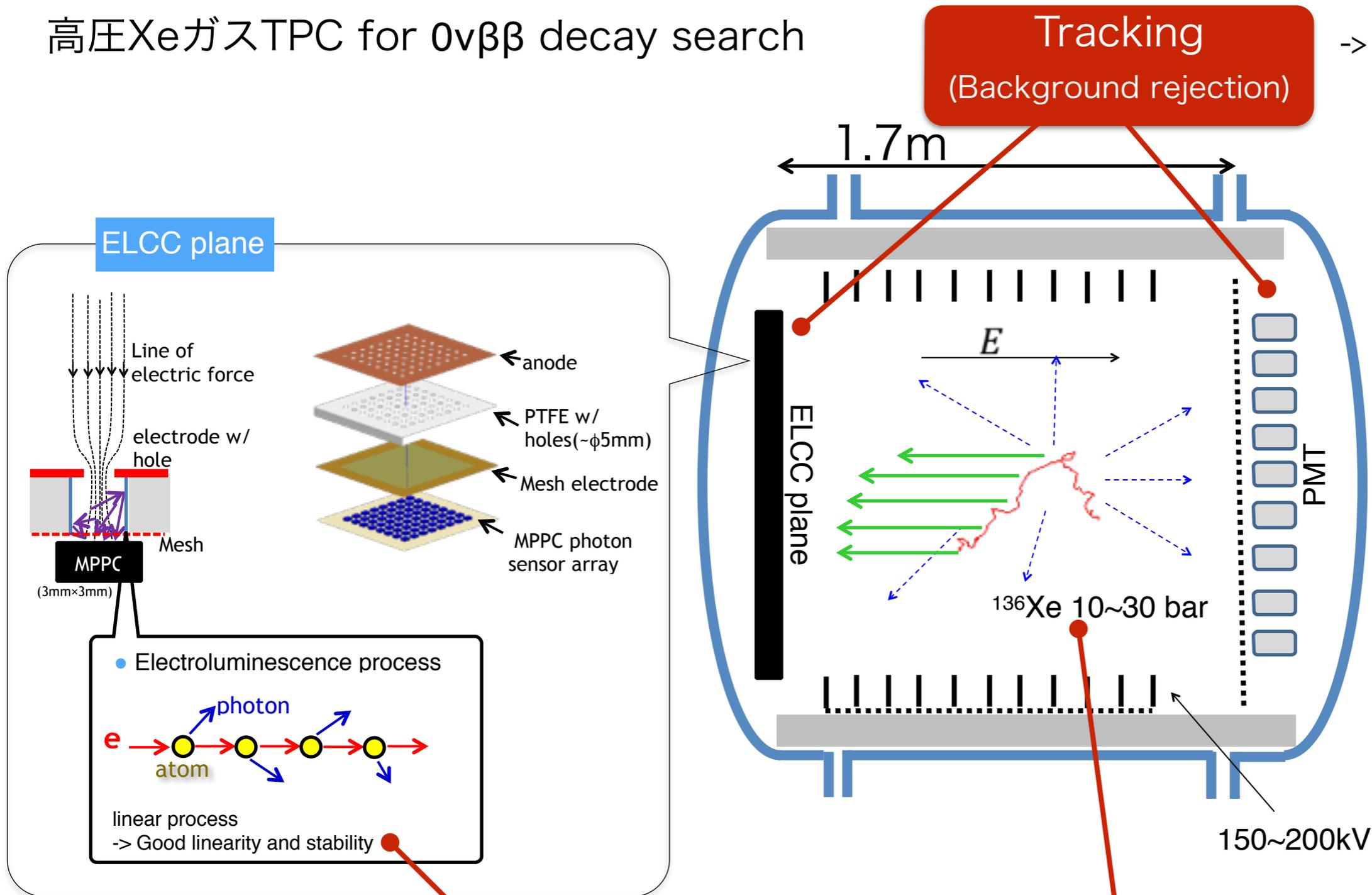
高压XeガスTPC for $0\nu\beta\beta$ decay search



What's AXEL ?

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

-> 次公演で中村が発表
(27pSF-12)



高エネルギー分解能

-> Goal : 0.5%FWHM @Q値

大質量

-> ~1 ton enriched ^{136}Xe gas

Contents

- What's AXEL ?
- 真空紫外光に感度を持つMPPPCの評価
- Prototype Chamberの評価
- Summary

PDE measurement : Motivation

Xeの発光波長 : ~178 nm (真空紫外光 : VUV)

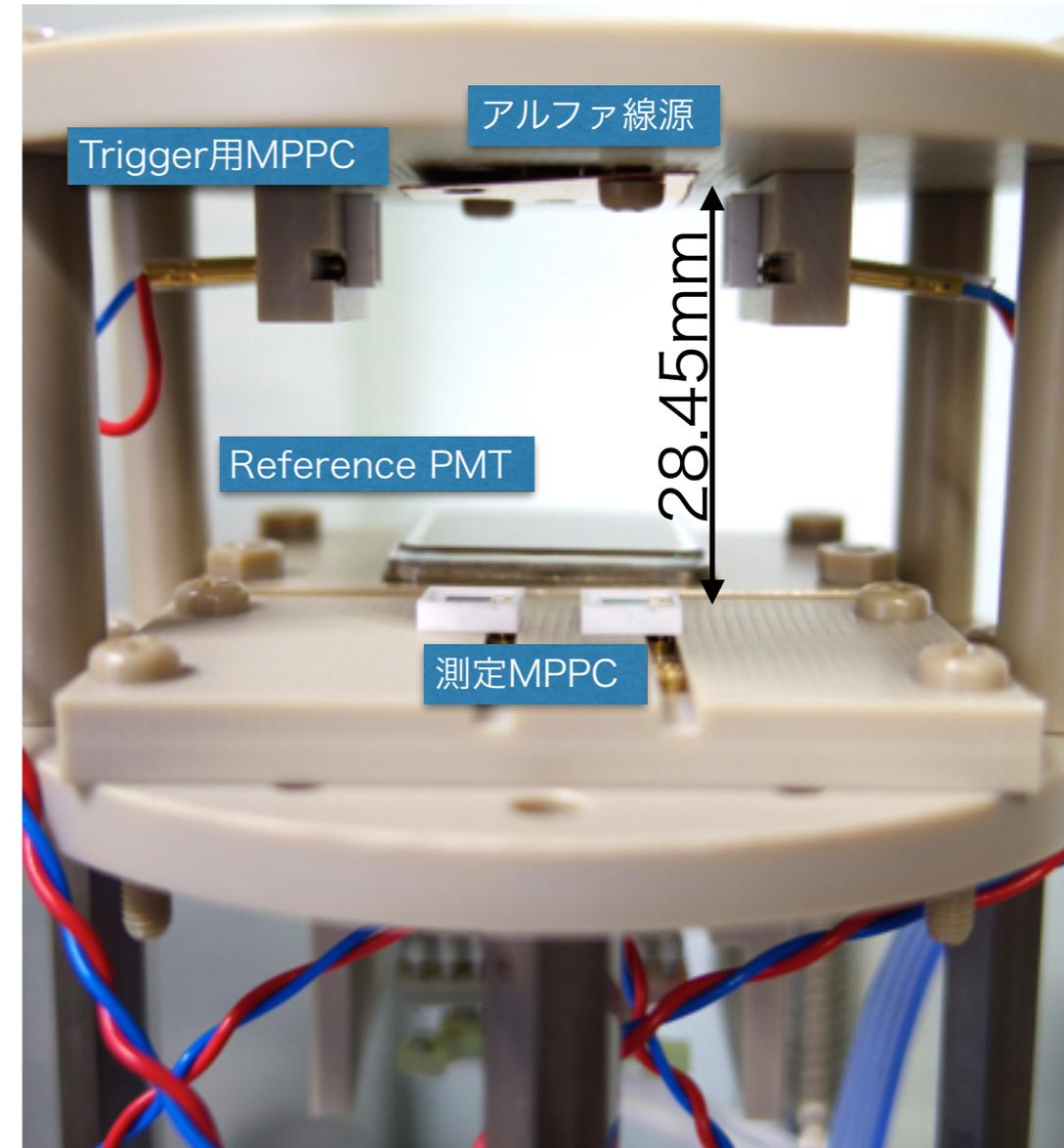
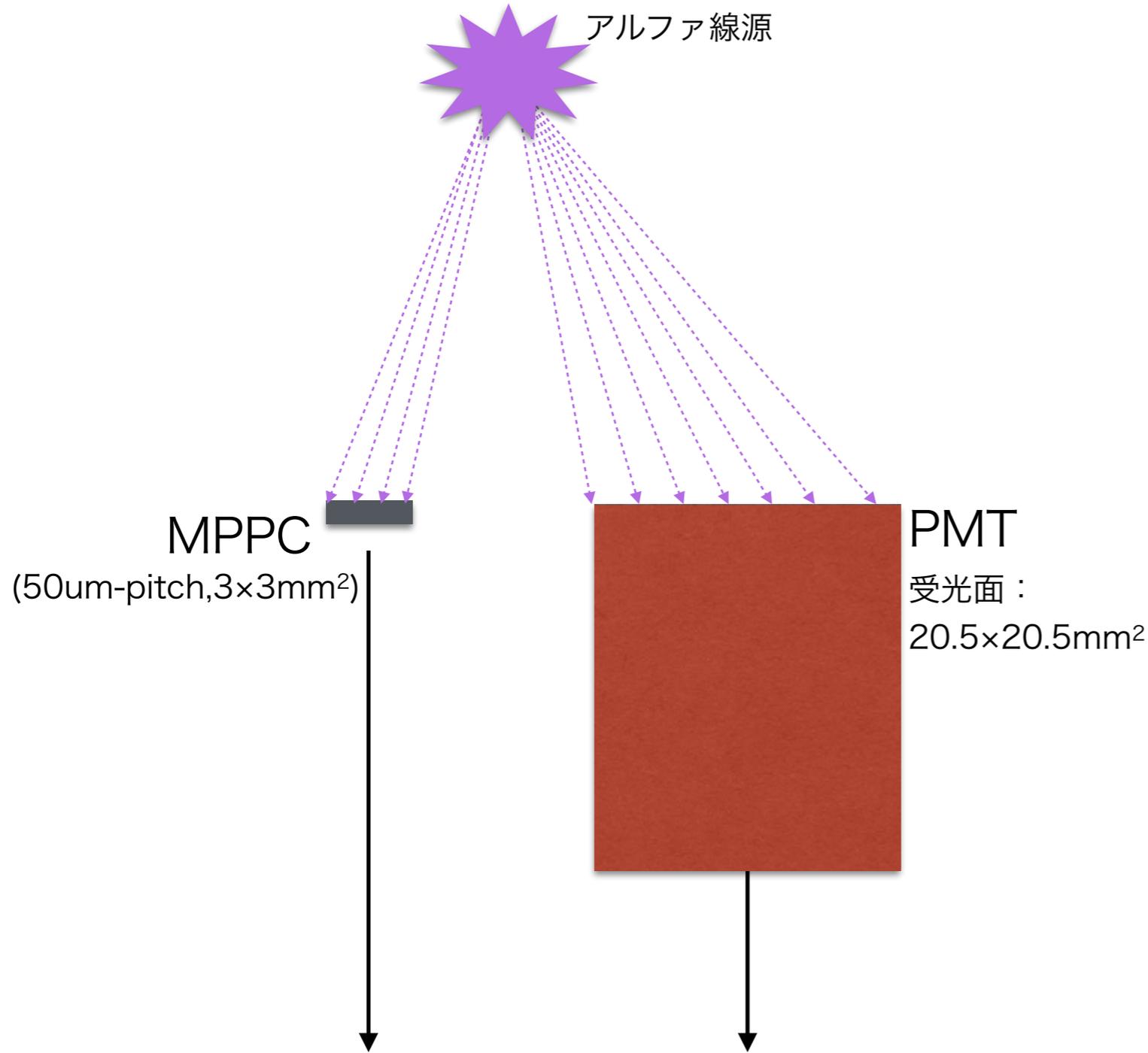
現在、市販されているMPPCは感度を持たない

そこで、浜松ホトニクスがMEG実験(LXe)と共同で開発したVUV-sensitive MPPCを用いるが、ガスXe中でのPhoton Detection Efficiency (PDE)の測定はなされていない

ガス中でのこの素子のPDEを測定することは、検出器をデザインする上で非常に重要である

PDE measurement : Setup

in Xe gas (8.0atm) & keep 25°C



MPPC
Type No : 3x3MM-50UM VUV3
-. ch0 : A0014, V_{op}=55.18 V
-. ch1 : A0015, V_{op}=54.99 V

MPPCの検出光子数 / PMTの検出光子数

→ Acceptance補正を行い、PMTをreference (QE=30%)としたMPPCのPDEを求める

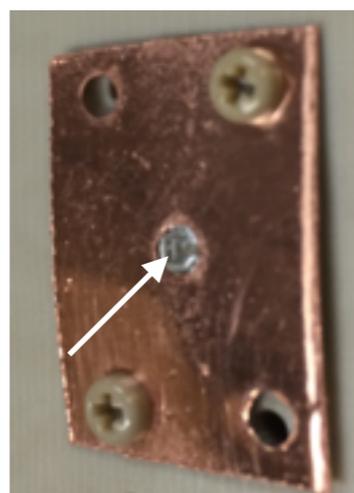
PDE measurement : Update

第70回年次大会 @早稲田 (2015年3月)

- 線源の改良
 - Mono energy
 - 光量増えた

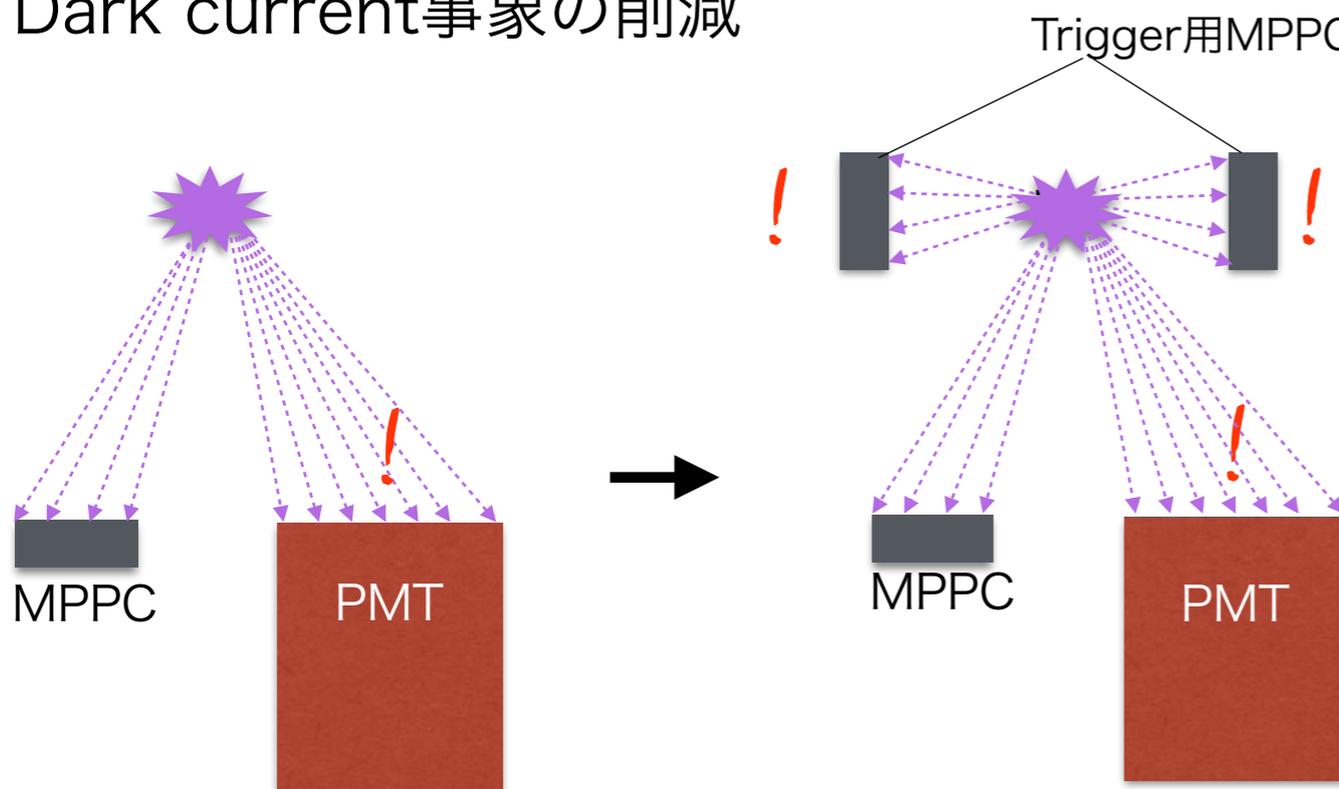


固体中に含まれる
アルファ線源(^{232}Th)

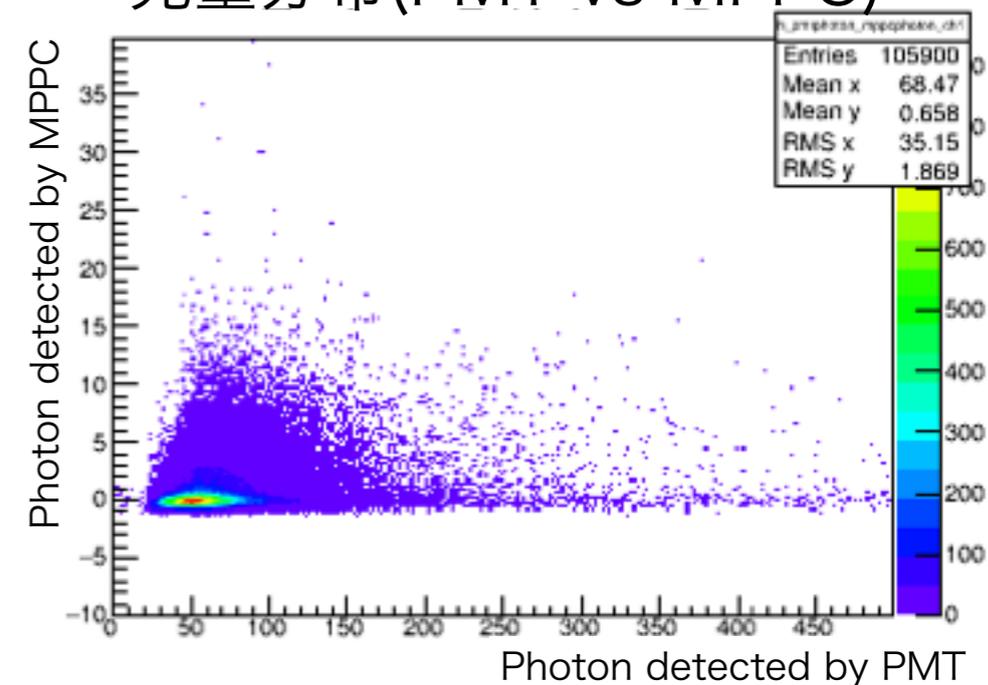


Pt板に蒸着された
アルファ線源(^{241}Am)

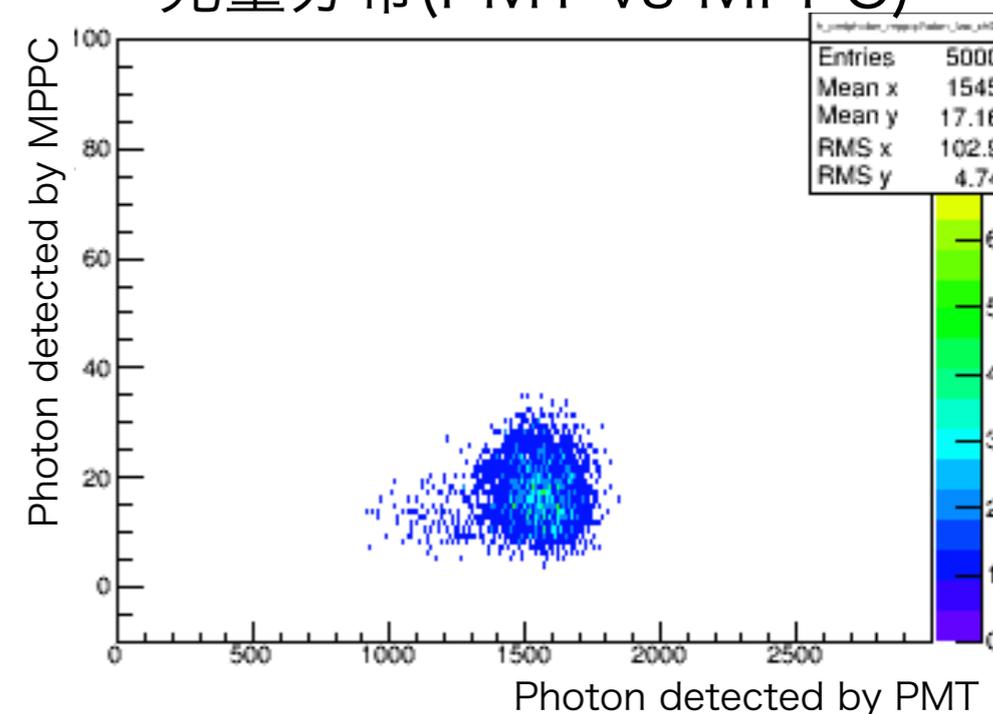
- トリガーとして3つの信号のコインシデンスを要求
 - Dark current事象の削減



光量分布(PMT vs MPPC)



光量分布(PMT vs MPPC)



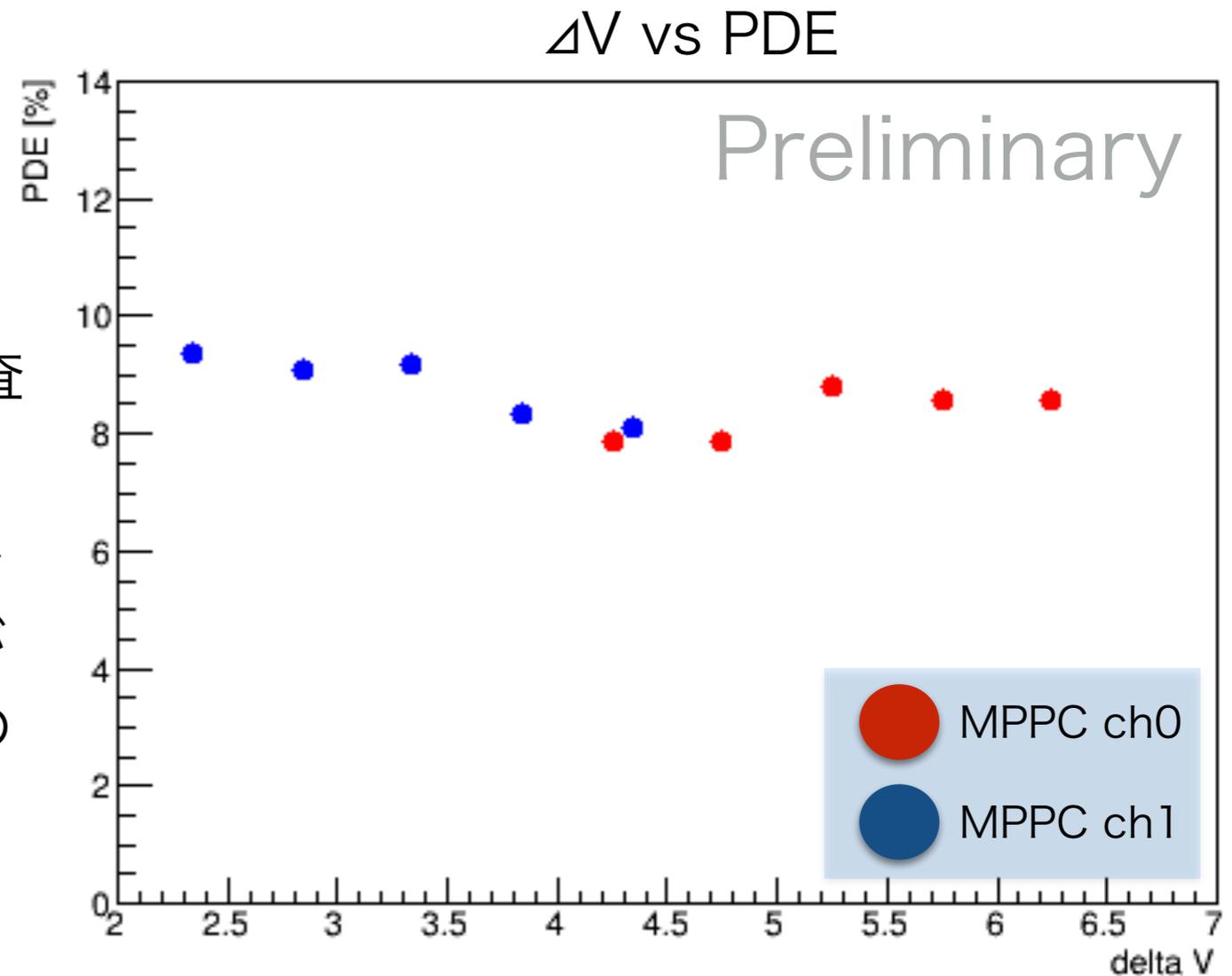
PDE measurement : Result

PDEとして約8~9.5%が得られた

ΔV とPDEの間に正の相関は見られなかった
-> 測定の方法の問題であるかどうか、要調査

cross talk & after pulse rateをダークカレントをもとに算出して補正しているが、レートがカタログ値よりも高めに出ているため、その分(約2%)underestimateしている可能性がある。

-> これから、さらに調査する。



Type No : 3x3MM-50UM VUV3	
ch0	ch1
Serial No. : A0014	Serial No. : A0015
$V_{op}=55.18$ V	$V_{op}=54.99$ V

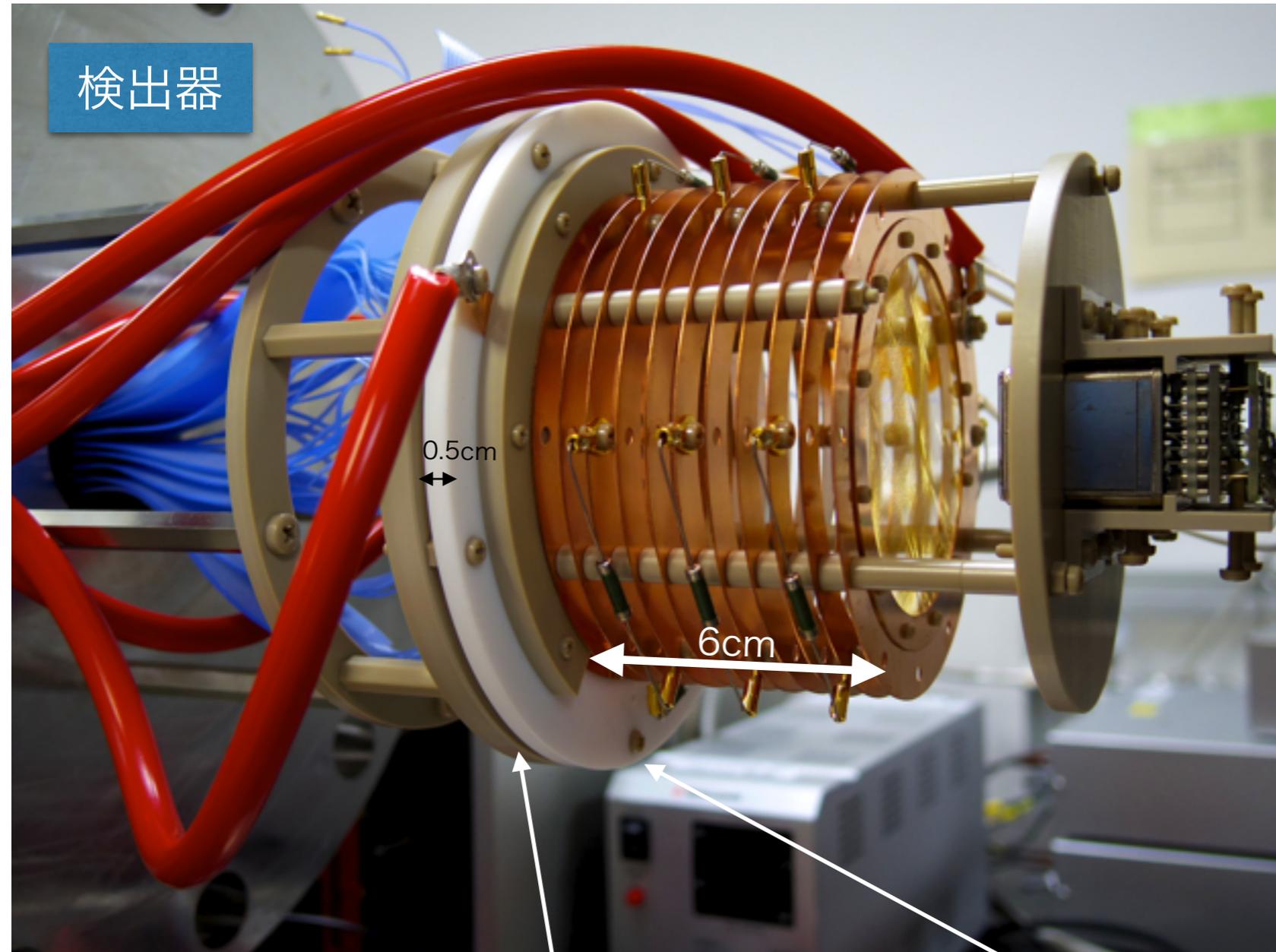
Contents

- What's AXEL ?
- 真空紫外光に感度を持つMPPPCの評価
- Prototype Chamberの評価
- Summary

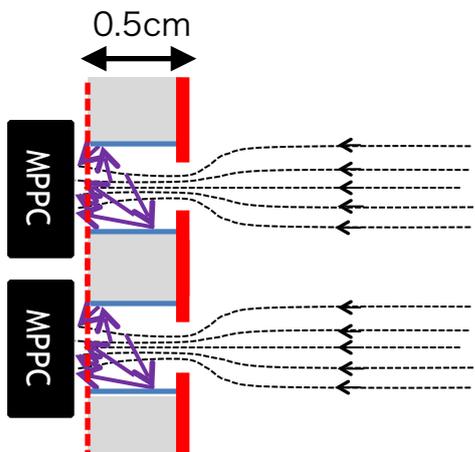
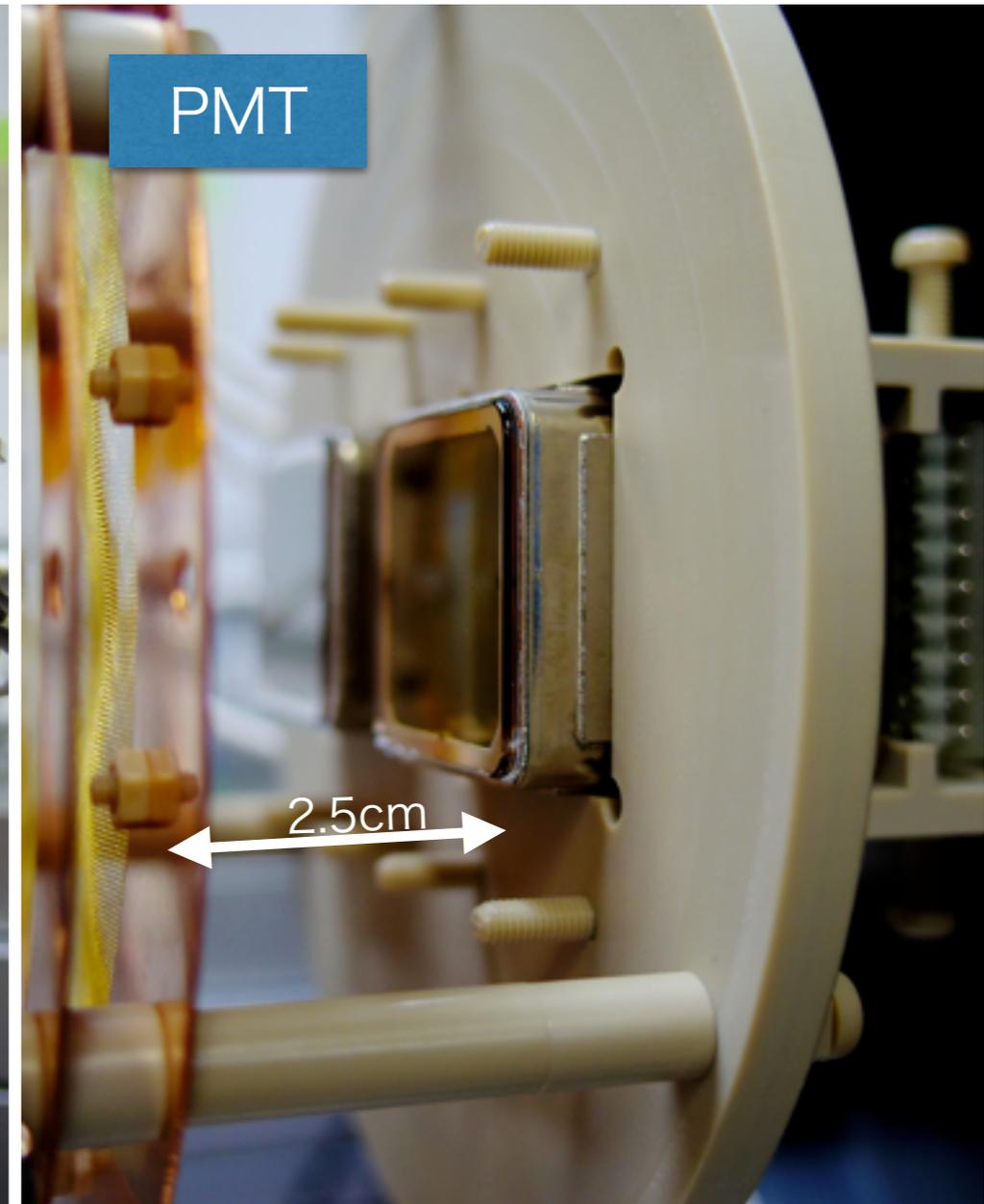
Prototype Chamber : Setup

ProtoType3

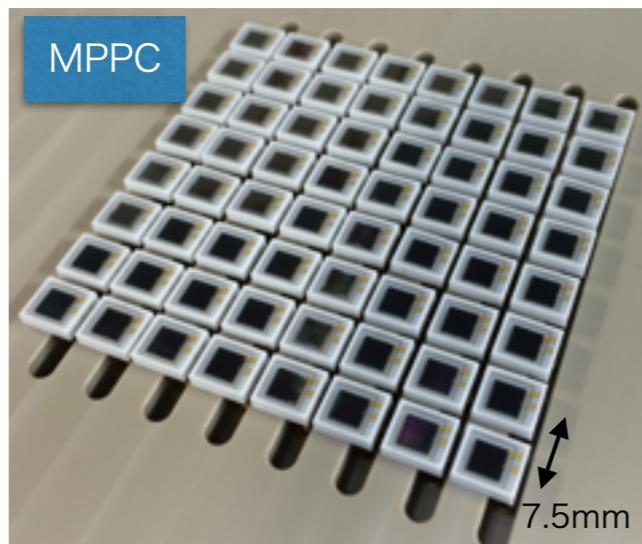
検出器



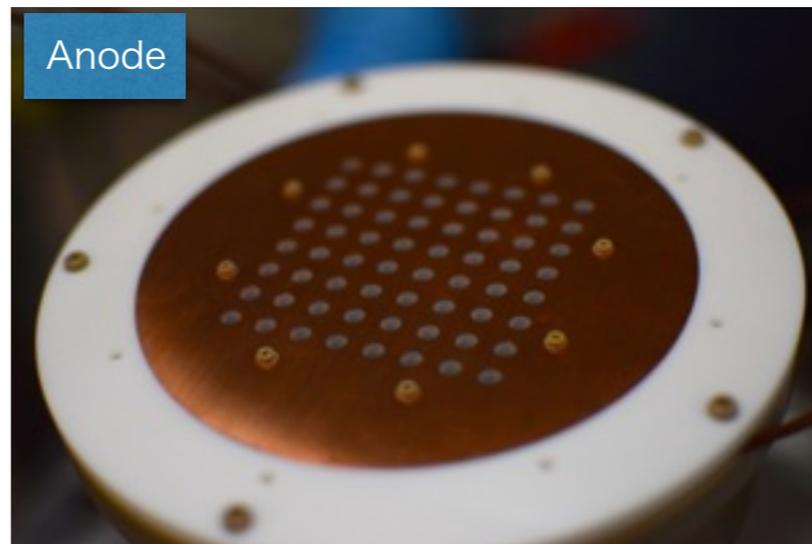
PMT



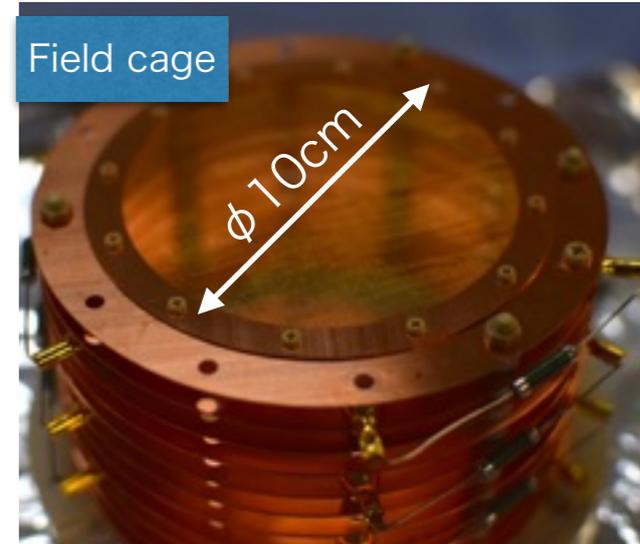
MPPC



Anode



Field cage



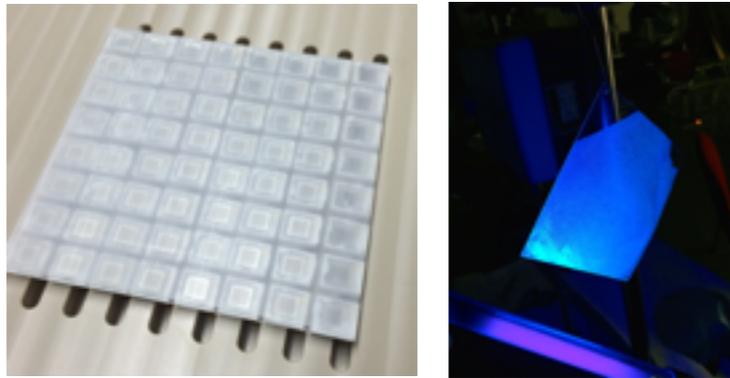
Prototype Chamber : Energy resolution

ProtoType3

Xe 4.0atm中で測定

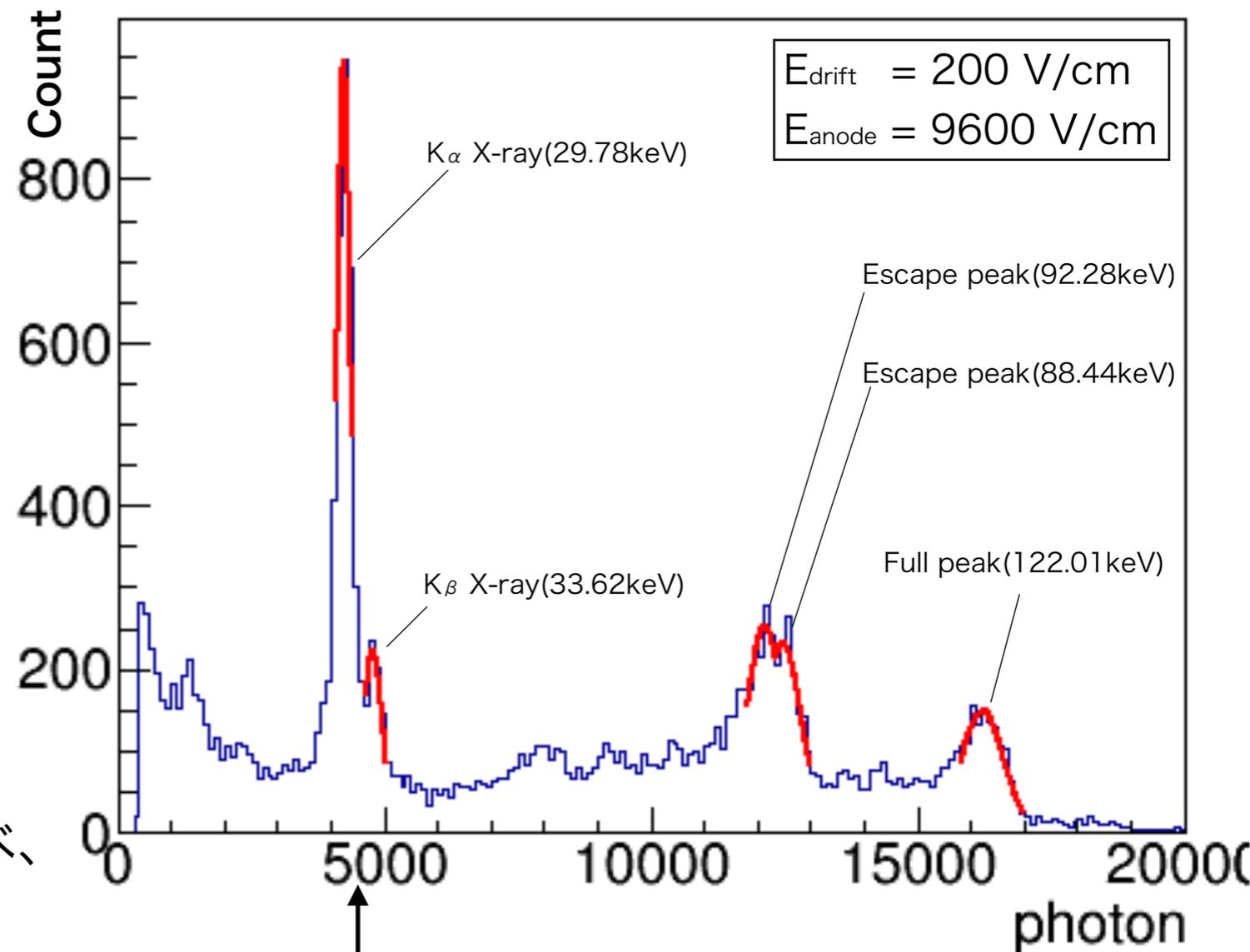
可視光用MPPC

+ 波長変換剤(TPB)を塗布したアクリル板



^{57}Co からのガンマ線(122keV)を当てて
エネルギー分解能を評価

-> 前回の学会(2015年3月@早稲田)と比べ、
光量、エネルギー分解能ともに向上



1 電離電子が約3photonに変換されている

前回の学会(第70回年次大会)での結果(中村が発表)

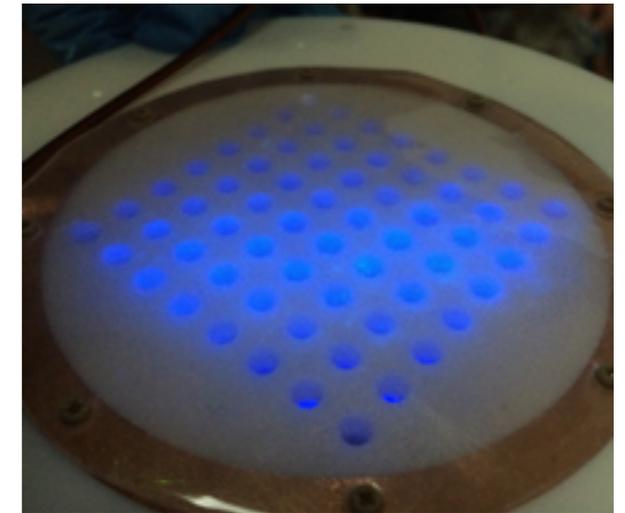
Energy [keV]	29.78	33.62	92.28	122.1
Peak [photon]	653.6	-	2138.5	2874.4
Sigma	86.3	-	163.7	122.9
FWHM	30.6%	-	17.8%	10.5%

Energy [keV]	29.78	33.62	88.44	92.28	122.1
Peak [photon]	4245.1	4791.4	12143.5	12479.0	16221.2
Sigma	132.1	182.6	340.5	353.1	300.2
FWHM	7.2%	8.8%	6.5%	6.6%	5.7%

Prototype Chamber : Energy resolution

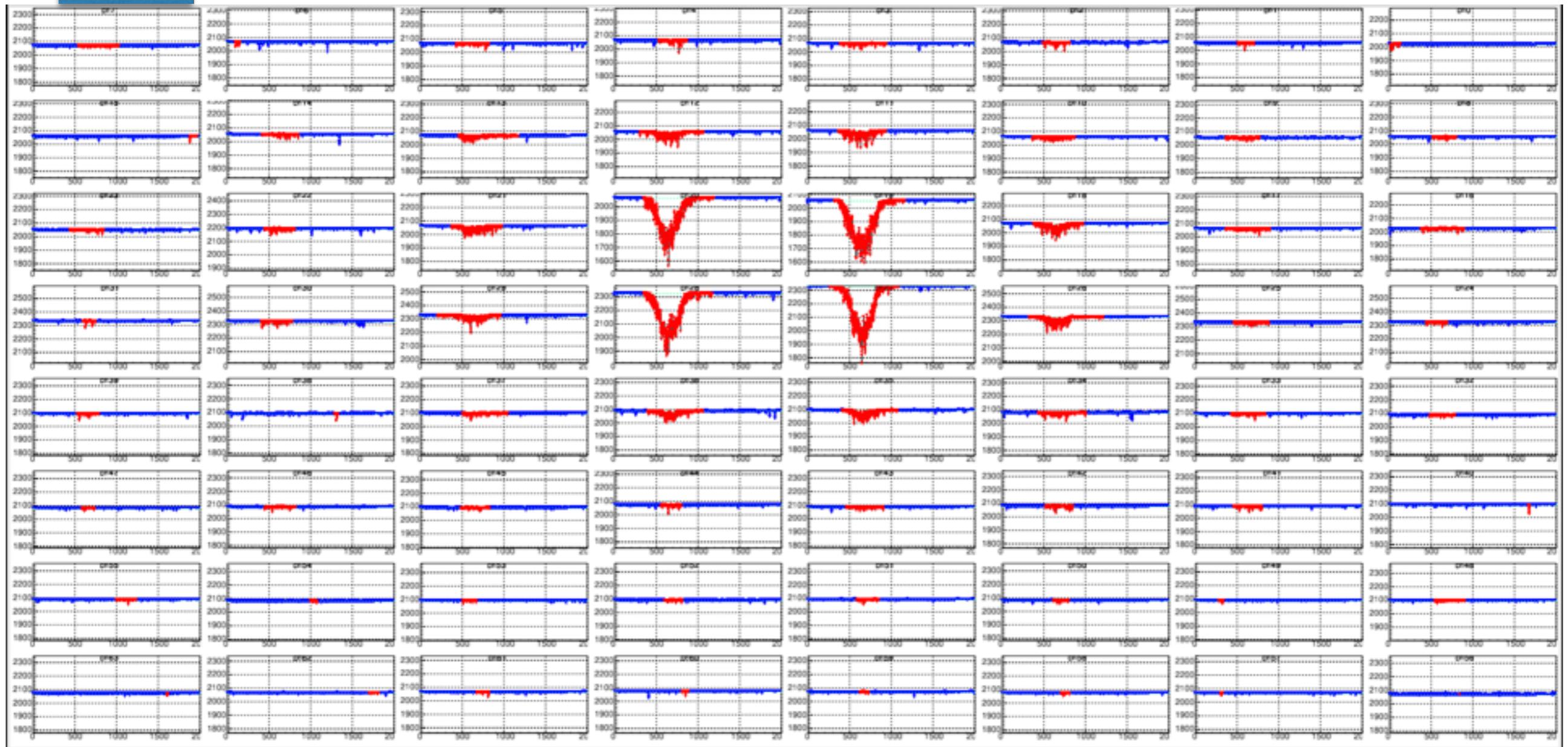
ProtoType3

各セル内で発生したEL光がWLSシートによって拡散され、隣のchへの染み出しや光量のロスを引き起こす



WLSを塗布したシートに裏からブラックライト照射 →

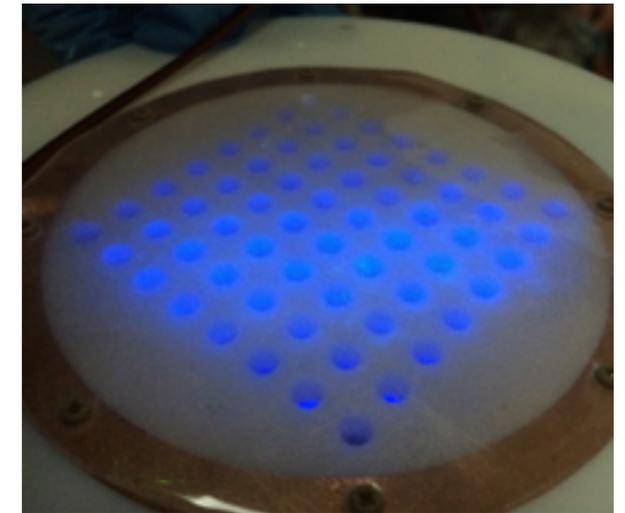
122keV



Prototype Chamber : Energy resolution

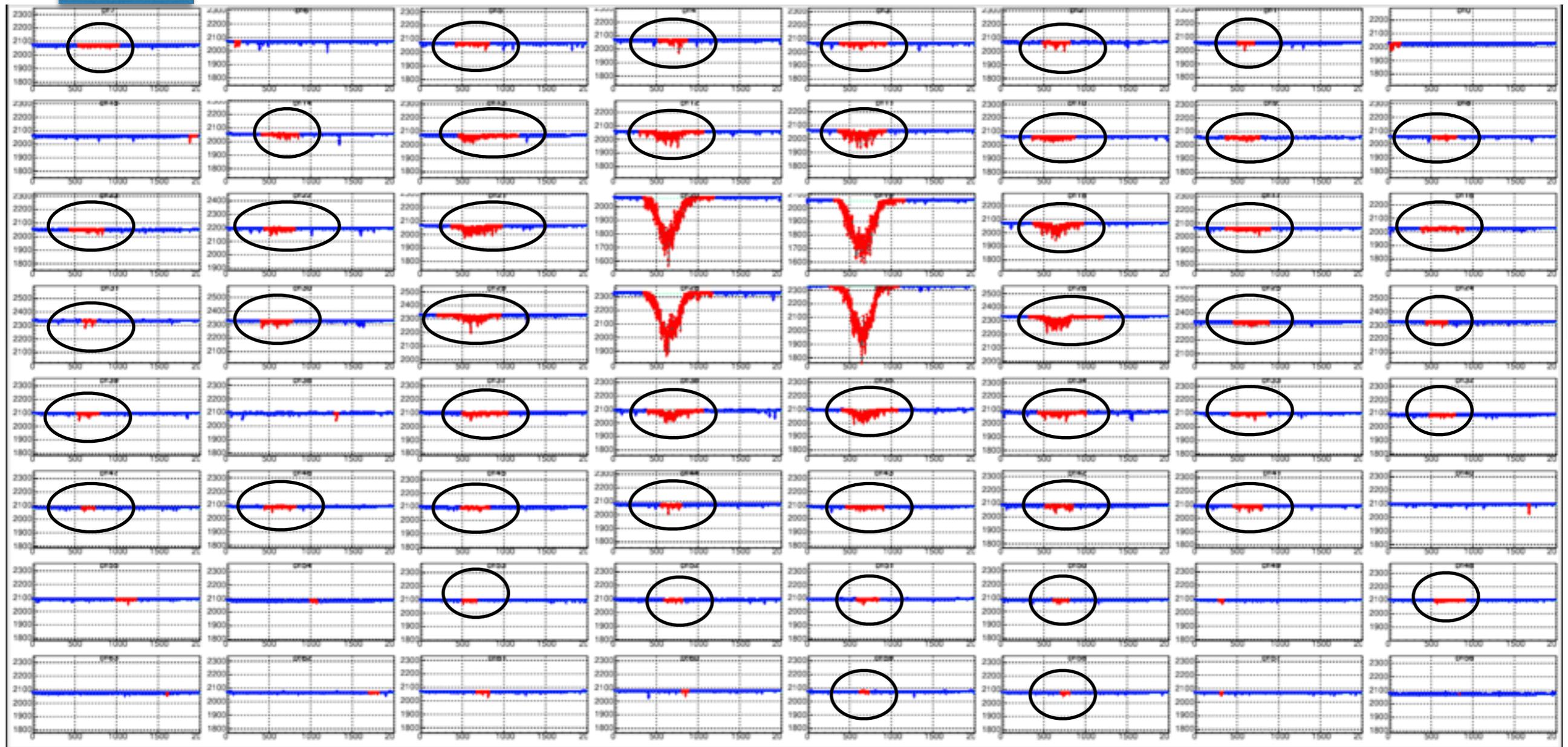
ProtoType3

各セル内で発生したEL光がWLSシートによって拡散され、隣のchへの染み出しや光量のロスを引き起こす



WLSを塗布したシートに裏からブラックライト照射 →

122keV



Prototype Chamber : Energy resolution

ProtoType3

横軸にdeposit energy、縦軸にFWHM[keV]をプロット

→ $FWHM = a\sqrt{E} + bE$ でFit

統計ゆらぎ

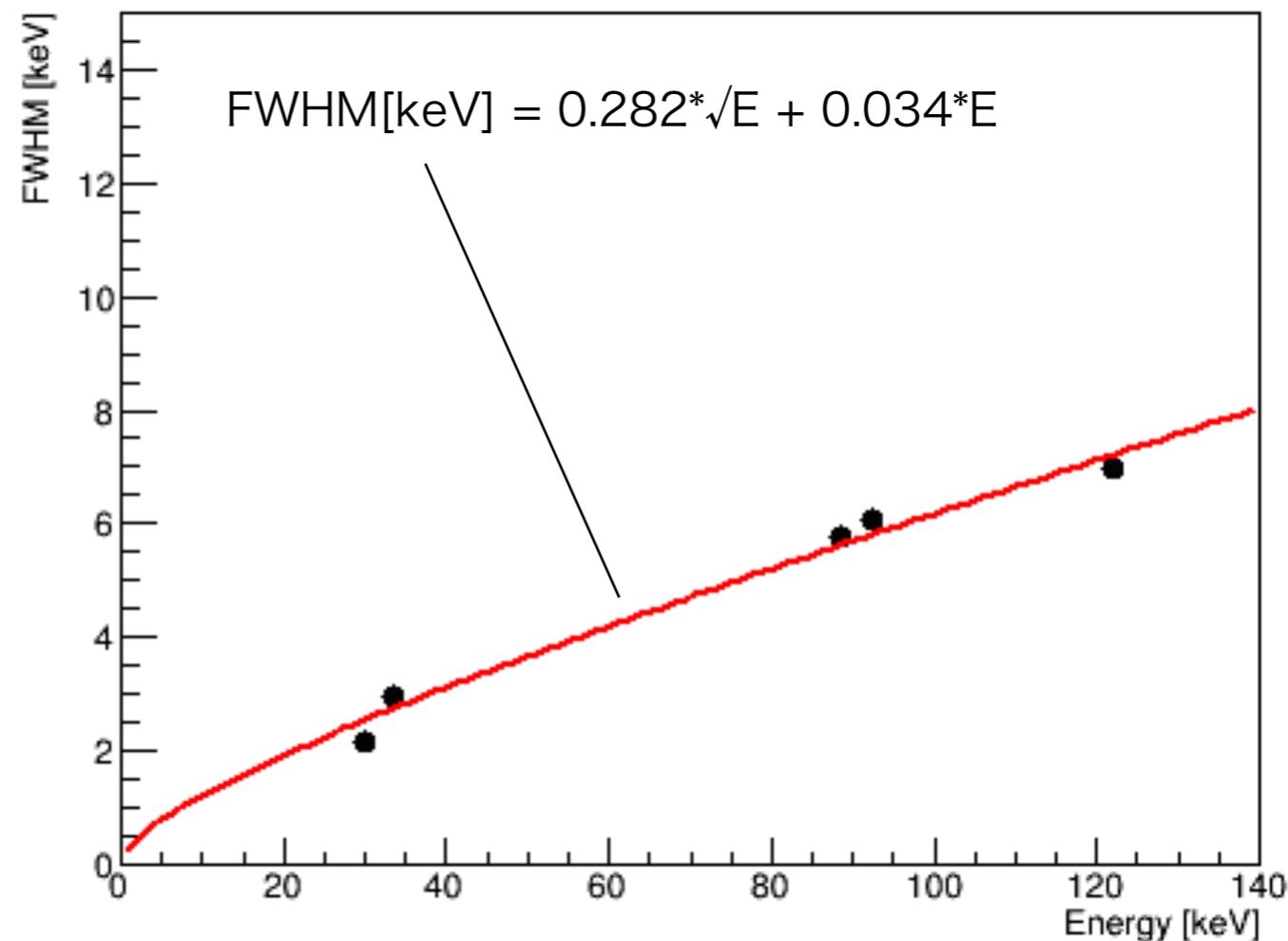
- WLS-sheetによる滲みの効果
- セル内での非一様性
など

Q値(2.46MeV)への外挿

→ FWHM@2.46MeV : 3.97 %

目標のエネルギー分解能(0.5%@Q値)に比べると1桁悪い

- VUV-sensitive MPPCに置き換える
- z fiducial cutを実装することで改善が期待される



Contents

- What's AXEL ?
- 真空紫外光に感度を持つMPPPCの評価
- Prototype Chamberの評価
- Summary

Summary

AXEL

大質量、高エネルギー分解能、トポロジーによる背景事象除去の全てを満たした
検出器開発を目指し、奮闘中

VUV-sensitive MPPCのPDE測定

前回の学会から線源とDAQ方法を改良

PDEとして8~9.5%を得た

Over voltageとPDEの間に相関は見られなかった

Prototype chamber

4.0atmのXeガス中で64chの読み出しにてデータ取得

WLSによる光の滲み出しがエネルギー分解能を悪化させている原因と考えられる

VUV-sensitive MPPCに取り替えて(11月初旬)測定予定

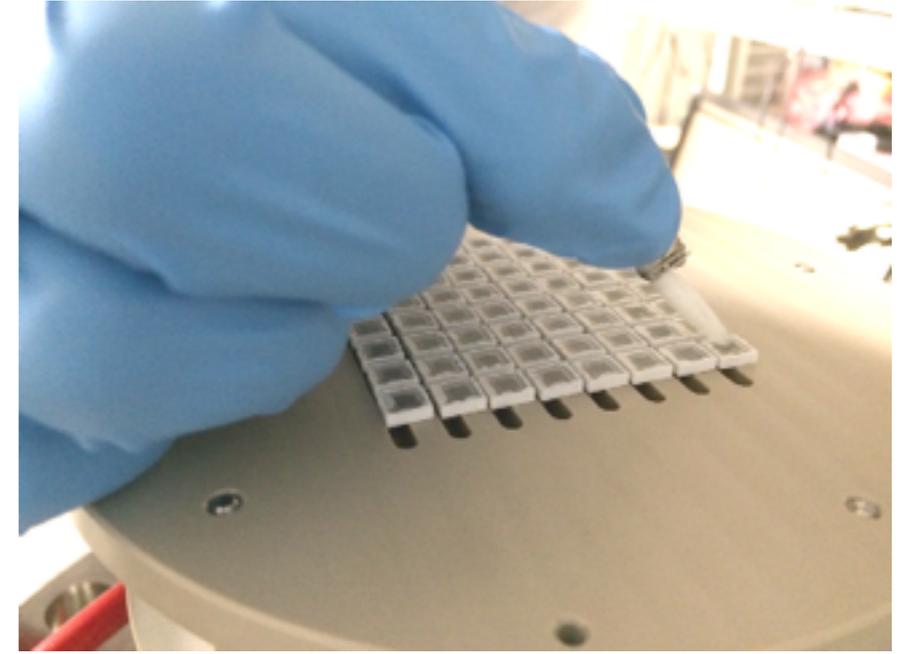
Back Up

Prototype Chamber : WLS-coated

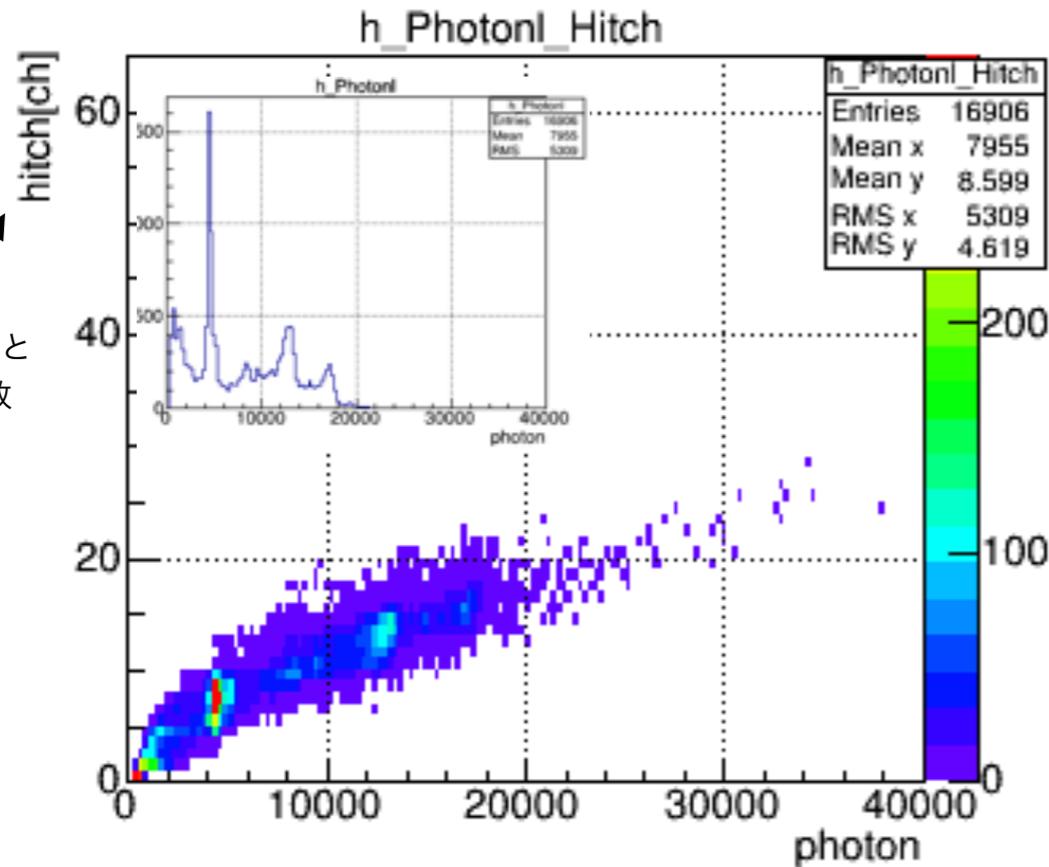
WLS-sheet(アクリル板)による滲み出しを解消するために、アクリル板を使わずにWLSを直接MPPCに塗布する

-> EL光があったと判定されるch数が減った(にじみ軽減)

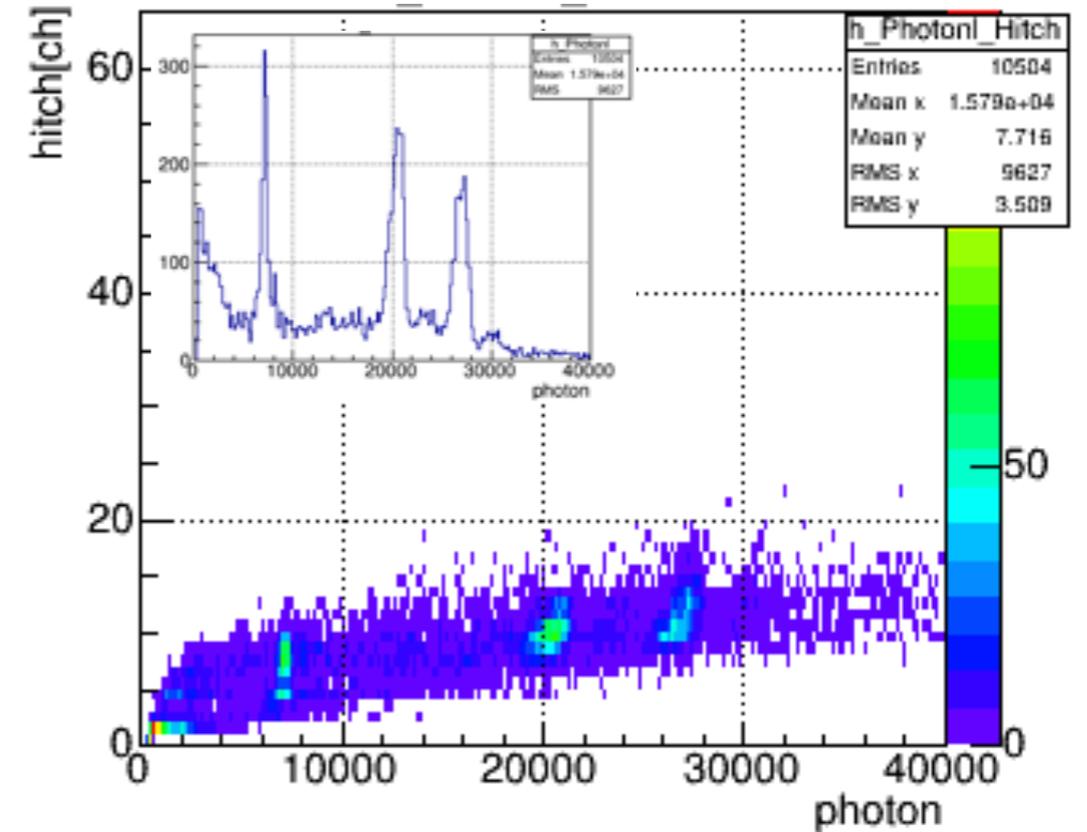
-> 光量も大きくなった



WLS-sheet



直接塗布



EL hit factor = 3.5

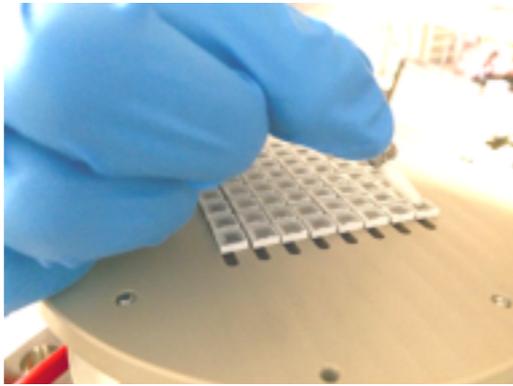
Prototype Chamber : Energy resolution

ProtoType3

Xe 4.0atm中で測定

可視光用MPPC

+ トルエンに溶かした波長変換剤(TPB)
をMPPCに直塗り

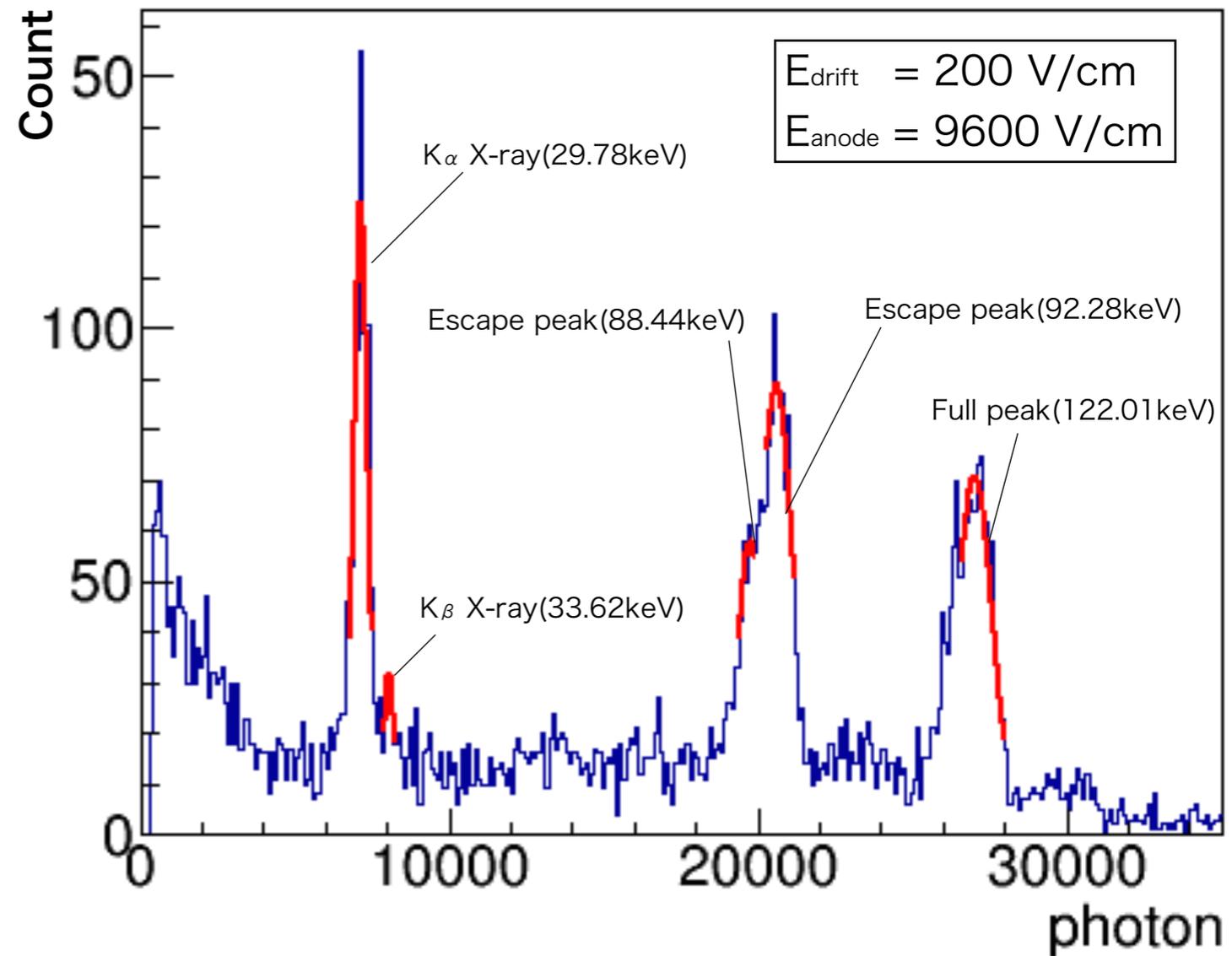


^{57}Co からのガンマ線(122keV)を当てて
エネルギー分解能を評価

-> WLS-sheetに比べ、光量は増加
エネルギー分解能はあまり向上せず

WLS-sheetでの解析結果

Energy [keV]	29.78	33.62	88.44	92.28	122.1
Peak [photon]	4245.1	4791.4	12143.5	12479.0	16221.2
Sigma	132.1	182.6	340.5	353.1	399.2
FWHM	7.2%	8.8%	6.5%	6.6%	5.7%



Energy [keV]	29.78	33.62	88.44	92.28	122.1
Peak [photon]	7153.0	8607.4	19754.3	20160.7	27035.8
Sigma	227.5	170.1	407.9	548.3	581.2
FWHM	7.4%	4.9%	4.8%	6.2%	5.0%

Prototype Chamber : Energy resolution

ProtoType3

光の滲み出しはある程度解消したと思われるが……

横軸にdeposit energy、縦軸にFWHM[keV]をプロット

→ $FWHM = a\sqrt{E} + bE$ でFit

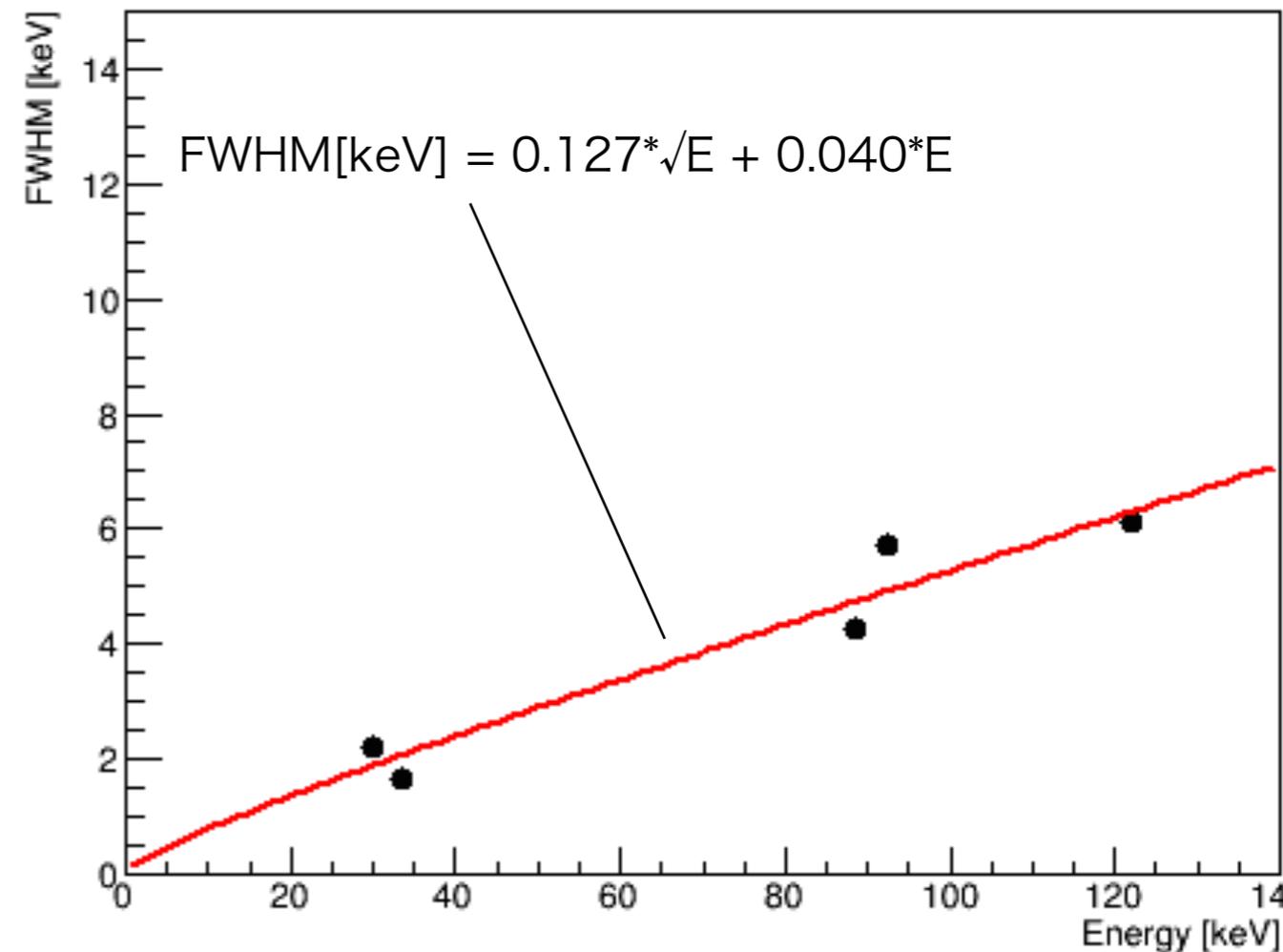
統計ゆらぎ

Q値(2.46MeV)への外挿

→ FWHM@2.46MeV : 4.26 %

光の滲み出し以外にも何らかの効果でエネルギー分解能は悪化している

→ 今後、原因を特定し、改良する



Summary (2)

AXEL

大質量、高エネルギー分解能、トポロジーによる背景事象除去の全てを満たした
検出器開発を目指し、奮闘中

VUV-sensitive MPPCのPDE測定

前回の学会から線源とDAQ方法を改良

PDEとして8~9.5%を得た

Over voltageとPDEの間に相関は見られなかった

Prototype chamber

4.0atmのXeガス中で64chの読み出しにてデータ取得

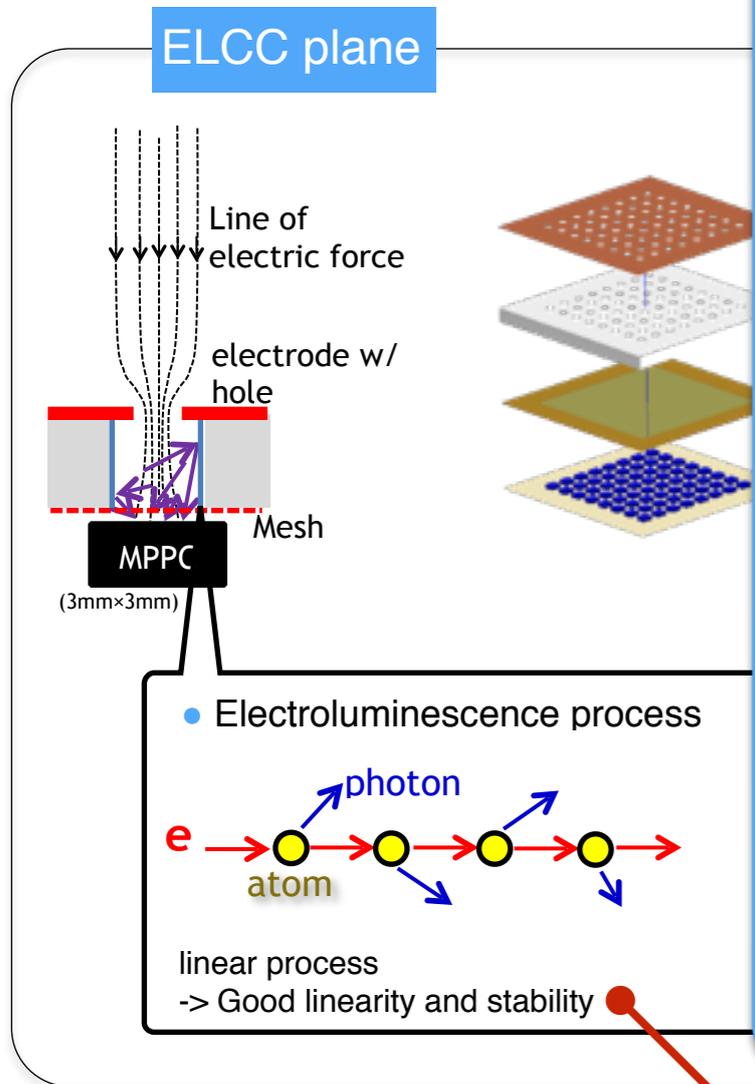
WLSによる光の滲み出しがエネルギー分解能を悪化させている原因と考えられる

-> WLSを1枚のシートから各MPPCに直塗りするスタイルに変えても改善せず

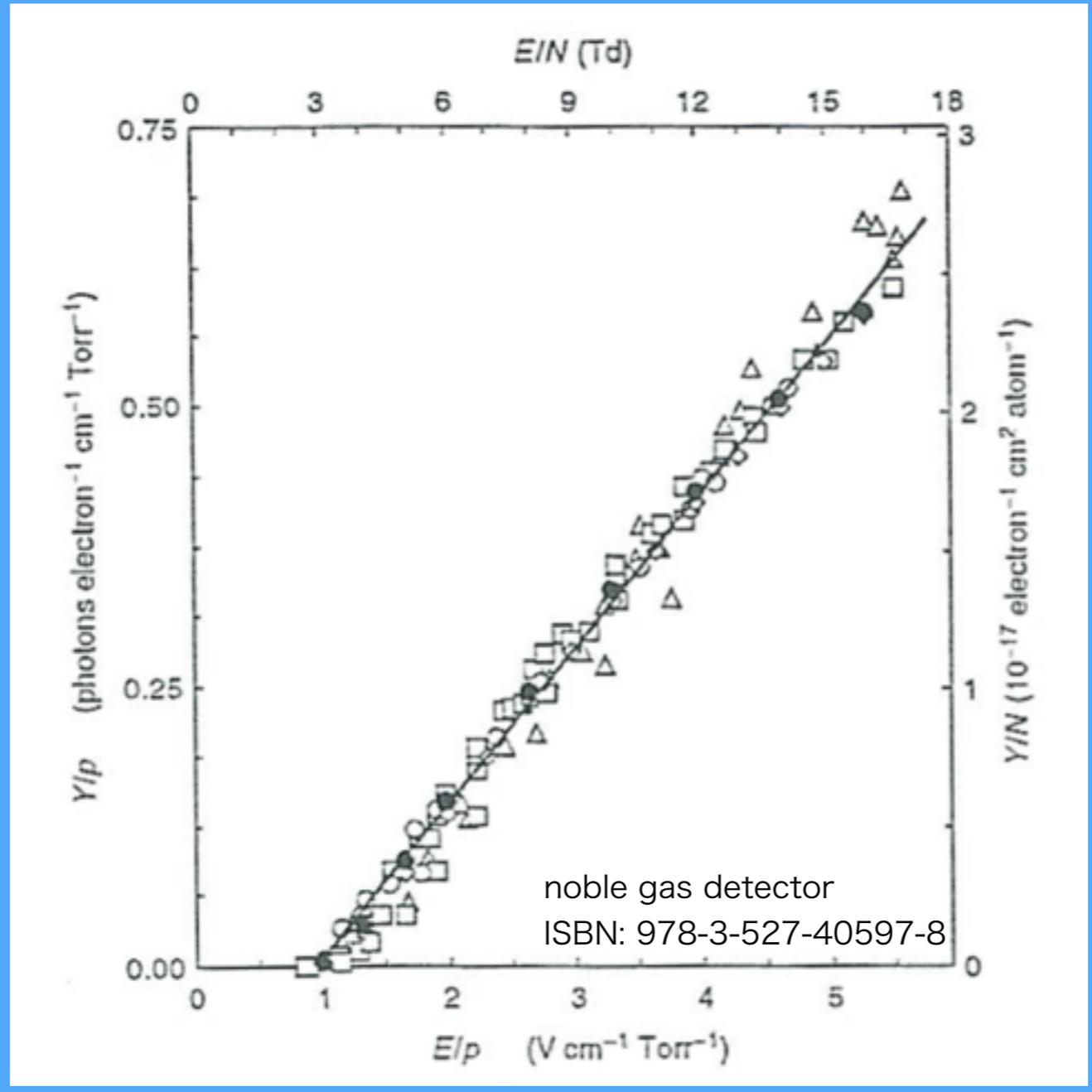
VUV-sensitive MPPCに取り替えて(11月初旬)測定予定

What's AXEL ?

高压XeガスTPC for 0v



EL過程：YieldのAnode電場依存性



高エネルギー分解能

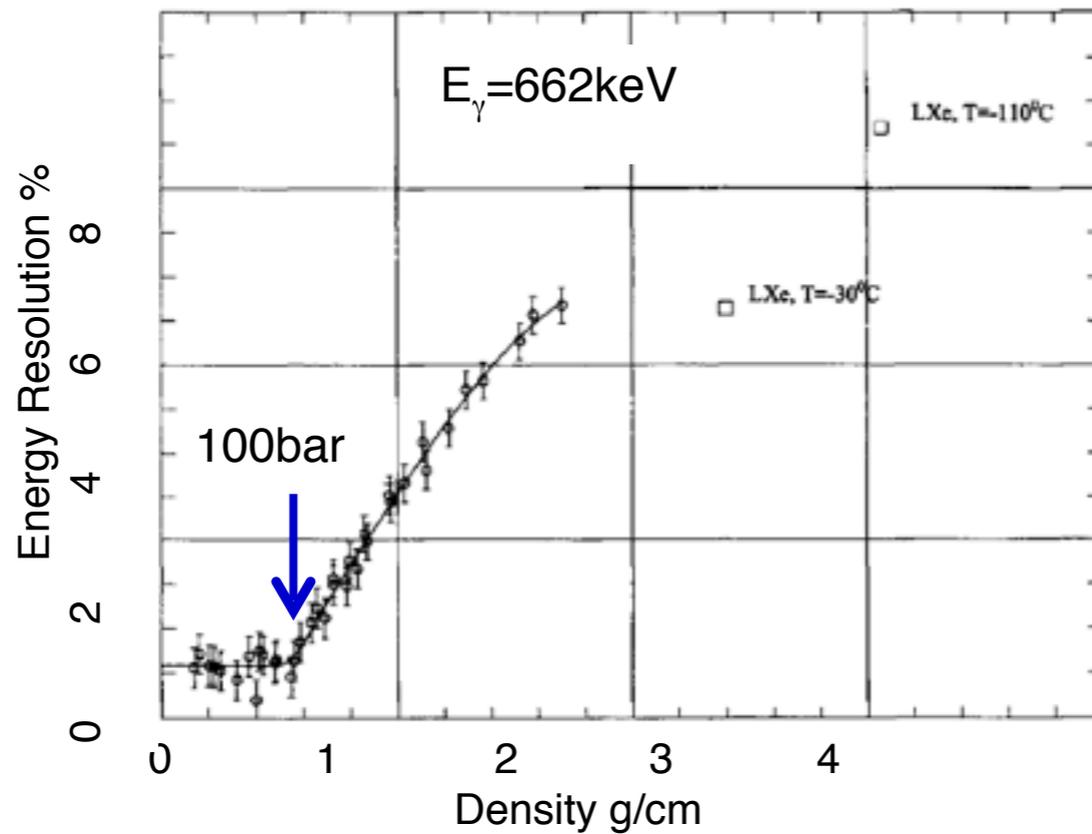
-> Goal : 0.5%FWHM @Q値

What's AXEL ?

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

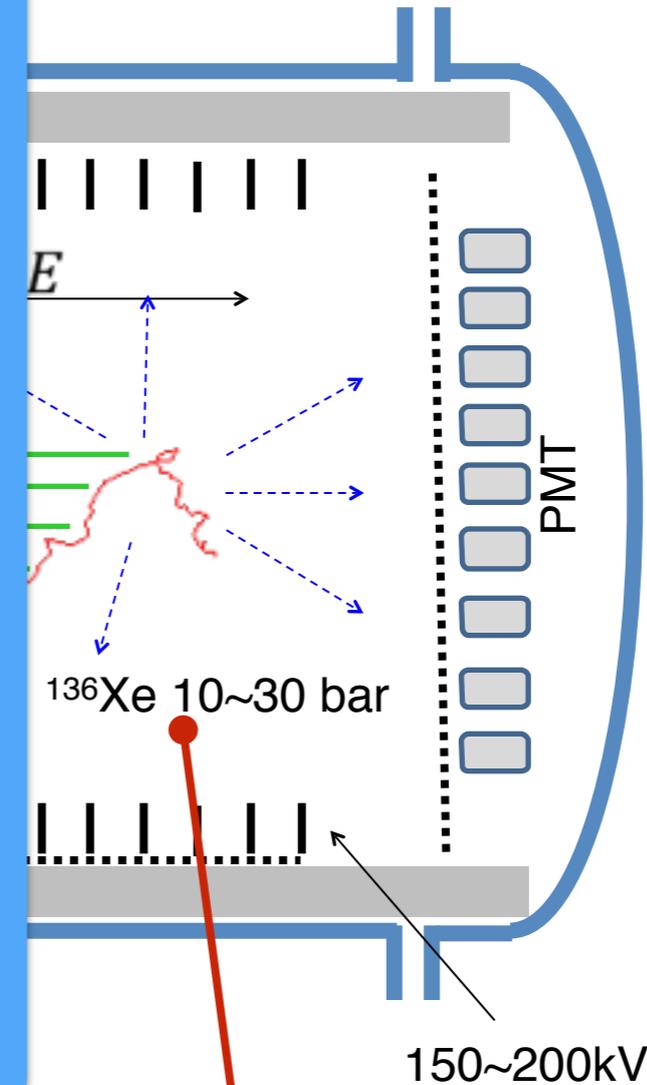
Xeのシンチレーション光検出器のエネルギー分解能

A. Bolotnikov, B. Ramsey Nucl. Instr. And Meth. A396(1997) 360



高エネルギー分解能

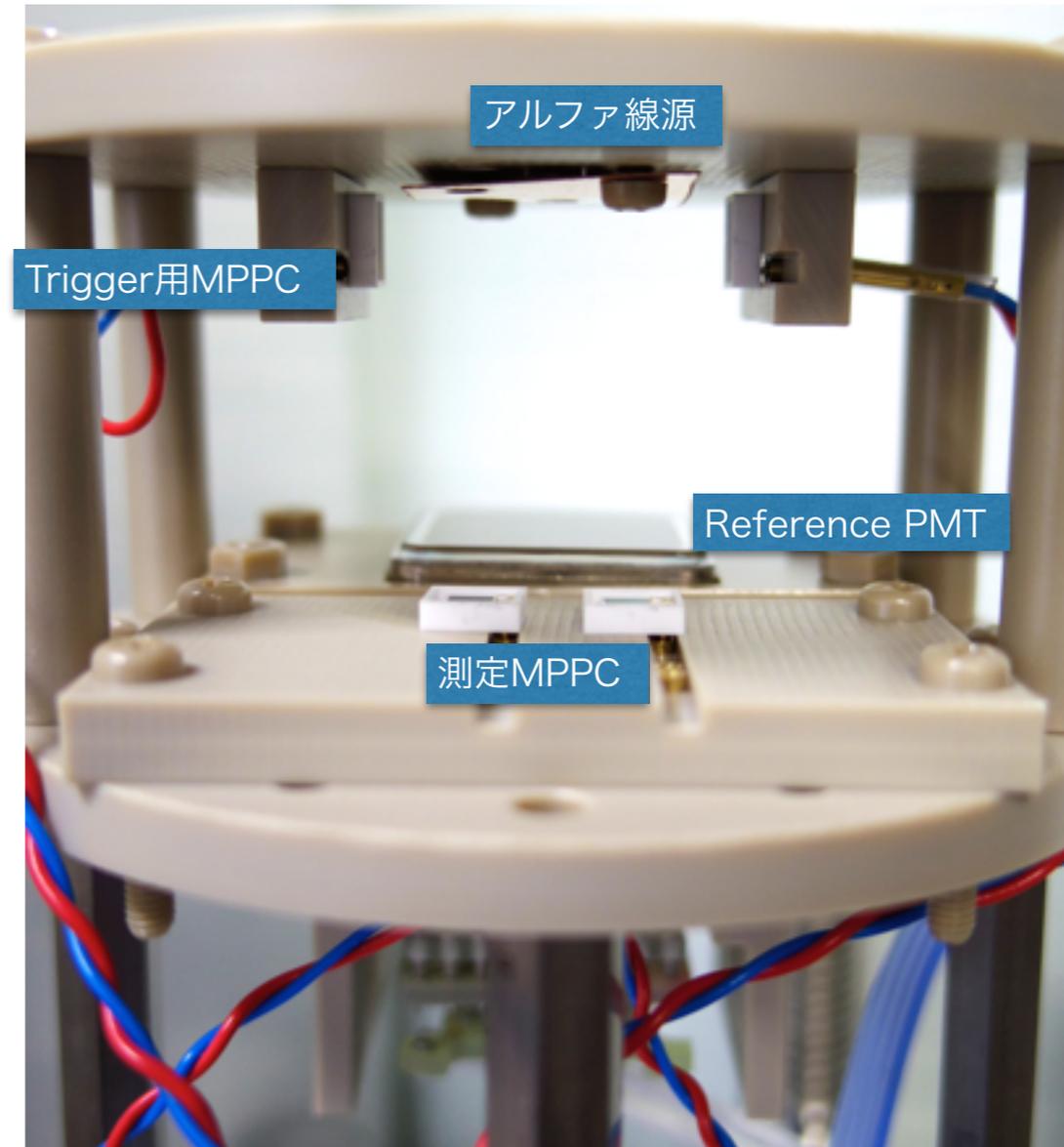
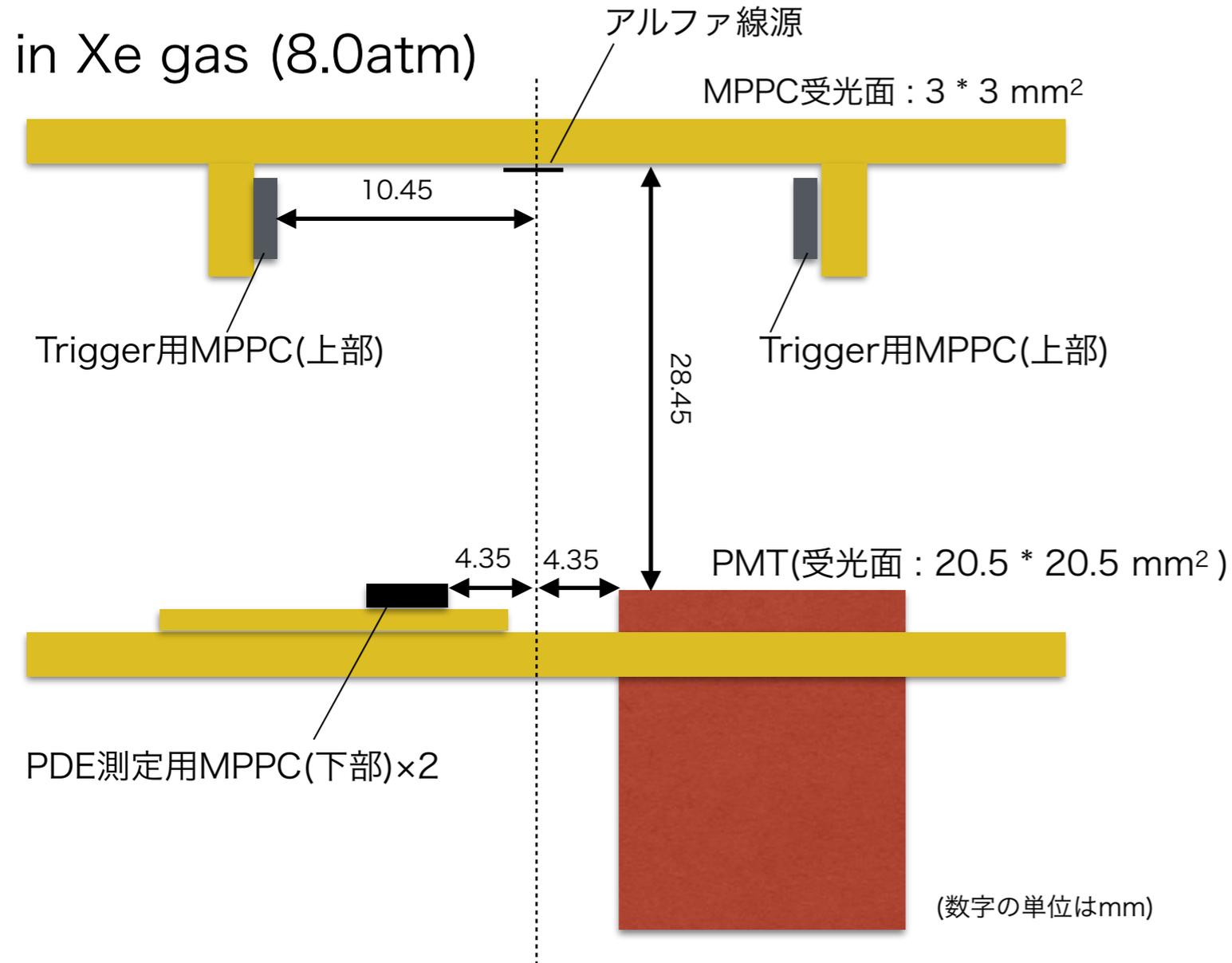
-> Goal : 0.5%FWHM @Q値



大質量

-> ~1 ton enriched ^{136}Xe gas

PDE measurement : Geometry



MPPC

Type No : 3x3MM-50UM VUV3(下部)

- . ch0 : A0014, $V_{op}=55.18 \text{ V}$

- . ch1 : A0015, $V_{op}=54.99 \text{ V}$

Type No : 3x3MM-100UM VUV3(上部)

- . ch2 : A0006, $V_{op}= 53.65 \text{ V}$

- . ch3 : A0007, $V_{op}= 53.55 \text{ V}$

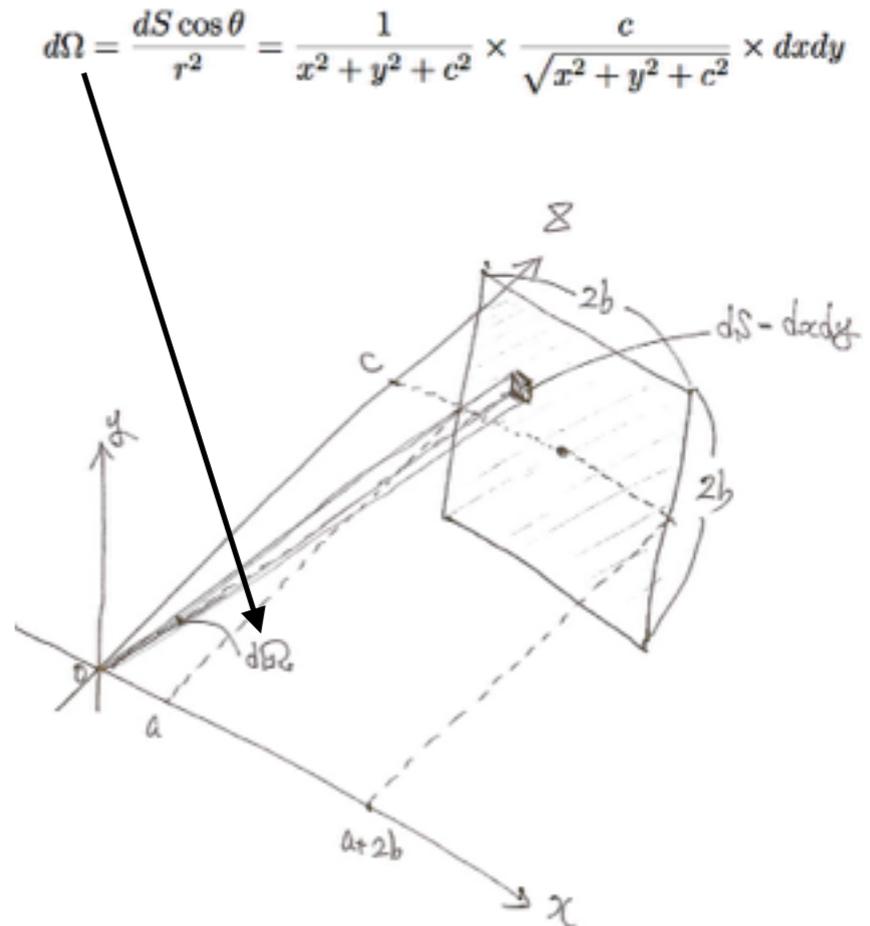
PDE measurement : Geometry

立体角(PMT)

$$\begin{aligned}
 \Omega_{\text{PMT}} &= \int d\Omega \\
 &= \int \frac{dS \cos \theta}{r^2} \\
 &= \int_a^{a+2b} dx \int_{-b}^b dy \frac{c}{(x^2 + y^2 + c^2)^{3/2}} \\
 &= \left[\int_{-b}^b \frac{cx \, dy}{(c^2 + y^2)\sqrt{c^2 + x^2 + y^2}} \right]_a^{a+2b}
 \end{aligned}$$

$a=4.35$, $b=12.0$, $c=28.45$ を代入

$$\begin{aligned}
 \Omega_{\text{PMT}} &= \left[\int_{-12}^{12} \frac{28.45x}{(28.45^2 + y^2)\sqrt{28.45^2 + x^2 + y^2}} dy \right]_{4.35}^{14.6} \\
 &= \int_{-12}^{12} \frac{28.45 \times 14.6 \, dy}{(809.4025 + y^2)\sqrt{809.4025 + 213.16 + y^2}} - \int_{-12}^{12} \frac{28.45 \times 4.35 \, dy}{(809.4025 + y^2)\sqrt{809.4025 + 18.9225 + y^2}} \\
 &= 2 \times 28.45 \int_0^{12} \frac{1}{y^2 + 809.4025} \left\{ \frac{14.6}{\sqrt{y^2 + 1022.5625}} - \frac{4.35}{\sqrt{y^2 + 828.325}} \right\} dy \\
 &= 56.9 \left[14.6 \times \frac{\arctan\left(\frac{y\sqrt{213.16}}{\sqrt{809.4025}\sqrt{y^2+1022.5625}}\right)}{\sqrt{809.4025}\sqrt{213.16}} - 4.35 \times \frac{\arctan\left(\frac{y\sqrt{18.9225}}{\sqrt{809.4025}\sqrt{y^2+828.325}}\right)}{\sqrt{809.4025}\sqrt{18.9225}} \right]_0^{12} \\
 &= 56.9(6.270 \times 10^{-3} - 2.065 \times 10^{-3}) \\
 &= 0.239
 \end{aligned}$$

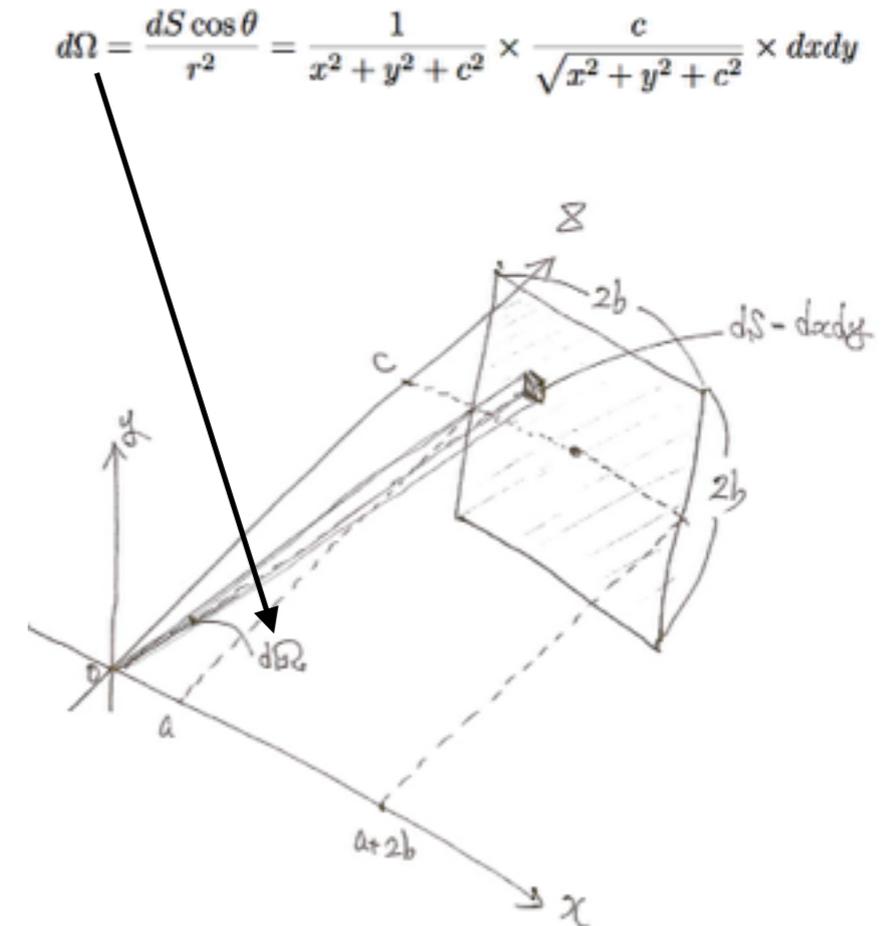


PDE measurement : Geometry

立体角(MPPC)

下部に設置したMPPCの線源からみた立体角を計算する

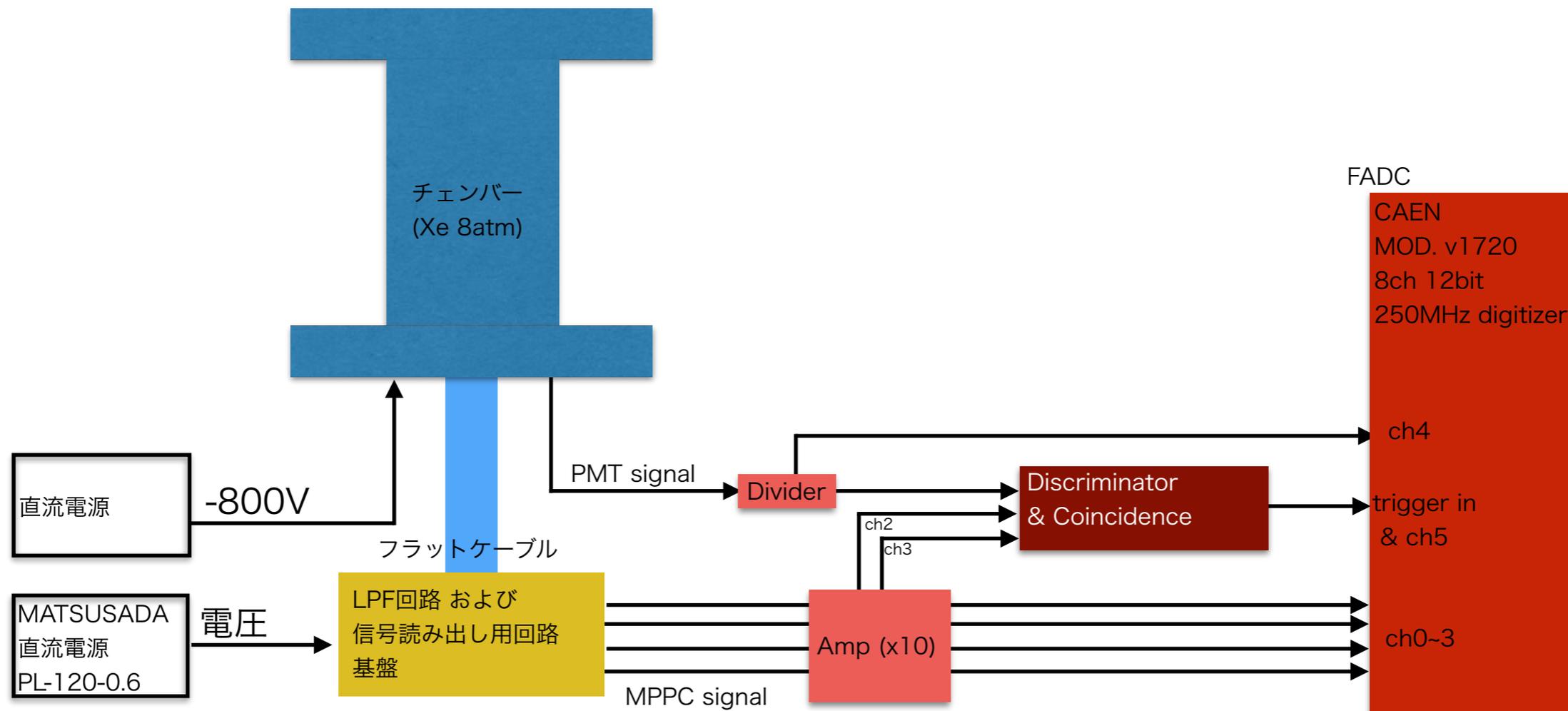
$$\begin{aligned}
 \Omega_{\text{MPPC}} &= \int d\Omega \\
 &= \int \frac{dS \cos \theta}{r^2} \\
 &= \int_a^{a+2b} dx \int_{-b}^b dy \frac{c}{(x^2 + y^2 + c^2)^{3/2}} \\
 &= \left[\int_{-b}^b \frac{cx \, dy}{(c^2 + y^2) \sqrt{c^2 + x^2 + y^2}} \right]_a^{a+2b}
 \end{aligned}$$



$a=8.375$, $b=1.5$, $c=28.45$ を代入

$$\begin{aligned}
 \Omega_{\text{MPPC}} &= \left[\int_{-1.5}^{1.5} \frac{28.45x}{(28.45^2 + y^2) \sqrt{28.45^2 + x^2 + y^2}} dy \right]_{8.375}^{11.375} \\
 &= \int_{-1.5}^{1.5} \frac{28.45 \times 11.375 \, dy}{(809.4025 + y^2) \sqrt{809.4025 + 129.390 + y^2}} - \int_{-1.5}^{1.5} \frac{28.45 \times 8.375 \, dy}{(809.4025 + y^2) \sqrt{809.4025 + 70.140 + y^2}} \\
 &= 2 \times 28.45 \int_0^{1.5} \frac{1}{y^2 + 809.4025} \left\{ \frac{11.375}{\sqrt{y^2 + 938.7925}} - \frac{8.375}{\sqrt{y^2 + 879.5025}} \right\} dy \\
 &= 56.9 \left[11.375 \times \frac{\arctan \left(\frac{y\sqrt{129.390}}{\sqrt{809.4025}\sqrt{y^2+938.7925}} \right)}{\sqrt{809.4025}\sqrt{129.390}} - 8.375 \times \frac{\arctan \left(\frac{y\sqrt{70.140}}{\sqrt{809.4025}\sqrt{y^2+879.5025}} \right)}{\sqrt{809.4025}\sqrt{70.140}} \right]_0^{1.5} \\
 &= 56.9(6.870 \times 10^{-4} - 5.226 \times 10^{-4}) \\
 &= 0.00935
 \end{aligned}$$

PDE measurement : DAQ

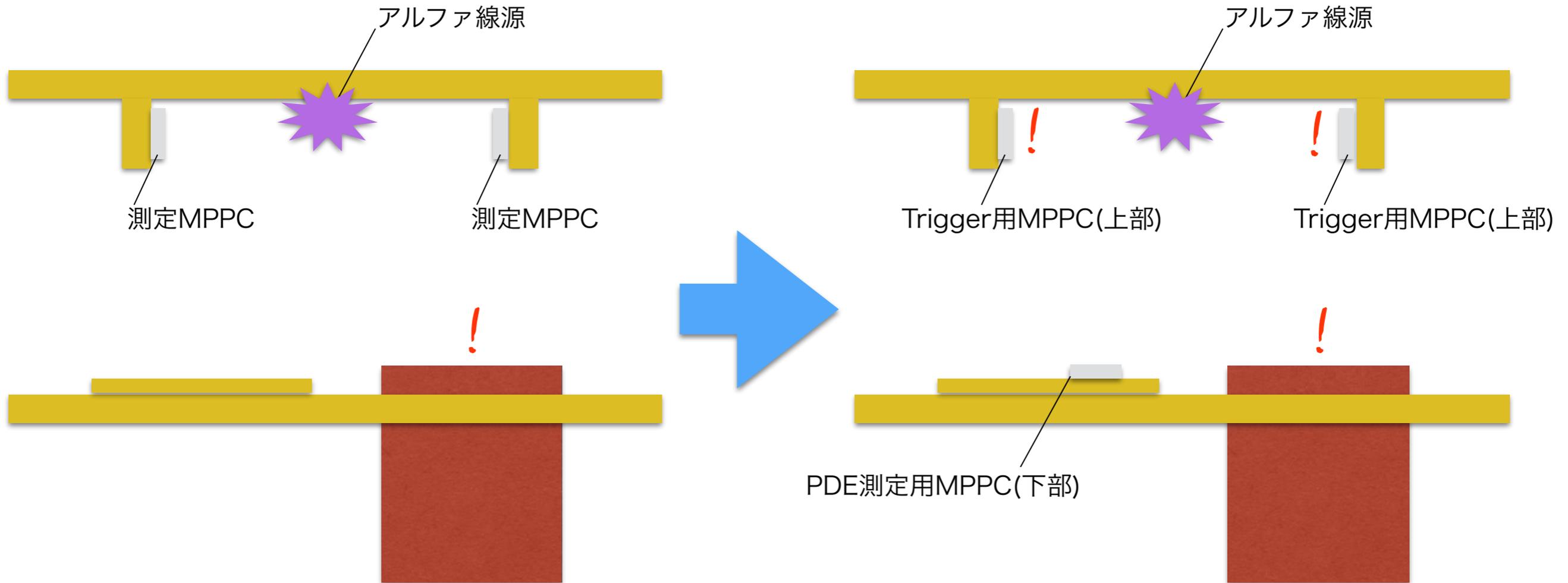


シンチレーション光イベントとMPPC, PMTのDark current事象を切り分けるため、
 PMTの信号 ($\times 0.5$) : -300 mVのThreshold
 MPPCの信号 ($\times 10$ 倍Amp) $\times 2$ 個 : -300 mVのThreshold
 のthresholdを全て超えたイベント (coincidenceイベント) をTriggerとしてデータを取得した。

MPPCへの印加電圧は55.0V, 55.5V, 56.0V, 56.5V, 57.0Vの5通りで測定

各印加電圧でシンチレーション光イベントのデータを取得する前に、clock generatorを用いたランダムなタイミングのtriggerでデータを取り、MPPCのdark currentの解析を行う

PDE measurement : Upgrades



3つの光検出器のコインシデンスを要求

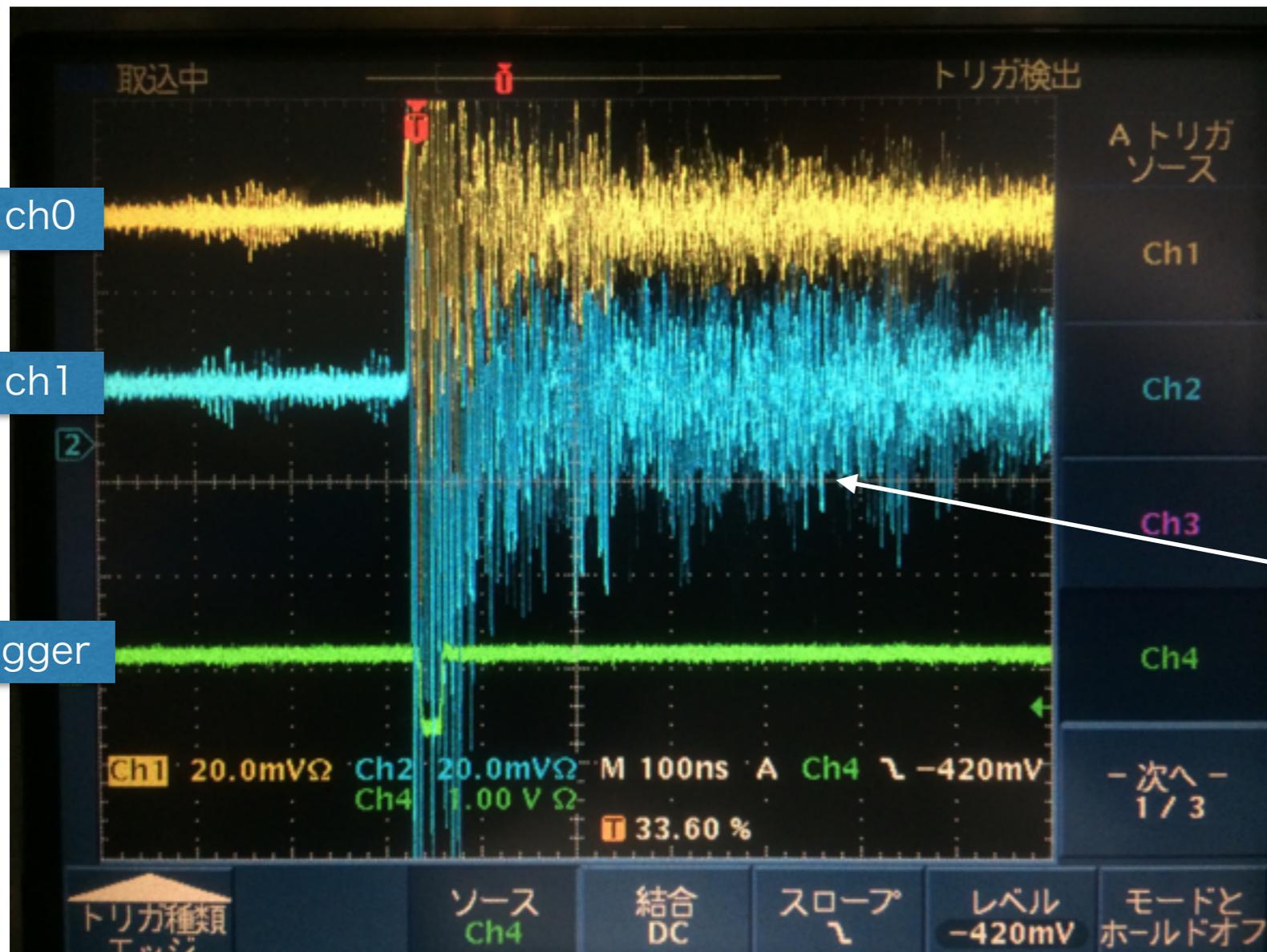
シンチレーション光イベントを選択するため、

PMTの信号 ($\times 0.5$) : -300 mVのThreshold

MPPCの信号 ($\times 10$ 倍Amp) $\times 2$ 個 : -300 mVのThreshold

のthresholdを全て超えたイベント (coincidenceイベント) をTriggerとしてデータを取得した。

PDE measurement : オシロ画像



MPPCは57.0V印加

Trigger条件は前ページの通り

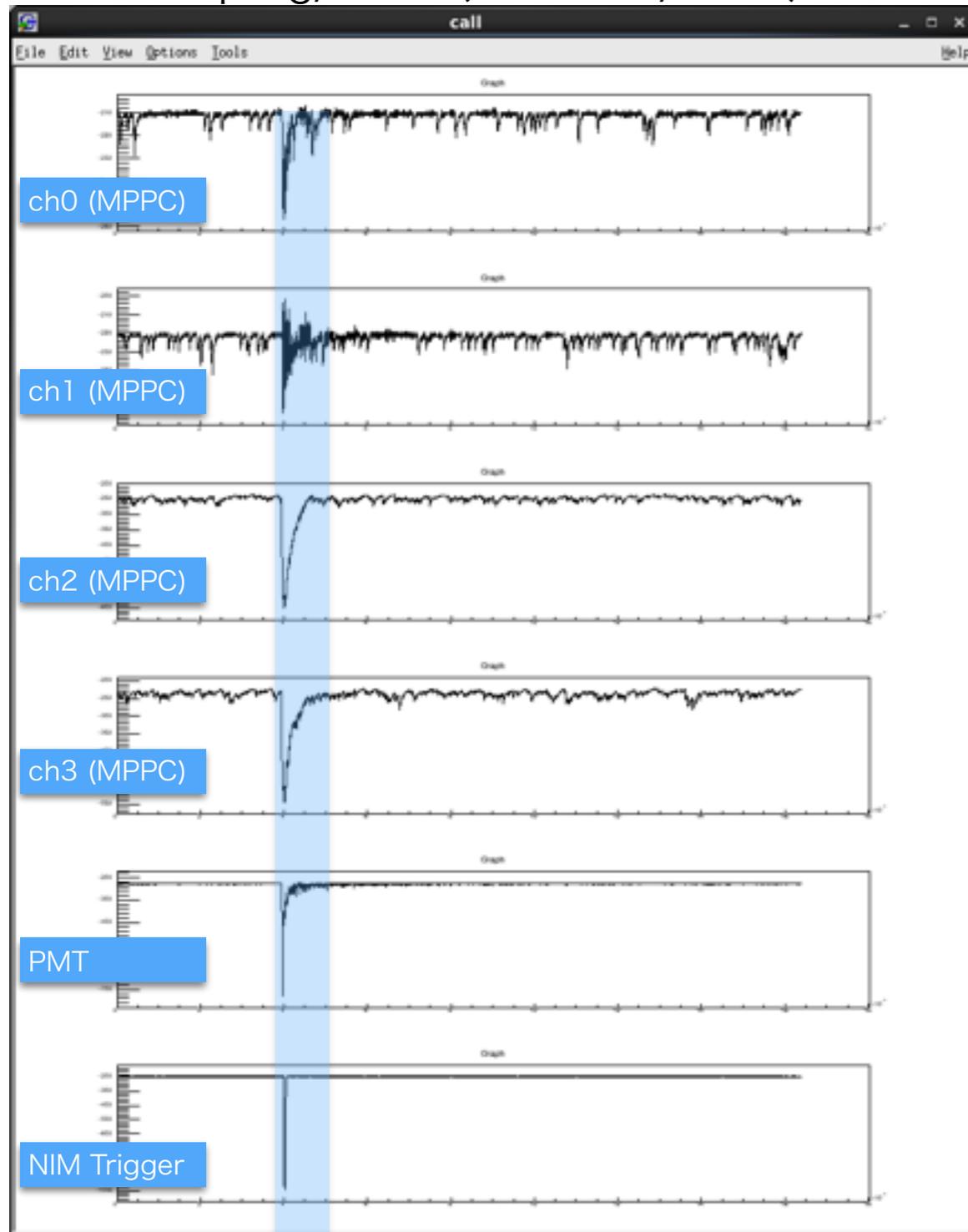
PMTに大きな信号が入ると、(恐らく)フラットケーブルを介してMPPCの信号線に大きなクロストークが乗る
-> クロストーク成分は、解析で積分すると消えることを確認

PDE measurement : Digitized signal

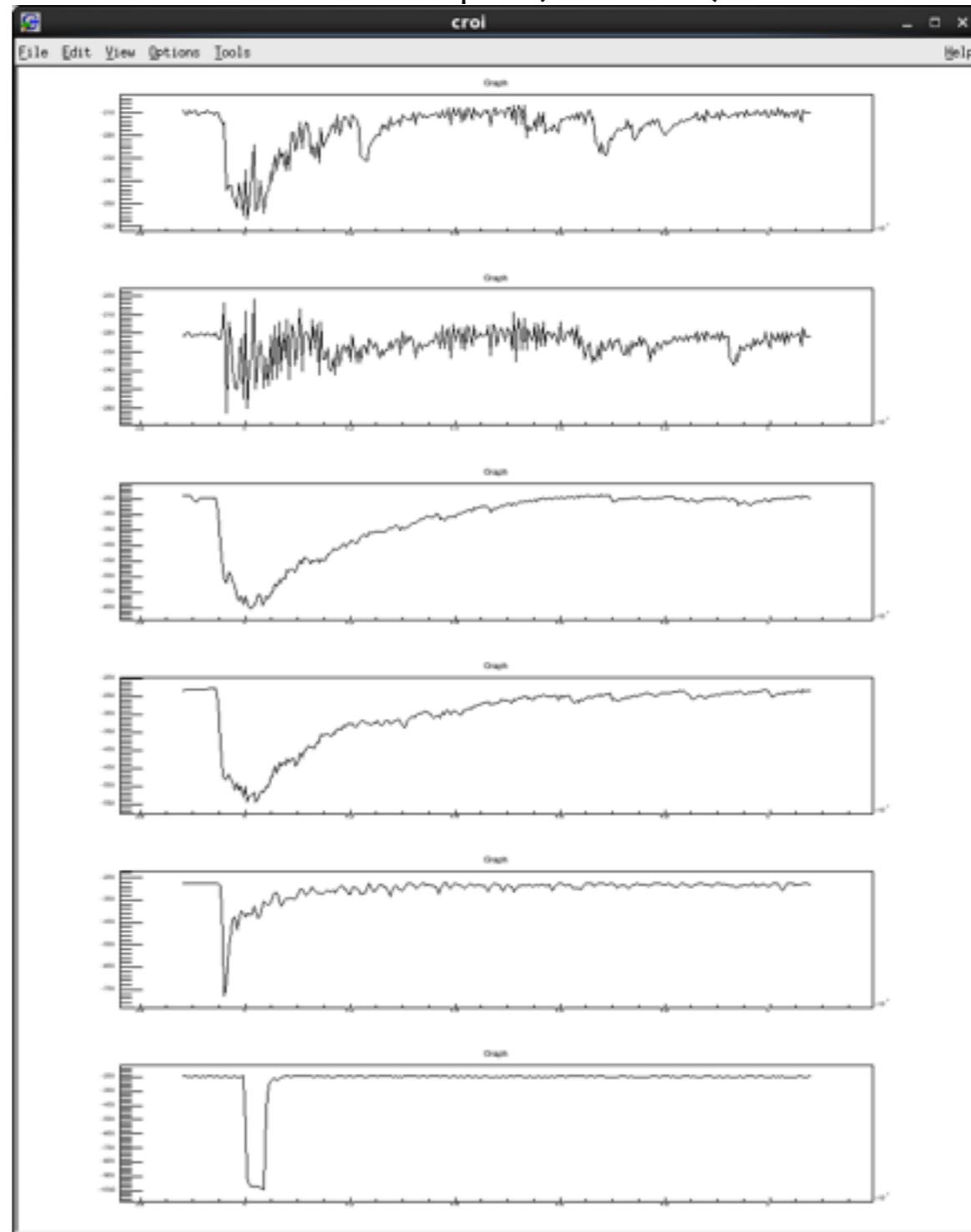
250MHzサンプリングFADCによる波形データ(左下図)

triggerの周辺をRegion of Interest(ROI)に設定し、この範囲内でシンチレーション光イベントの解析を行う(下図)

4096 sampling/event (16.384us/event)



ROI : 970 ~ 1269 sample (1200 ns)

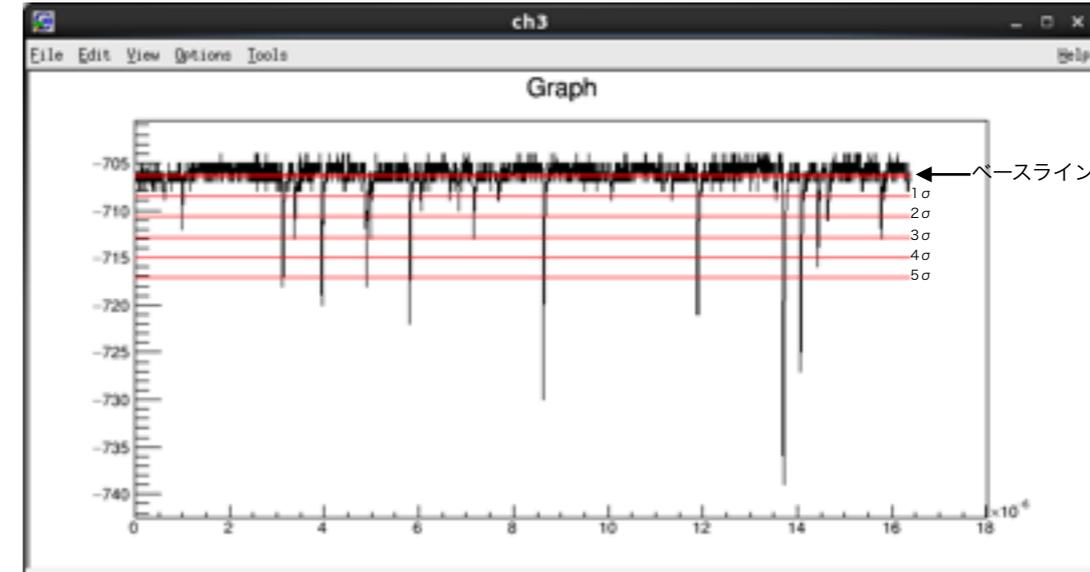


ROIを拡大

PDE measurement : Dark Current解析

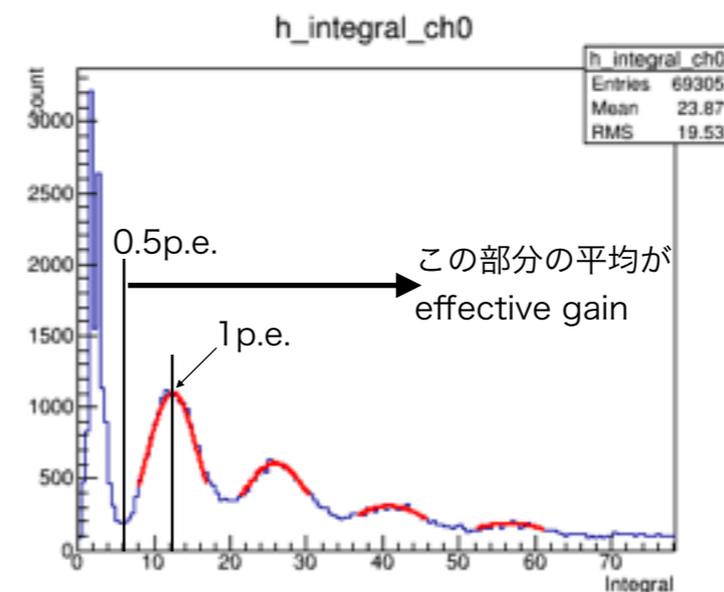
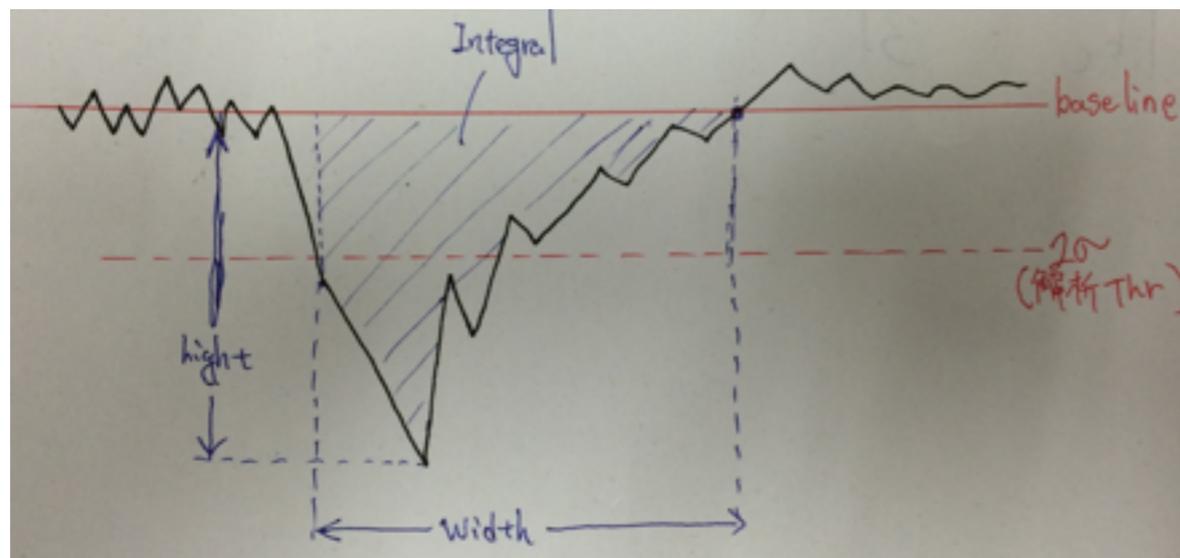
解析thresholdを決めるため、各event, 各chでベースラインを計算する

- > 各eventの全範囲(4096sample分)のfadc値の平均をベースラインとした。また、その標準偏差 σ も求めた。
- > さらに、上で求めたベースラインから 1σ 以内のfadc値だけを選び出し、平均をとる。
- > 解析Thresholdとしてベースラインから 2.0σ のレベルを設定



dark current解析内容

- ・ 設定した解析thresholdを超えたら、そこからベースラインに戻るまでの間、ベースラインとFADC値との差分を足し合わせる(積分)。
- > 得られたヒストグラムをガウシアンフィットすることで、1p.e.のピーク位置を見つけ、その半分の値(0.5p.e.)以上のデータをMPPCのダークカレントとする
- > ダークカレント (0.5p.e.以上)の積分値の平均値をeffective gainとして記録

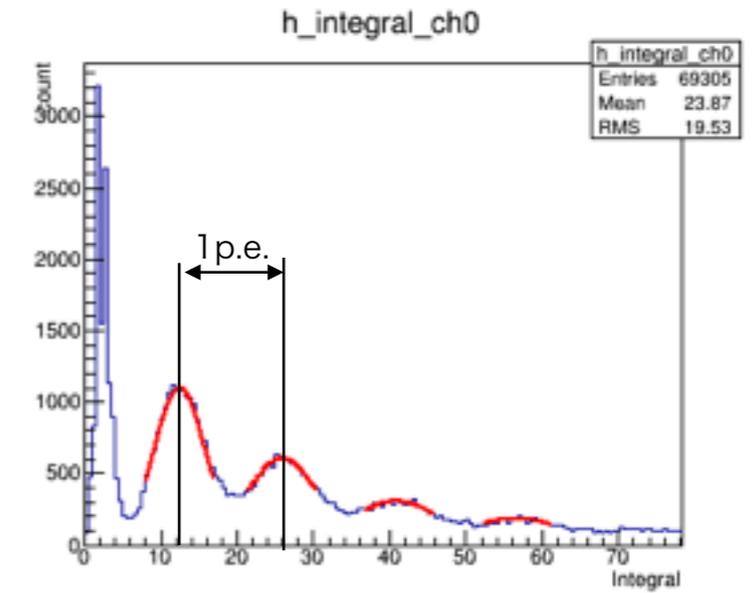


PDE measurement : Effective gainについて

MPPCに1 photonが入射したとき、出力される信号の大きさはクロストークやアフターパルスなどの影響で必ずしも1 p.e.レベルとは限らない

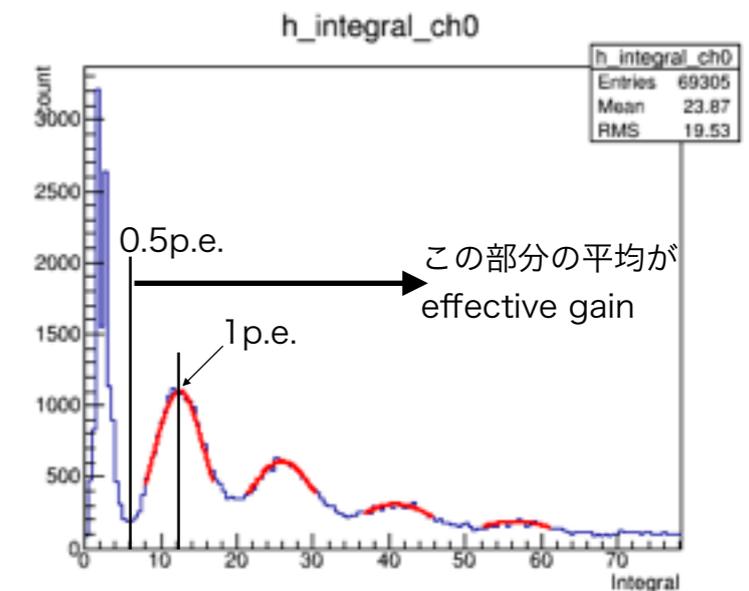
-> 2 p.e. , 3 p.e. , …… レベルの信号も出力され得る

右図のように、ADC値を積分した分布の1つ目と2つ目のピークの差を1 p.e. に対応する積分値とすると、上述のクロストーク、アフターパルスの影響を考慮できていないgainとなってしまう



そこで、我々は0.5 p.e.レベル以上の積分値の平均をとることで、1 photonが入射したときに実質何p.e.レベルの出力が得られるかという値を求める

-> これをeffective gainとする

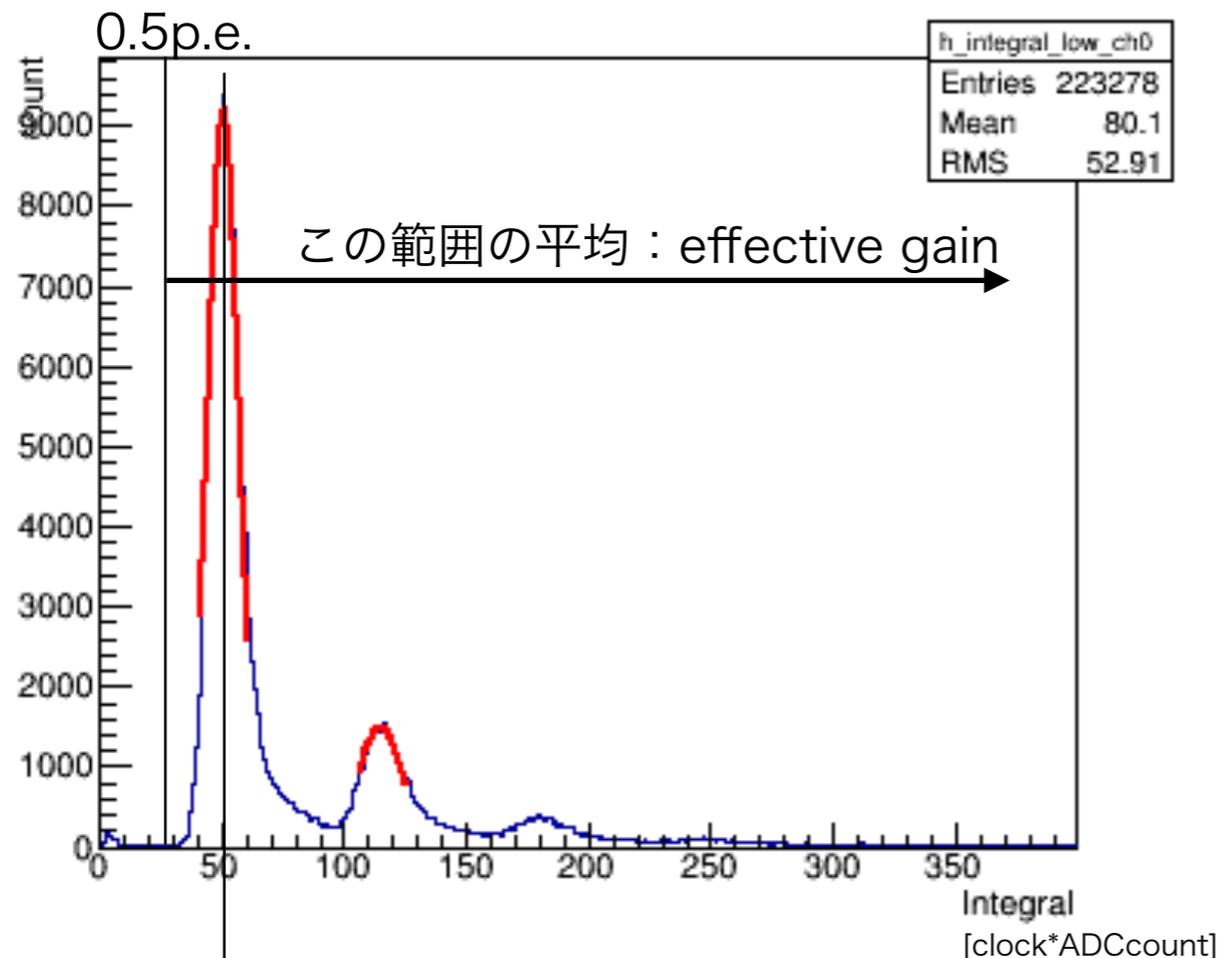


PDE measurement : Dark Current解析

Dark current解析の一例

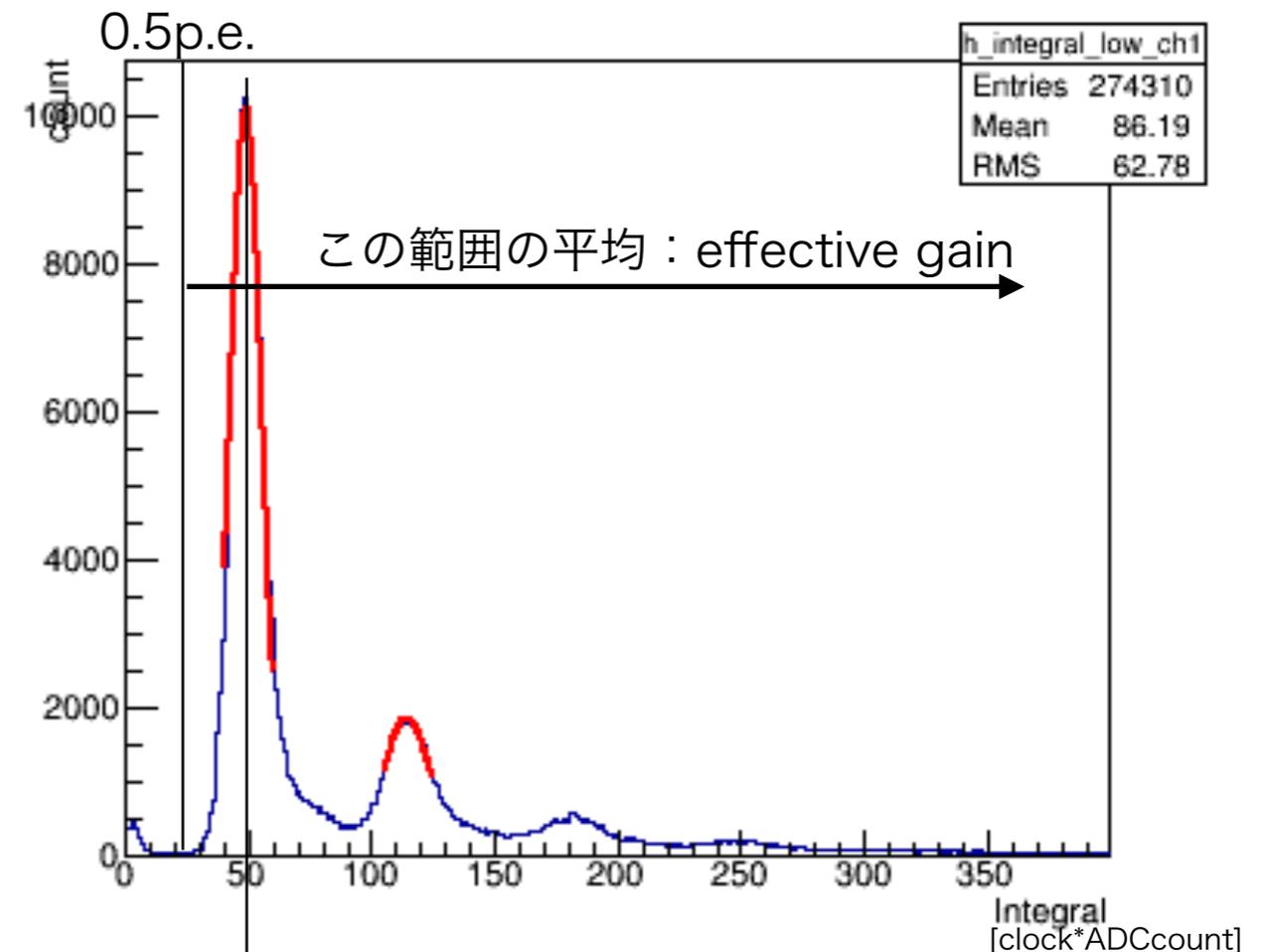
MPPCへの印加電圧57.0V

ch0



1p.e. peak : 50.774 [ADCcount · clock]
 -> 0.5p.e. : 25.387 [ADCcount · clock]
 -> effective gain : 81.26 [ADCcount · clock]
 増幅度 : $\sim 4.06E+06$

ch1



1p.e. peak : 49.071 [ADCcount · clock]
 -> 0.5p.e. : 24.536 [ADCcount · clock]
 -> effective gain : 89.53 [ADCcount · clock]
 増幅度 : $\sim 4.48E+06$

PDE measurement : Dark Current解析

Bias Voltage vs. effective gainをプロットし、1次関数でフィッティング
 -> effective gainが0となるときのBias VoltageをBrakedown voltageとした

Fitting結果

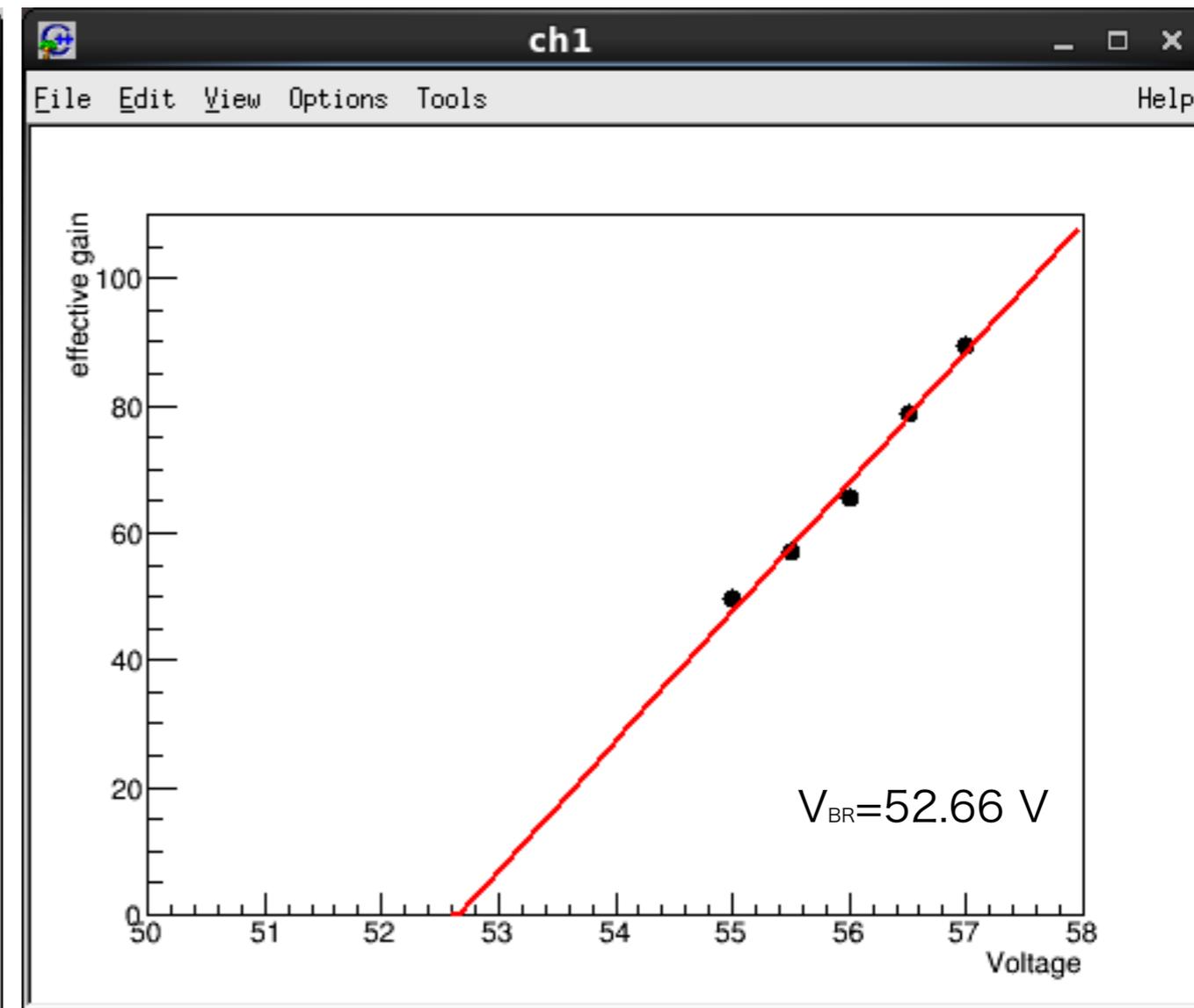
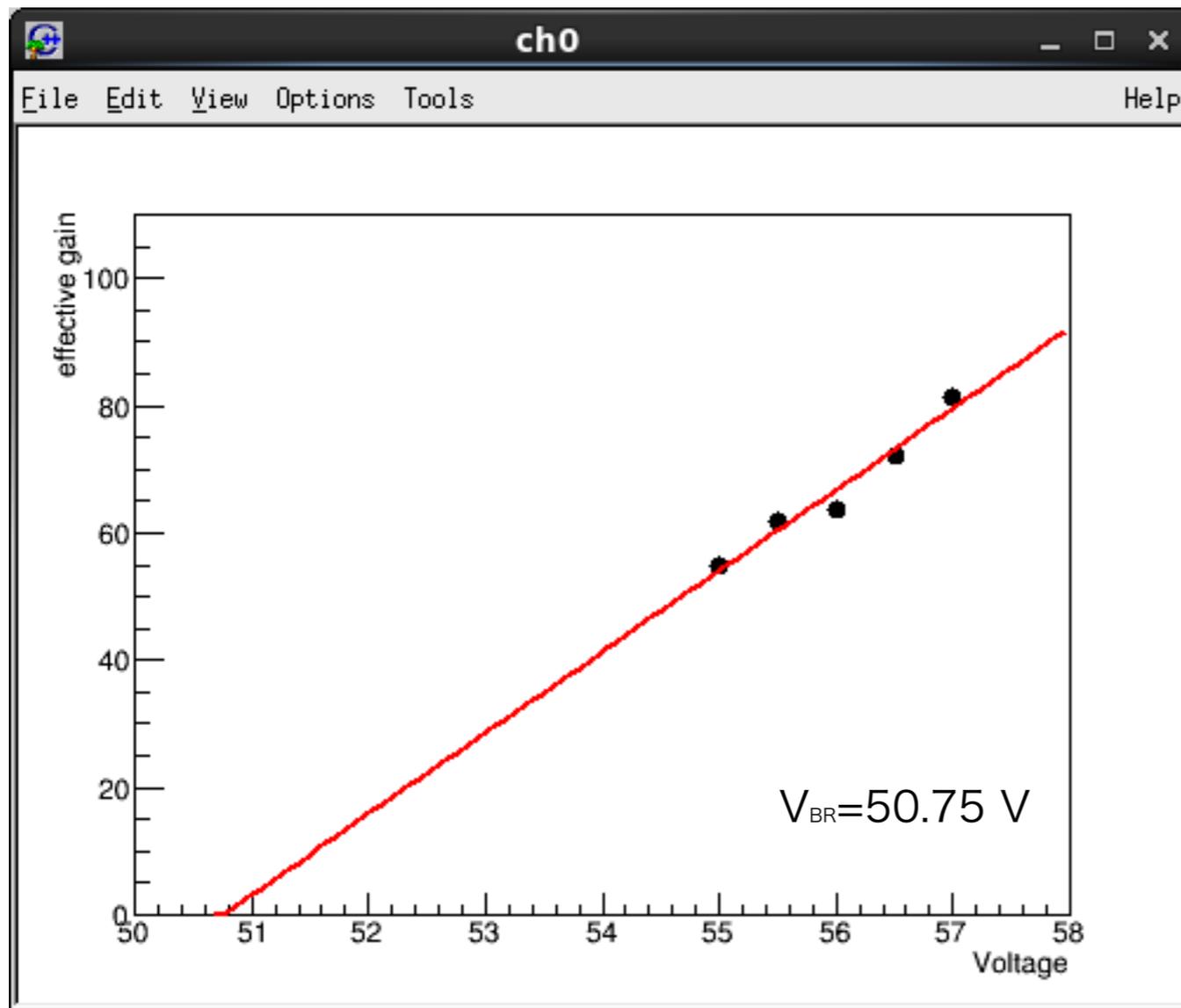
$$\text{ch0 : (Eff_gain)} = 12.72 * V - 645.38$$

$$\text{ch1 : (Eff_gain)} = 20.35 * V - 1071.6$$

スペックシート記載の値

$$\text{ch0 : } V_{op} = 55.18 \text{ V}$$

$$\text{ch1 : } V_{op} = 54.99 \text{ V}$$



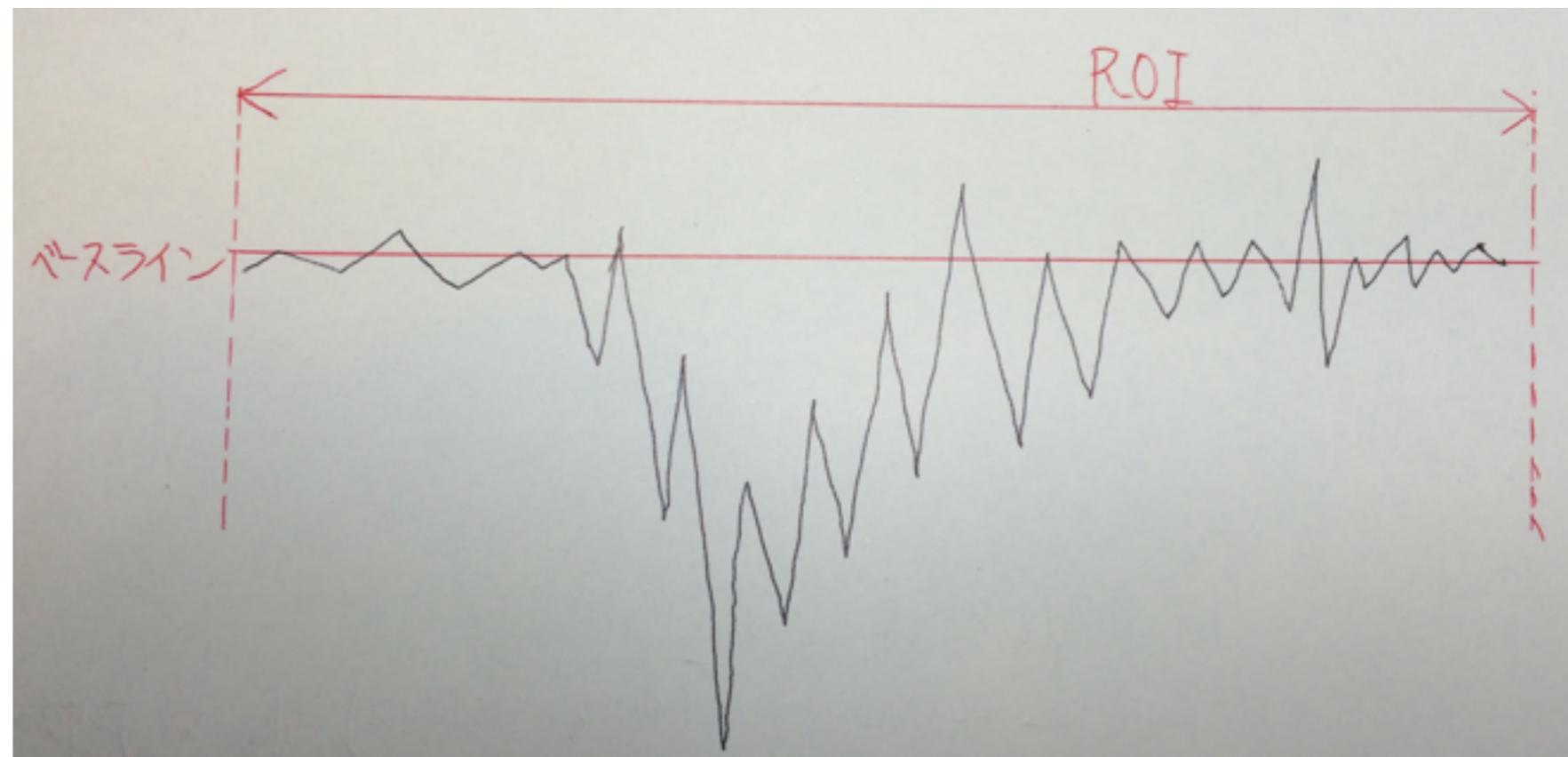
PDE measurement : Scintillation light解析

解析内容(MPPC, PMT共通)

baselineは1270clock~4095clock(ROIの後ろ)のFADC値の平均として求める。

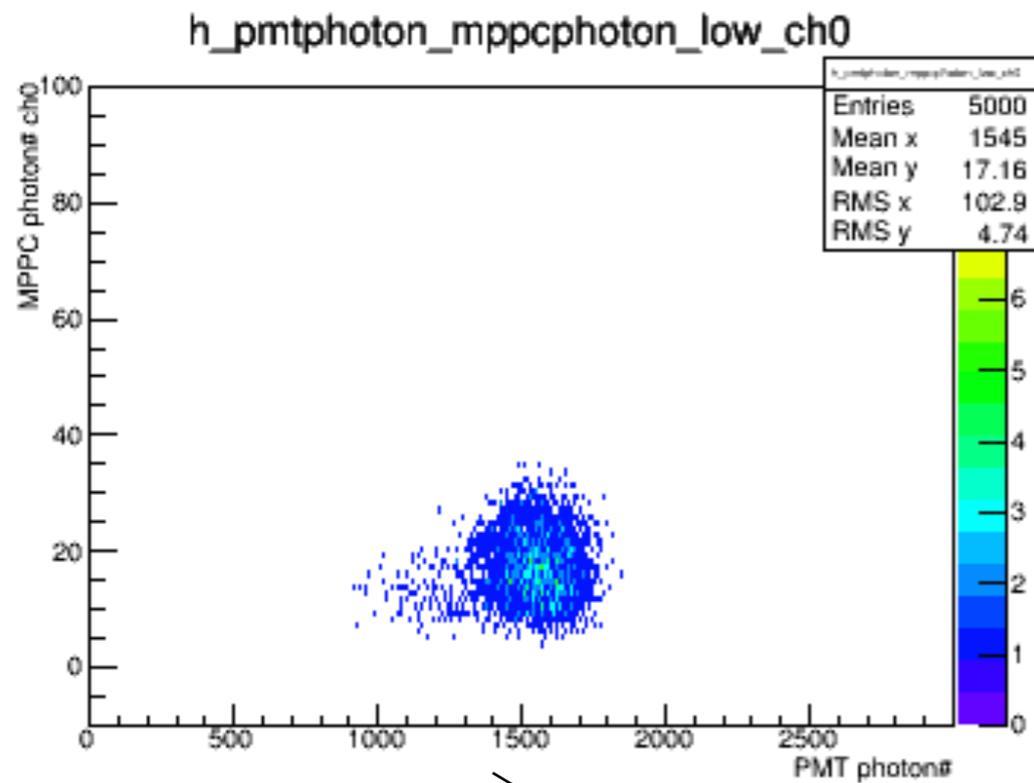
MPPCの信号は、前述のノイズ(PMTの信号によるクロストーク)の影響を差し引くために、ROIの全範囲内でFADC値とベースラインとの差を求め、全て足し合わせる。(ROIの範囲内全てにおいて積分する)
-> 得られた積分値を各MPPCのeffective gainで割ることで検出光子数を算出する。

PMTについても同様に積分することで検出光子数を求める

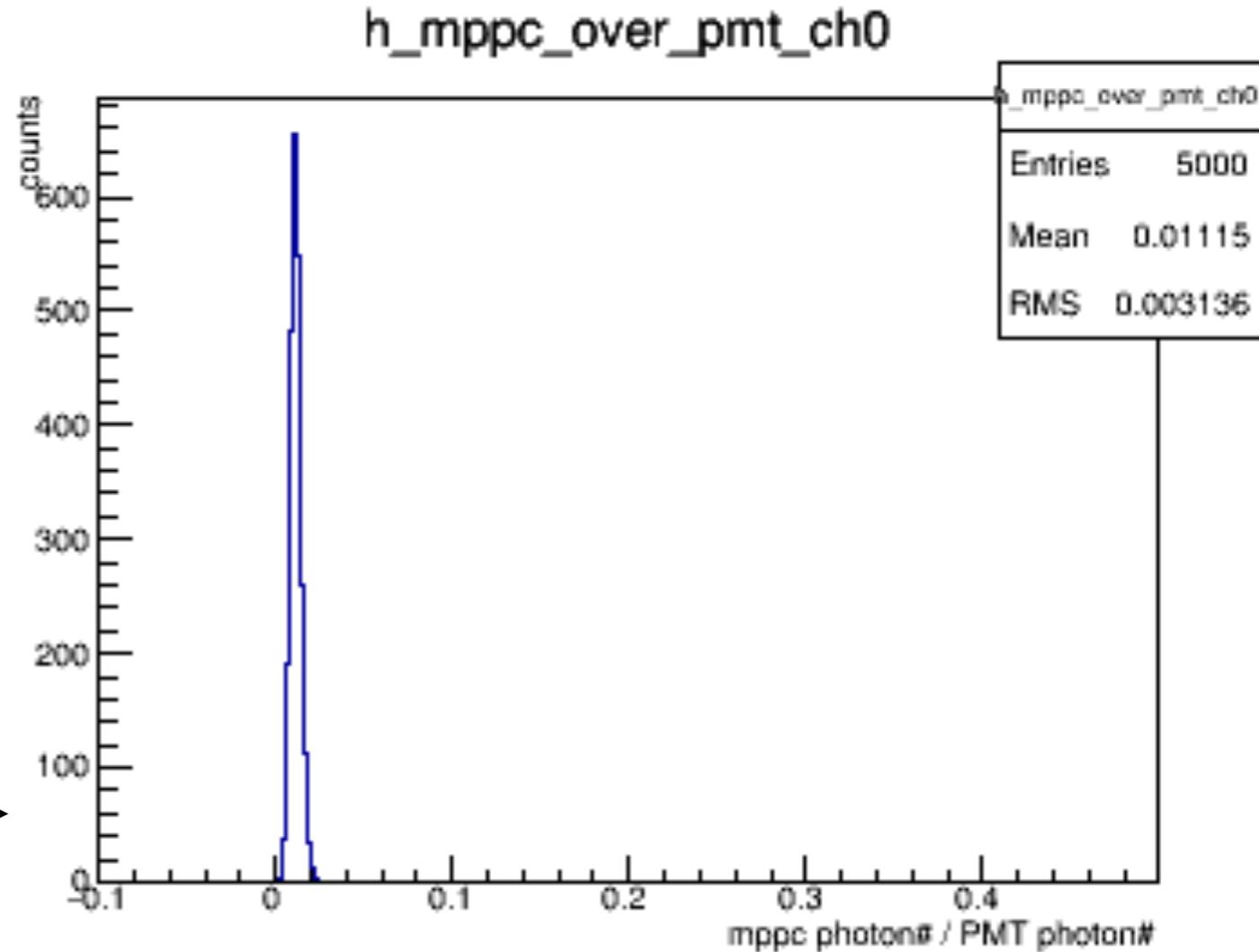


PDE measurement : Scintillation light解析

MPPC ch0 (57.0V)



各点毎(各event毎)に
MPPCの検出光子数/PMTの検出光子数
を求め、ヒストグラムにつめる



-> この値の平均値を次頁の「測定値」とする

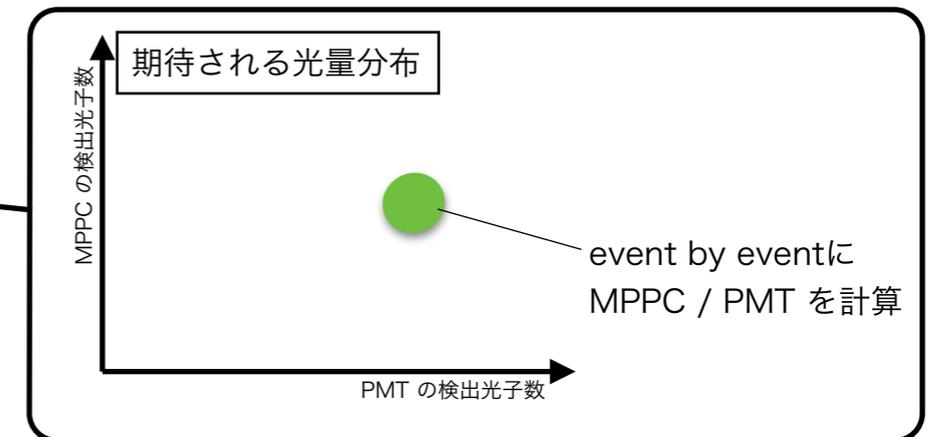
PDE measurement : PDE算出方法

- PMTの検出光子数 = 全シンチレーション光子数 * PMT方向の立体角割合 * QE
- MPPCの検出光子数 = 全シンチレーション光子数 * MPPC方向の立体角割合 * PDE
- MPPCの検出光子数/PMTの検出光子数 = 測定値

より、

$$\text{PDE} = \text{測定値} * (\text{PMT立体角} / \text{MPPC立体角}) * \text{QE}$$

でMPPCのPDEを求めることができる



PDE measurement : X-talk & after pulse

Dark current measurement runのときのデータに対して、次の3通りでcrosstalk & afterpulse ratioを求める

1. (1.5 p.e. threshold dark current) / (0.5 p.e. threshold dark current)
2. (2 p.e.ピークのentry数) / (1 p.e. ピークのentry数)
3. (1.8 p.e. threshold dark current) / (0.5 p.e. threshold dark current)

2の方法についての補足：

Crosstalkが起こる確率を p とし、総dark current数を N とする。

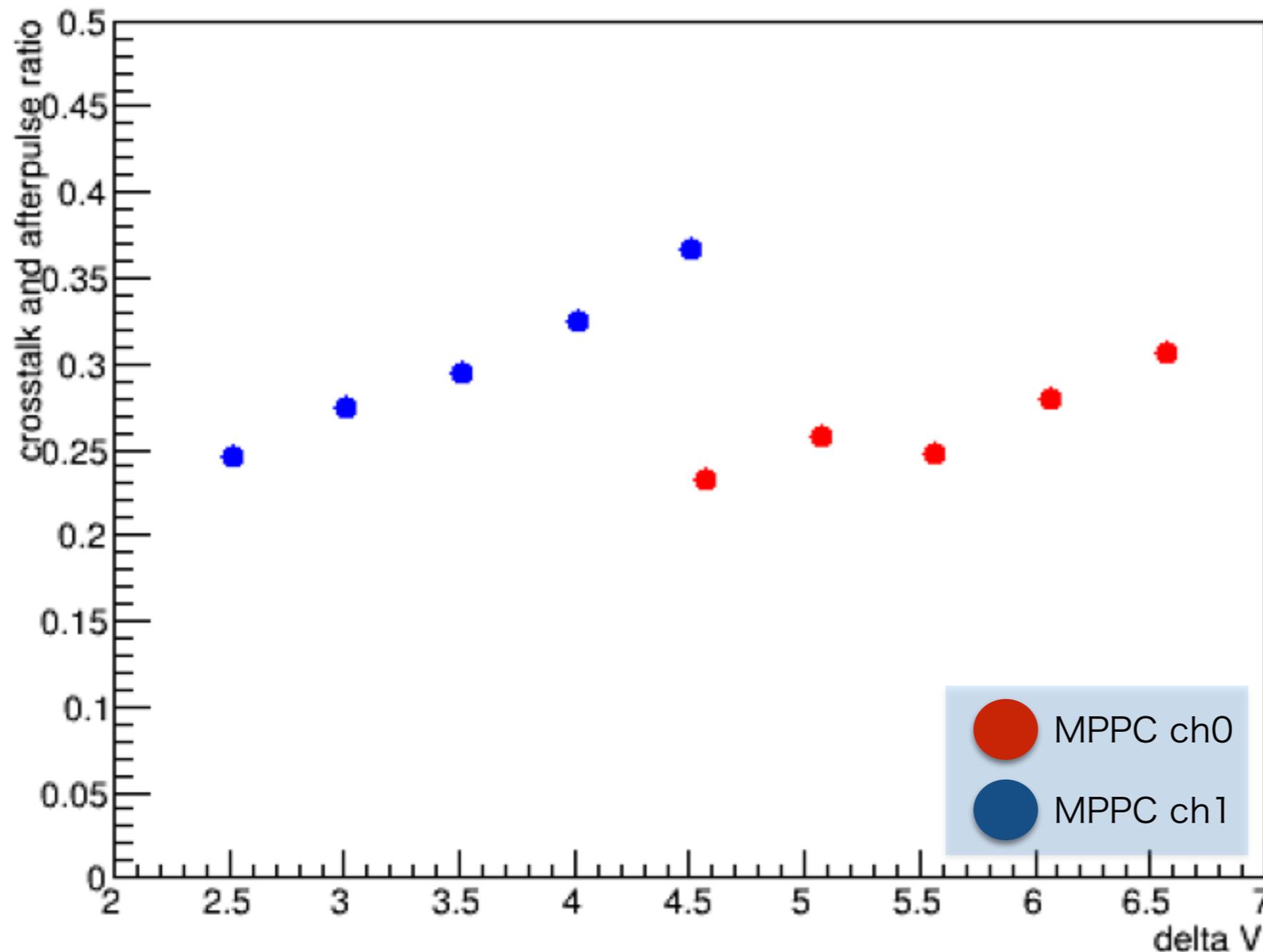
1 p.e. レベルの信号数は $N1 = N * (1-p)$ <- crosstalk が起こらないとき

2 p.e. レベルの信号数は $N2 = Np * (1-p)$ <- 1回crosstalkが起こり(Np)、2回crosstalkが起こらない($1-p$)とき

したがって、 $N1/N2 = p$ となり、crosstalk ratioが求まる

PDE measurement : X-talk & after pulse

1. (1.5 p.e. threshold dark current) / (0.5 p.e. threshold dark current)



(測定したMPPC)

Type No : 3x3MM-50UM VUV3

- . ch0

Serial No. : A0014

Vop=55.18 V

- . ch1

Serial No. : A0015

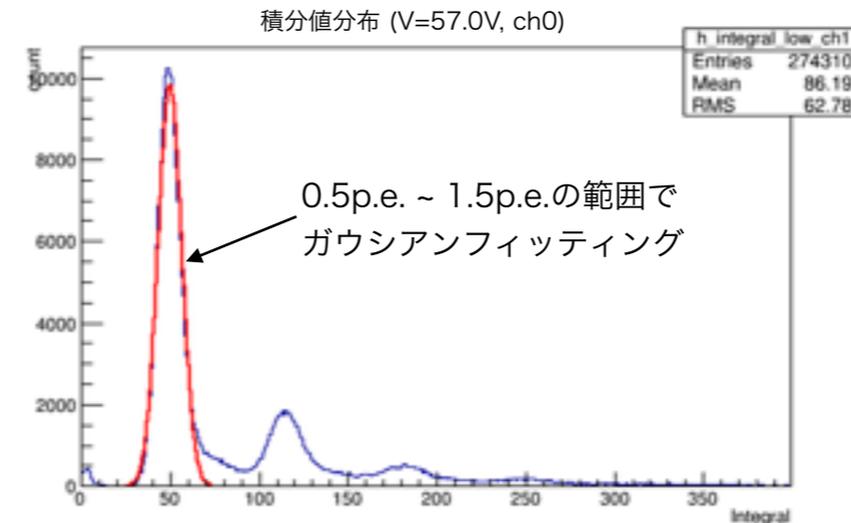
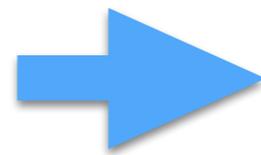
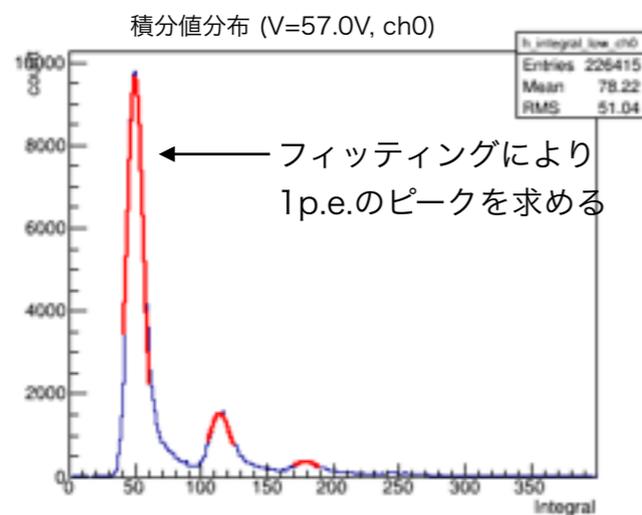
Vop=54.99 V

ΔV はeffective gainをつかって求めた
V_{BR}より算出

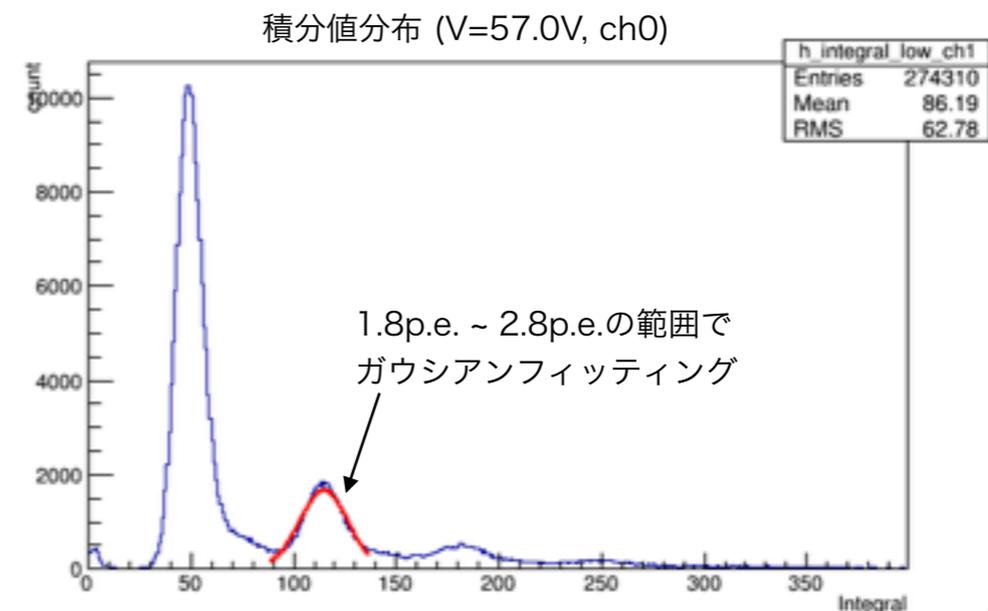
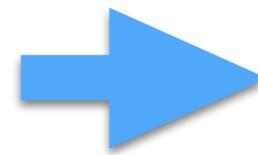
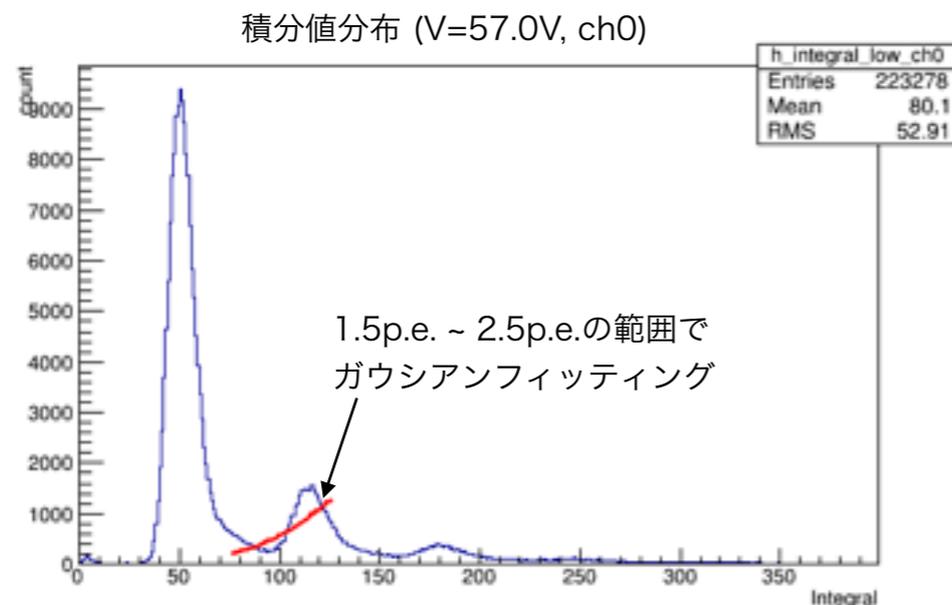
PDE measurement : X-talk & after pulse

2. (2 p.e.ピークのentry数) / (1 p.e. ピークのentry数)

- Entry数について：各ピークをガウシアンでフィッティングした後、その面積を求めることでEntry数とした
- 1 p.e. ピークの範囲について：1p.e.イベントのピークをフィッティングによって求めた後、0.5p.e. ~ 1.5 p.e. とした

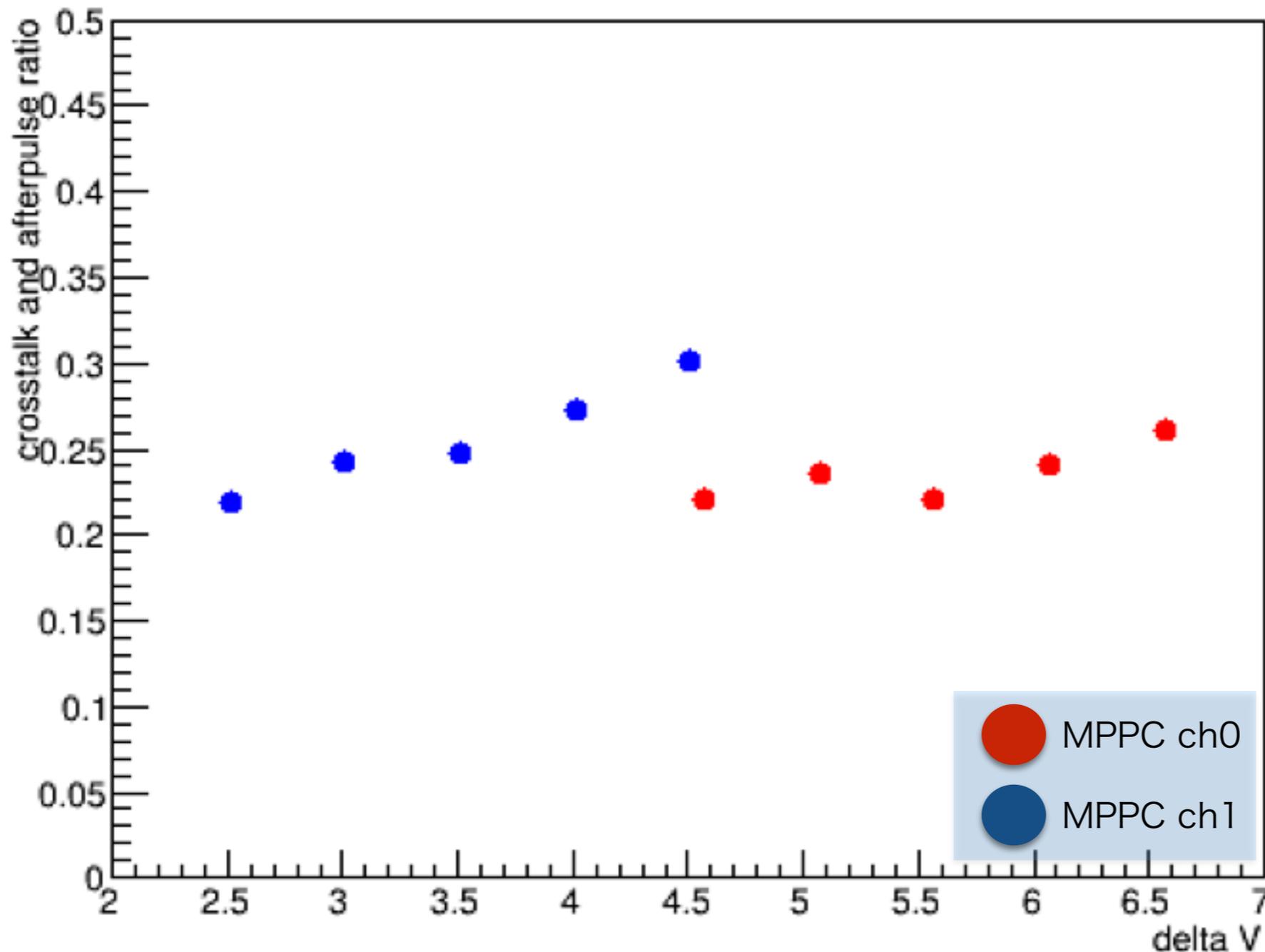


- 2 p.e. ピークの範囲について：1.5p.e. ~ 2.5 p.e. にしようとしたところ、フィッティングに失敗
-> 1.8 p.e. ~ 2.8 p.e. に設定した



PDE measurement : X-talk & after pulse

2. (2 p.e.ピークのentry数) / (1 p.e. ピークのentry数)



(測定したMPPC)

Type No : 3x3MM-50UM VUV3

- . ch0

Serial No. : A0014

Vop=55.18 V

- . ch1

Serial No. : A0015

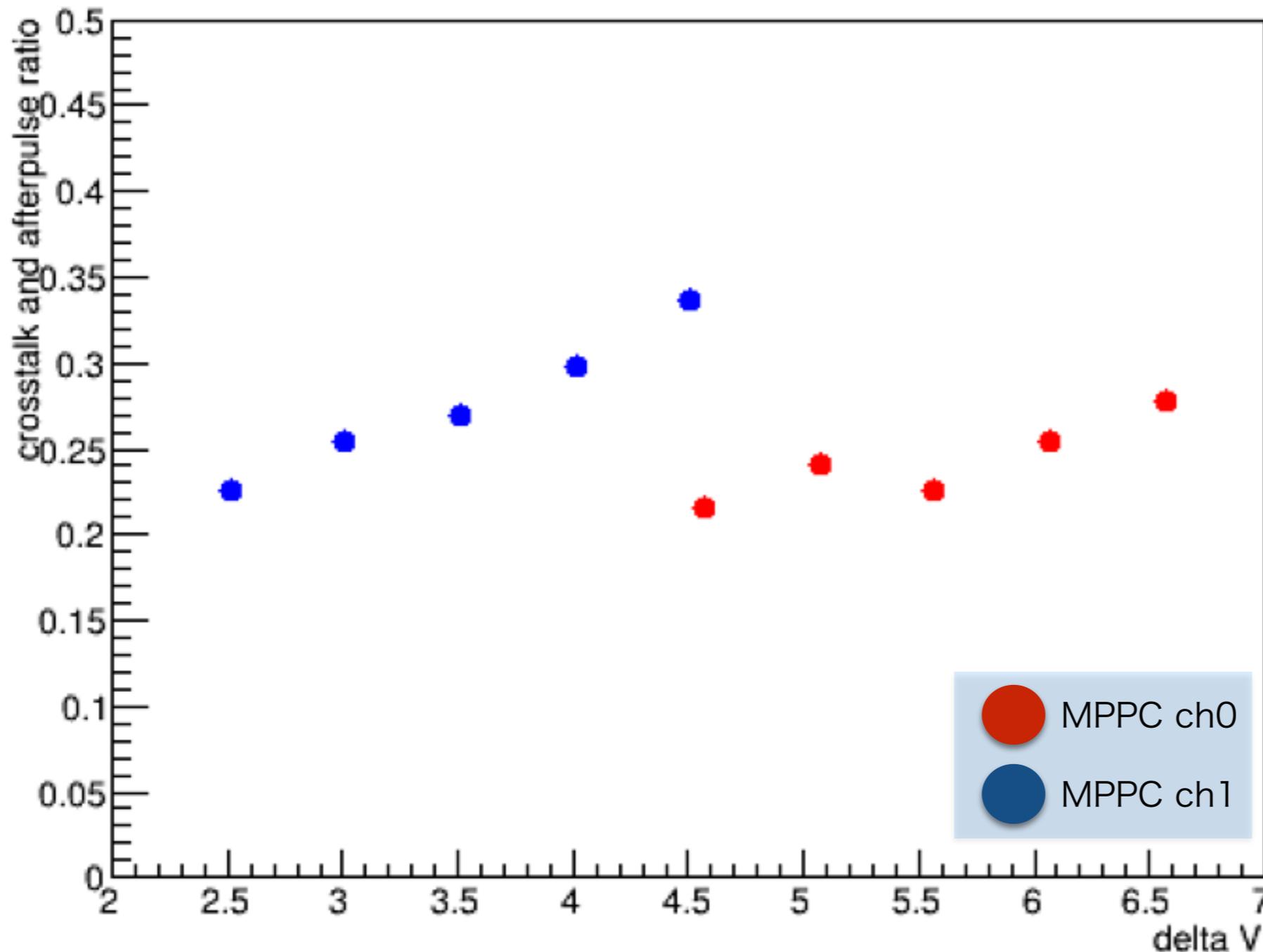
Vop=54.99 V

ΔV はeffective gainをつかって求めた
V_{BR}より算出

PDE measurement : X-talk & after pulse

3. (1.8 p.e. threshold dark current) / (0.5 p.e. threshold dark current)

2の方法(各ピークのentry数の比較)と条件を揃えるため、2 p.e.以上のイベントのthresholdを1.8 p.e.に設定



(測定したMPPC)

Type No : 3x3MM-50UM VUV3

- ch0

Serial No. : A0014

Vop=55.18 V

- ch1

Serial No. : A0015

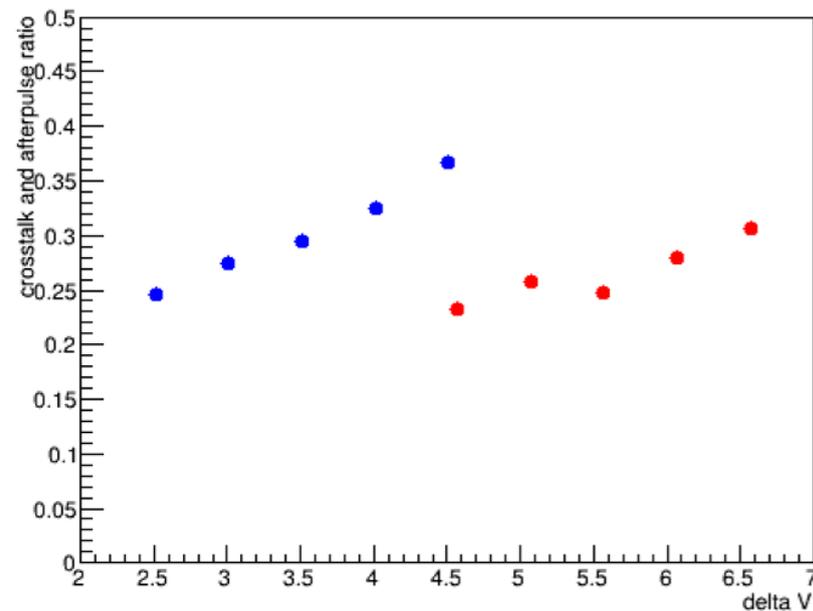
Vop=54.99 V

ΔV はeffective gainをつかって求めた
V_{BR}より算出

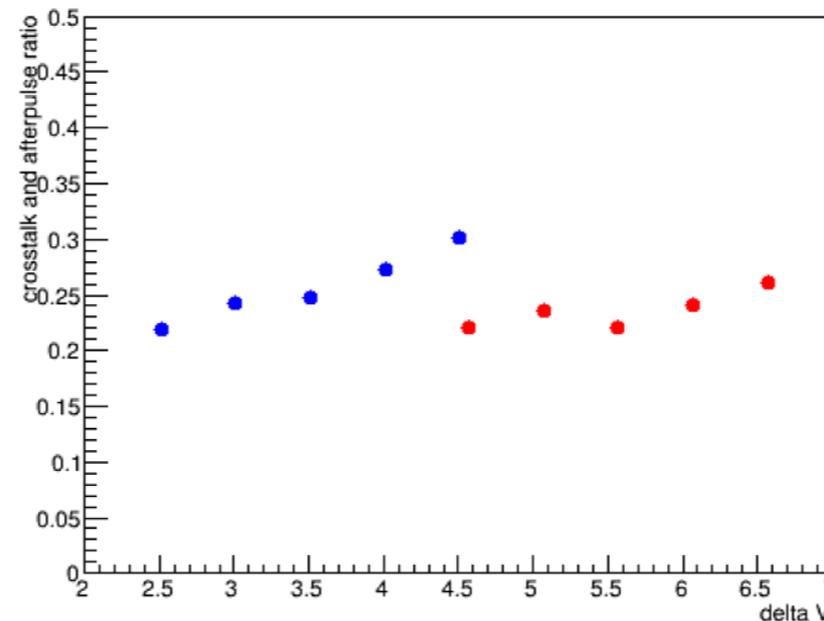
PDE measurement : X-talk & after pulse

3手法の比較

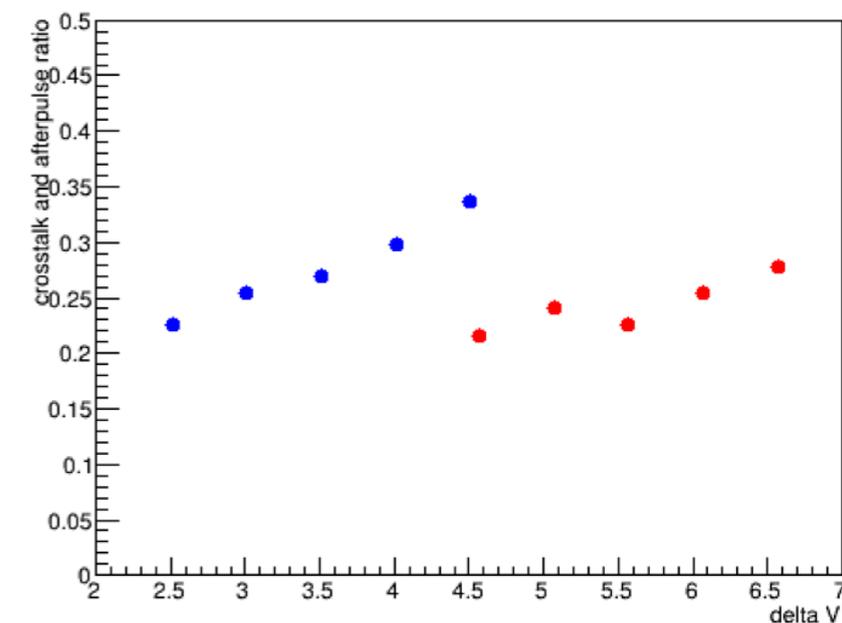
1. (1.5 p.e. threshold dark current) / (0.5 p.e. threshold dark current)



2. (2 p.e.ピークのentry数) / (1 p.e. ピークのentry数)



3. (1.8 p.e. threshold dark current) / (0.5 p.e. threshold dark current)



- いずれの方法もCrosstalk and Afterpulse ratioが ΔV と共に上昇する傾向が見られた
- 1の手法(1.5p.e. thr / 0.5p.e. thr)はやや大きめの値がでた
- 2と3の手法は、 ΔV が低いところではほとんど同じ値となった
 ΔV が高いところでは3の手法の方がcrosstalk & afterpulse ratioは大きくなった

PDE measurement : Null test

MPPCへのBias Voltageをかけない状態
(PMTの信号によるクロストークだけの状態)
でデータをとる

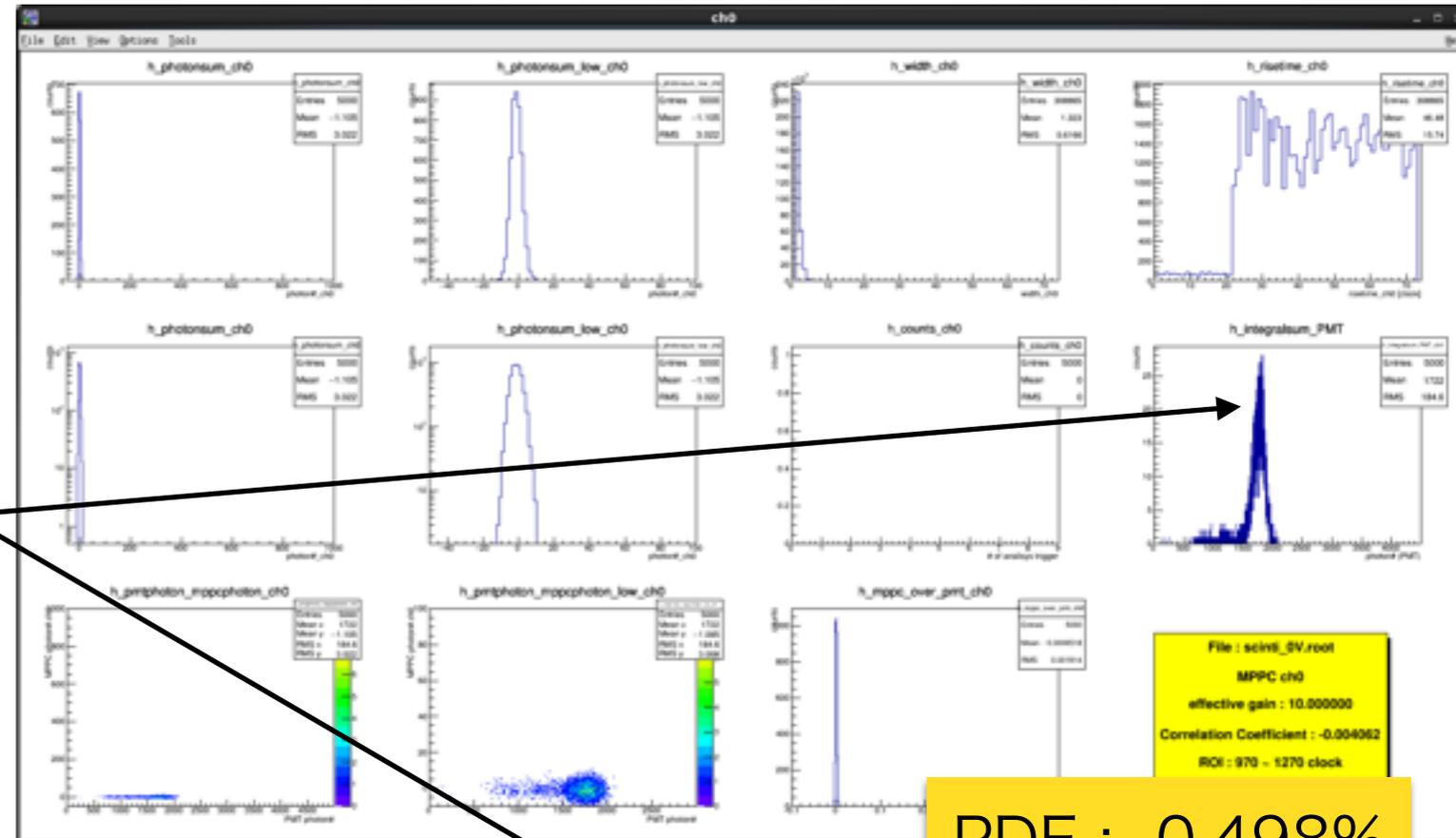
TriggerはPMT×0.5(Dividerによる)の信号に対して
-400mVと設定

-> Photon分布が他の測定のとおりと同じような場所
でピークになっている

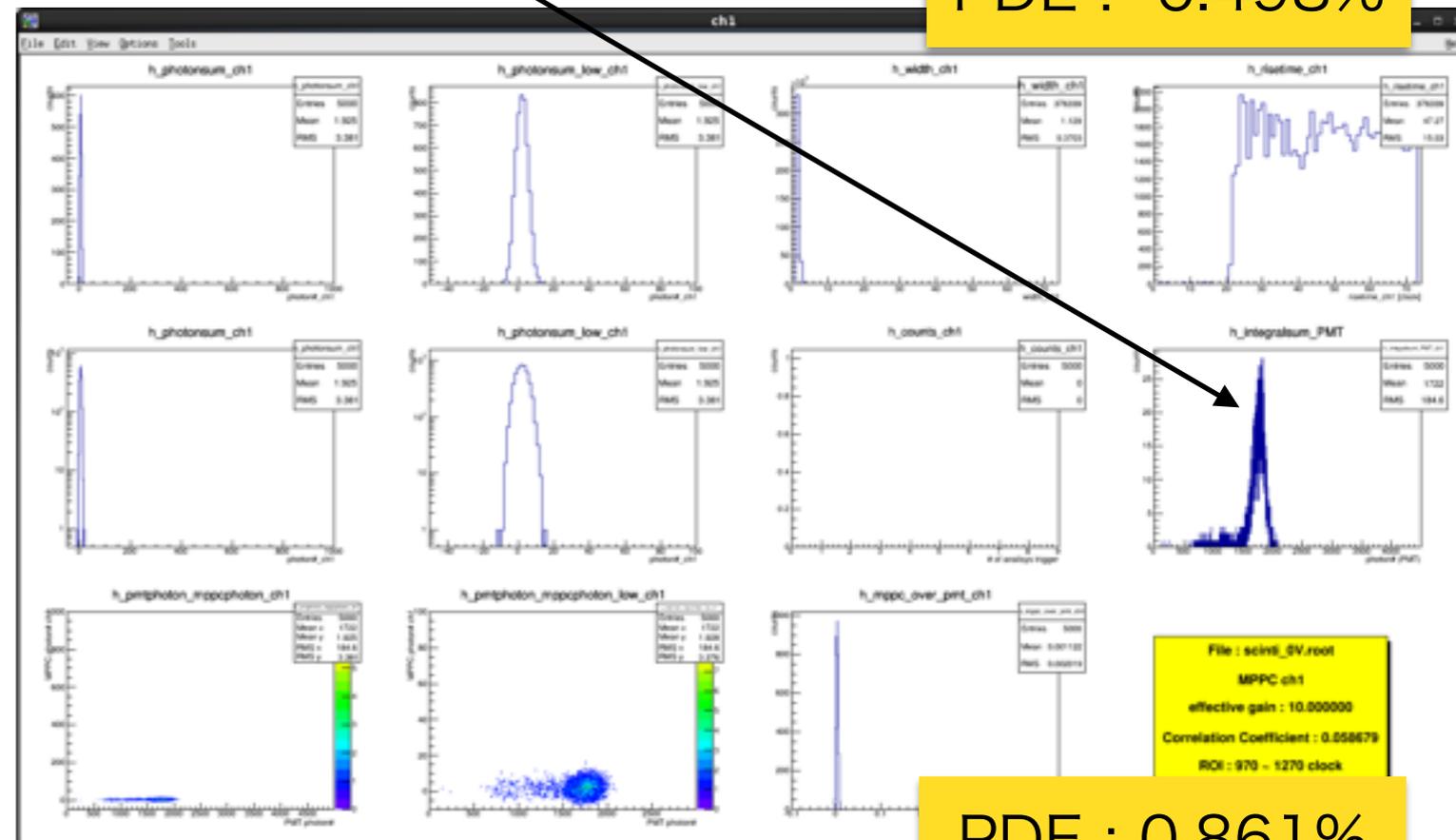
-> Dark Currentではなく、シンチレーション光を
見ている

PDEは~0%となった

-> 今まで出ていたPDEはノイズによるものではない

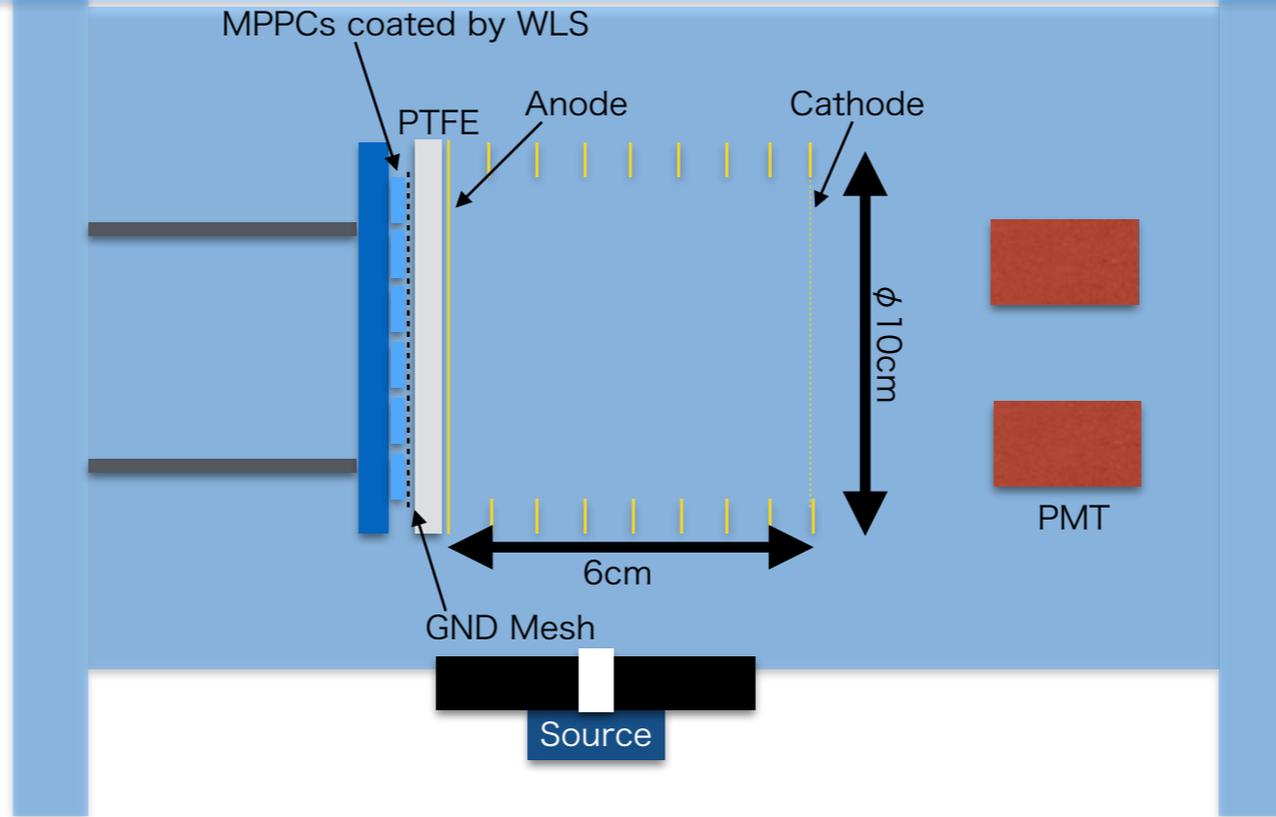


PDE : -0.498%

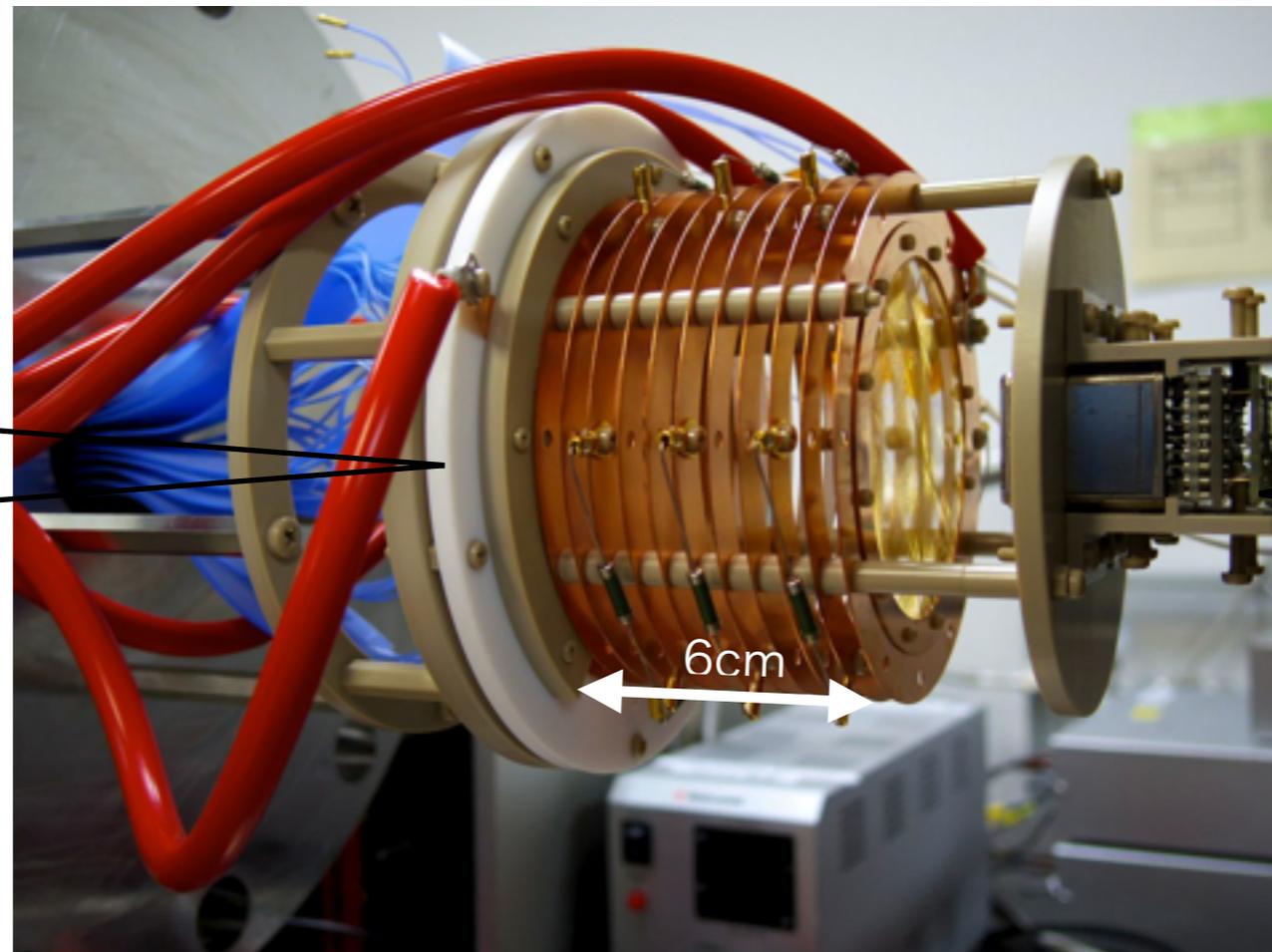
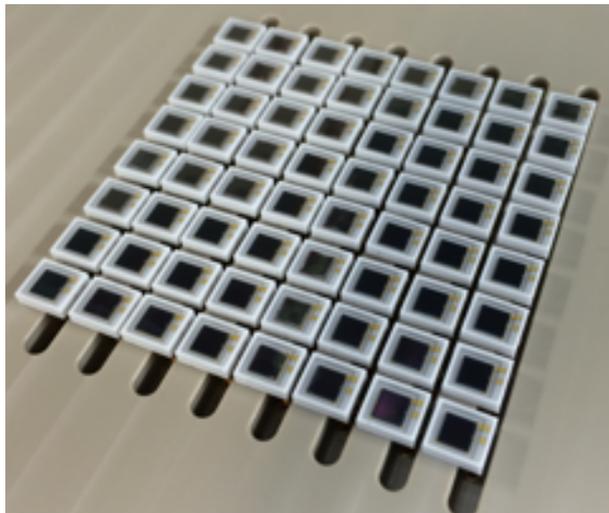
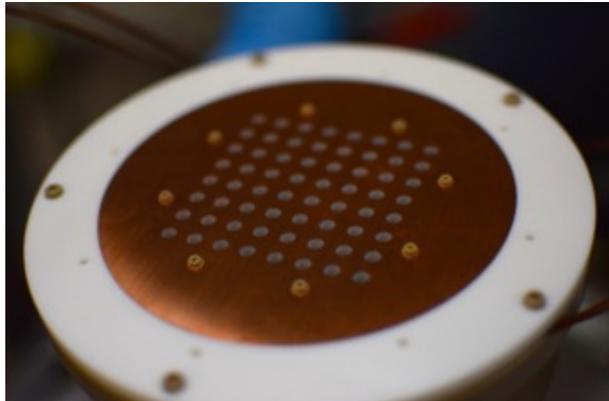


PDE : 0.861%

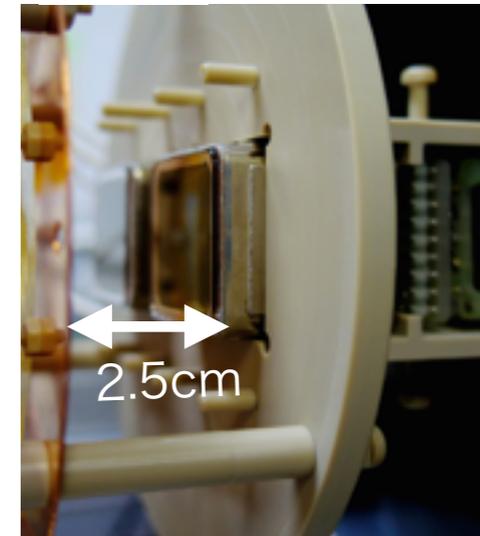
Prototype Chamber



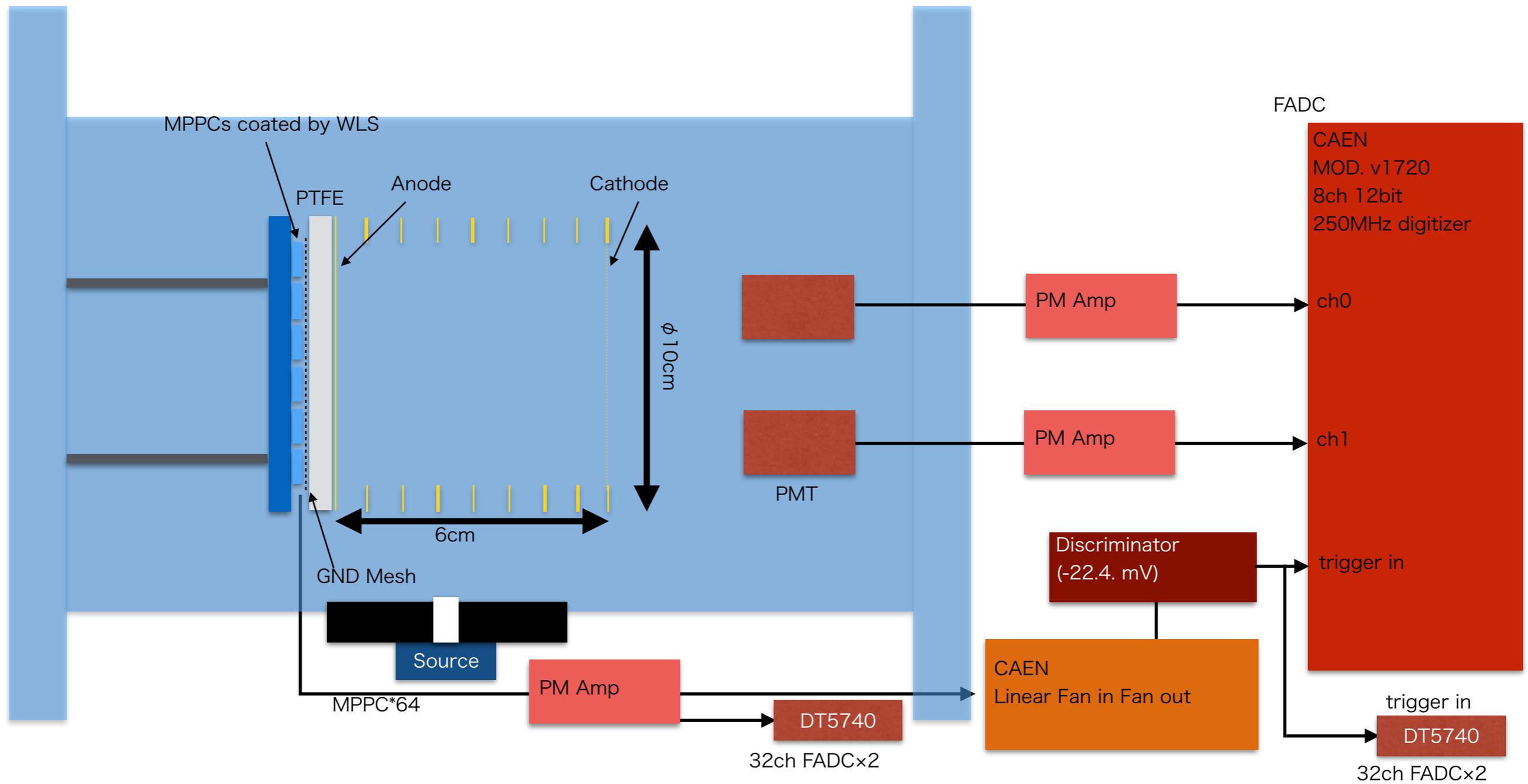
ELCC



PMT



Prototype Chamber



Prototype Chamber : Conditions

WLS sheet

Setup

Gas

Xe : 3.9 atm (reuse)

High Voltage

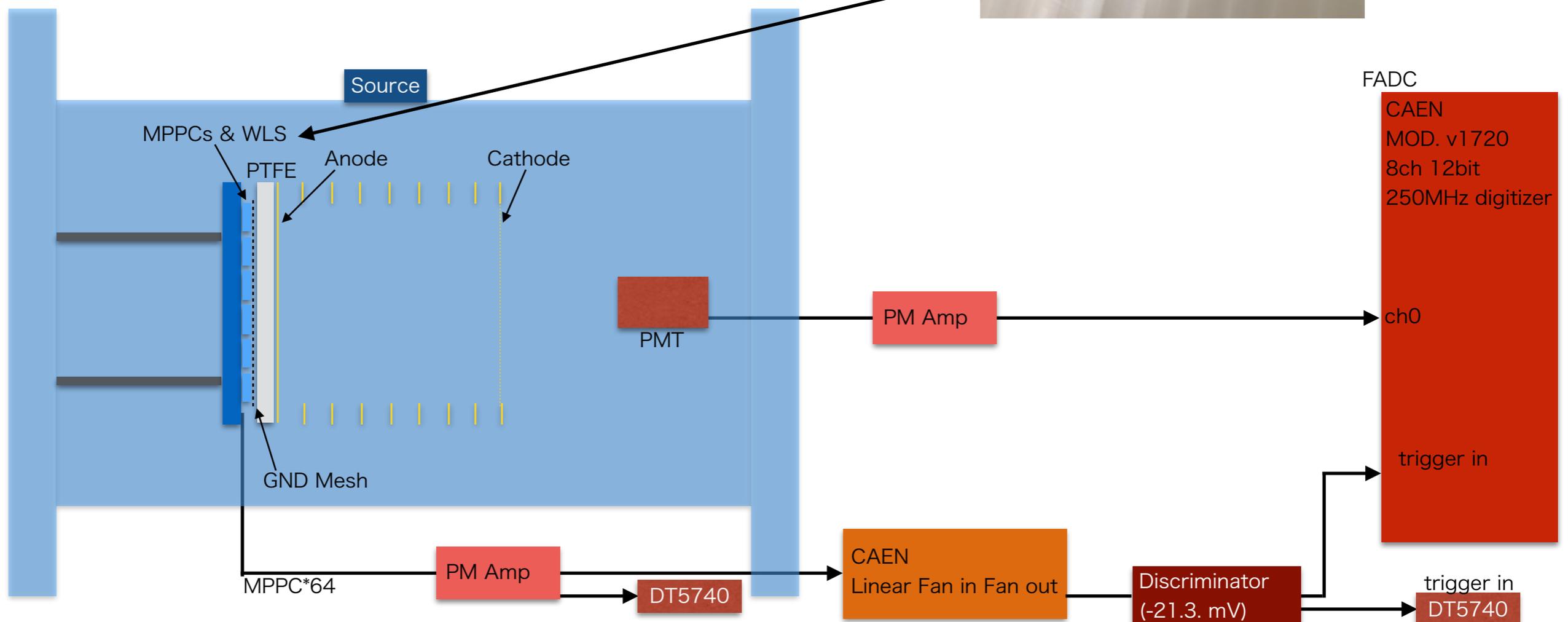
- Cathode : -6.0 kV
- Anode : -4.8 kV
- PMT : -800 V
- MPPC : -68.0 V (all ch)

Recode length

- DT5740_1 : 2001 samples (~32 us)
- DT5740_2 : 2001 samples
- v1720 : 20000 samples (200 us)

Source

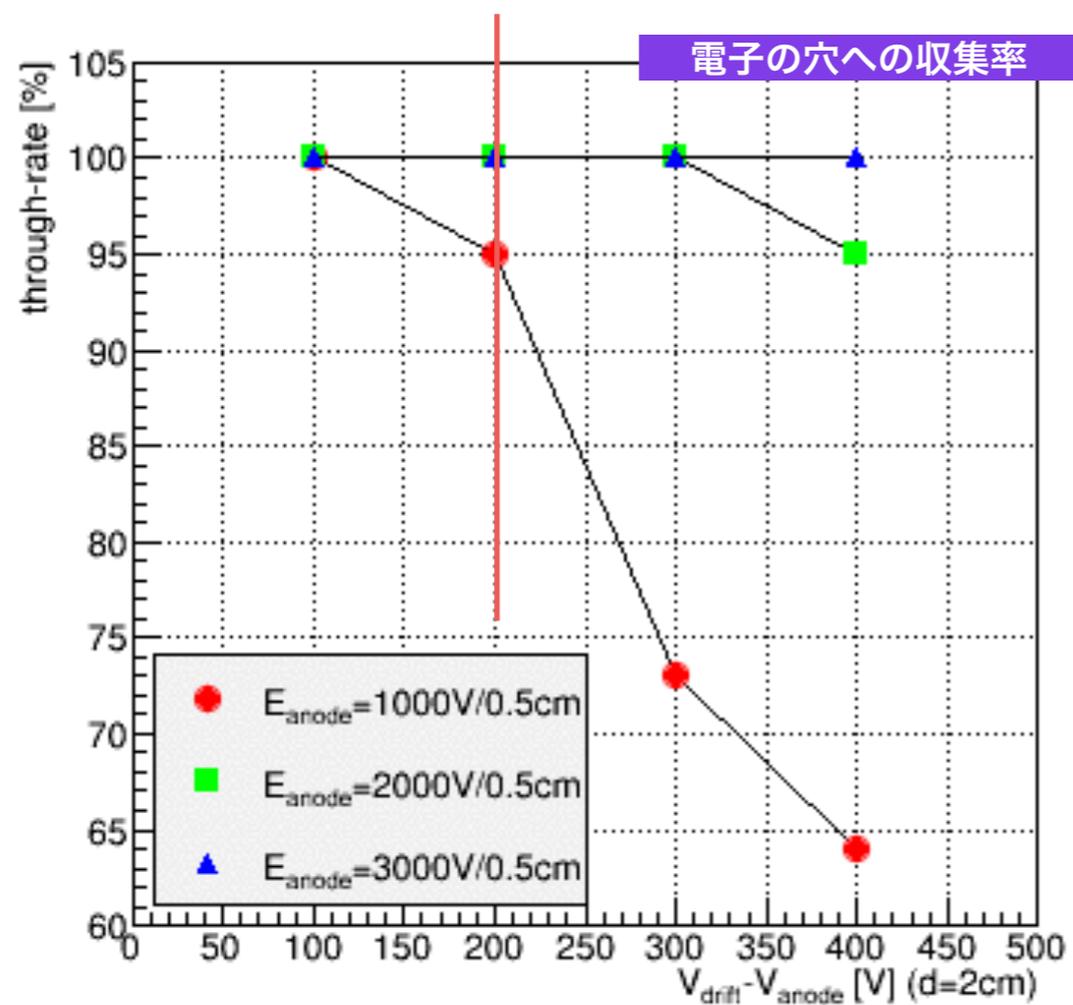
- per11 : ^{57}Co & ^{137}Cs
- per12 : ^{57}Co



Prototype Chamber : 収集効率

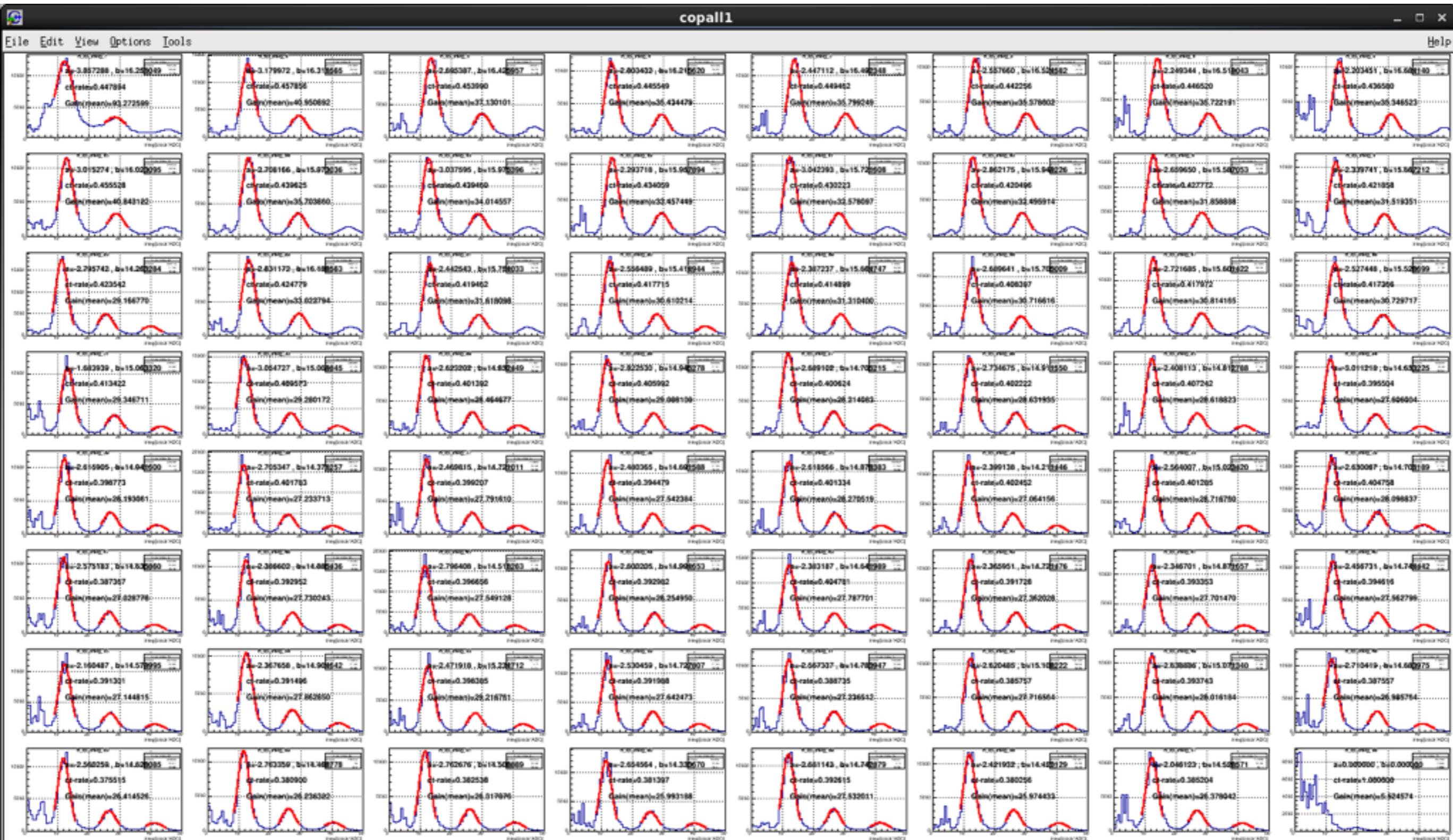
WLS sheet

Cathode : 6.0 kV
 Anode : 4.8 kV \longrightarrow $E_{\text{anode}} = 4800\text{V}/0.5\text{cm}$
 $E_{\text{drift}} = 200\text{V}/\text{cm}$

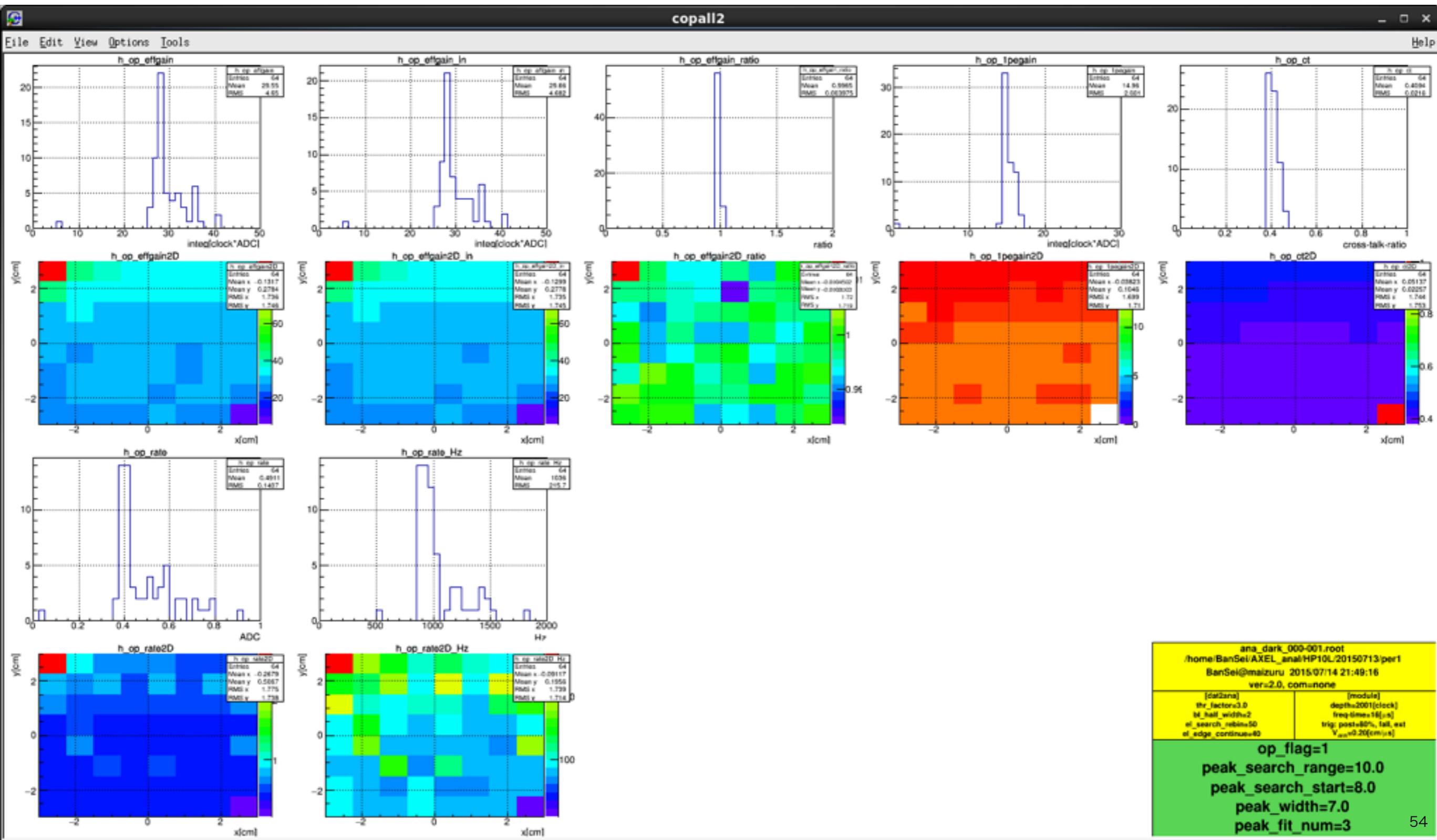


緑 : $E_{\text{anode}} / E_{\text{drift}} = 4000/100 = 40$
 測定点 : $E_{\text{anode}} / E_{\text{drift}} = 9600/200 = 48$

Prototype Chamber : dark解析



Prototype Chamber : dark解析



Prototype Chamber : Gain correction

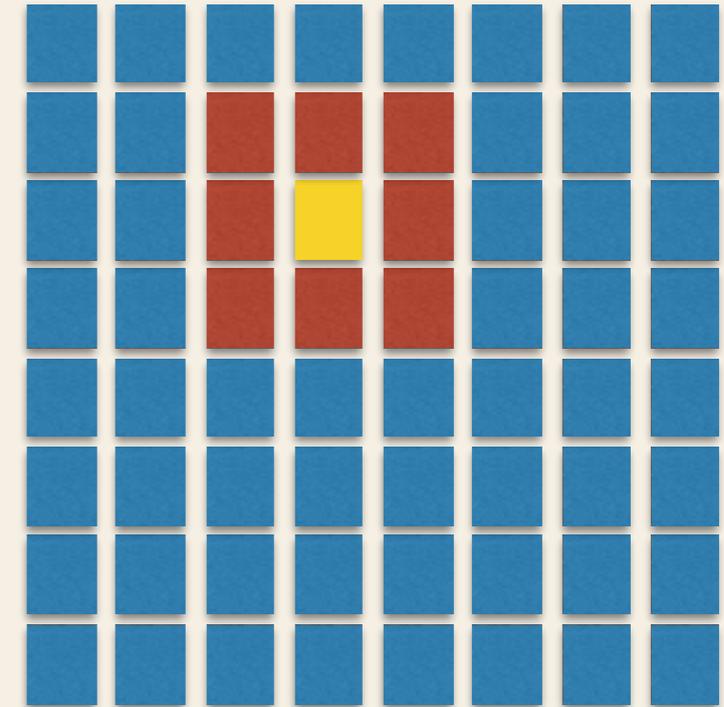
WLS sheet

右図で黄色のMPPC chのgain補正をしたいとき

1. 黄色および赤色のch以外にEL hitがない
2. 黄色のchが一番検出光子数が多い

という条件を課し、これを満たすイベントの光子数分布を各ch毎にもとめる

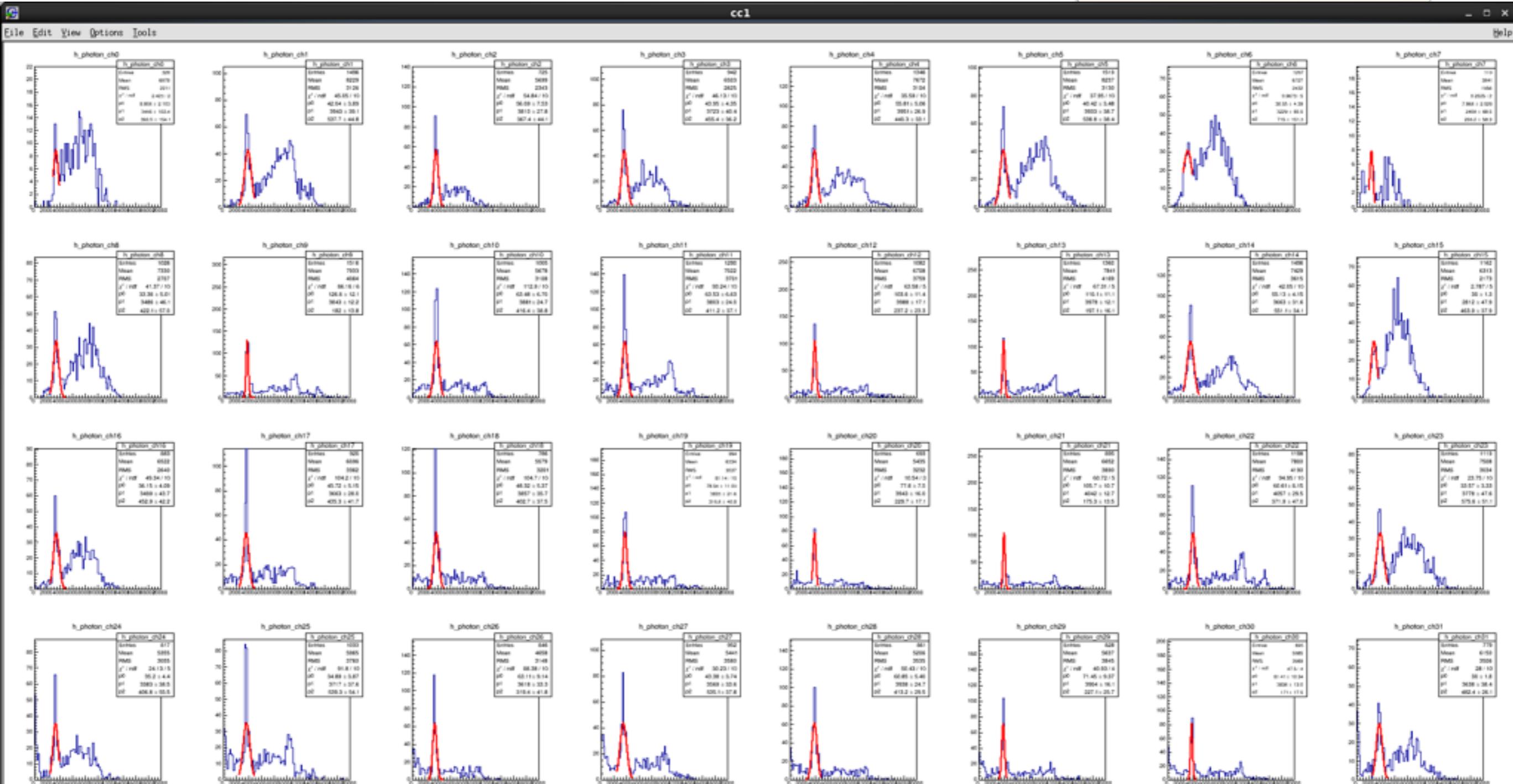
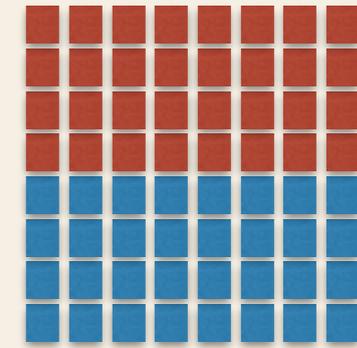
-> 30keVのピークをガウシアンでフィットし、gainの補正を行う



Prototype Chamber : Gain correction (1)

WLS sheet

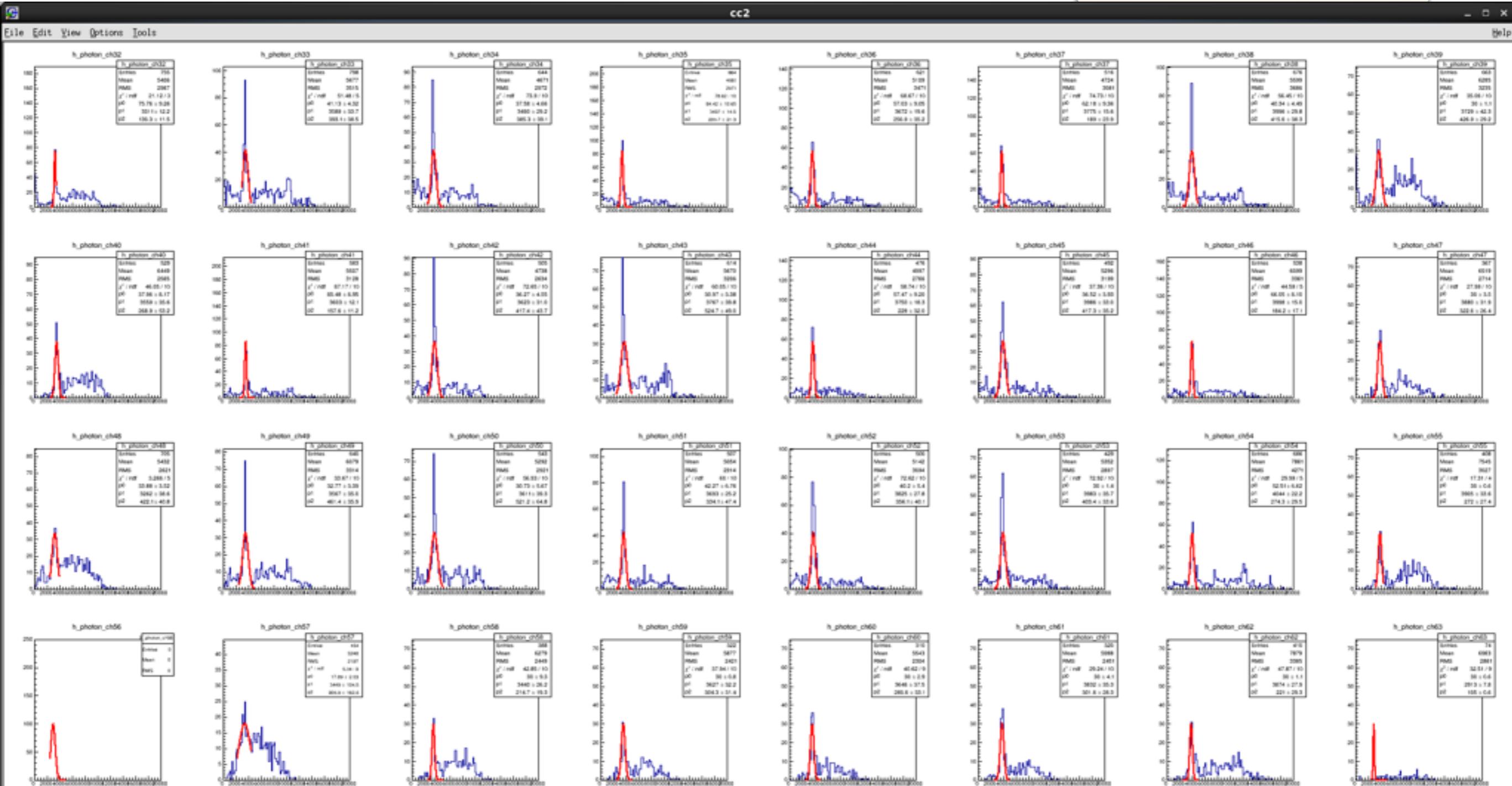
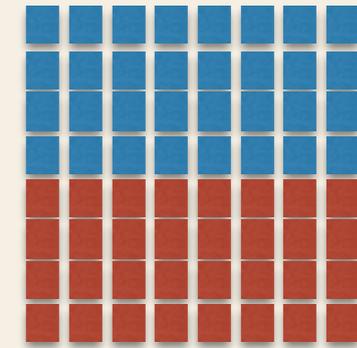
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (1)

WLS sheet

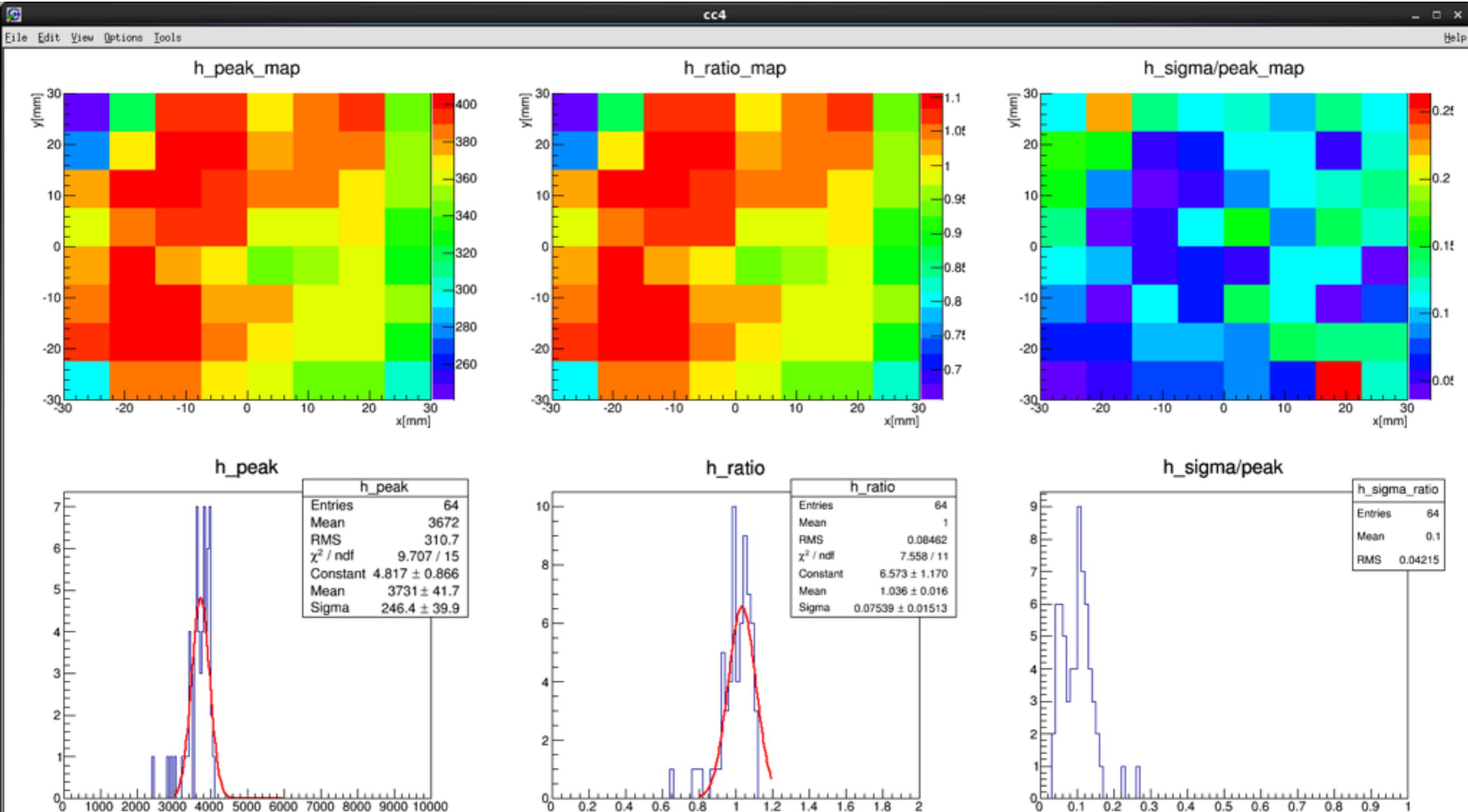
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (1)

WLS sheet

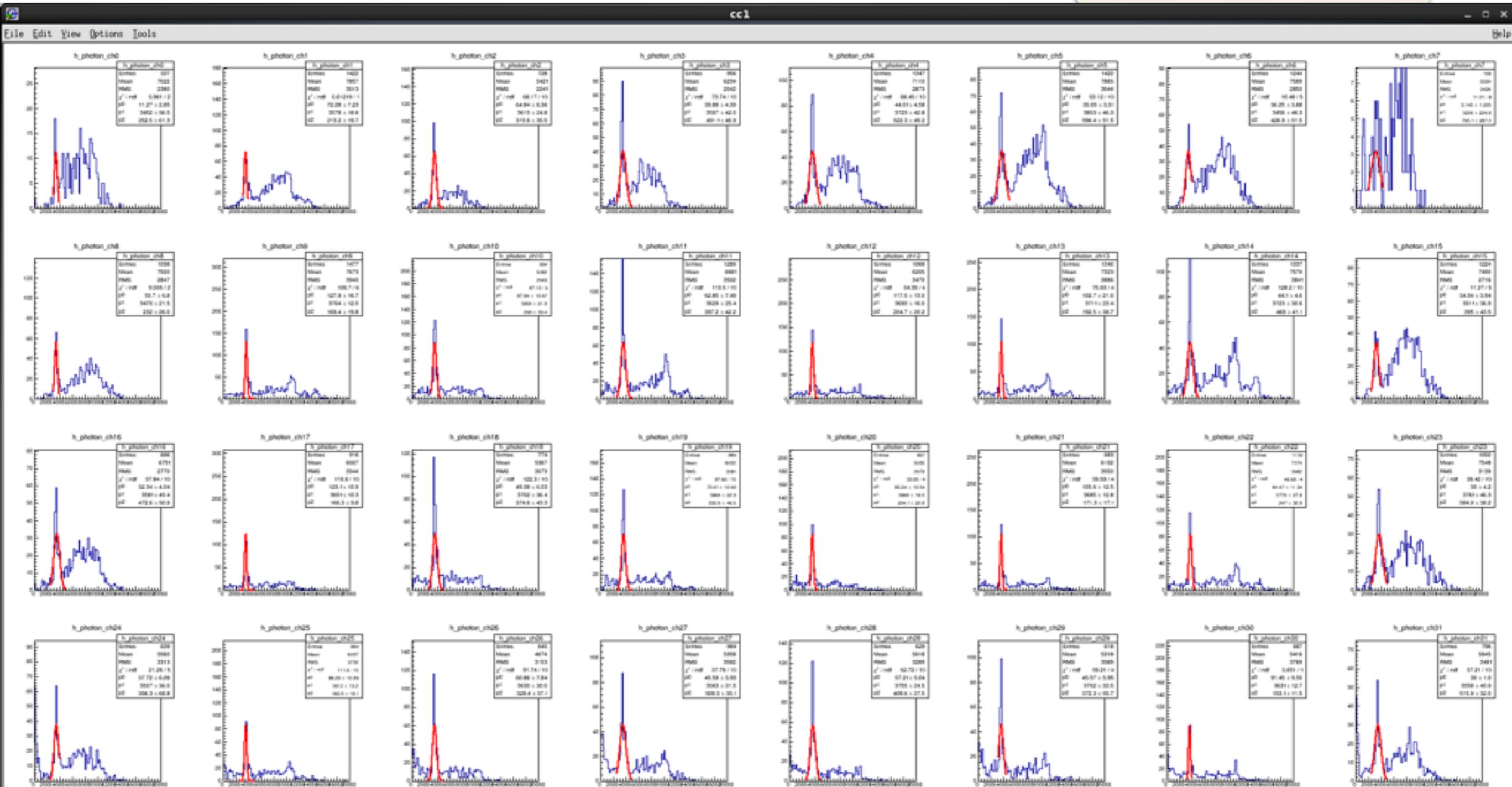
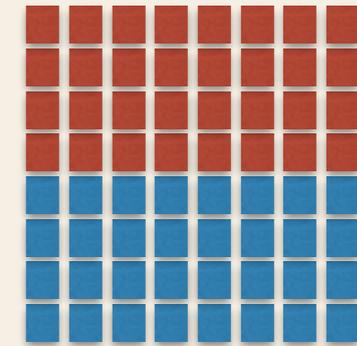
- EL hit factor = 5.0



Prototype Chamber : Gain correction (2)

WLS sheet

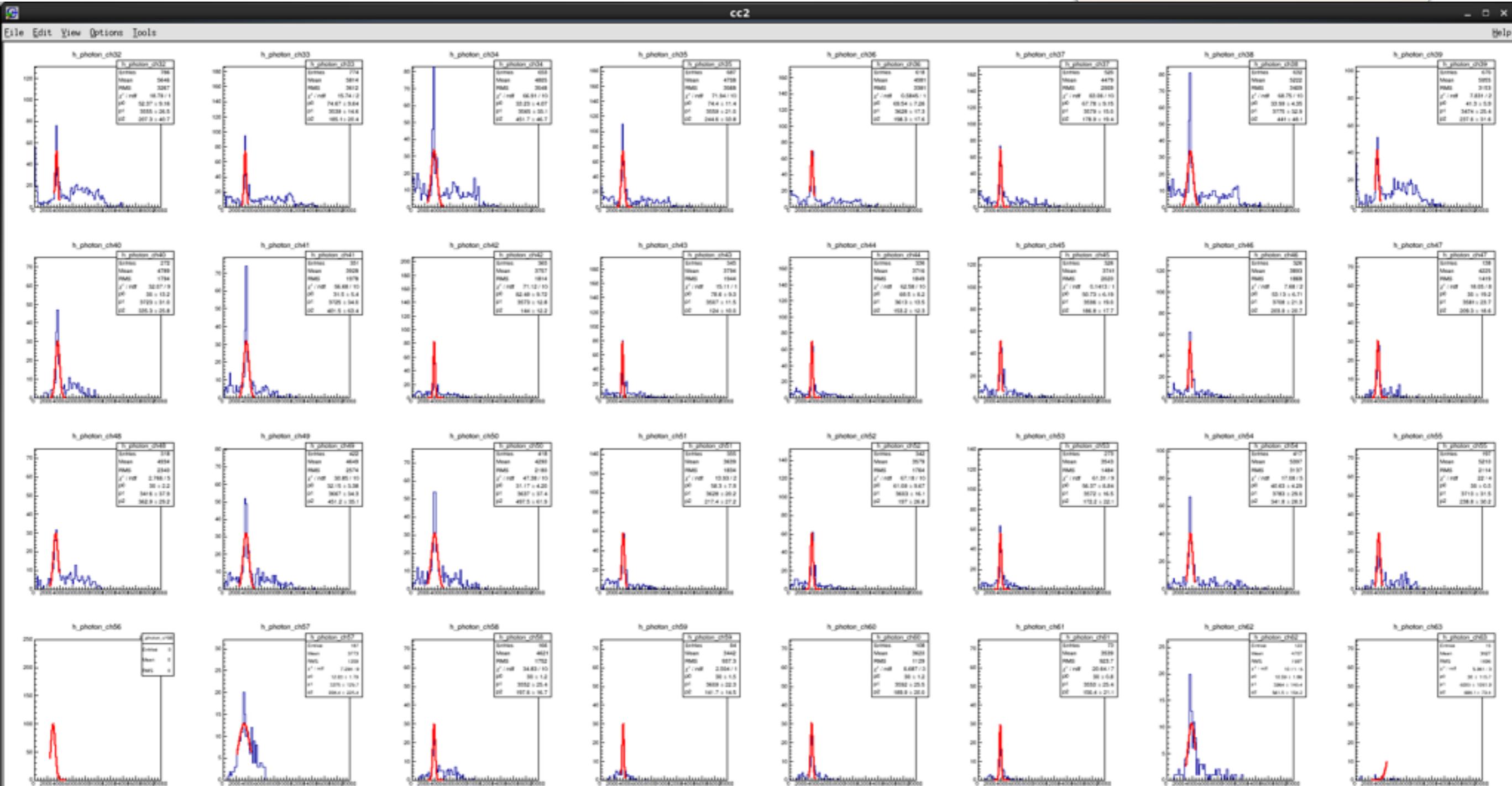
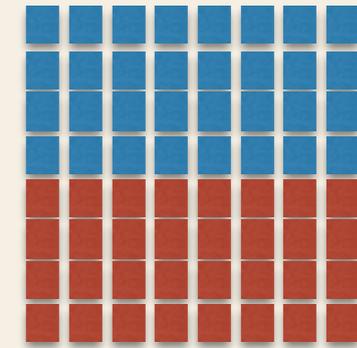
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (2)

WLS sheet

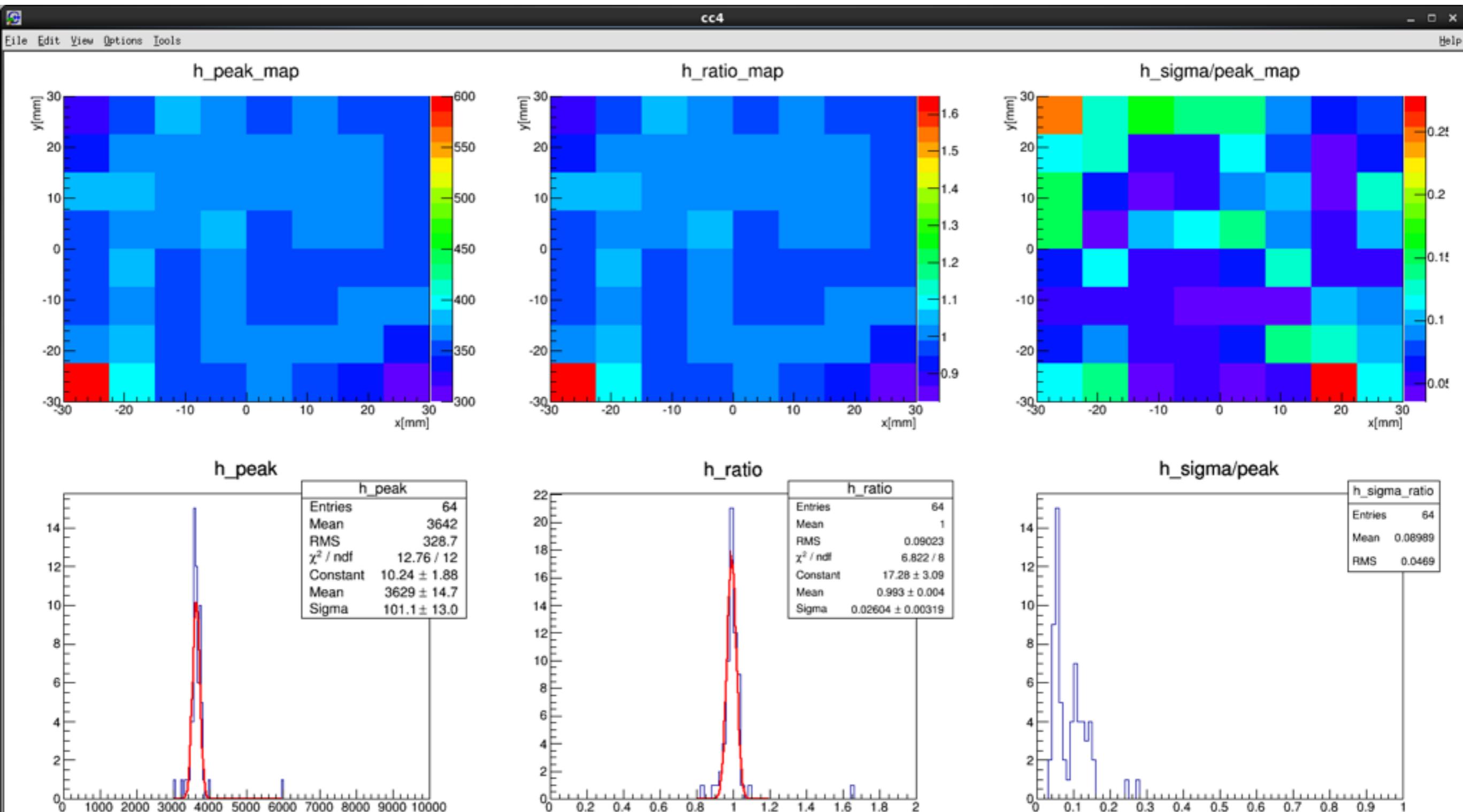
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (2)

WLS sheet

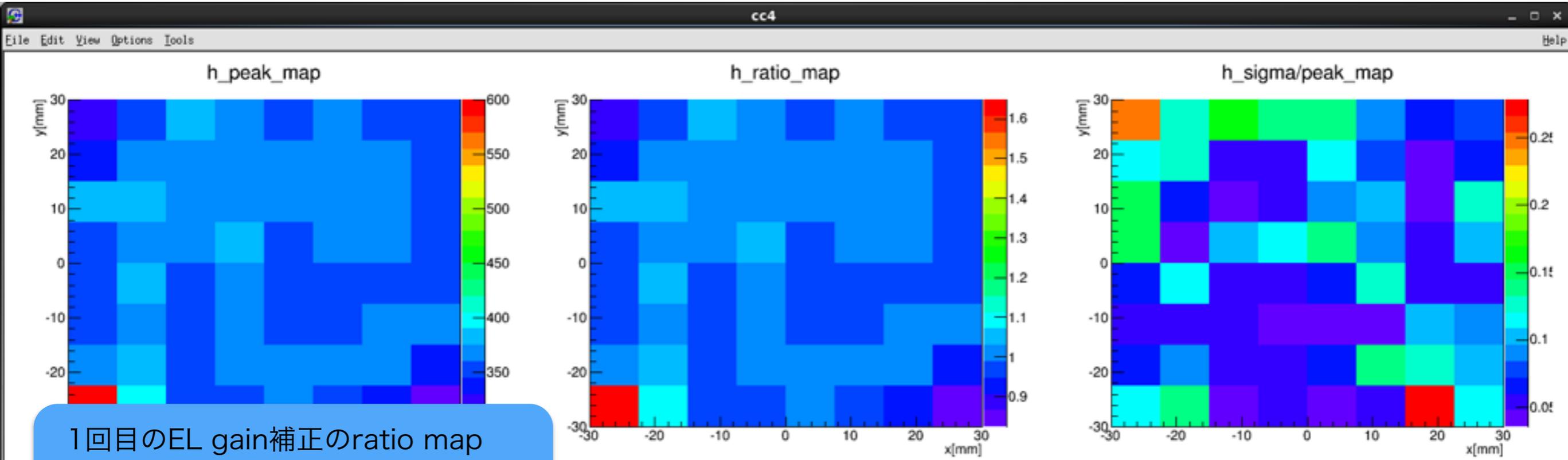
- EL hit factor = 5.0
- peak mapおよびratio mapがほとんど揃っている → 1回目のEL gain補正でほとんどうまくいっている



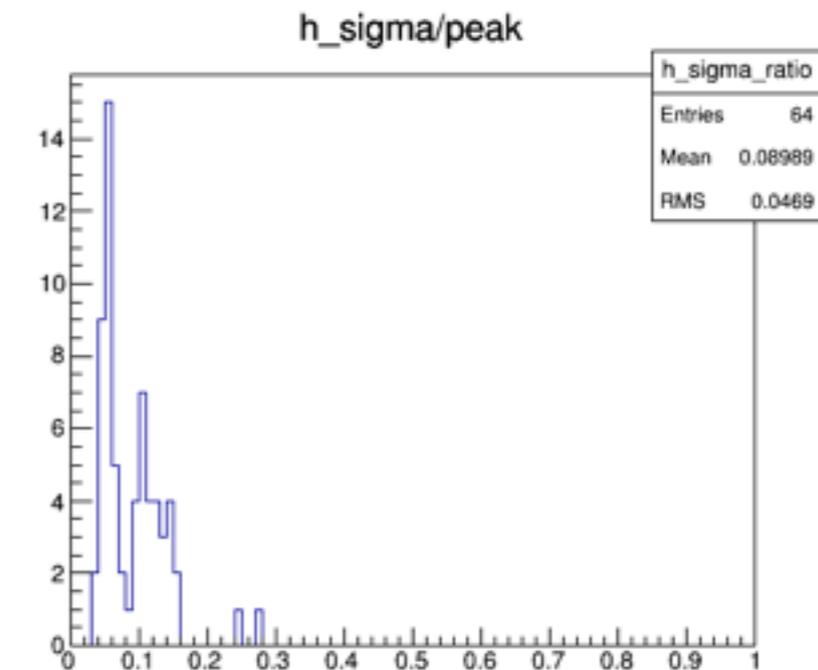
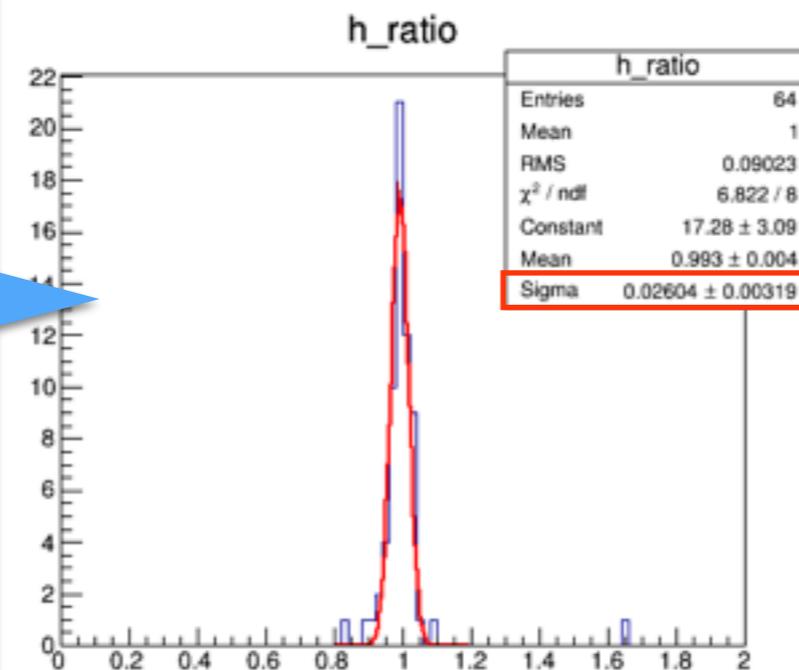
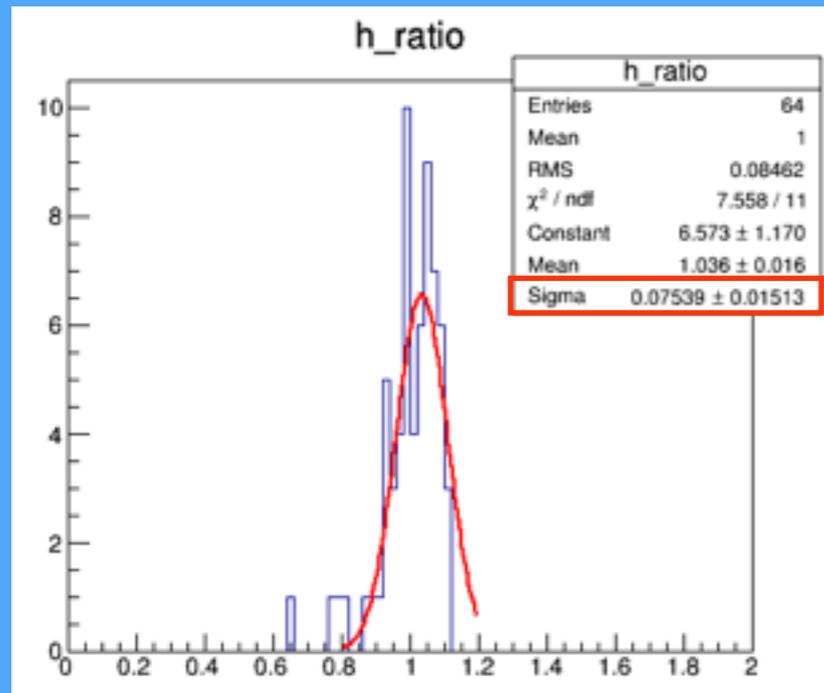
Prototype Chamber : Gain correction (2)

WLS sheet

- EL hit factor = 5.0
- peak mapおよびratio mapがほとんど揃っている → 1回目のEL gain補正でほとんどうまくいっている

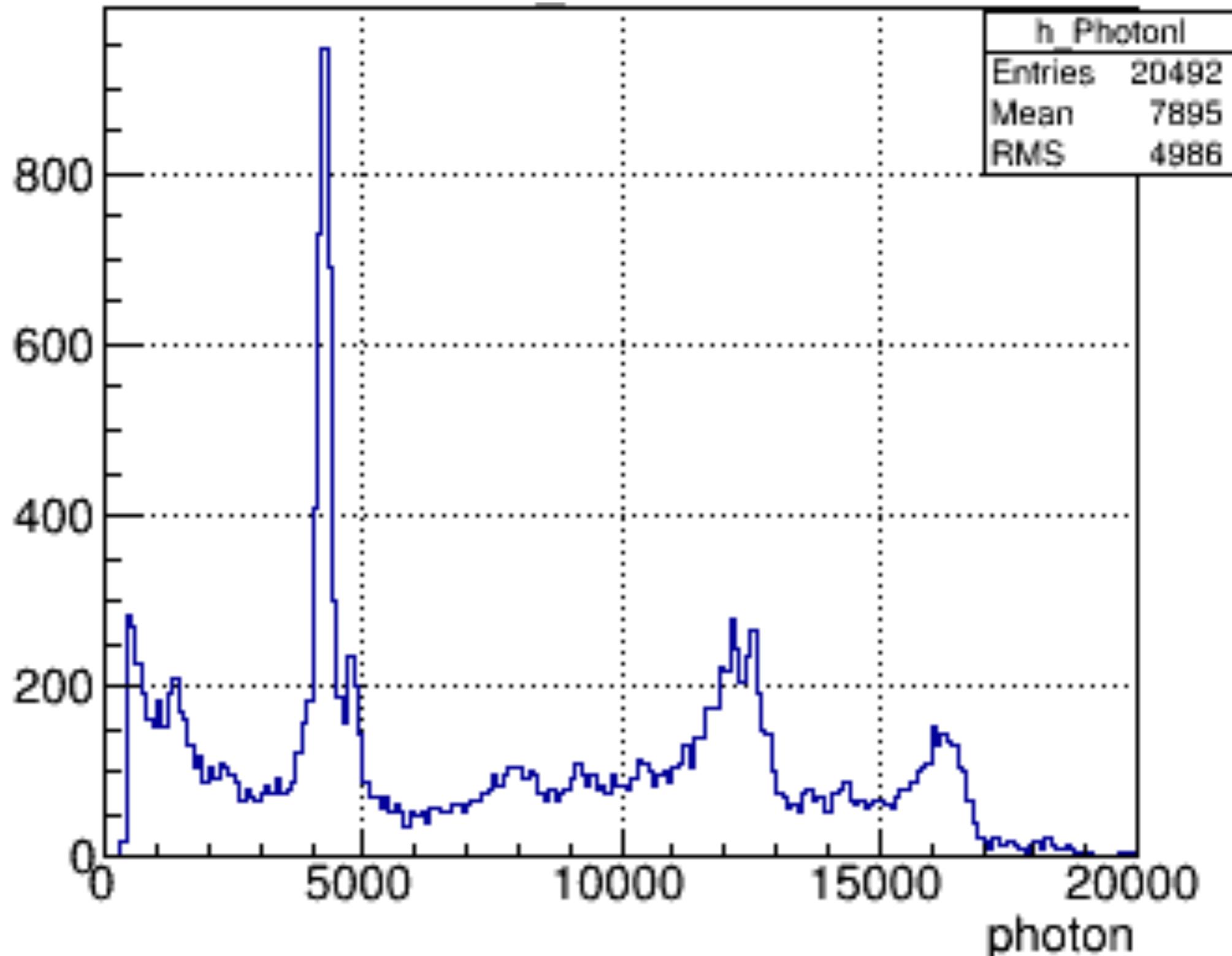


1回目のEL gain補正のratio map



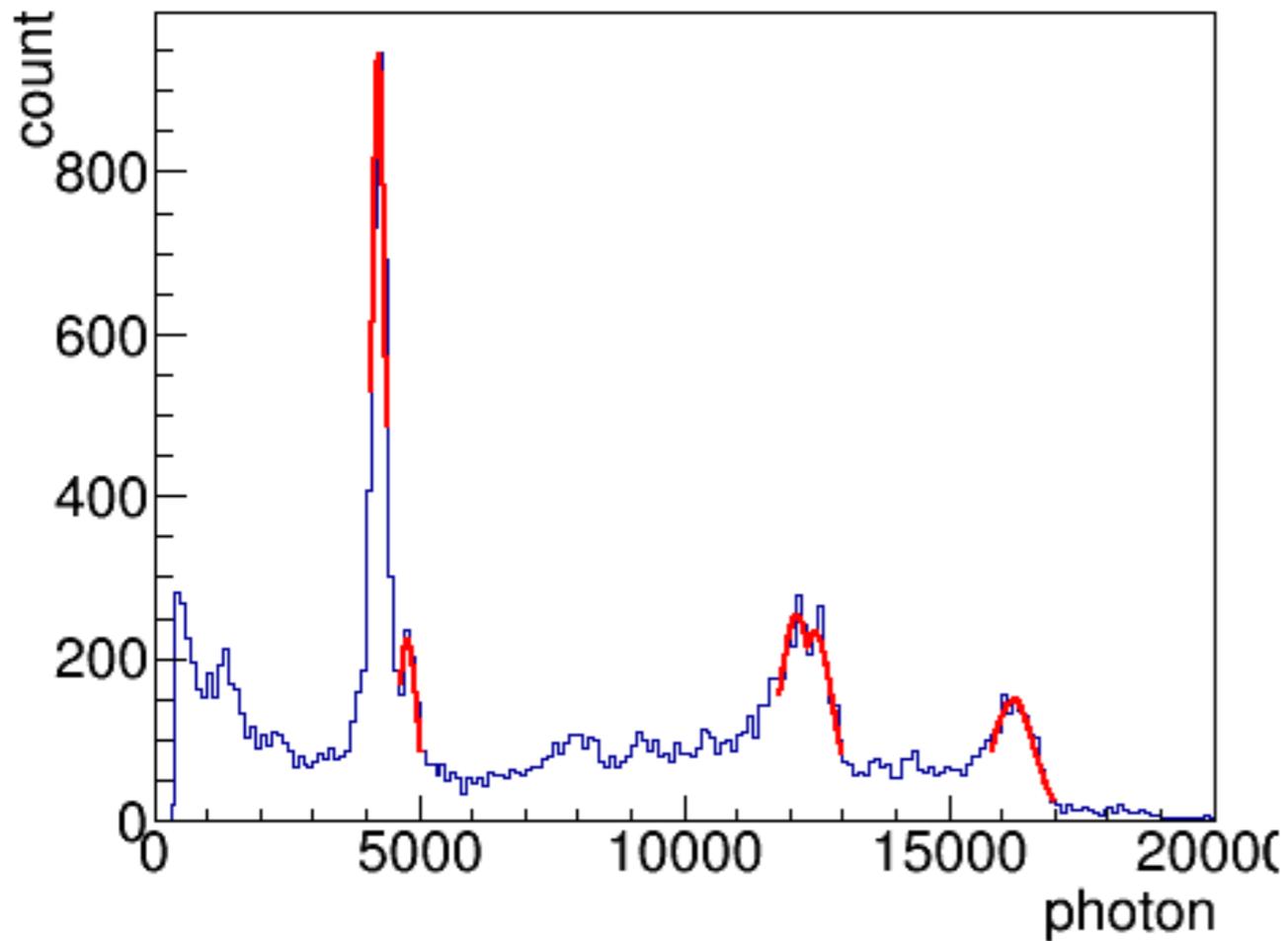
Prototype Chamber : Energy spectrum

WLS sheet



Prototype Chamber : Energy spectrum

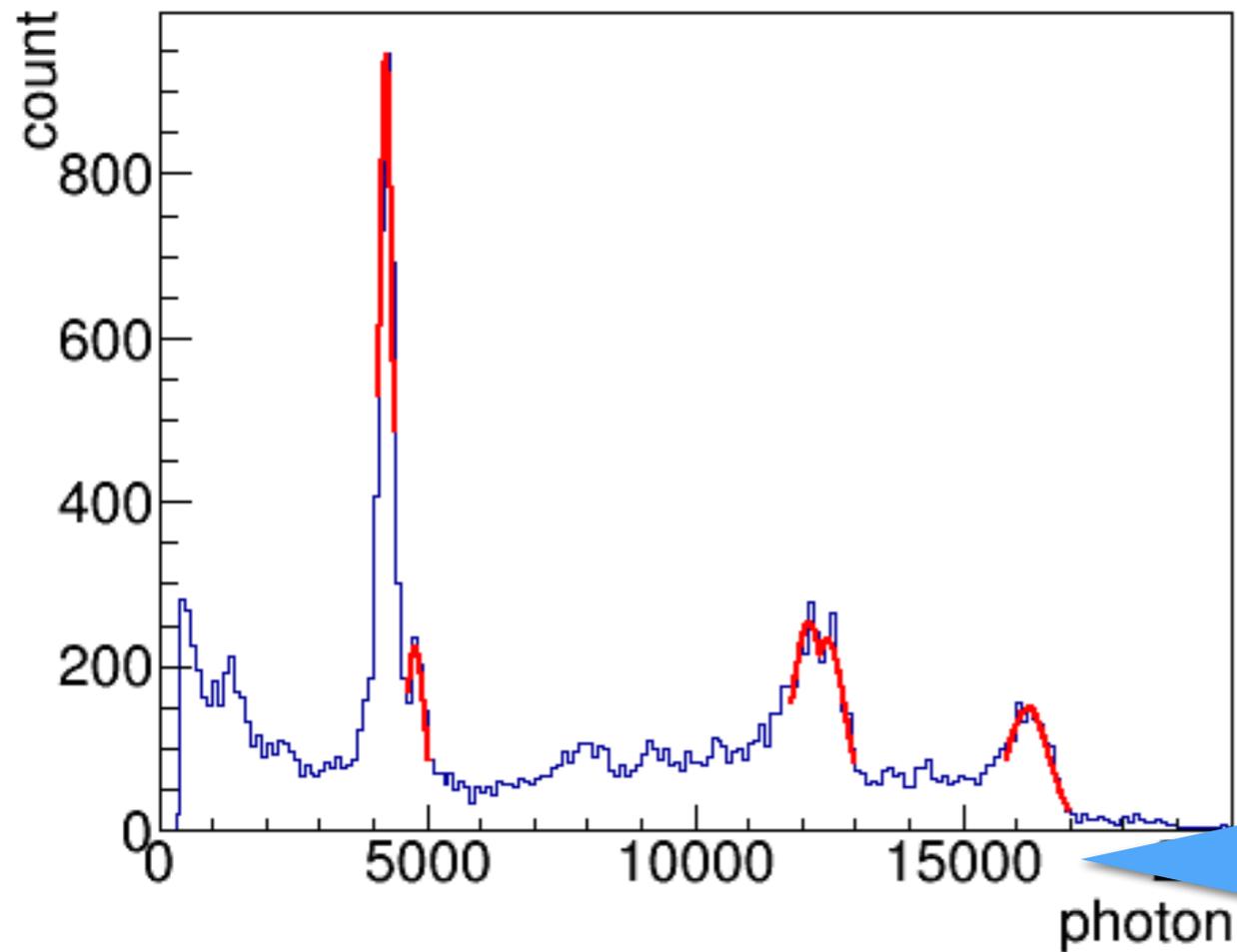
WLS sheet



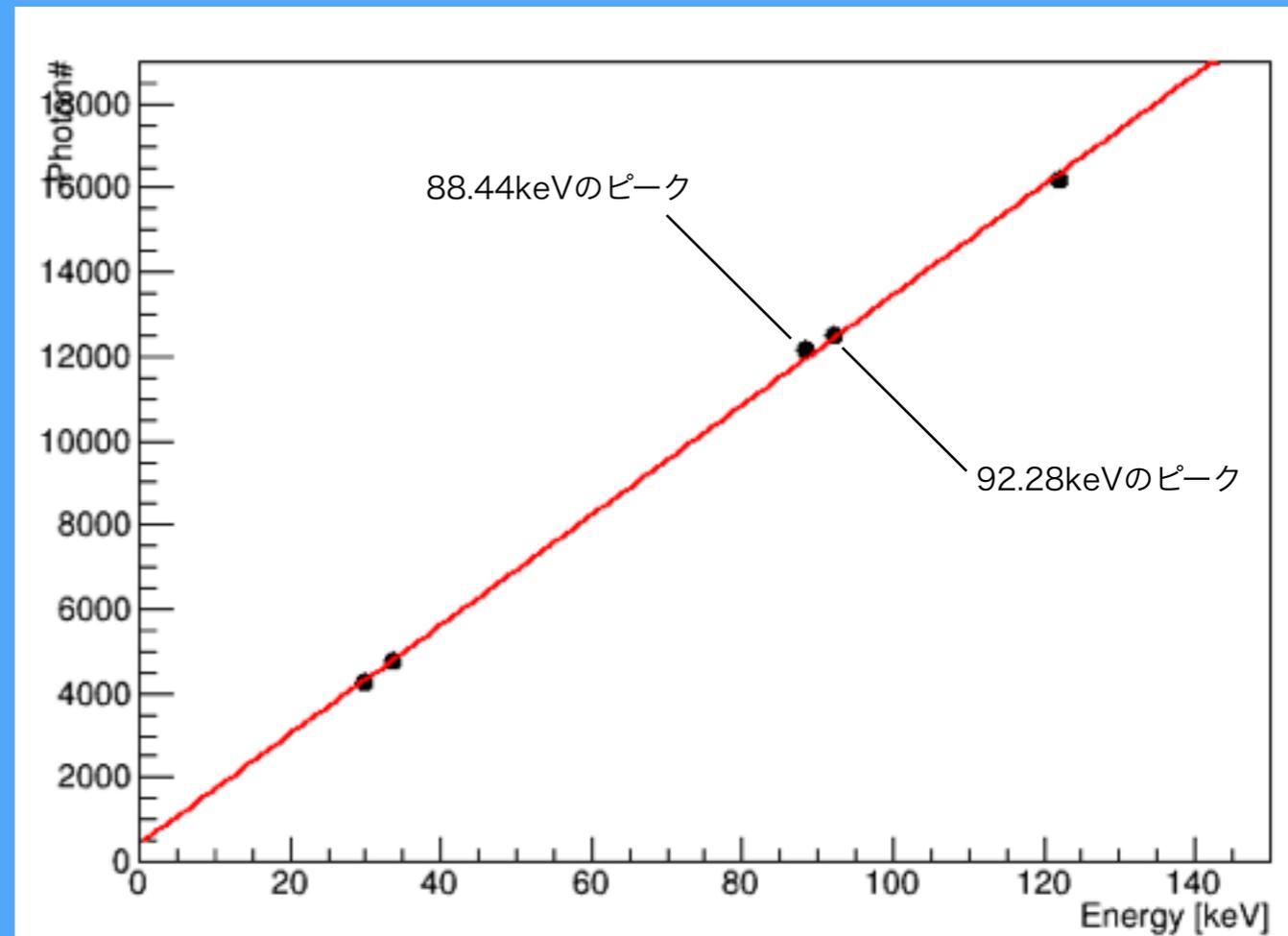
fit_ene:	29.78 keV	33.62 keV	88.44 keV	92.28 keV	122.06 keV
fit_range:	4100-4400	4650-5050	11800-12350	12350-13000	15800-17000
fit_init:	800,4300,150	200,4800,150	200,12100,400	200,12500,420	100,16300,400
p0(scale):	948.7	221.4	251.9	231.0	149.0
p1(mean):	4245.1	4791.4	12143.5	12479.0	16221.2
p2(sigma):	132.1	182.6	340.5	353.1	399.2
FWHM:	7.2 %	8.8 %	6.5 %	6.6 %	5.7 %
FWHM@2458:	0.8 %	1.0 %	1.2 %	1.3 %	1.3 %

Prototype Chamber : Energy spectrum

WLS sheet



それぞれのピークのenergy vs 検出光子数



線形性はちゃんとあるように見える

Prototype Chamber : conditions

WLS coated

Setup

Gas

Xe : 4.00 atm (reuse)

Recode length

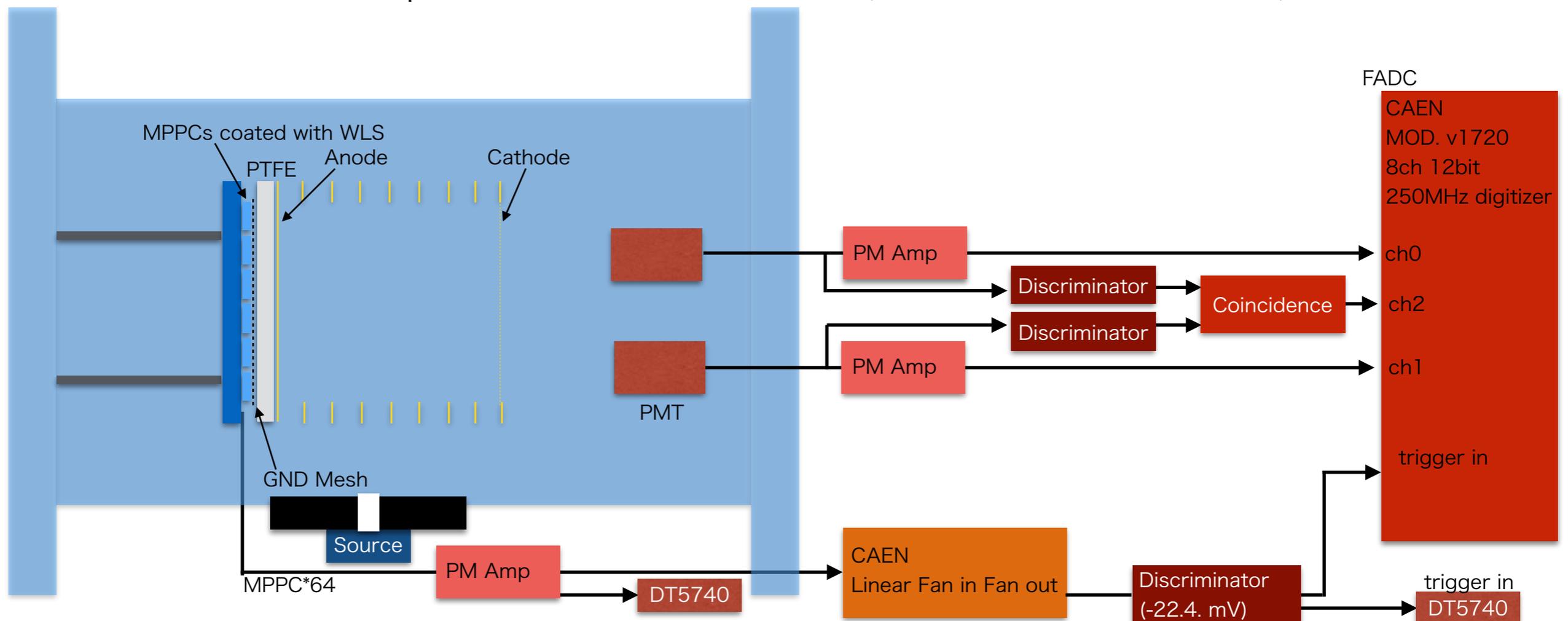
- DT5740_1 : 2001 samples (~32 us)
- DT5740_2 : 2001 samples
- v1720 : 10000 samples (100 us)

High Voltage

- PMT : -800 V
- MPPC : -67.0 V (all ch)

Source

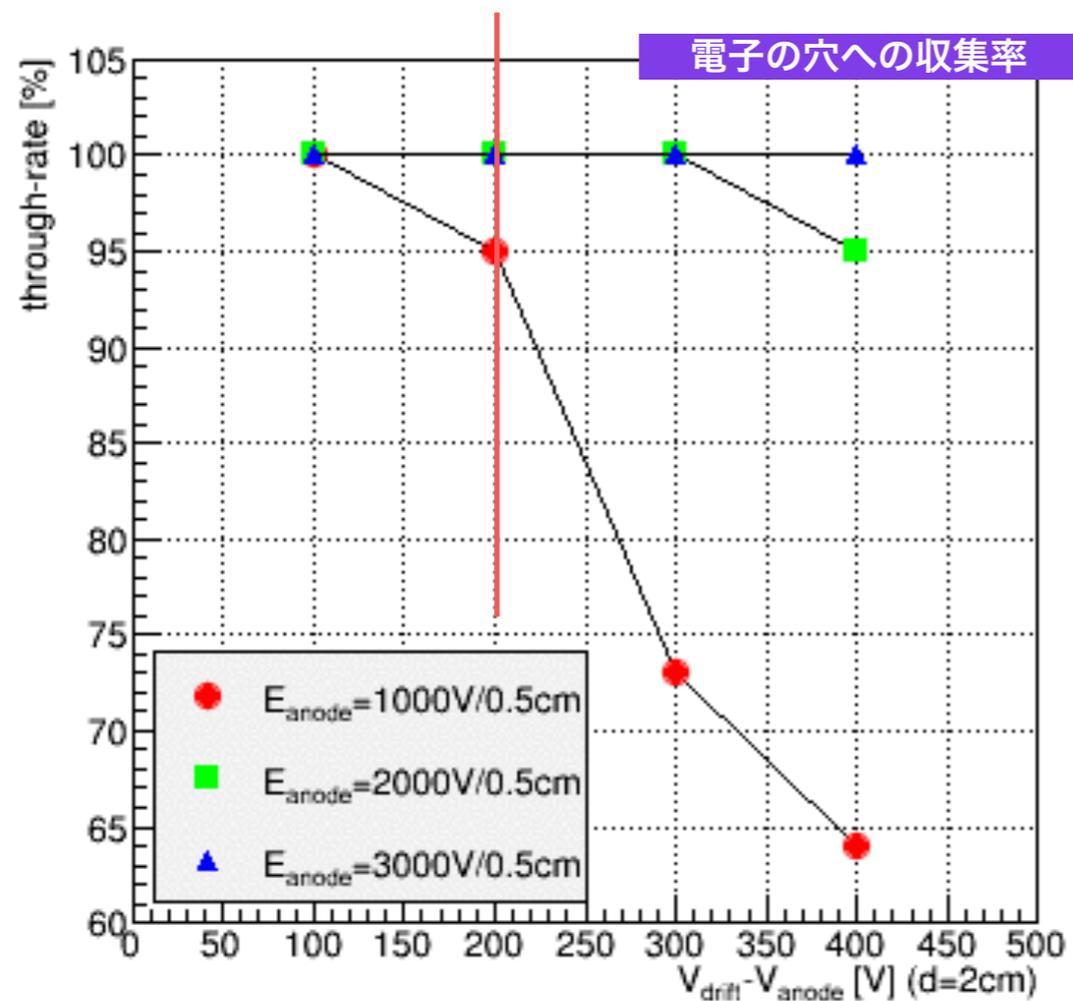
- per1 : none (Cathode 6.0kV, Anode 4.8kV, Trigger : clock)
- per2 : none (Cathode 6.0kV, Anode 4.8kV, Trigger : MPPC Sum signal)
- per3 : ^{57}Co with Pb collimator (Cathode 6.0kV, Anode 4.8kV)



Prototype Chamber : 収集効率

WLS coated

Cathode : 6.0 kV
 Anode : 4.8 kV \longrightarrow $E_{\text{anode}} = 4800\text{V}/0.5\text{cm}$
 $E_{\text{drift}} = 200\text{V}/\text{cm}$

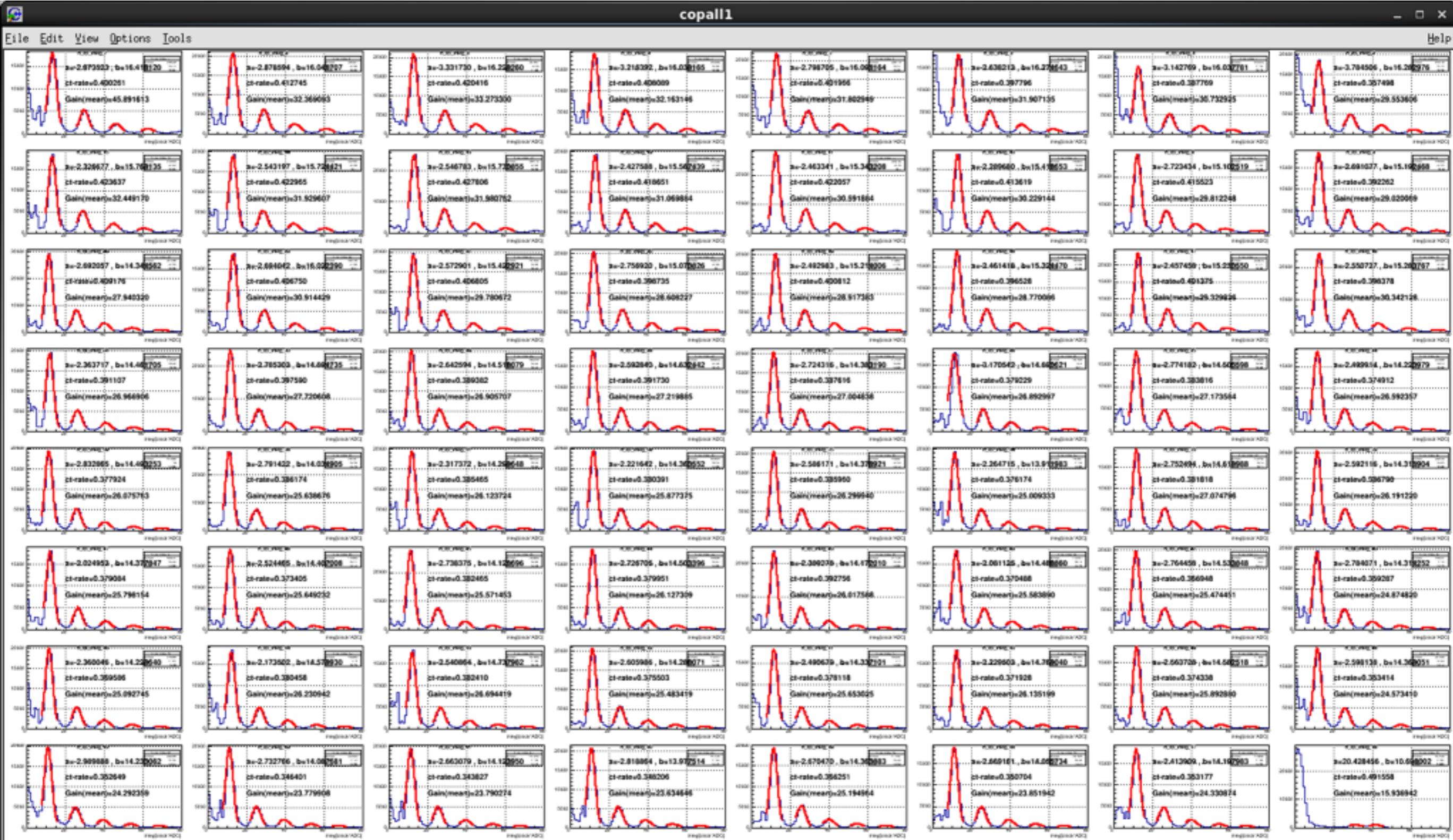


緑 : $E_{\text{anode}} / E_{\text{drift}} = 4000/100 = 40$

測定点 : $E_{\text{anode}} / E_{\text{drift}} = 9600/200 = 48$

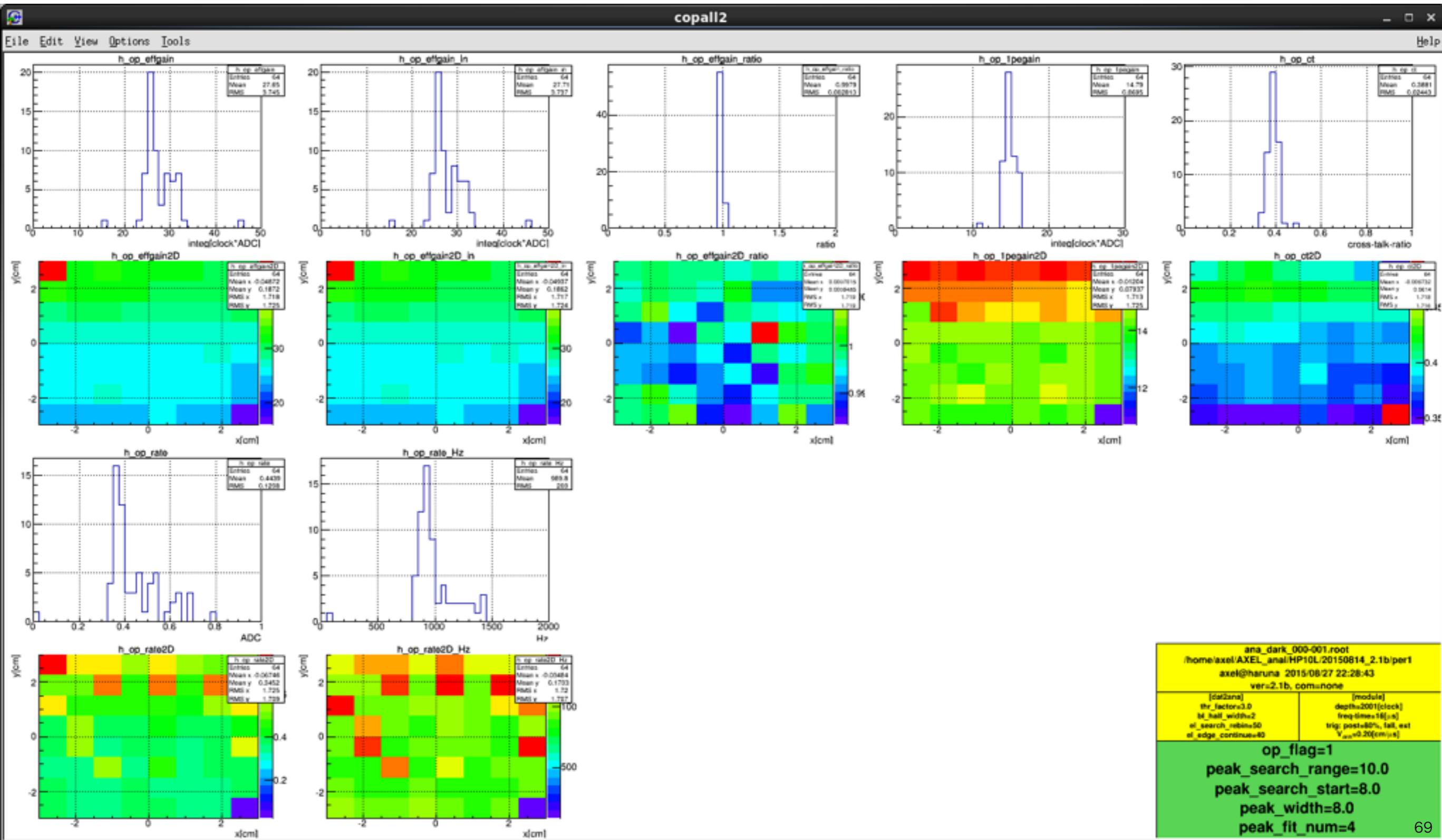
Prototype Chamber : dark解析

WLS coated



Prototype Chamber : dark解析

WLS coated



```

ana_dark_000-001.root
/home/axel/AXEL_anal/HP10L/20150814_2.1b/per1
axel@haruna 2015/08/27 22:28:43
ver=2.1b, com=none

[dat2ana]          [module]
thr_factor=3.0     depth=2001[clock]
N_half_width=2     freq-time=18[us]
el_search_rebin=50 trig: post=80%, tail_ext
el_edge_continue=80 V_min=0.20[em/px]

op_flag=1
peak_search_range=10.0
peak_search_start=8.0
peak_width=8.0
peak_fit_num=4
    
```

Prototype Chamber : Gain correction

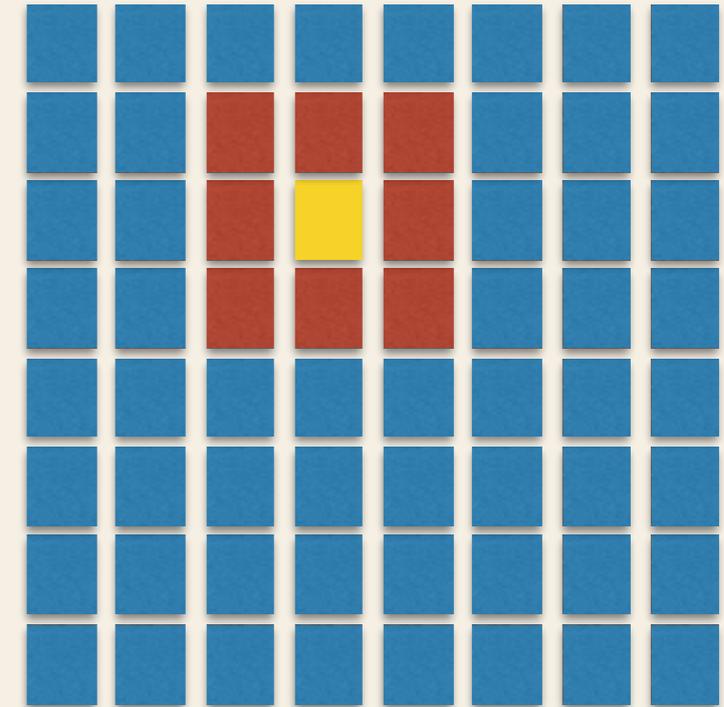
WLS coated

右図で黄色のMPPC chのgain補正をしたいとき

1. 黄色および赤色のch以外にEL hitがない
2. 黄色のchが一番検出光子数が多い

という条件を課し、これを満たすイベントの光子数分布を各ch毎にもとめる

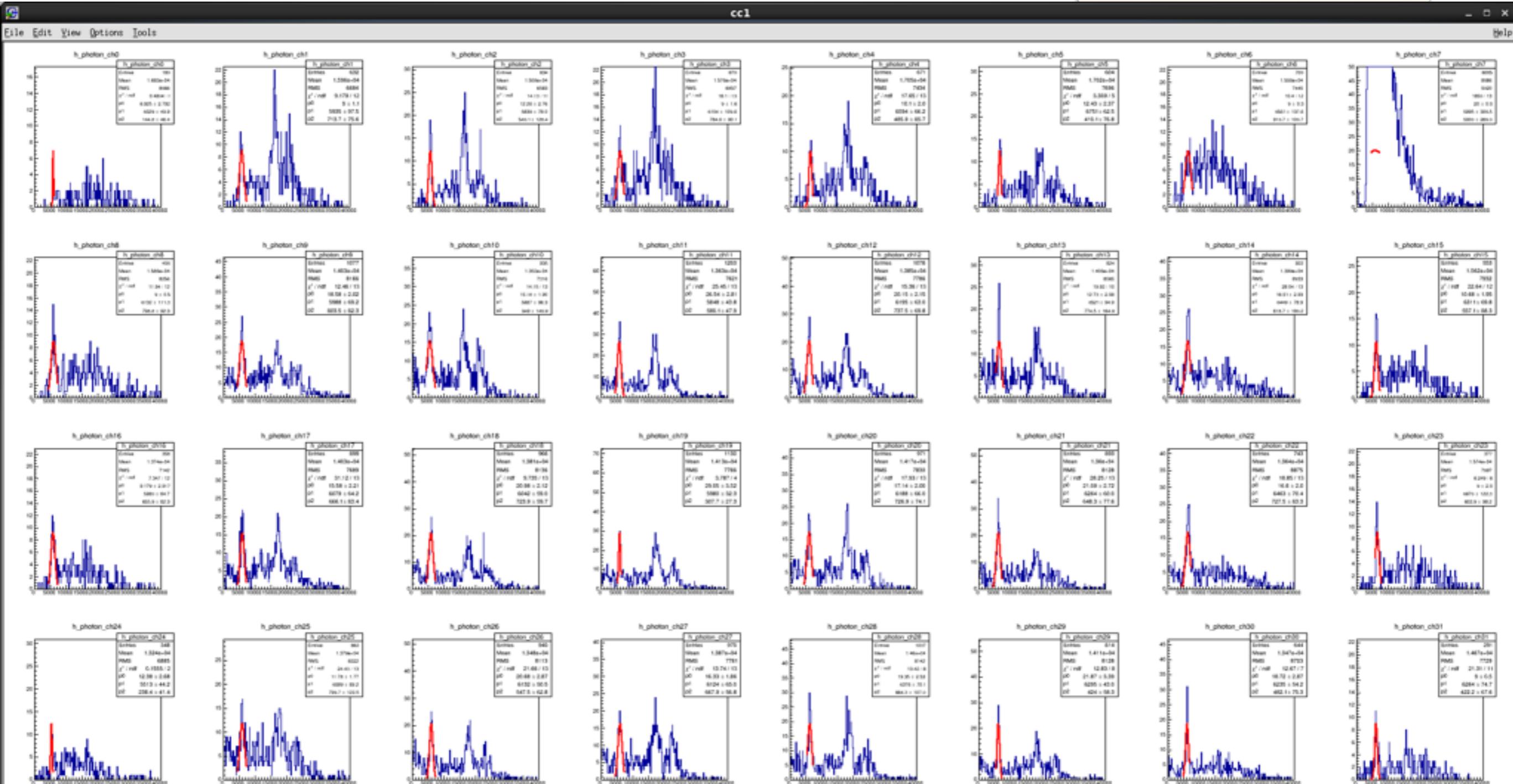
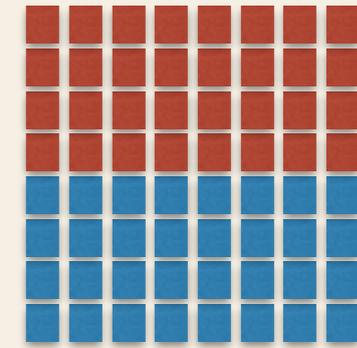
-> 30keVのピークをガウシアンでフィットし、gainの補正を行う



Prototype Chamber : Gain correction (1)

WLS coated

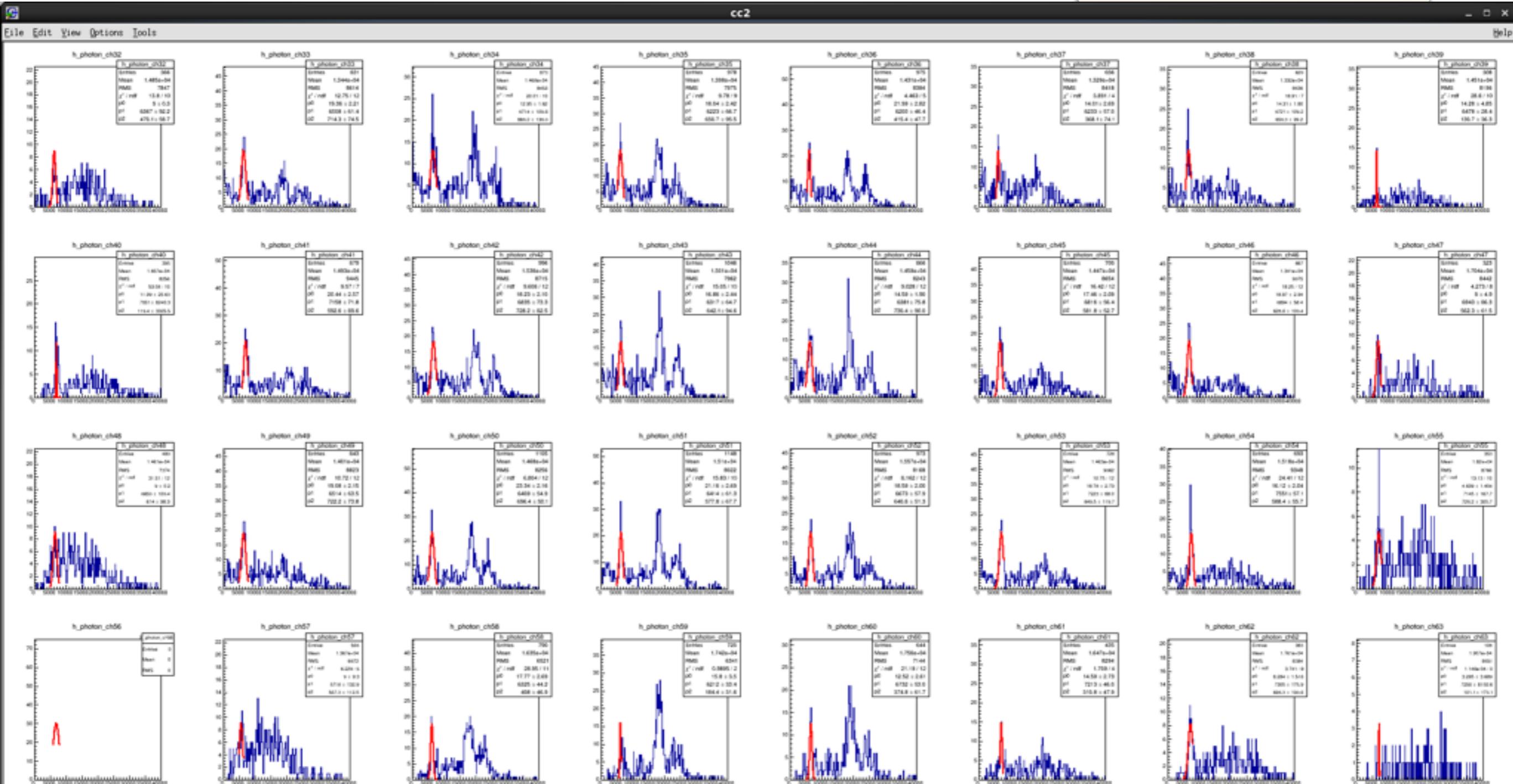
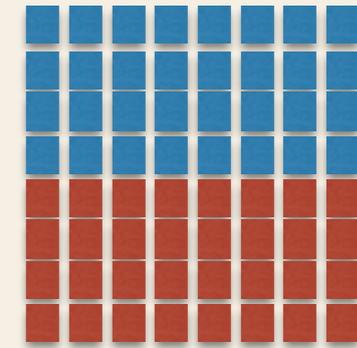
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (1)

WLS coated

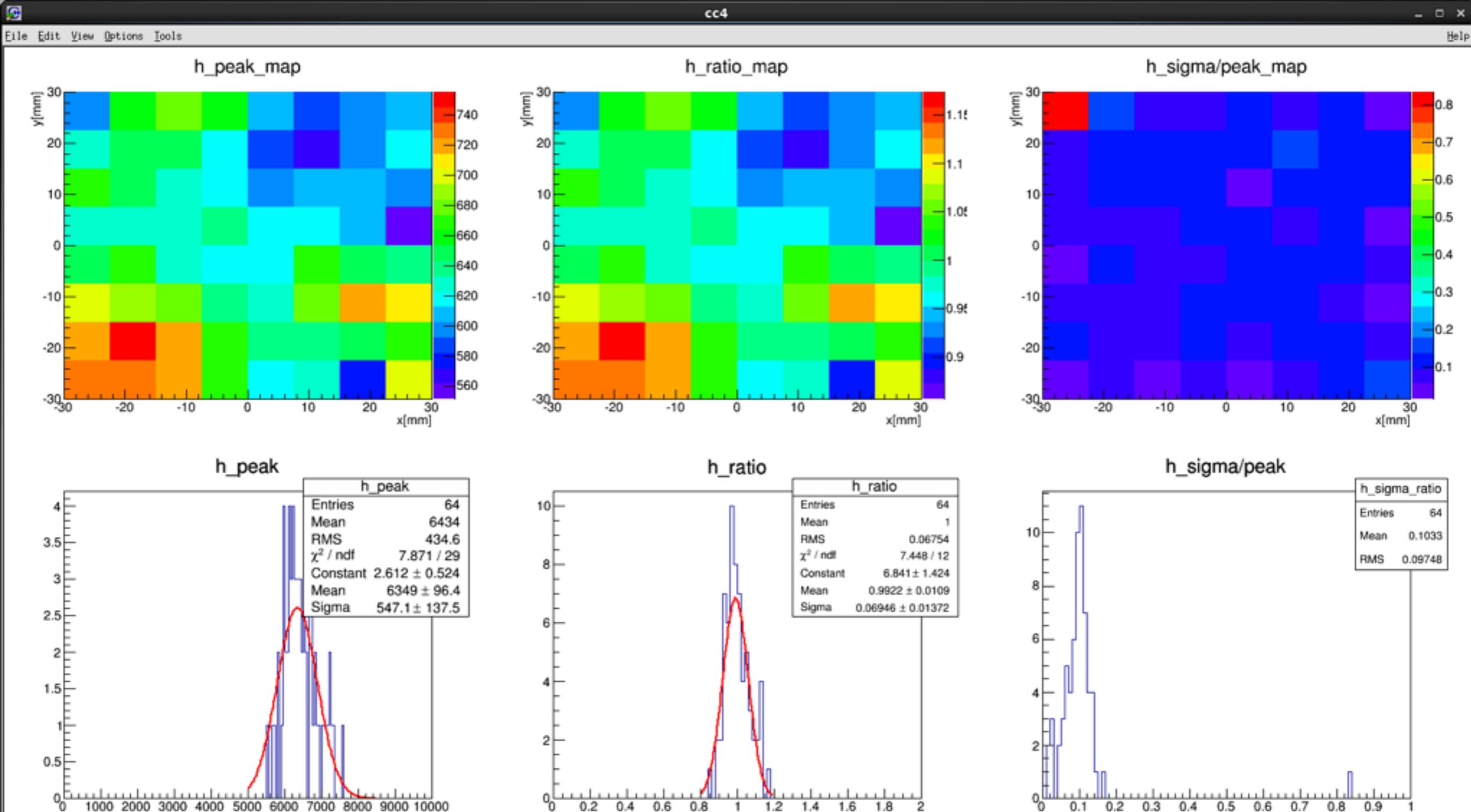
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (1)

WLS coated

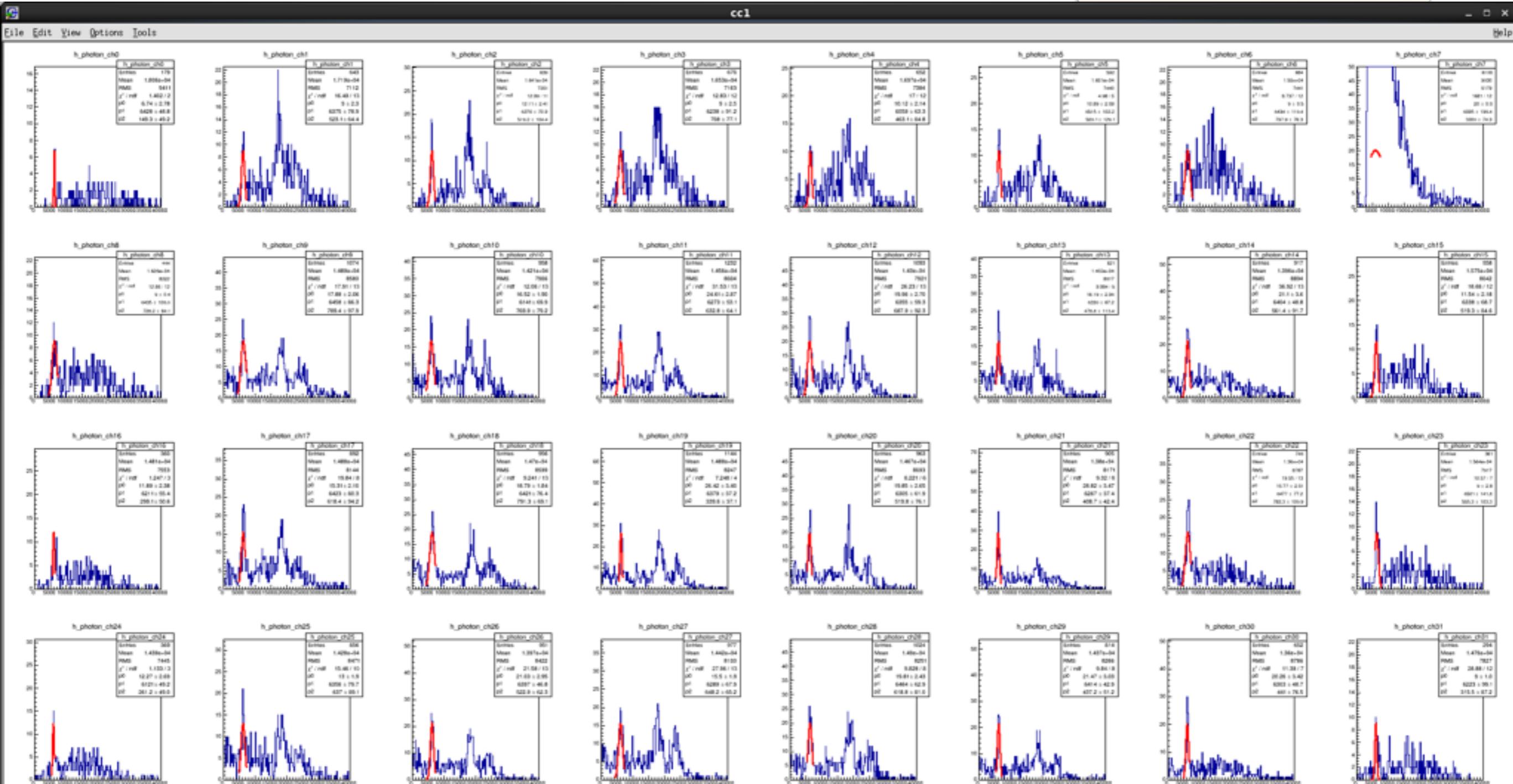
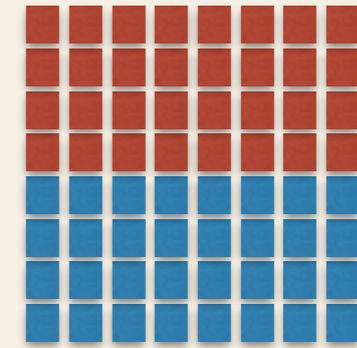
- EL hit factor = 5.0



Prototype Chamber : Gain correction (2)

WLS coated

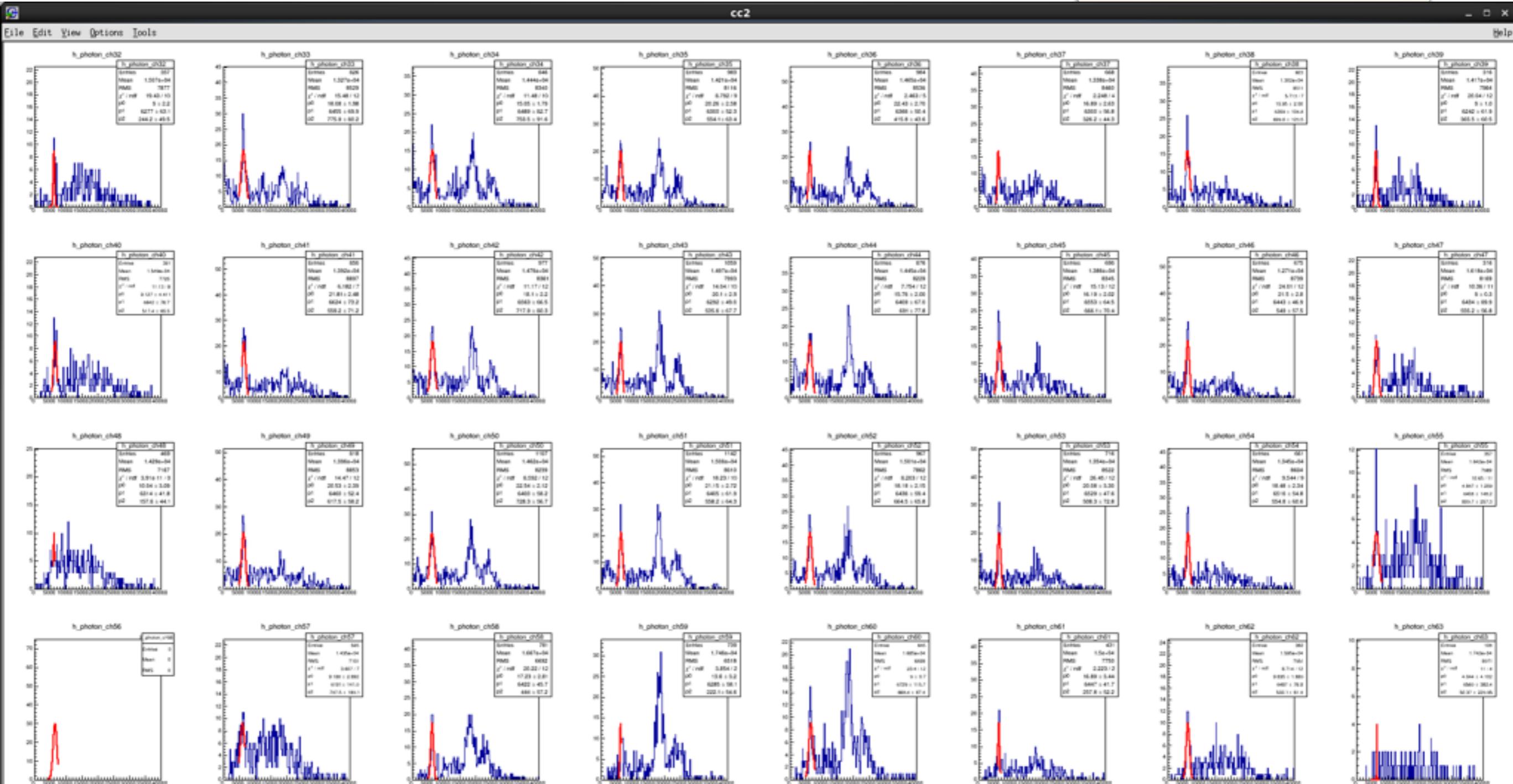
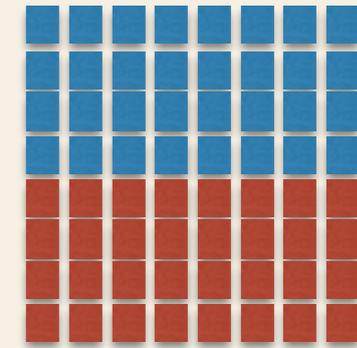
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (2)

WLS coated

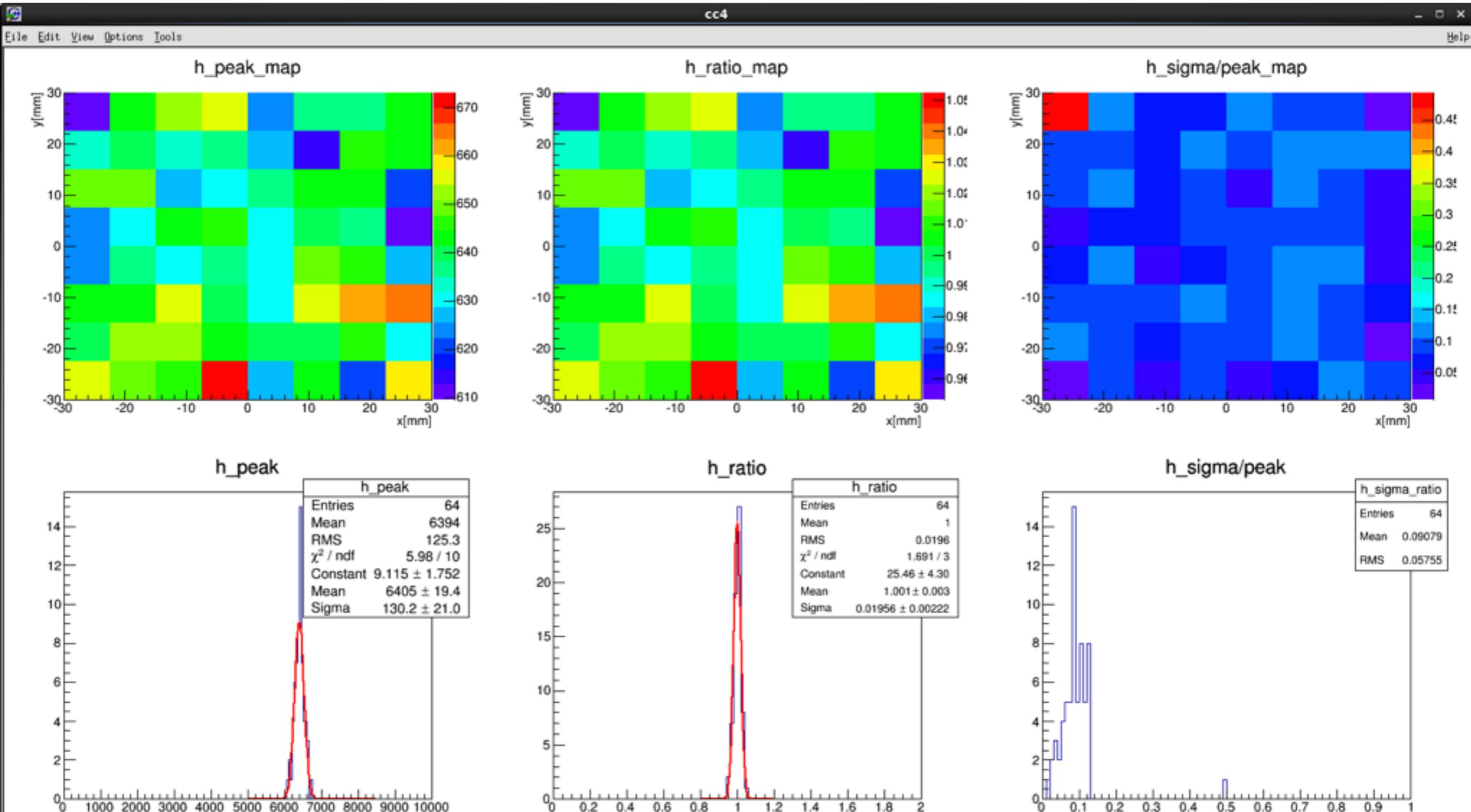
- EL hit factor = 5.0
- 右図の赤領域のGain correction
- Gain correctionを行うchと、その周り8ch(最外層は5ch)以外のchはveto領域とする
+ gain correctionを行うchが最も光っていることを要求



Prototype Chamber : Gain correction (2)

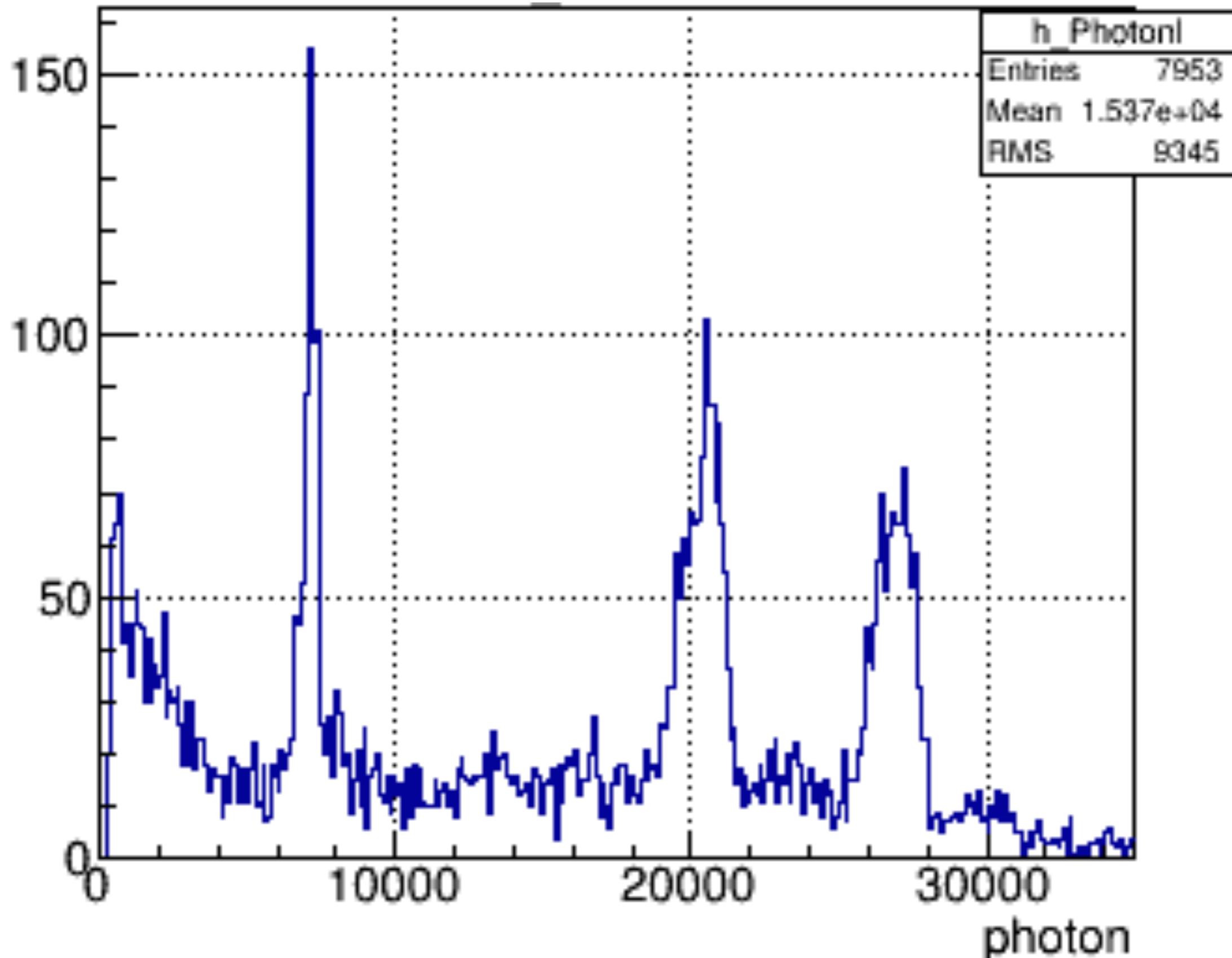
WLS coated

- EL hit factor = 5.0



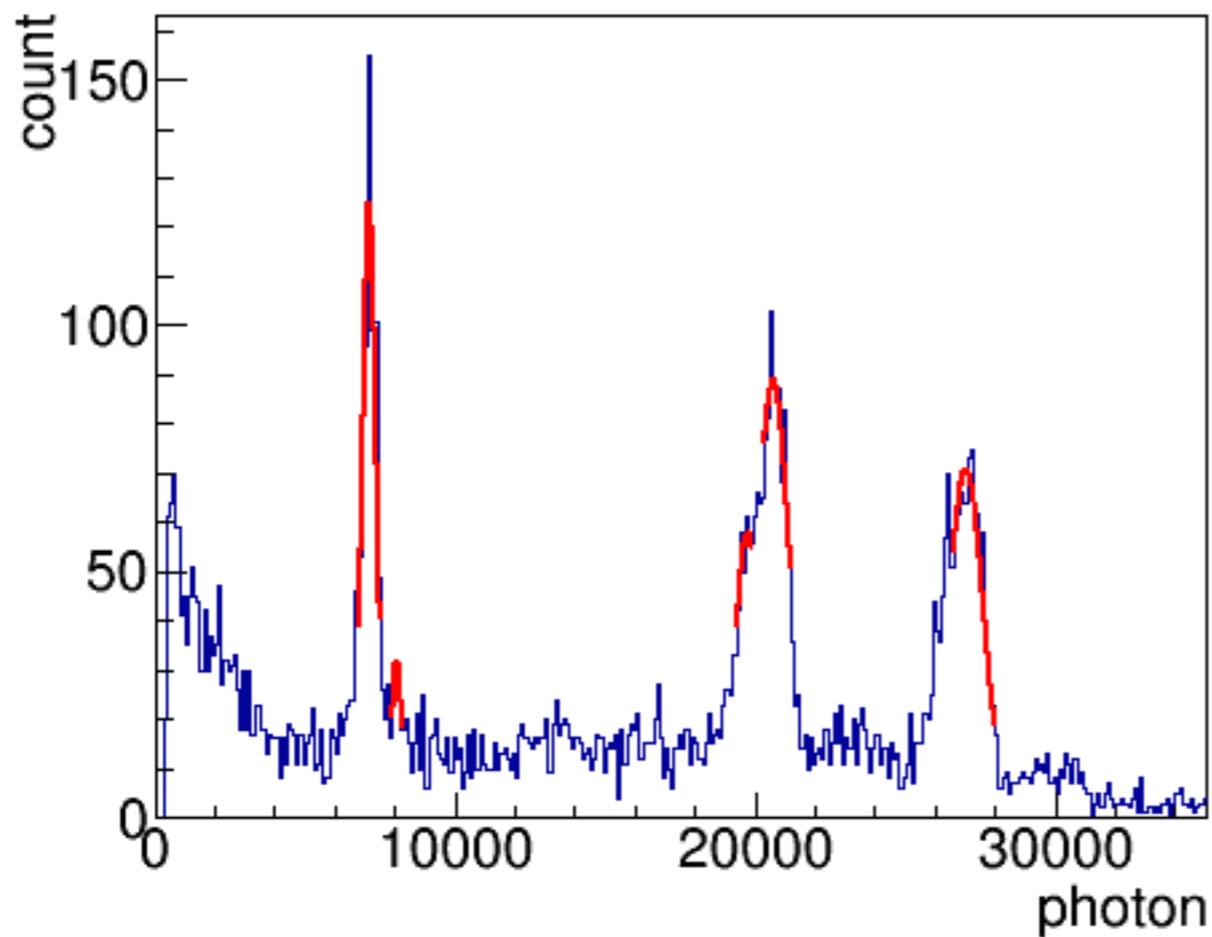
Prototype Chamber : Energy spectrum

WLS coated



Prototype Chamber : Energy spectrum

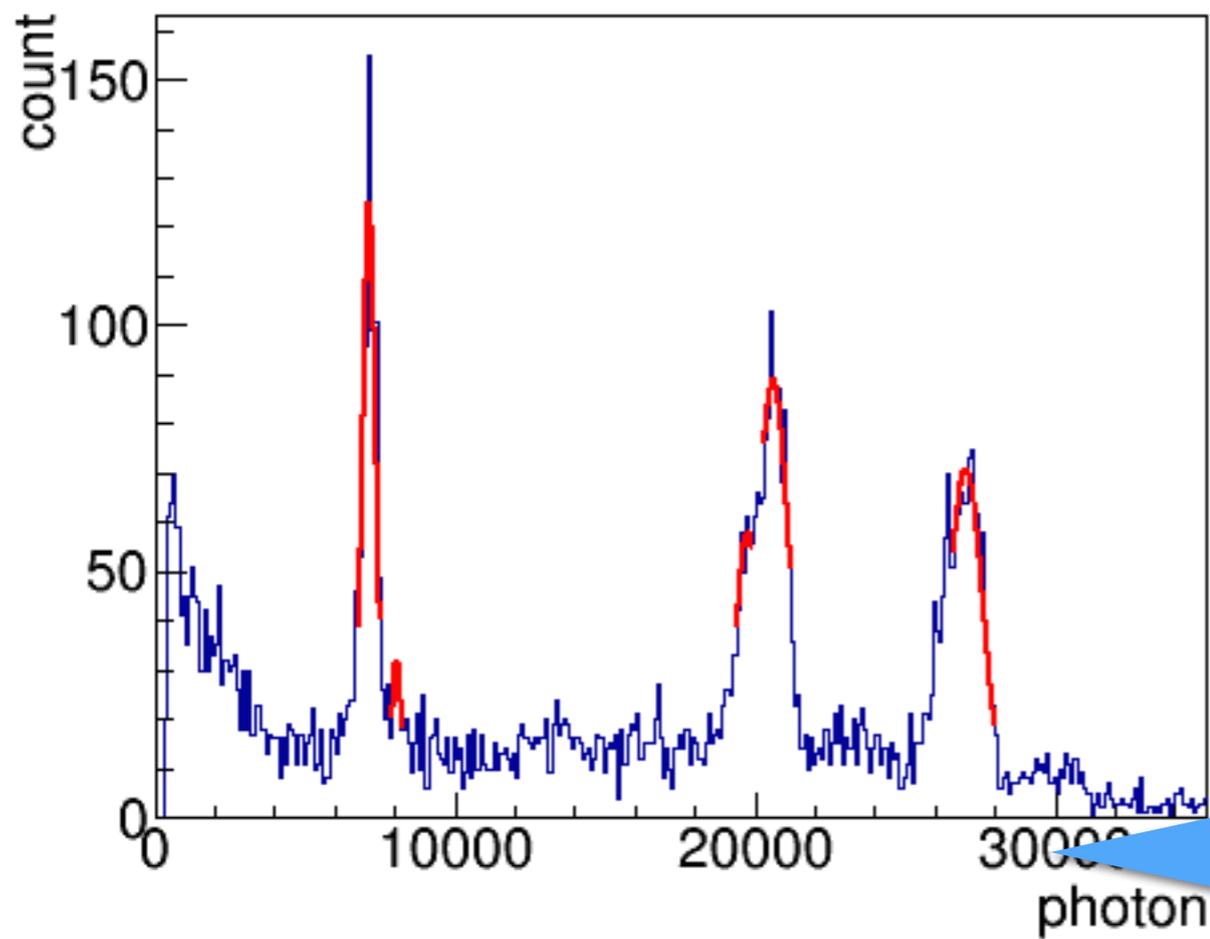
WLS coated



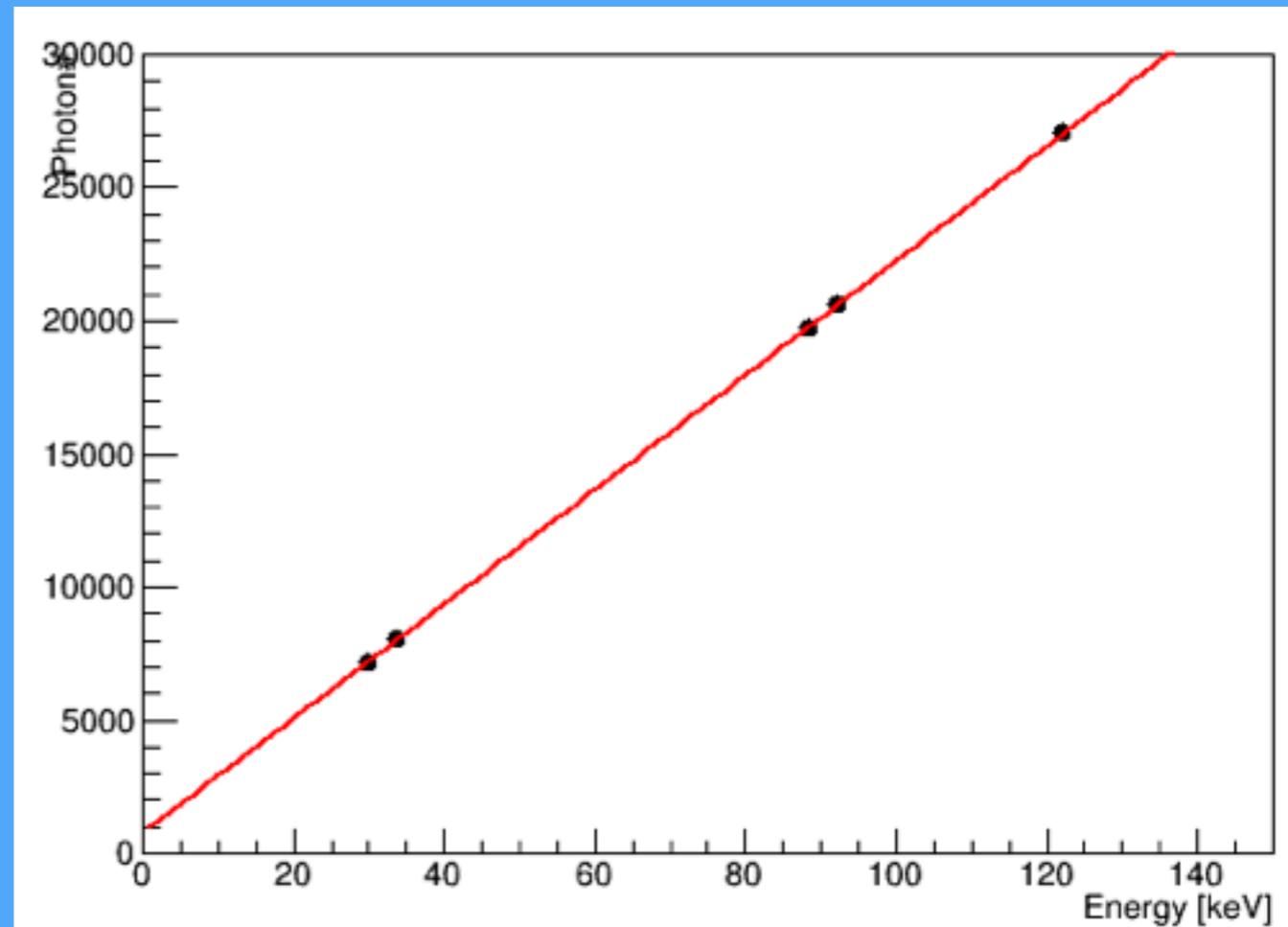
fit_ene:	29.78 keV	33.62 keV	88.44 keV	92.28 keV	122.06 keV
fit_range:	6800-7500	7900-8250	19380-19900	20300-21200	26600-28000
fit_init:	150,7100,300	30,8050,200	60,19700,200	100,20600,1000	70,27000,1000
p0(scale):	125.3	31.9	57.9	88.6	70.7
p1(mean):	7153.0	8067.4	19754.3	20610.7	27035.8
p2(sigma):	227.5	170.1	407.9	548.3	581.2
FWHM:	7.4 %	4.9 %	4.8 %	6.2 %	5.0 %
FWHM@2458:	0.8 %	0.6 %	0.9 %	1.2 %	1.1 %

Prototype Chamber : Energy spectrum

WLS coated



それぞれのピークのenergy vs 検出光子数



線形性はちゃんとあるように見える

Prototype Chamber : EL gain consistency

30keVのピークをつかってELgainを算出

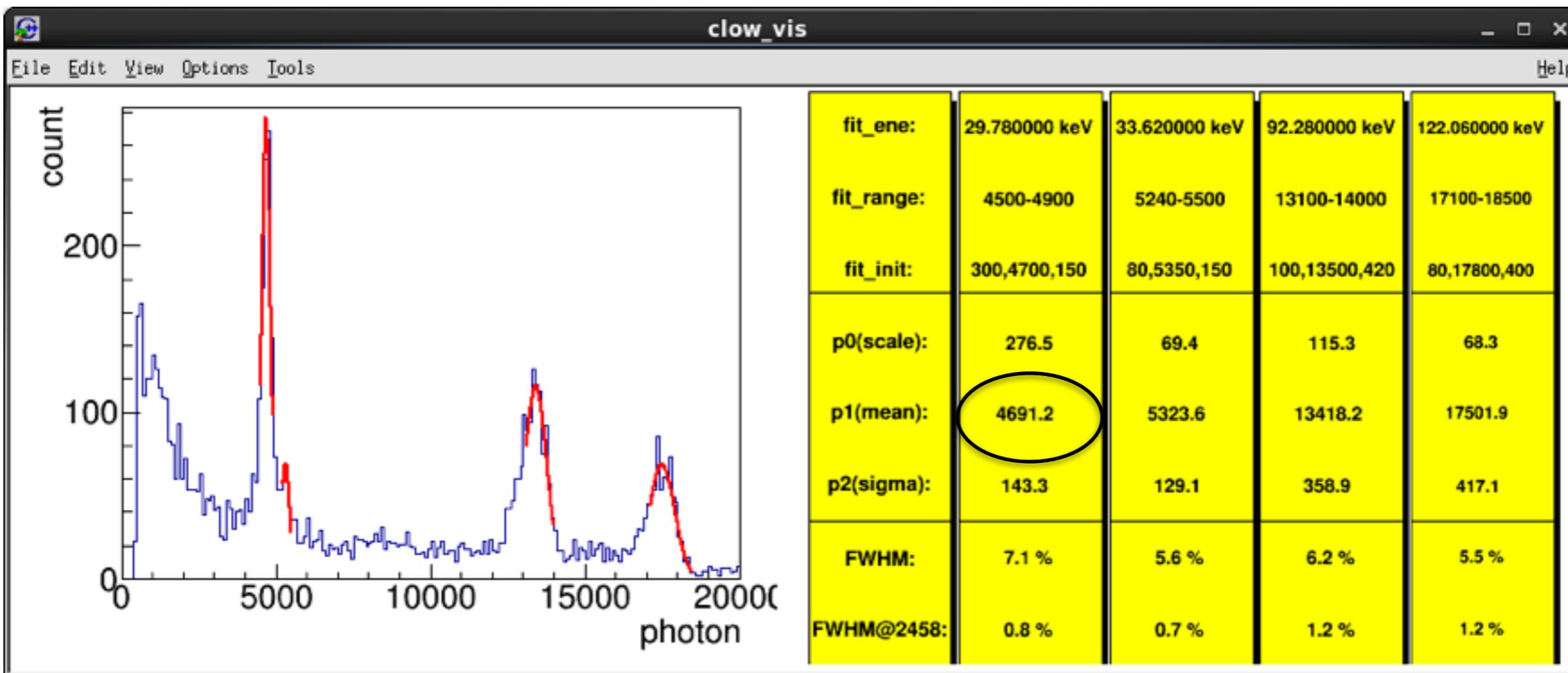
ionization electron : 29780 eV / 22.1 eV (W-value) = 1347.5 electrons

detected photon : 4691.2 photons

-> EL gain : 4691.2 / 1347.5 = 3.482

$dN_{\text{photon}}/dz = 70(E/p - 1.0)p$ に $E=9.6\text{kV/cm}$, $p=4\text{atm}$ を代入 -> $z=0.5\text{cm}$ で 784 photons/electron

-> EL photonがMPPC側に飛ぶ:0.5, WLSによる発光がMPPC側に飛ぶ:0.5, MPPC PDE:0.3をかけると 58.8



Prototype Chamber : EL gain consistency

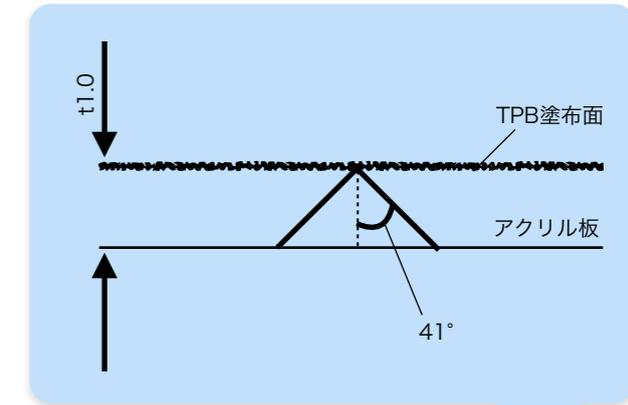
測定値

30keVのピークをつかってELgainを算出

ionization electron : 29780 eV / 22.1 eV (W-value) = 1347.5 electrons

detected photon : 4691.2 photons

-> EL gain : 4691.2 / 1347.5 = **3.482**



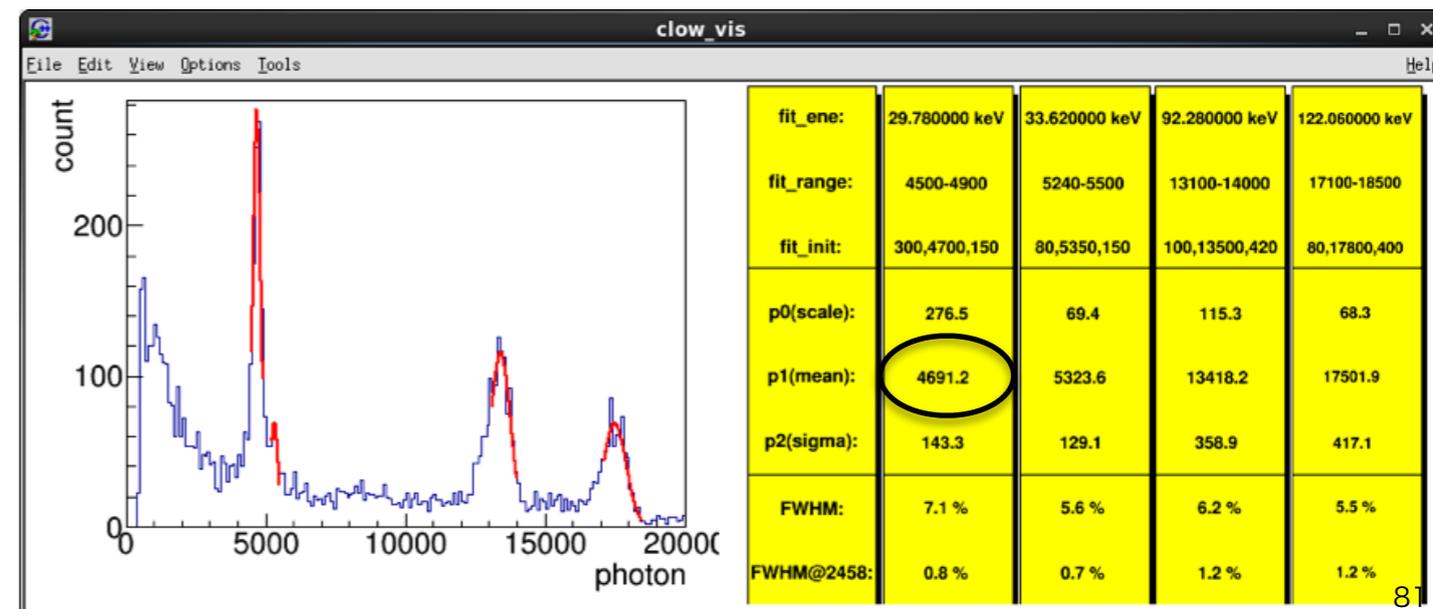
文献による見積もり

$dN_{\text{photon}}/dz = 70(E/p - 1.0)p$ に $E=9.6\text{kV/cm}$, $p=4\text{atm}$ を代入 -> $z=0.5\text{cm}$ で 784 photons/electron

- ELCCの構造 : 収集効率12.9% (xenonwiki/Light Collection Cell/elcclightcol.pptxのスライド7)
- WLS(TPB)による変換効率 : 上島さんの修論によると最大で70%程度。<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/xmass/publist/documents/Mron-f.pdf>
ただし、こちらのWLSは精製方法も異なり、最適化もほとんどされていないので、かなりover estimateになる
- アクリル板の屈折率 : 1.49~1.53より全反射の臨界角は約41°
-> 全ての光がセルの中心軸上で波長変換されたと仮定すると、アクセプタンス因子は12.55%
- MPPCのPDE : 0.35と過程

-> $784 * 0.129 * 0.7 * 0.125 * 0.35 = \mathbf{3.097}$

WLSの変換効率、アクリル板による全反射の部分で over estimateしているはずなのに測定値よりも小さい値となった



光量変化 : EL gain correction

ProtoType3

20150819

EL gainのAnode電場依存性

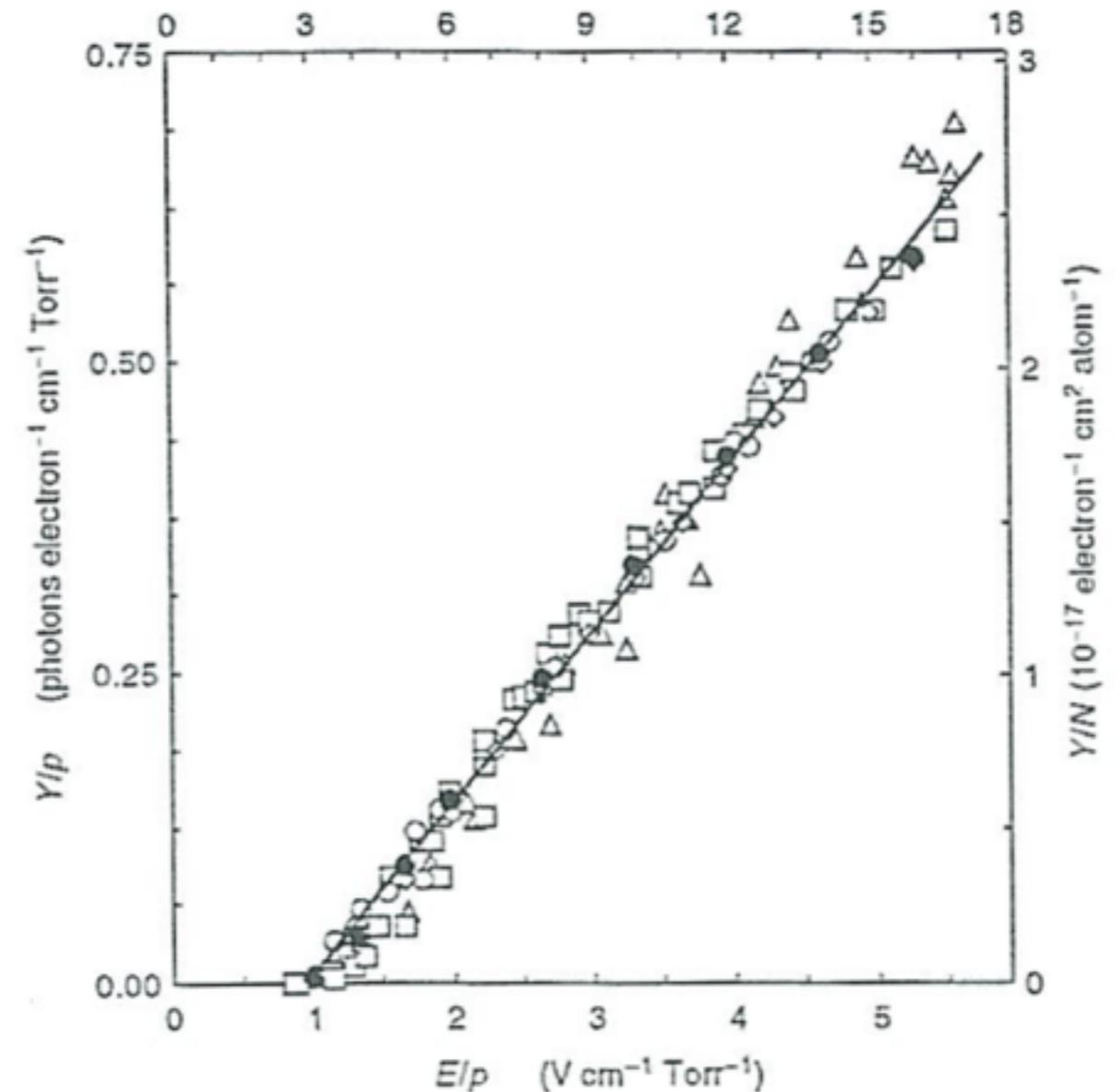
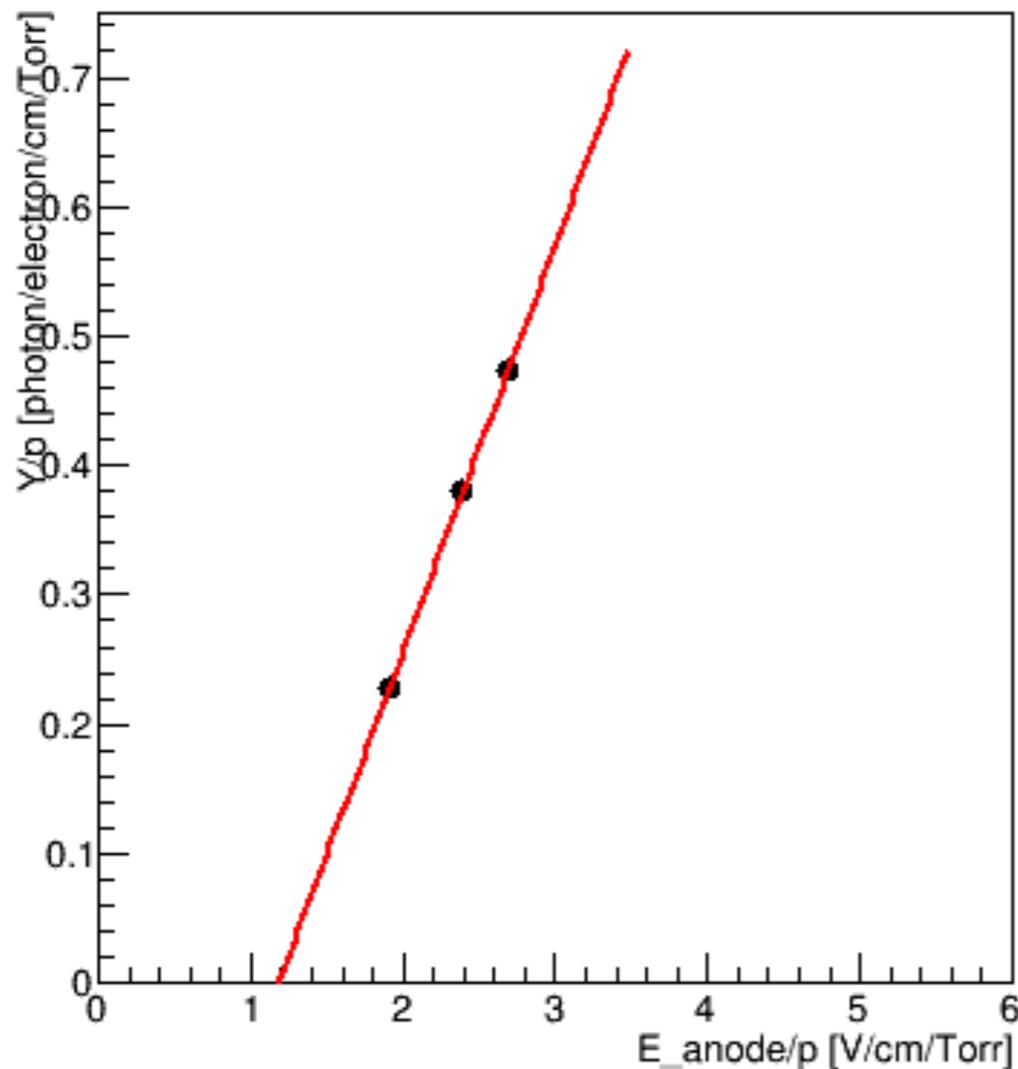
-> Thresholdは文献値とコンパラ

傾きは文献値よりもだいぶ大きめ

ただし、netのEL gainから真のEL gainを求める際に、以前の見積もりを使用した

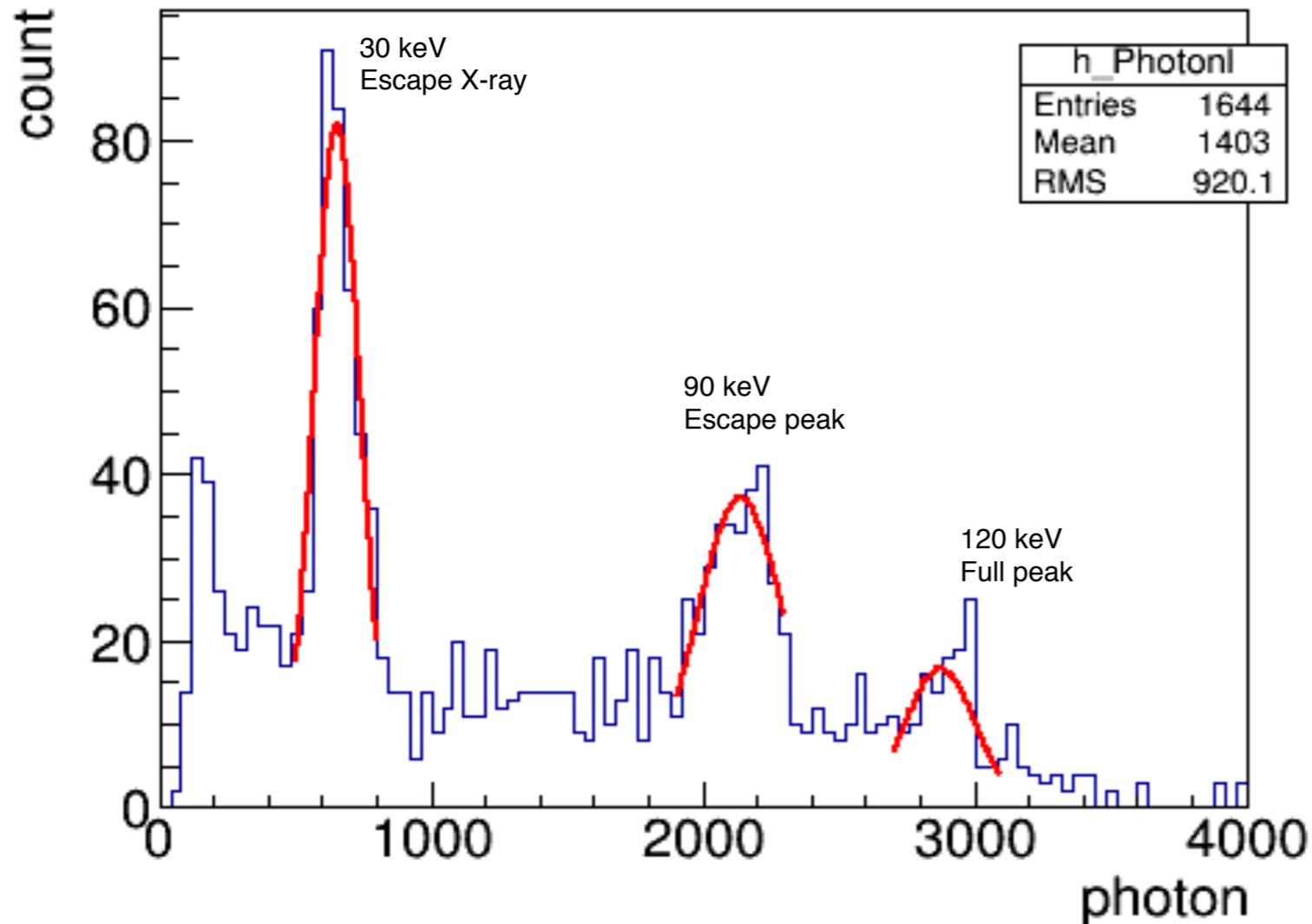
noble gas detector

ISBN: 978-3-527-40597-8



Prototype Chamber : 前回大会

前回の学会(2015年3月@早稲田)で発表したエネルギースペクトル(中村が発表)



Source : ^{57}Co

E_{drift} : 280 V/cm

E_{anode} : 8960 V/cm

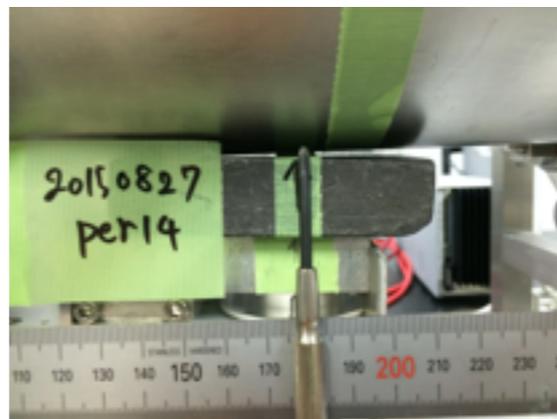
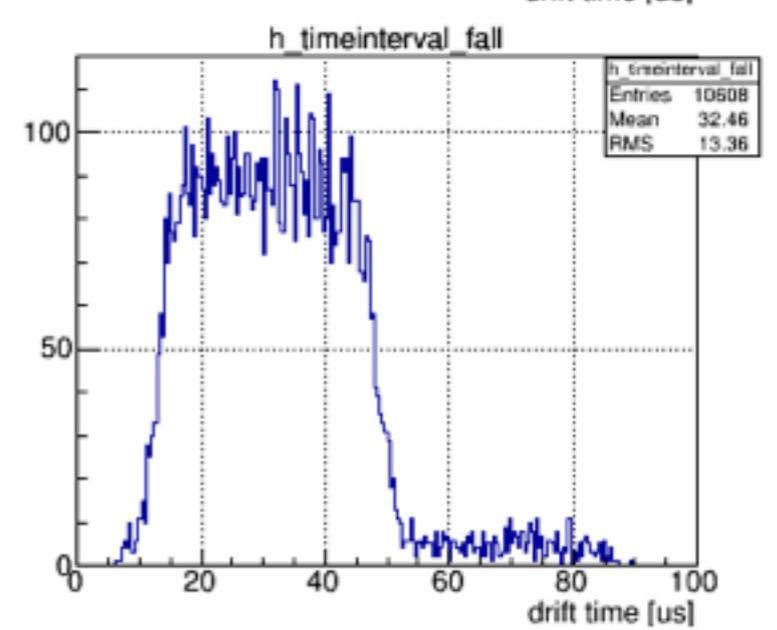
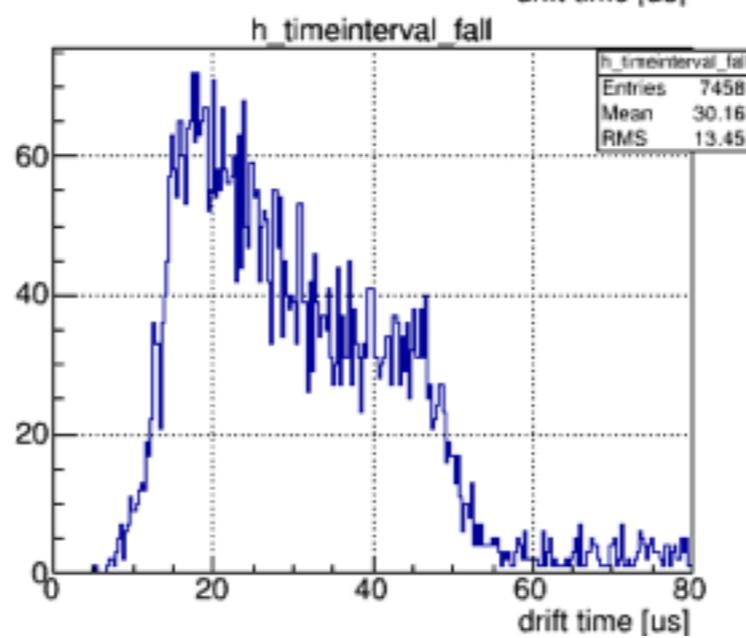
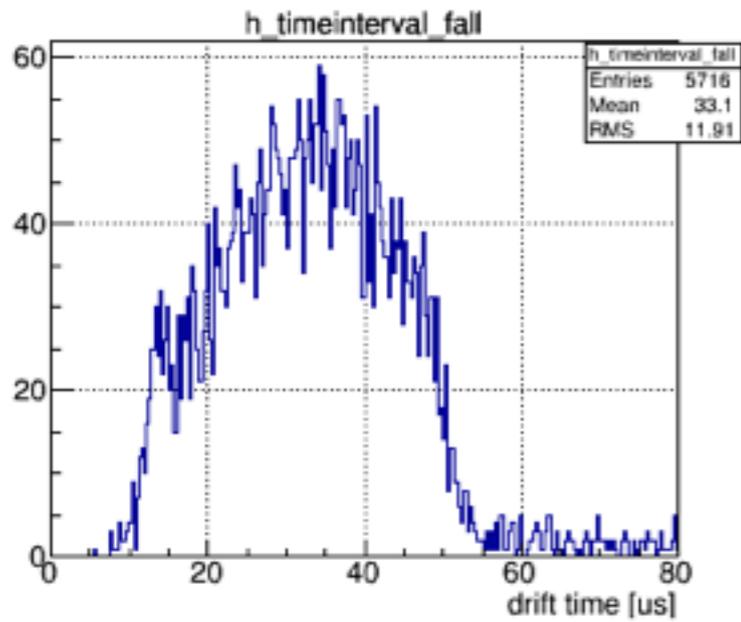
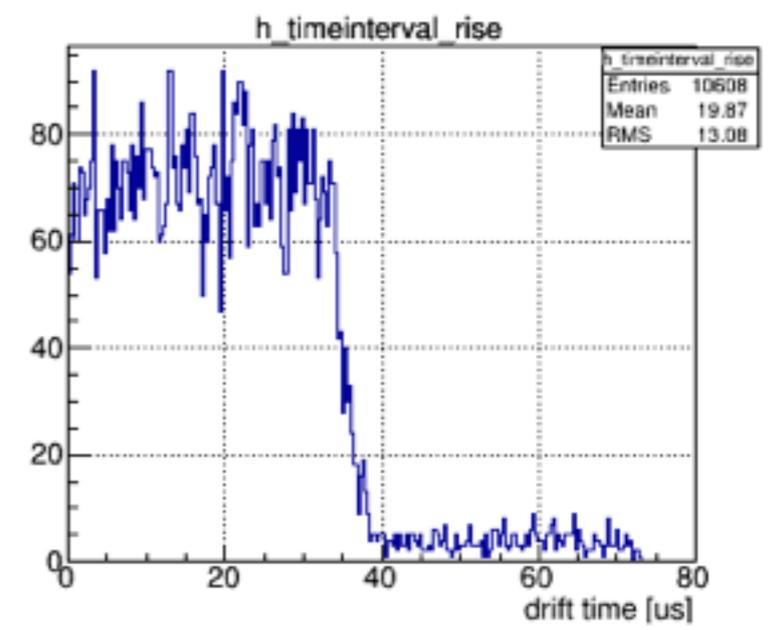
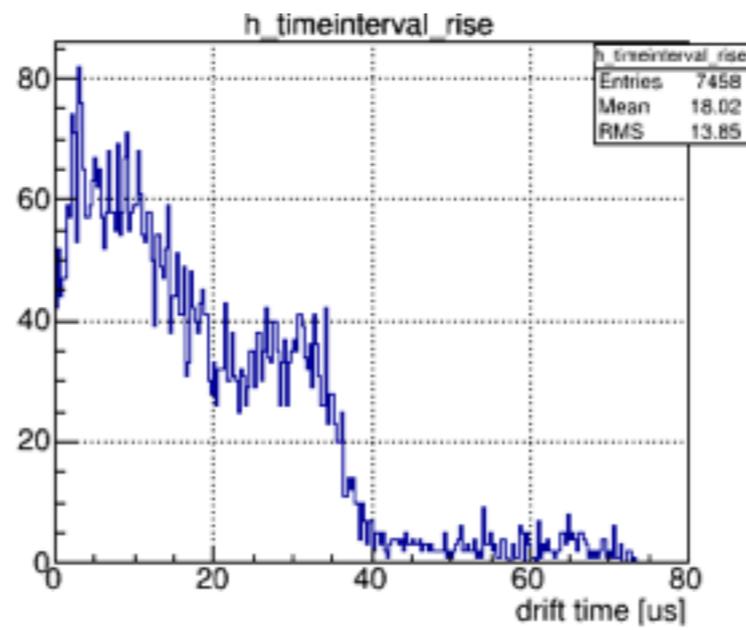
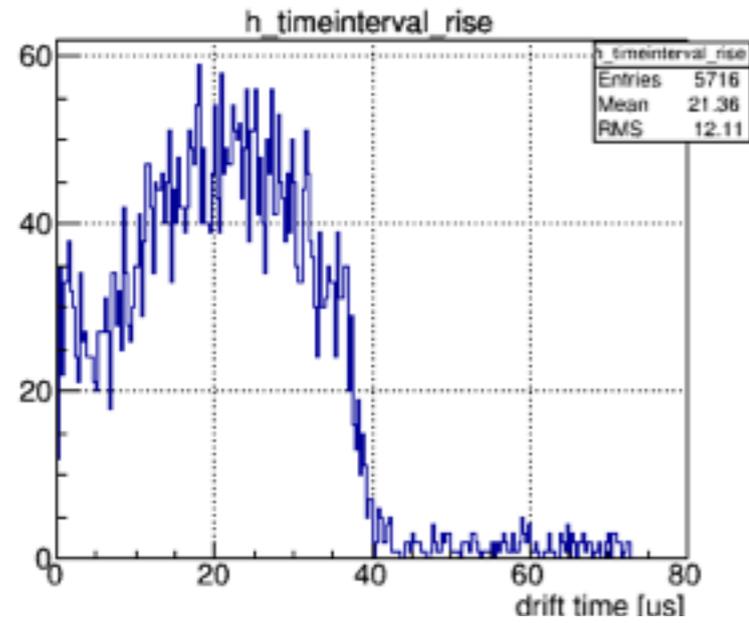
Energy [keV]	29.78	33.62	92.28	122.1
Peak [photon]	653.6	-	2138.5	2874.4
Sigma	86.3	-	163.7	122.9
FWHM	30.6%	-	17.8%	10.5%

20150826-20150827

ProtoType2

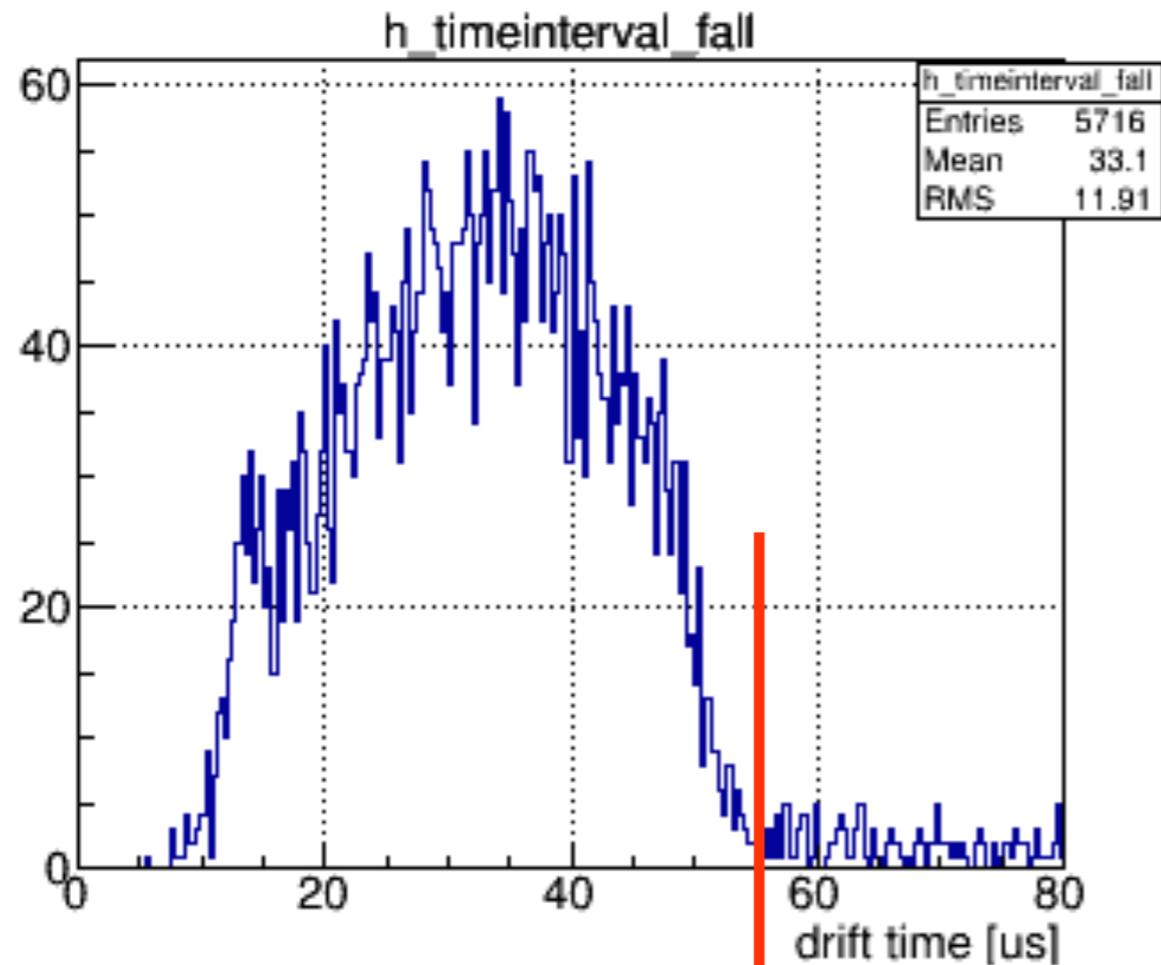
E_drift : 200.0 V/cm (E/p : 50.0 V/cm/atm)

Pbコリメータの位置による比較



per11 / Pbコリメータなし

ドリフト速度の決定



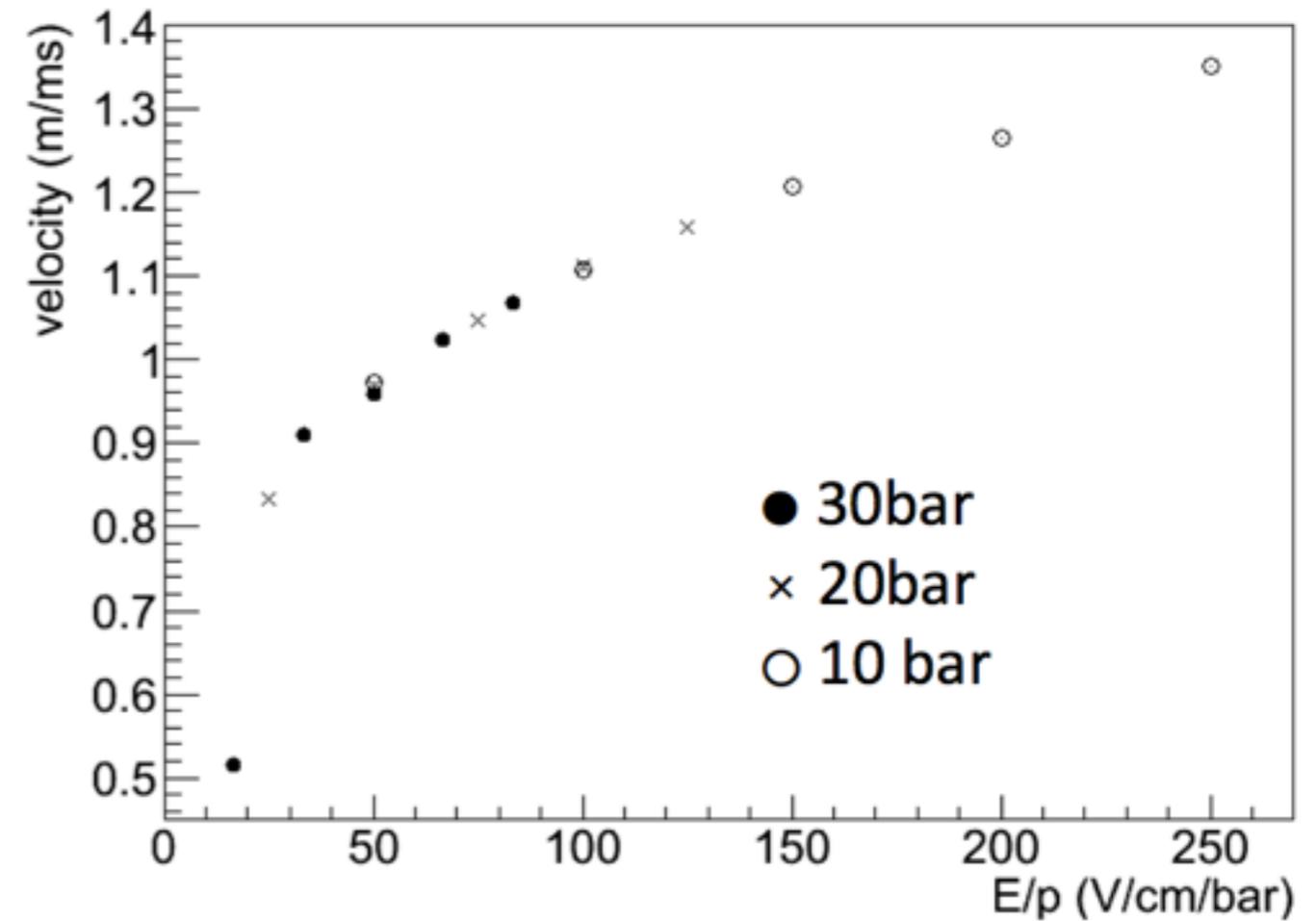
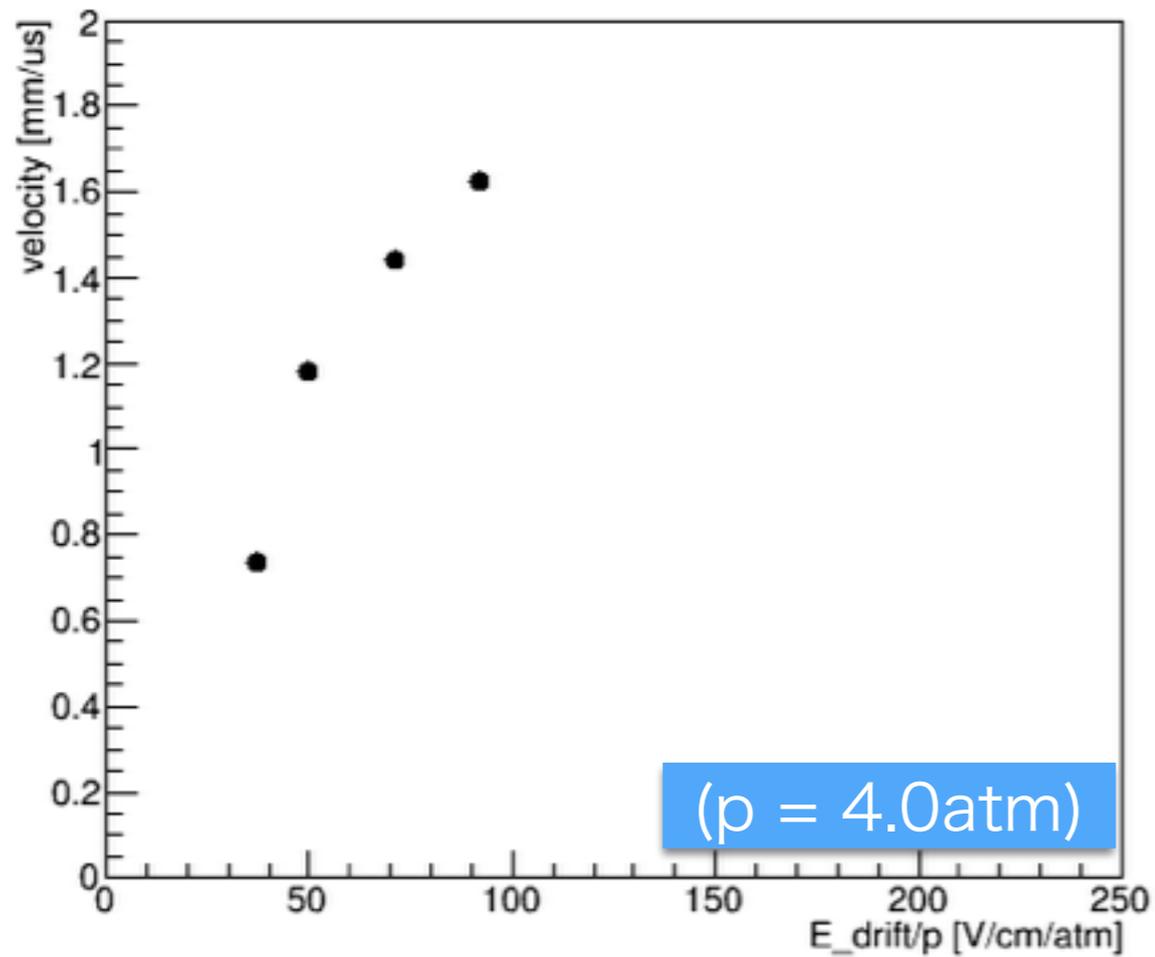
目でみてedgeを判断

-> 最大ドリフト距離(6.5cm)に対応

-> Drift速度の算出

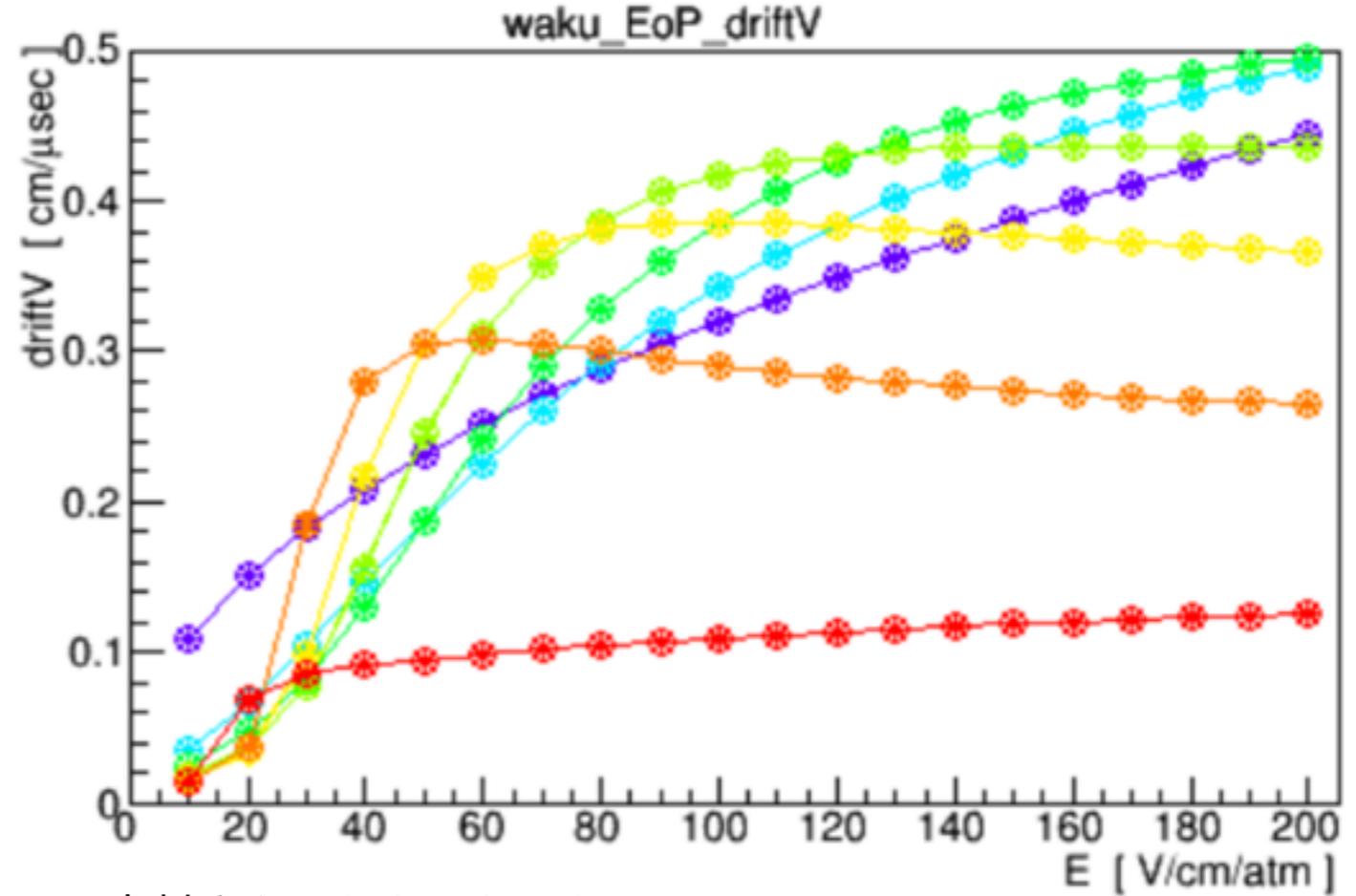
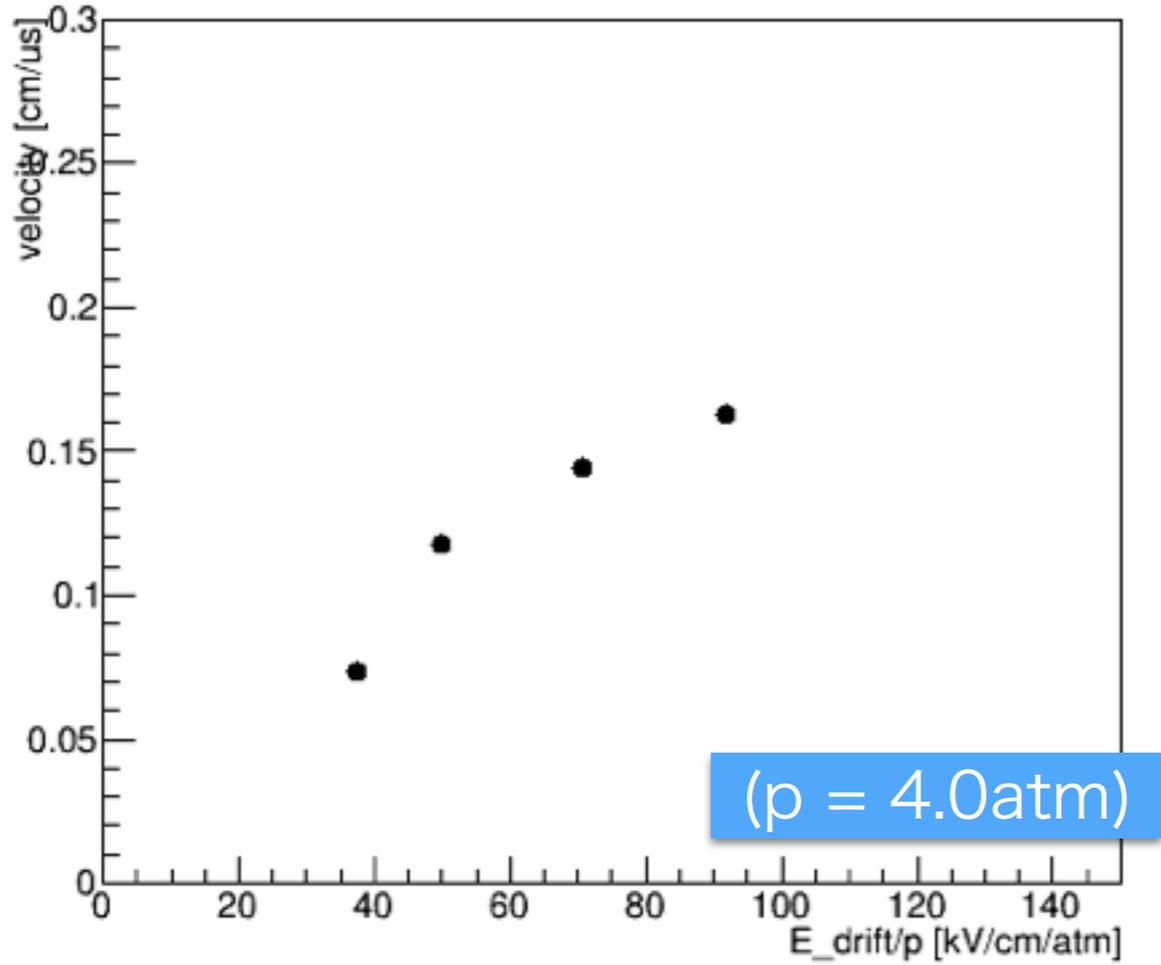
PMT信号とMPPC信号(falltime)の時間差

ドリフト速度の電場/圧力依存性

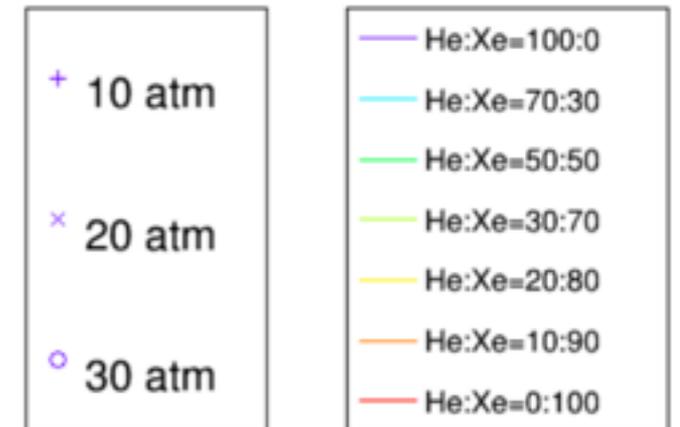


中村さんのシミュレーション結果
だと思っていたのですが、市川さんのシミュレーション
結果でした

ドリフト速度の電場/圧力依存性



中村さんのシミュレーション
結果



data set

miniChamber

ProtoType3

WLS-sheet : 20150713_2.1b

4.0 atm Xe (reuse)

Cathode : 6.0 kV

Anode : 4.8 kV

MPPC : -67.0V

WLS-coated : 20150814_2.1b

4.0 atm Xe (reuse)

Cathode : 6.0 kV

Anode : 4.8 kV

MPPC : -67.0V

条件同じ
(WLS以外)

解析条件

Fidcut	1
EL gain correction	1 * 2
all sum	1
threshold factor	4.5
PMT coincidence	0
saturation	1

Fidcut	1
EL gain correction	1 * 2
all sum	1
threshold factor	2.0
PMT coincidence	0
saturation	1