

# 液体キセノングループ報告

前回 (2012年8月21日)以降

KEKDTP重点レビュー、2013年5月21日、KEK  
田内利明



KEK：冷凍・純化システム、PMT、エンドプレート

田内利明、真木晶弘、田中秀治、三原智、佐伯学行

笠見勝裕(冷凍システム構築)、鈴木祥仁 (モニター:Labview)

佐賀大：TPC

杉山 晃

東大：DAQ、TPCテスト

森俊則

放医研：PETとしての性能仕様とシミュレーション

熊田雅之、富谷武浩、寅松千枝

横浜国大：液体キセノン基本特性、APD、ASICチップ

中村正吾、藤田崇徳、西村和真(M2)、岩崎 裕也(M1)、

大山修平(M1)、濱西 亮 (P4)

協力支援：KEK素核研回路室、田中真伸氏

レビュワー：海野義信 (KEK)、柴村英道 (埼玉県立大)



# 2012年度

2012, 3/26 chamber開放後の計画を以下に示す。

1. フロントエンドエレキのpreampのcold部分の2SK152 (JFET) を交換 (2SK218 2個使用)
2. このエレキのマザーボードの位置を上げ、Xe液面より上にする (~~Xe液に浸ったため、JFETが死んだと思われる?~~)
3. 新規購入の液面計を取付ける
4. Xe量は増量したもの
5. ~~できれば、PTRの温度コントロールをDC電流制御のものに交換、~~ ~~できなければ、シールド方法を工夫~~
6. 不純物のout-gas量を少なくする工夫を見つけること



## 2012年度 (続き 2)

7/5 液面計 (15cm)と2個の温度計 (Pt100)を追加

マザーカード上のドーターカードno.8の外にダミーカードを装着

7/17 chamber内、真空ビルドアップ試験:ゲッター交換, 活性化

7/18 16:15-, 圧縮機起動, 冷却開始

7/20 17:00-, PMT2個によるシンチレーション光量モニター開始

18:00-, 純化・循環開始@1.2L/分, その後0.1L/分 (週末)

7/23 11:00-, 循環流量を1.3L/分, 4日間でほぼ光量の飽和

7/31 テストパルスで全ch確認, 中央付近のpadで電荷シグナル確認

8/9 10:30-, 冷凍機ヘッドの温度制御をACよりDCに変更

15:30 - 17:30, ノイズ対策 - GNDライン強化, < 1/5

- 冷凍機用圧縮器から2.4msec周期

8/13 9:20, 全所停電対策のため、冷凍機停止

8/20 19:26 冷凍機再起動



## 2012年度 (続き 3)

9/20 液温上昇,ヒーターパワー減のためコールドヘッド(CH)300Kに  
15分間加温 : ヒータパワー回復 3W→5W

9/21  $\alpha$ 2電荷シグナル量 - 9/7 - 9/20までの低成長を一挙に回復

9/26 TPCFE09使用のための基板設計開始 : GN-1294-1(FR4),-2(LTCC)

10/1- CH一時加温 /日を開始

10/2 CH一時加温 ( 9:25 - 14:26)

10/15,16,17,18,19 CH一時加温 2時間程度

12/6 GN-1294-1 製作開始 ( 2013 1月納入)

**2013** 1/20 CH一時加温 /日を停止

2/4 - 3/28 TPCFE09/GN-1294-1 の試験と回路シュミレーション評価

3/8 電荷通過率の測定 (TPCグリッド電圧依存性)

3/11 電荷ドリフト速度の測定 (カソード電圧依存性)

3/12 - 22 EDIT2013

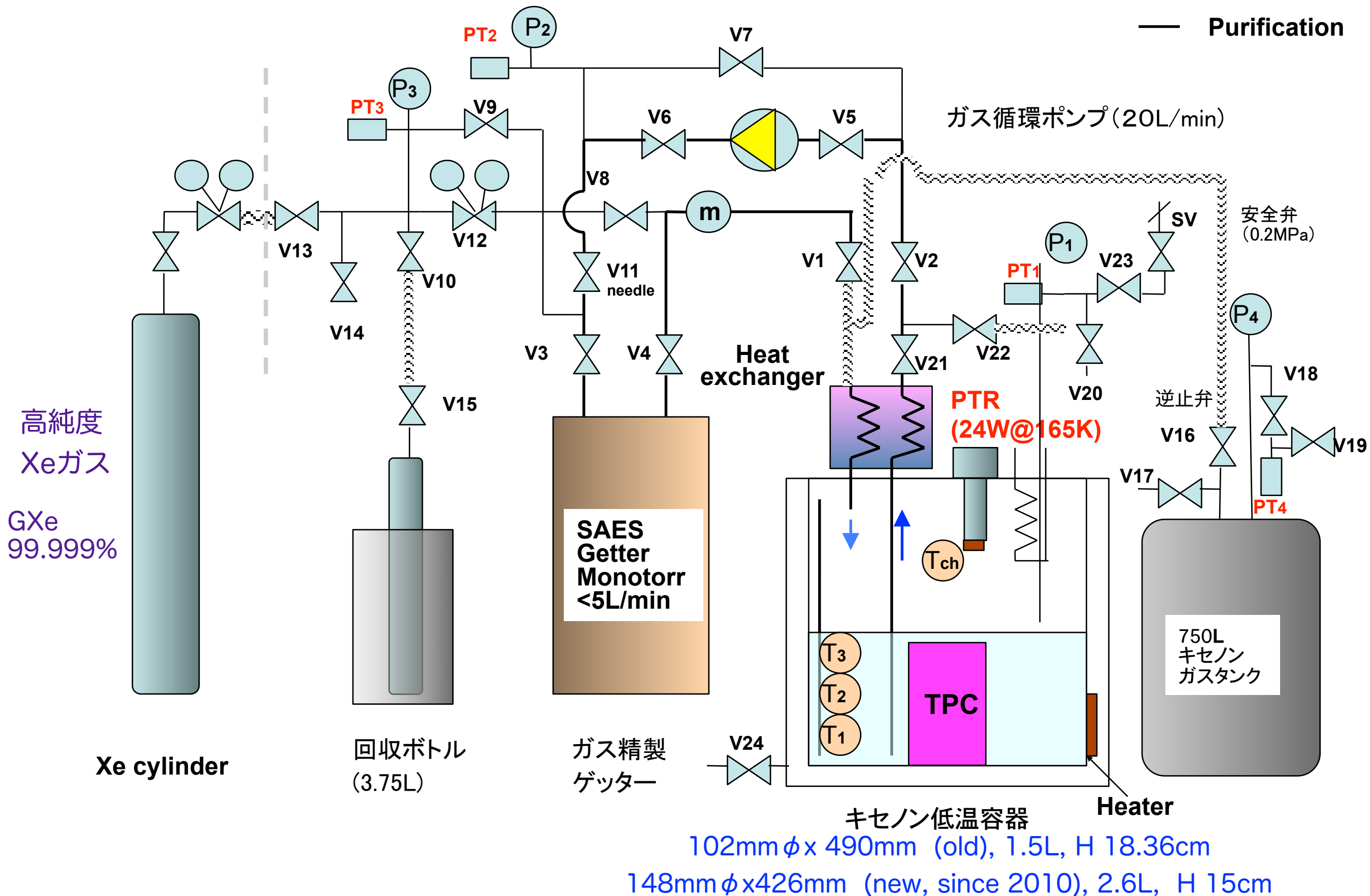
3/29 9:00 ガス循環を停止



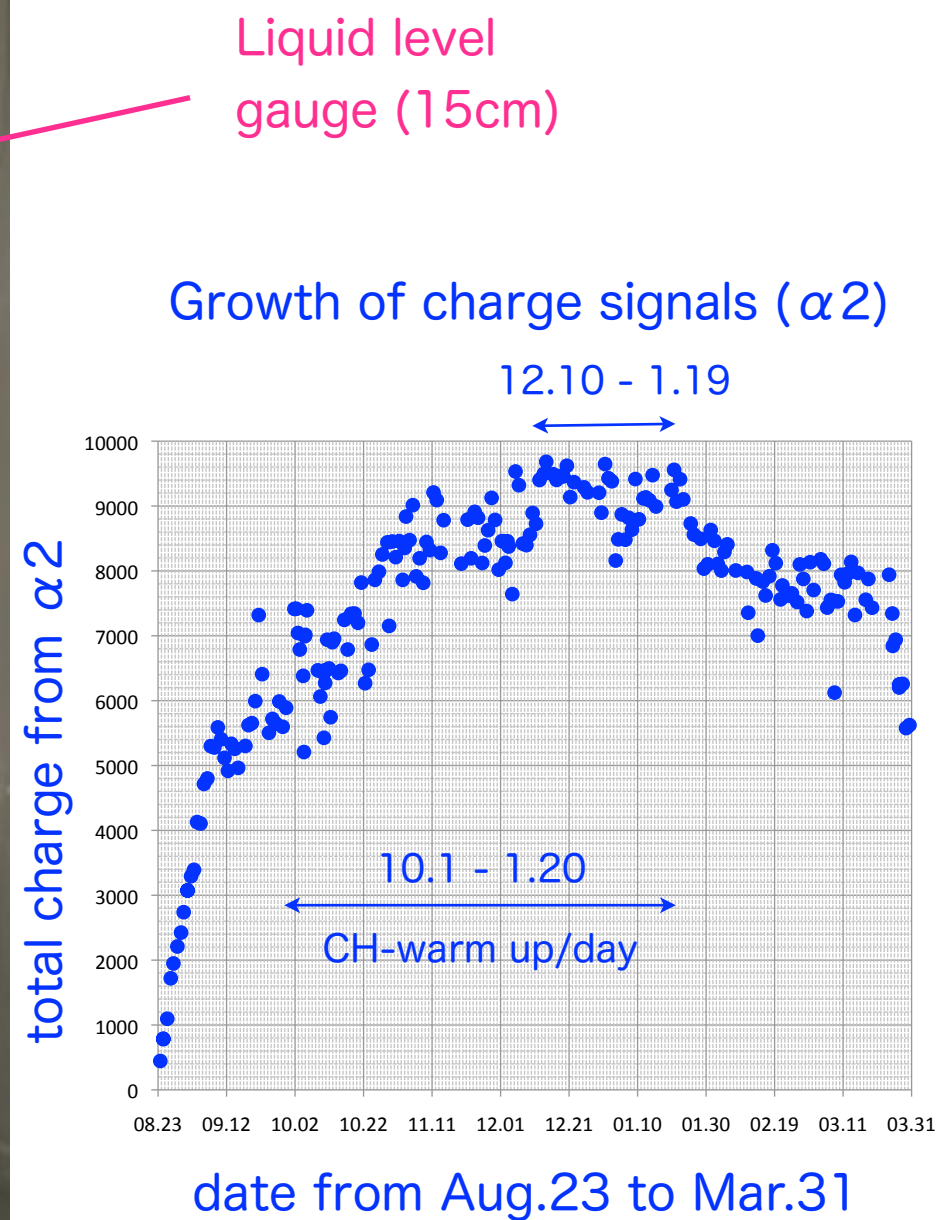
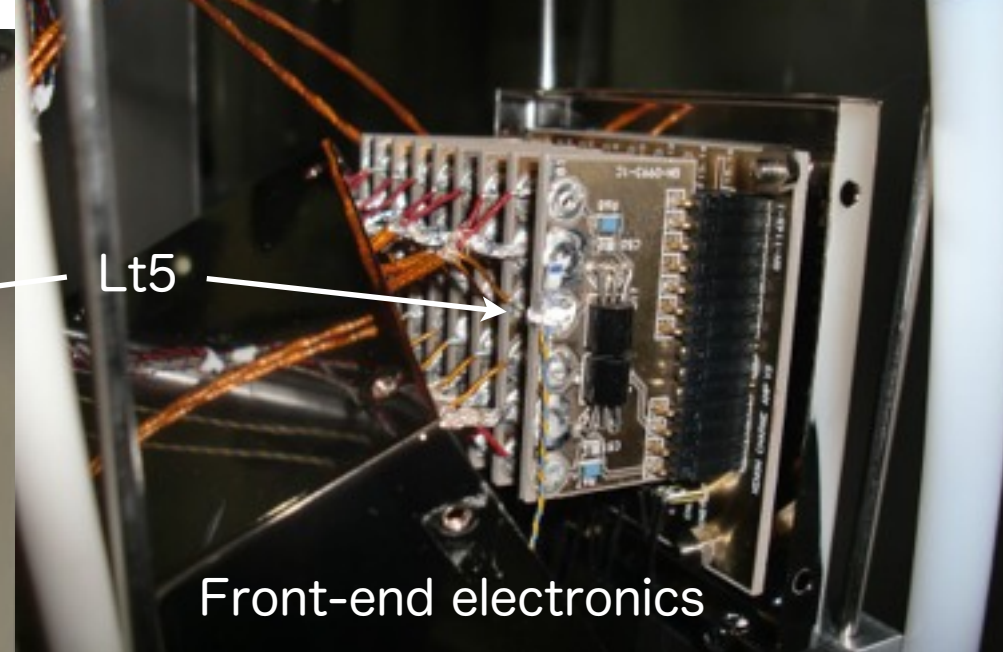
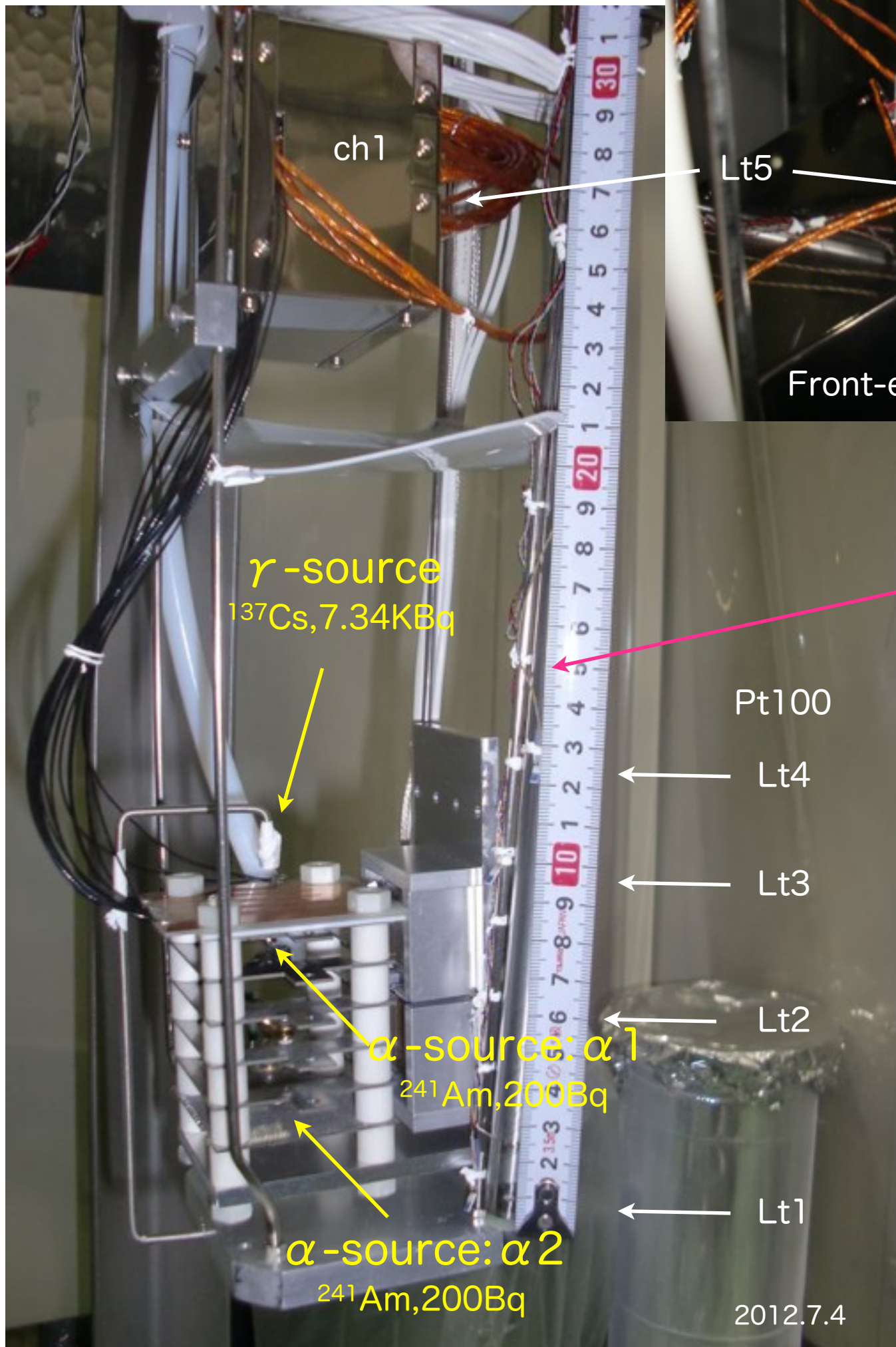
# 液化・純化システム

since June 2008

オイルフリー・ダイアフラムポンプ（エノモト）によるガス循環精製

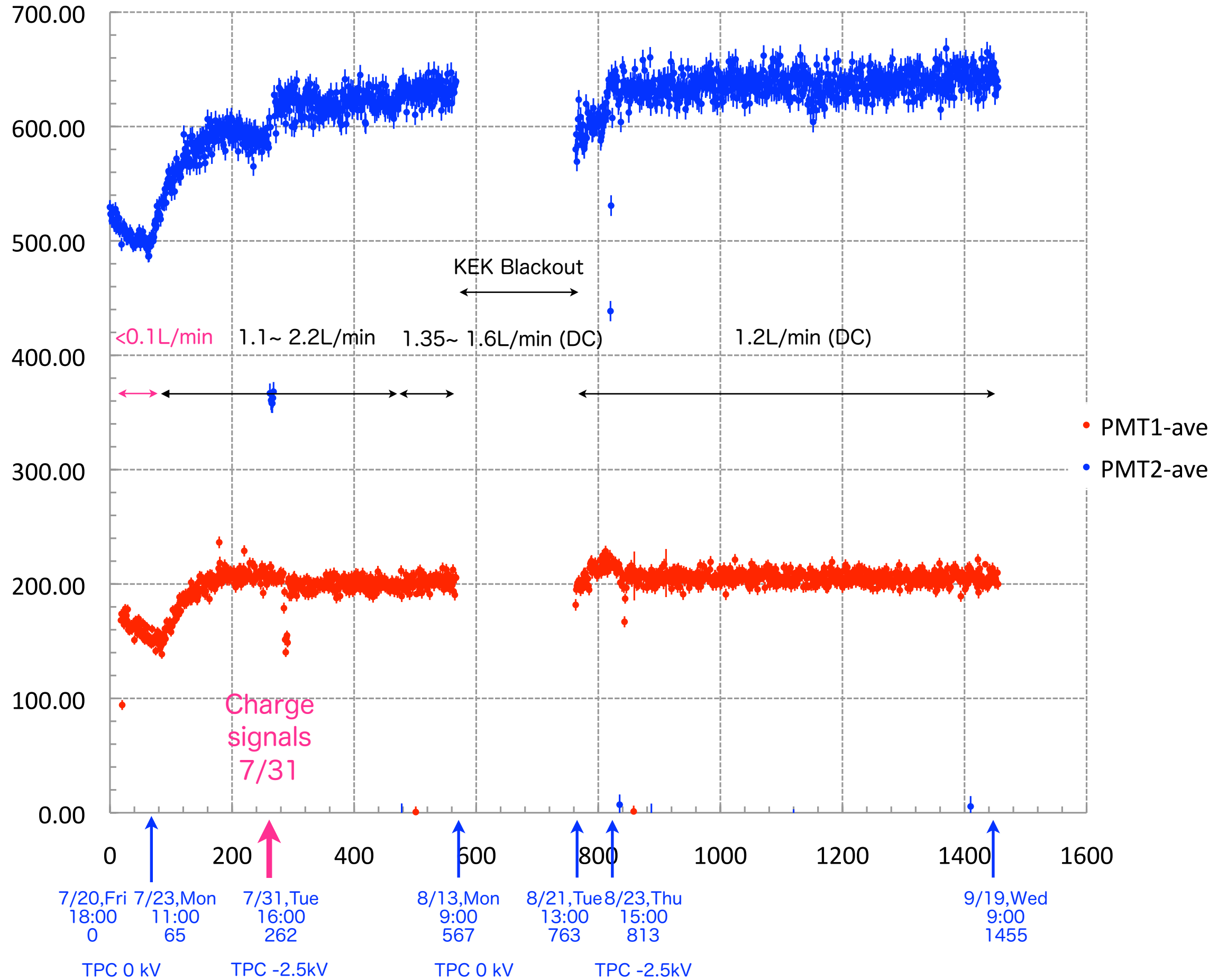








# Scintillation lights in Liquid Xe, 7/20-9/19, 2012

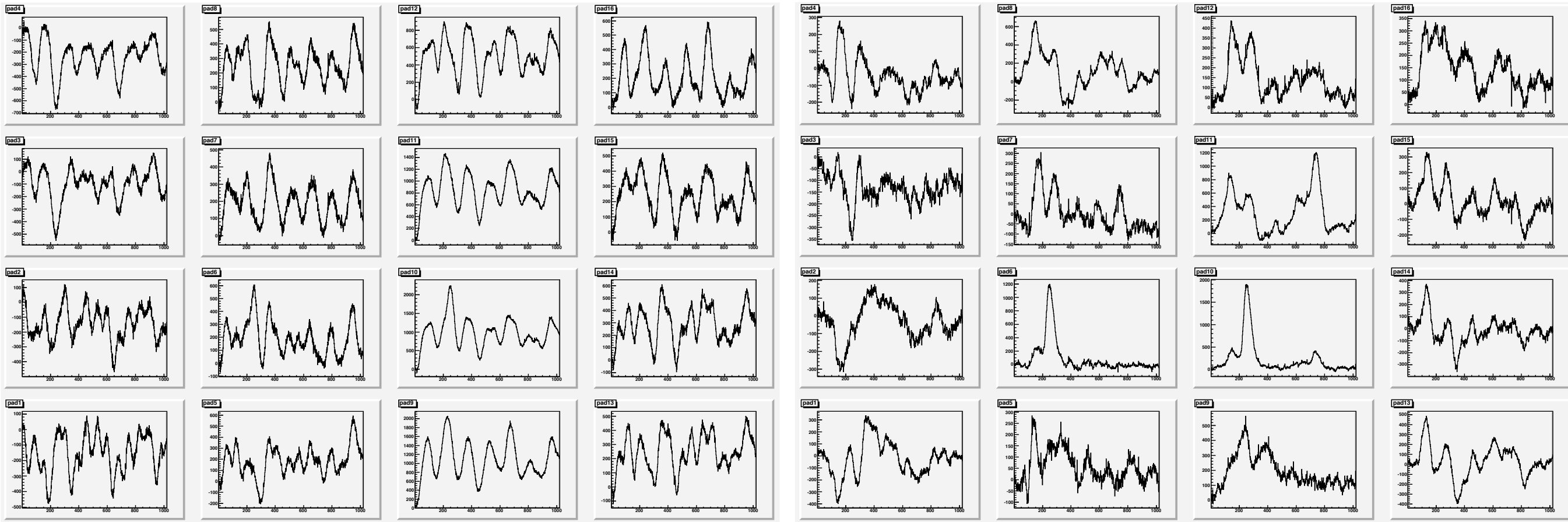




# Charge signals of 16 pads from 3,000 events

First Observation  
31 July 2012

Noise reduced  
9 August 2012

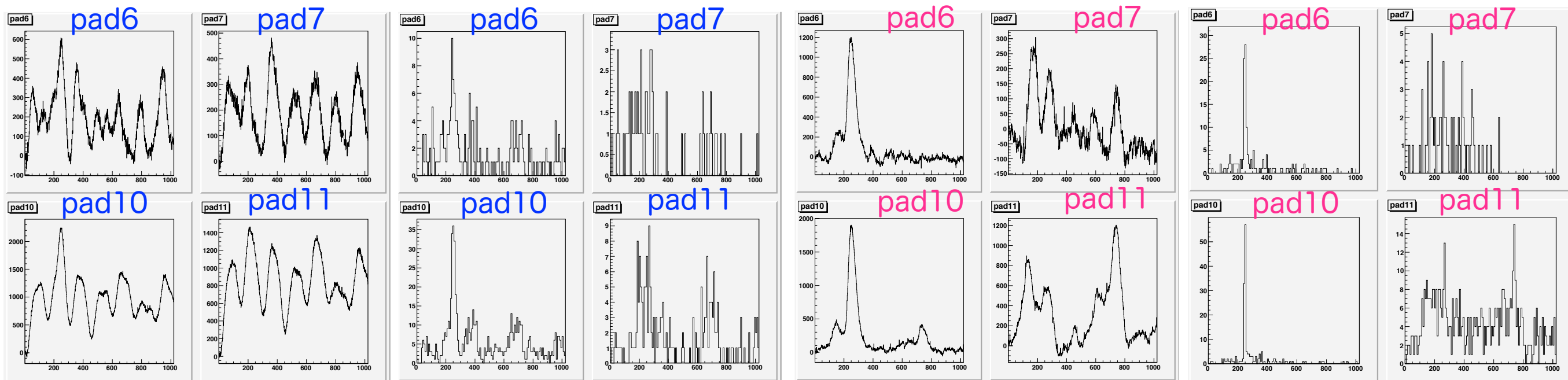


amplitude (FADC)

time (Gauss fit)

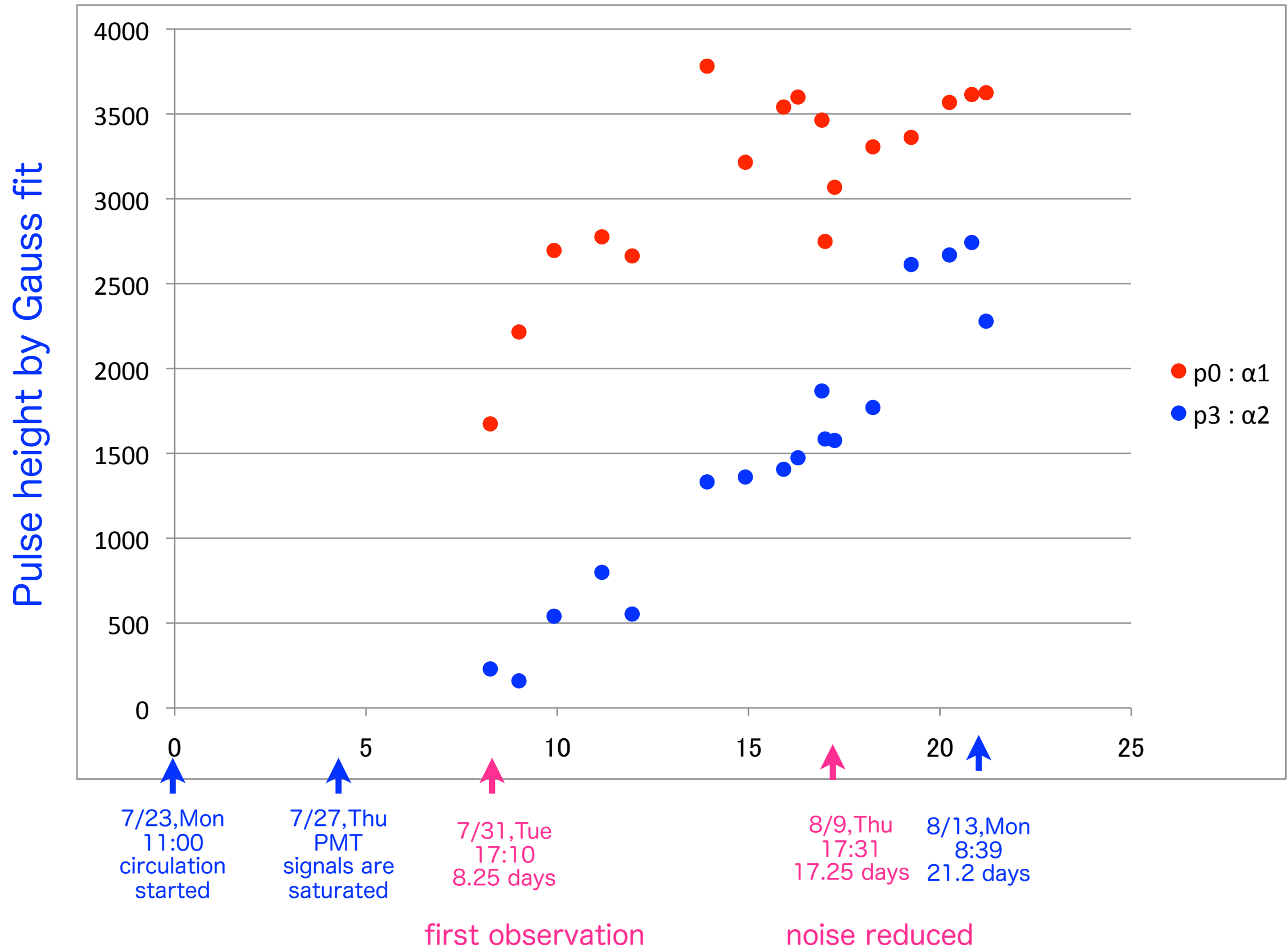
amplitude (FADC)

time (Gauss fit)



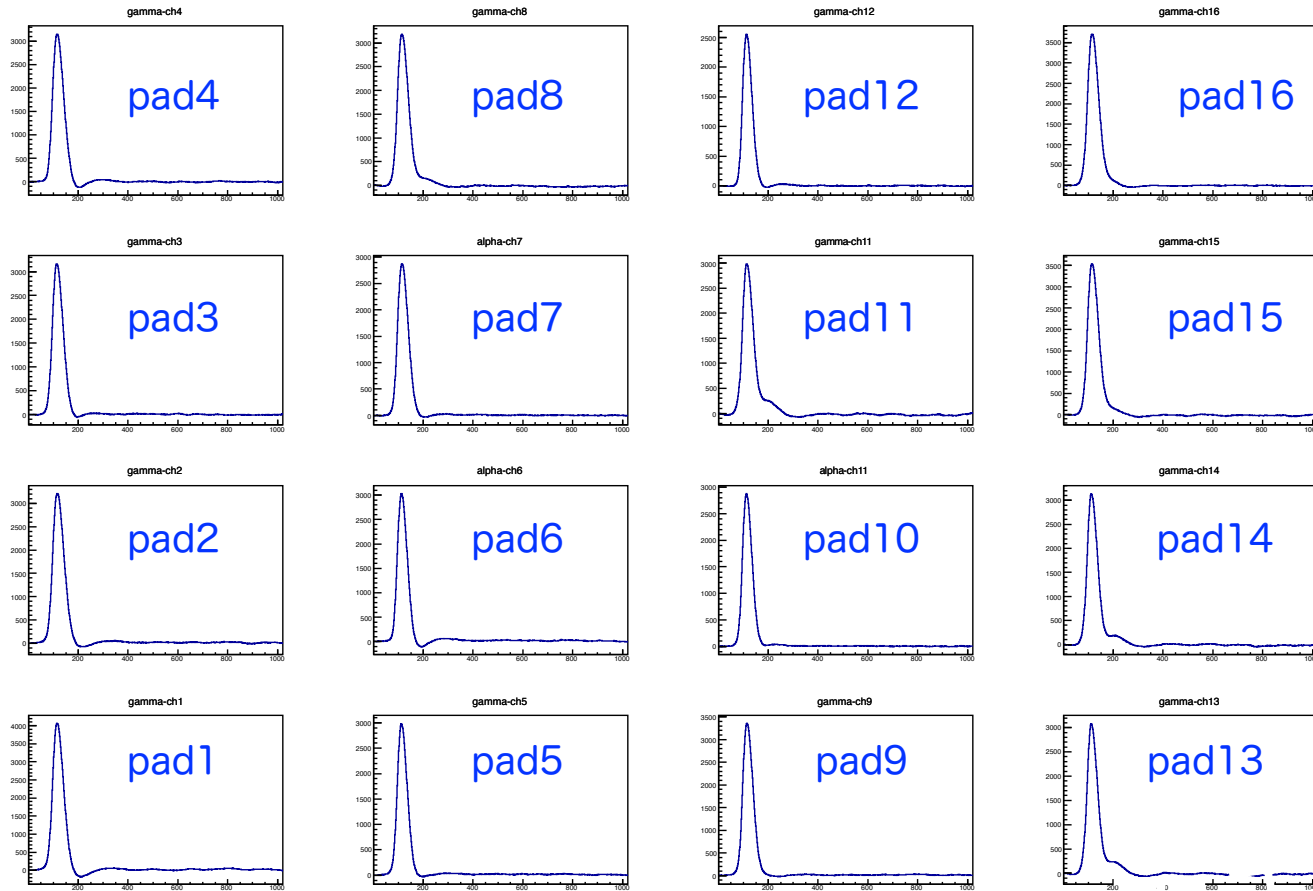


# Charge signals in Liquid Xe, 7/23-8/13, 2012

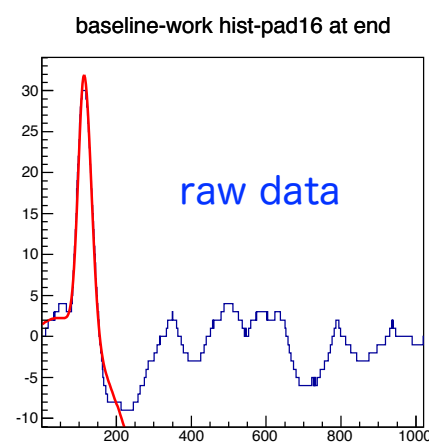
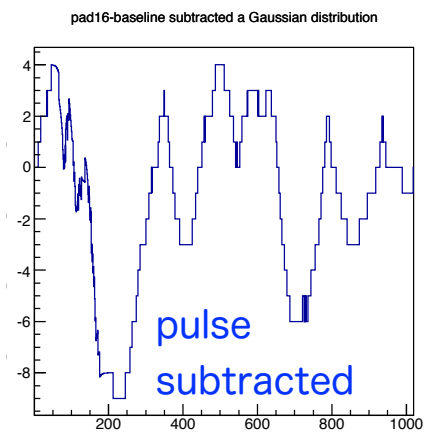
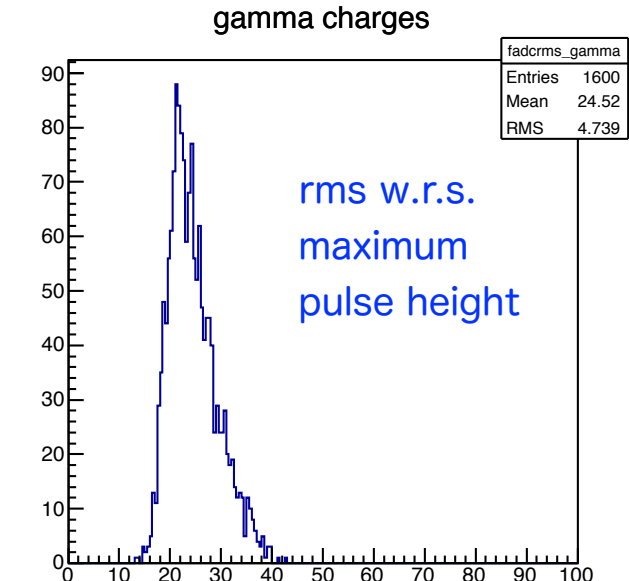
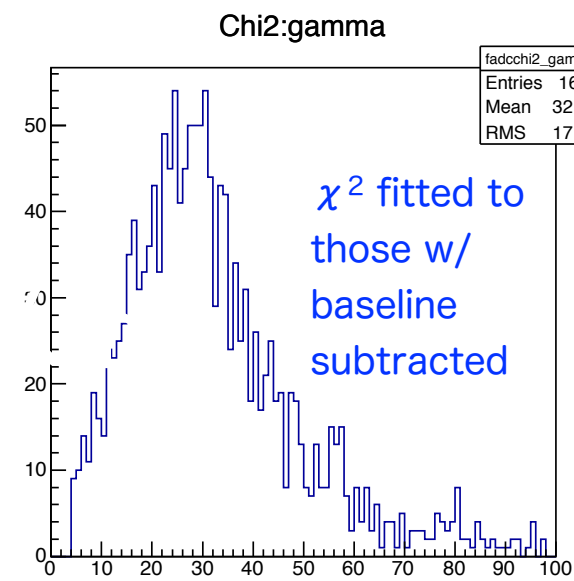




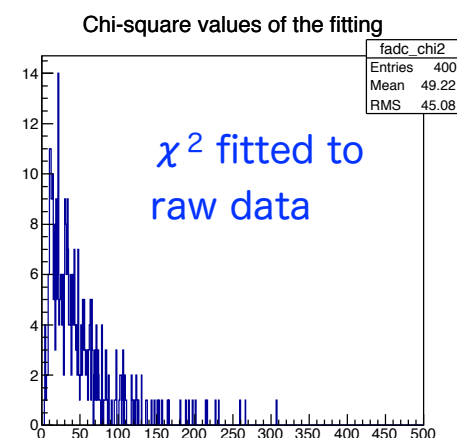
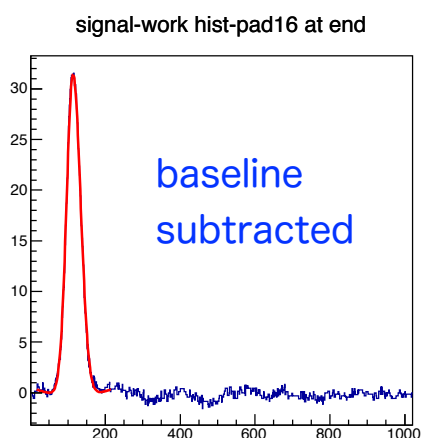
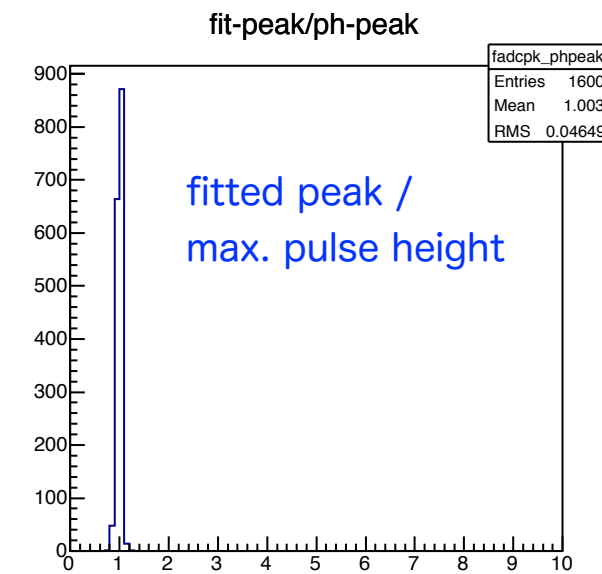
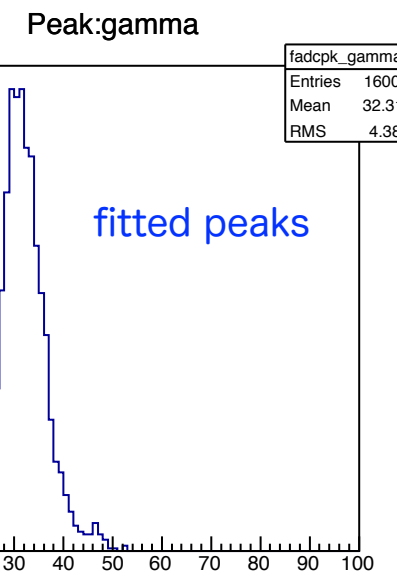
# Performances of test pulse run 2012.8.23 18:35



Test pulse : 50Hz, 0.025V w/ 31dB, 0.7mV,  $C_i=2\text{pF}$ , i.e. injected charge = 1.4fC;  
 Preamp gain = 10mV/fC w/  $C_{fb}=0.1\text{pF}$  -> 14mV, but output impedance=100Ω instead of 50Ω@the scope, so  $14/2=7\text{mV}$  expected ;  
 Observed : 5mV@preamp, 240mV@shaper-amp  
 FADC20MHz :  $240/7.8=31$  counts expected  
 So,  $240\text{mV}/1.4\text{fC} = 171\text{mV/fC}$

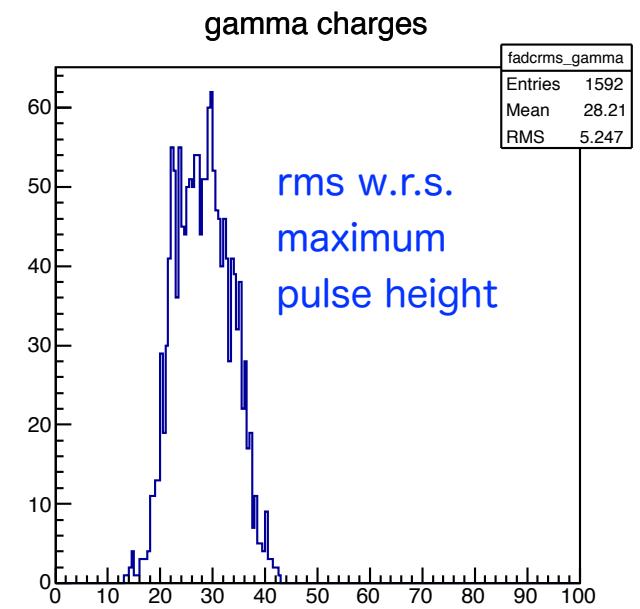
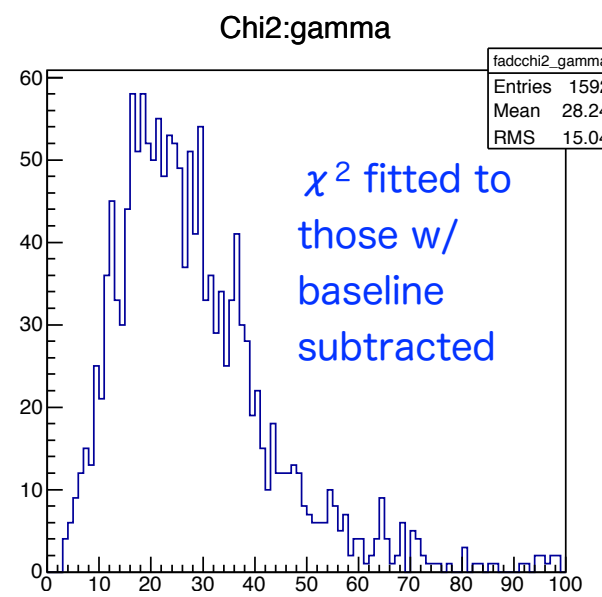
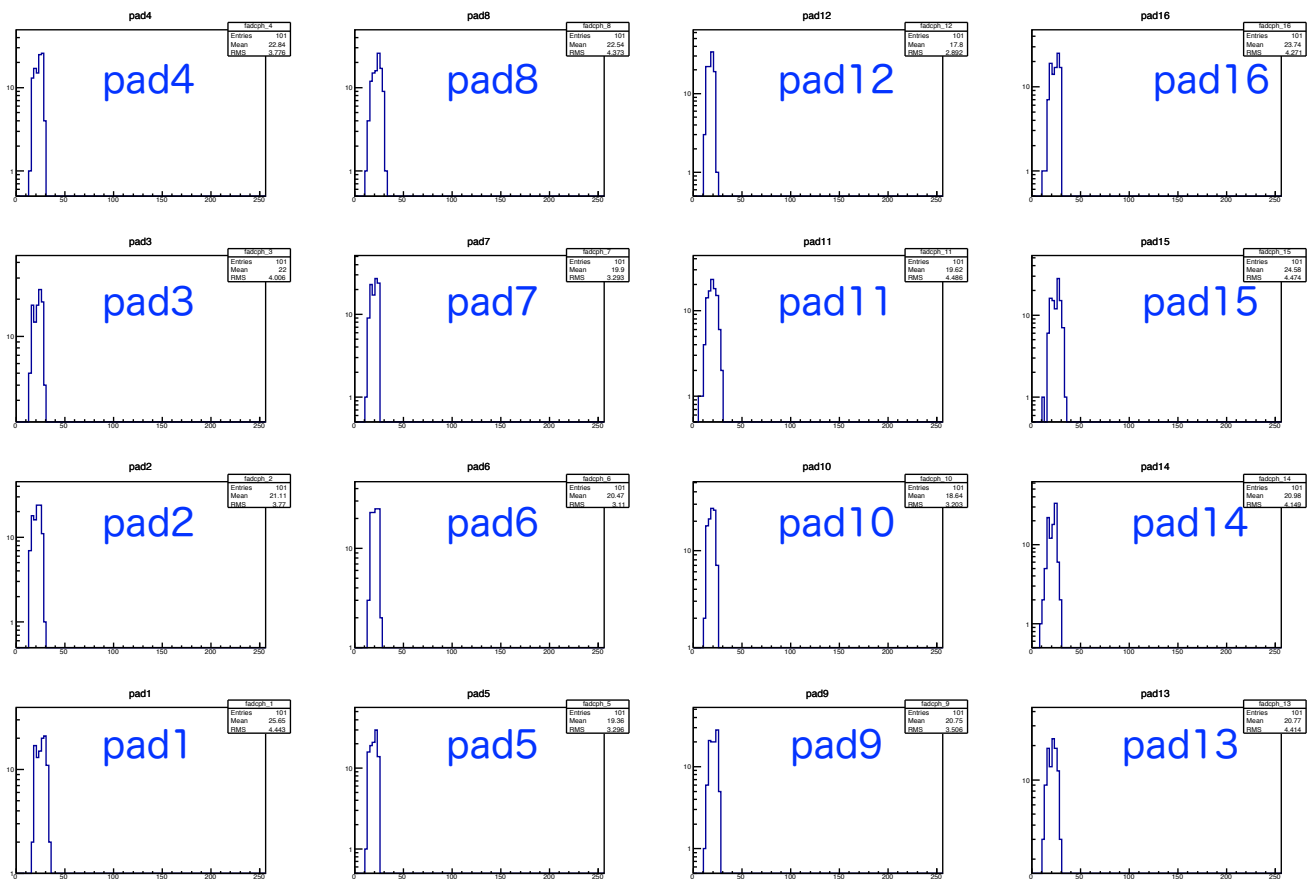


pulses are fitted with dual-Gaussian and 2nd order polynomial (baseline)

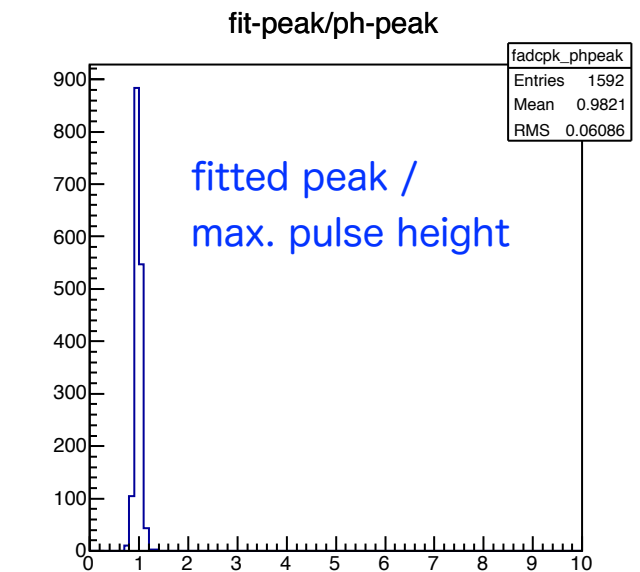
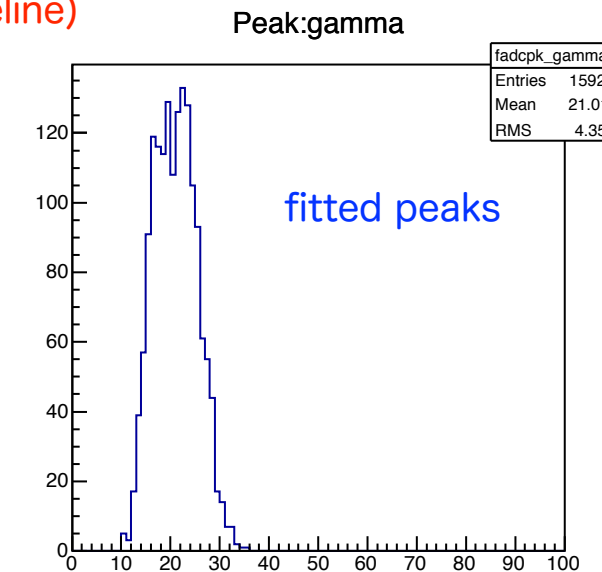
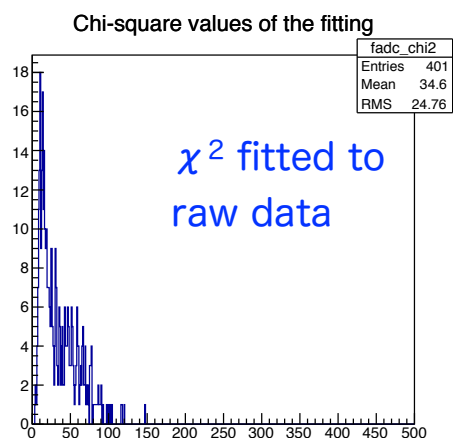
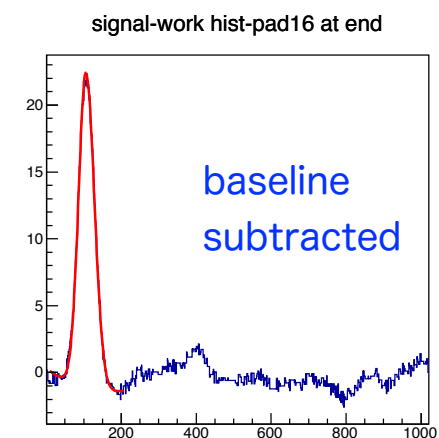
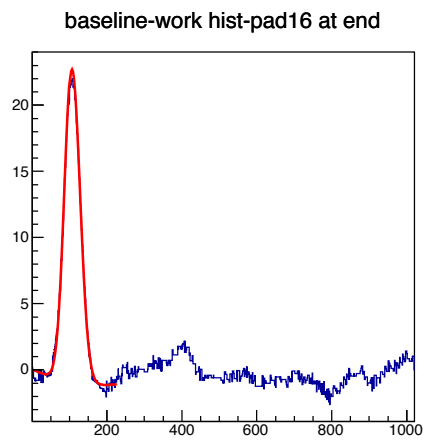
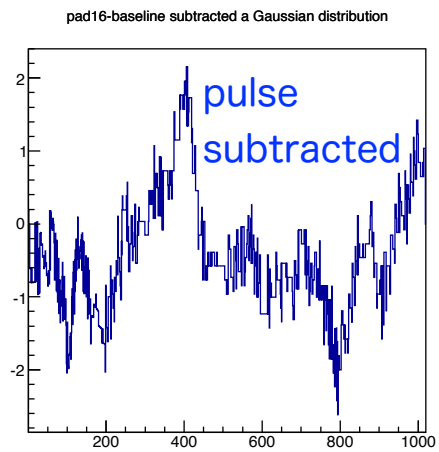




# Performances of test pulse run 2013.5.1 18:37

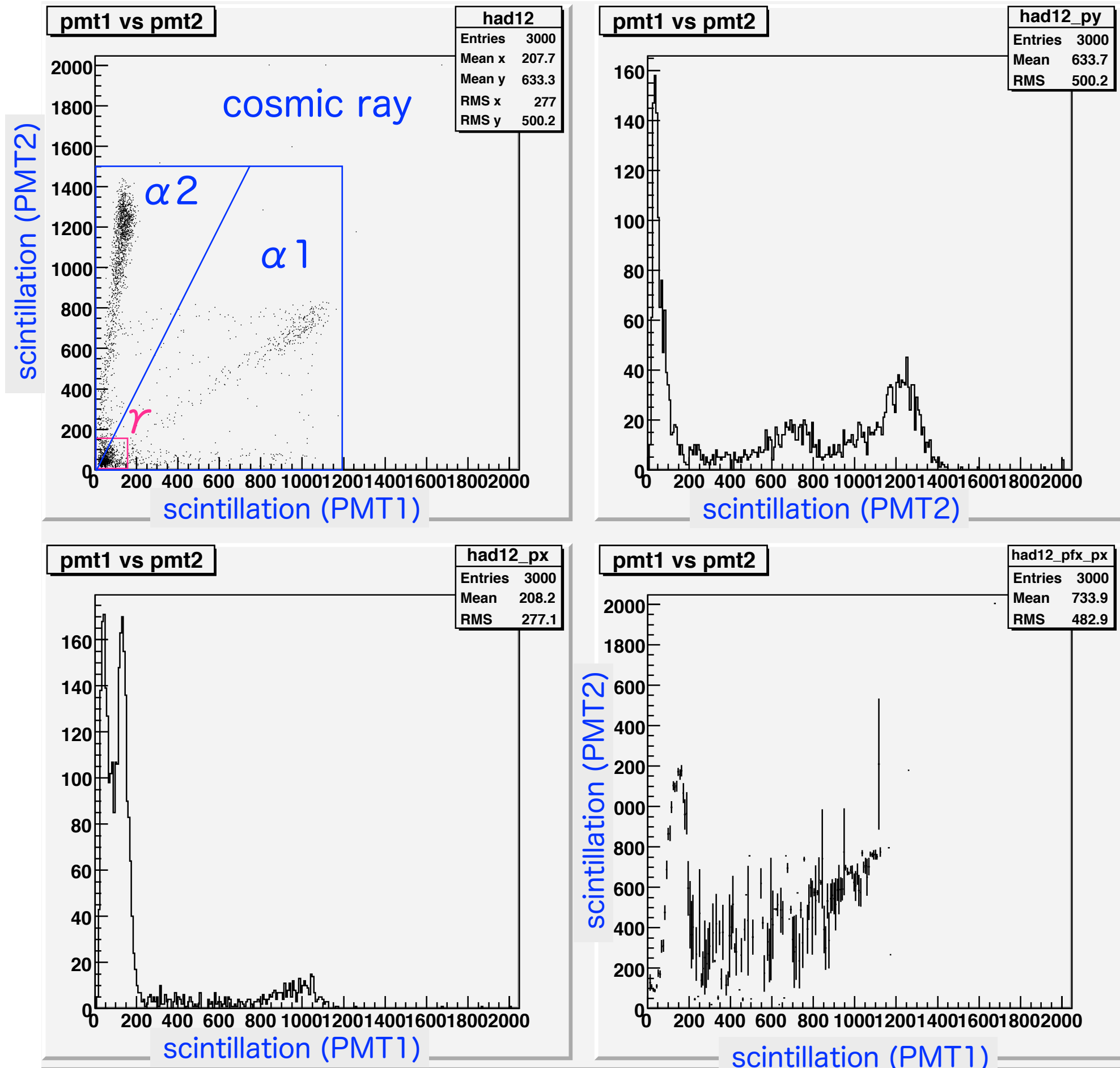


pulses are fitted with dual-Gaussian and 2nd order polynomial (baseline)



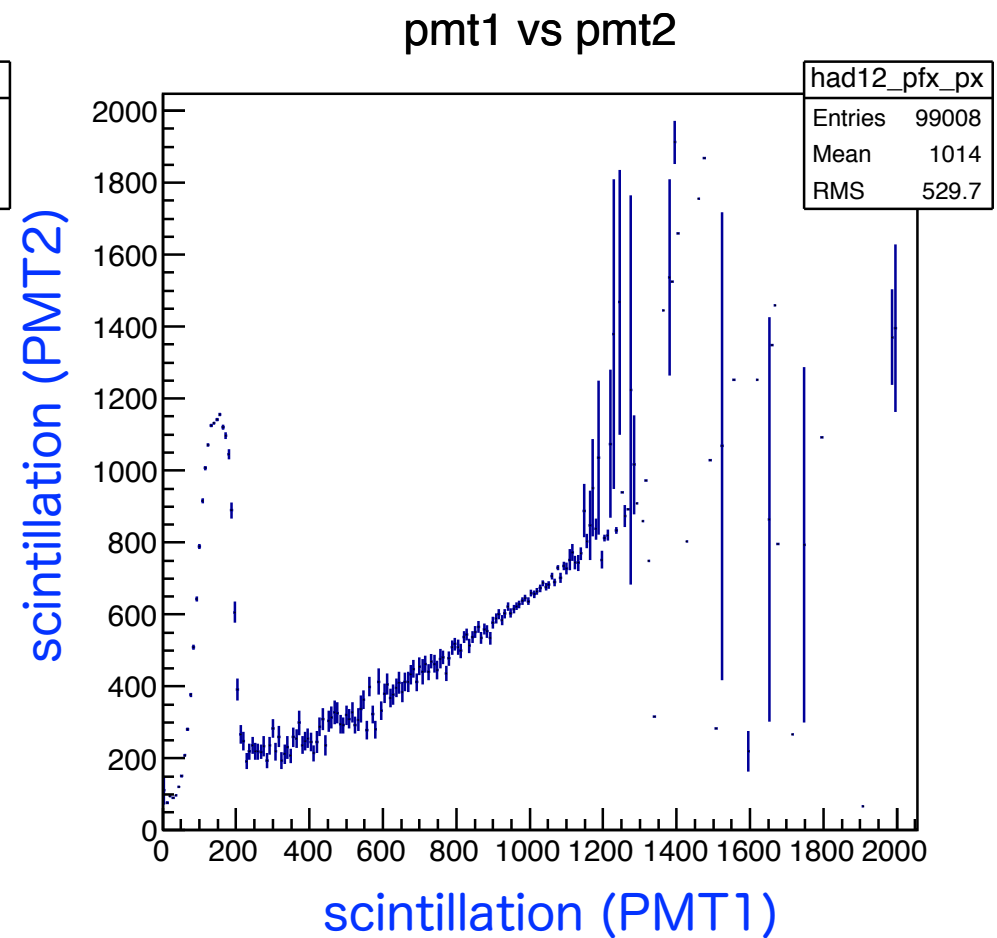
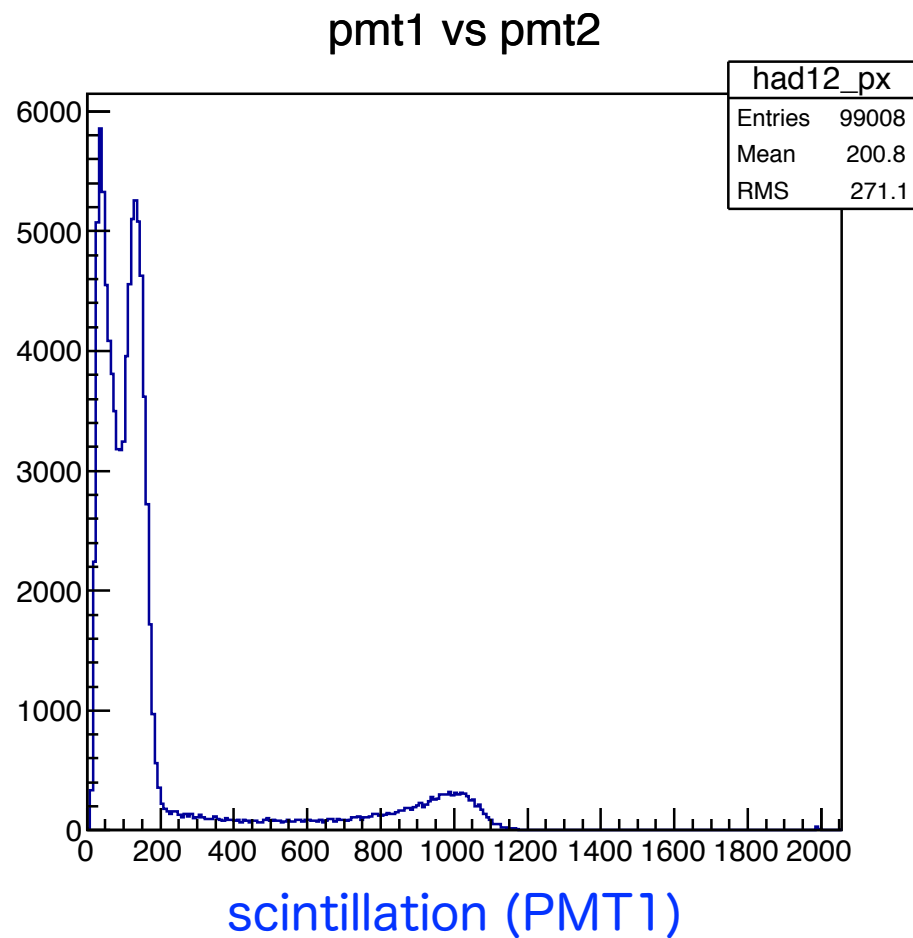
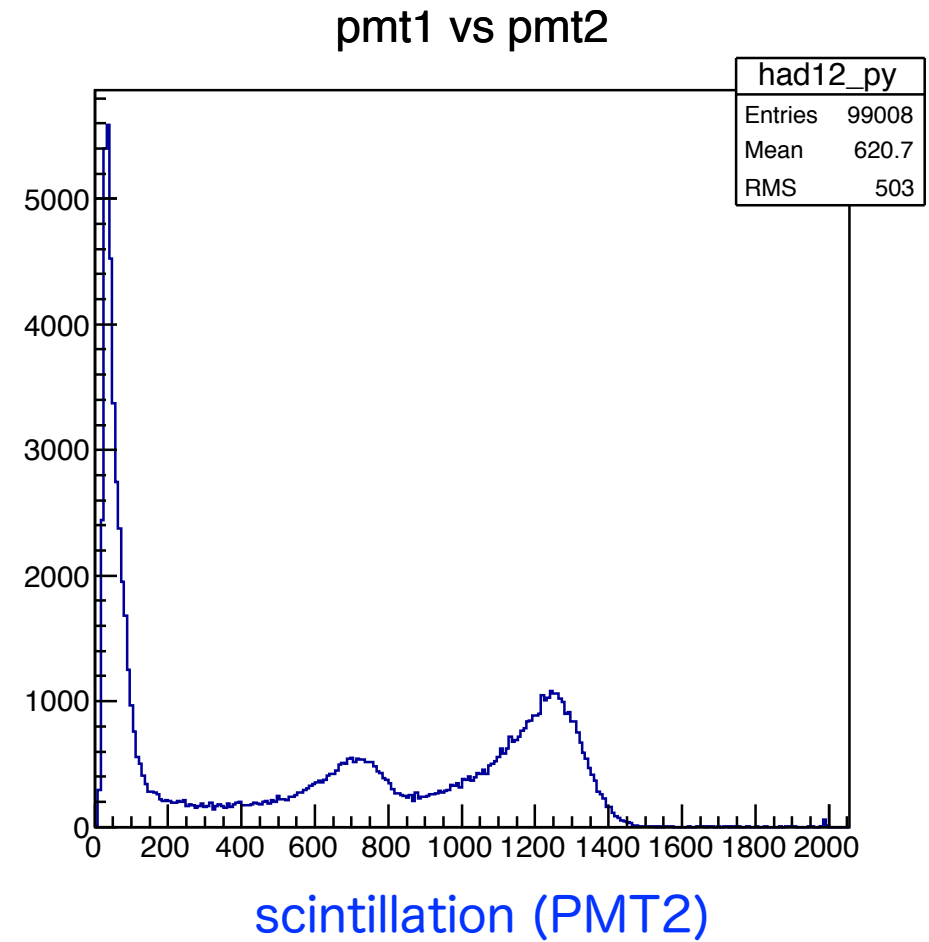
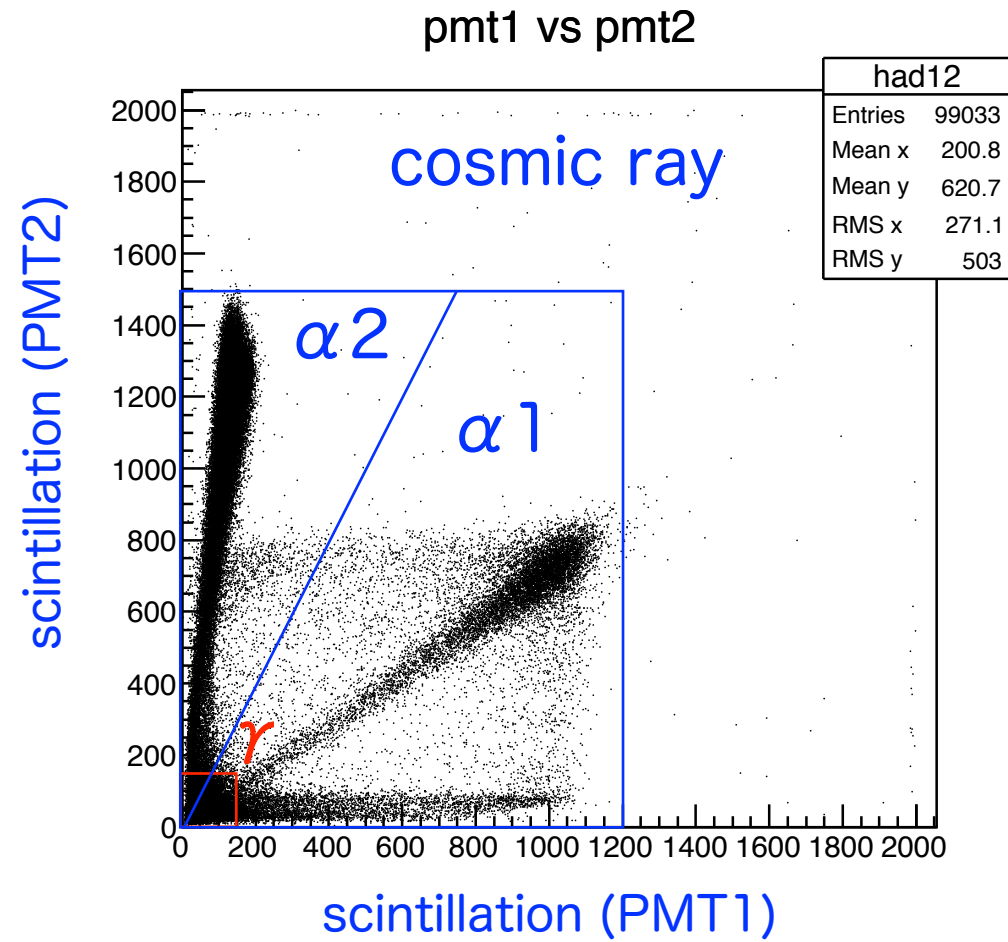


# Event classifications by scintillation lights





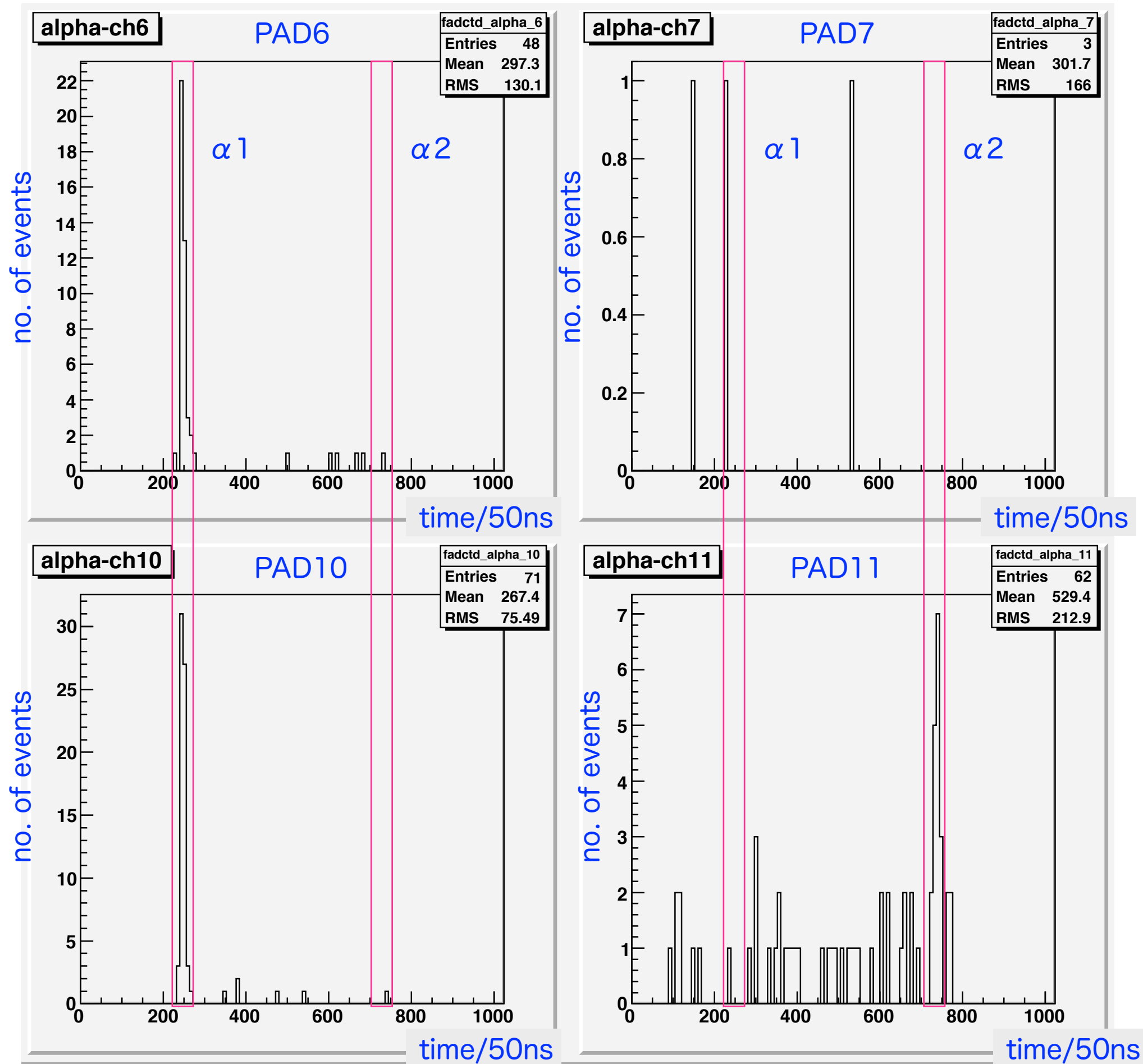
# Event classifications by scintillation lights



2012.12.10-  
2013.1.19

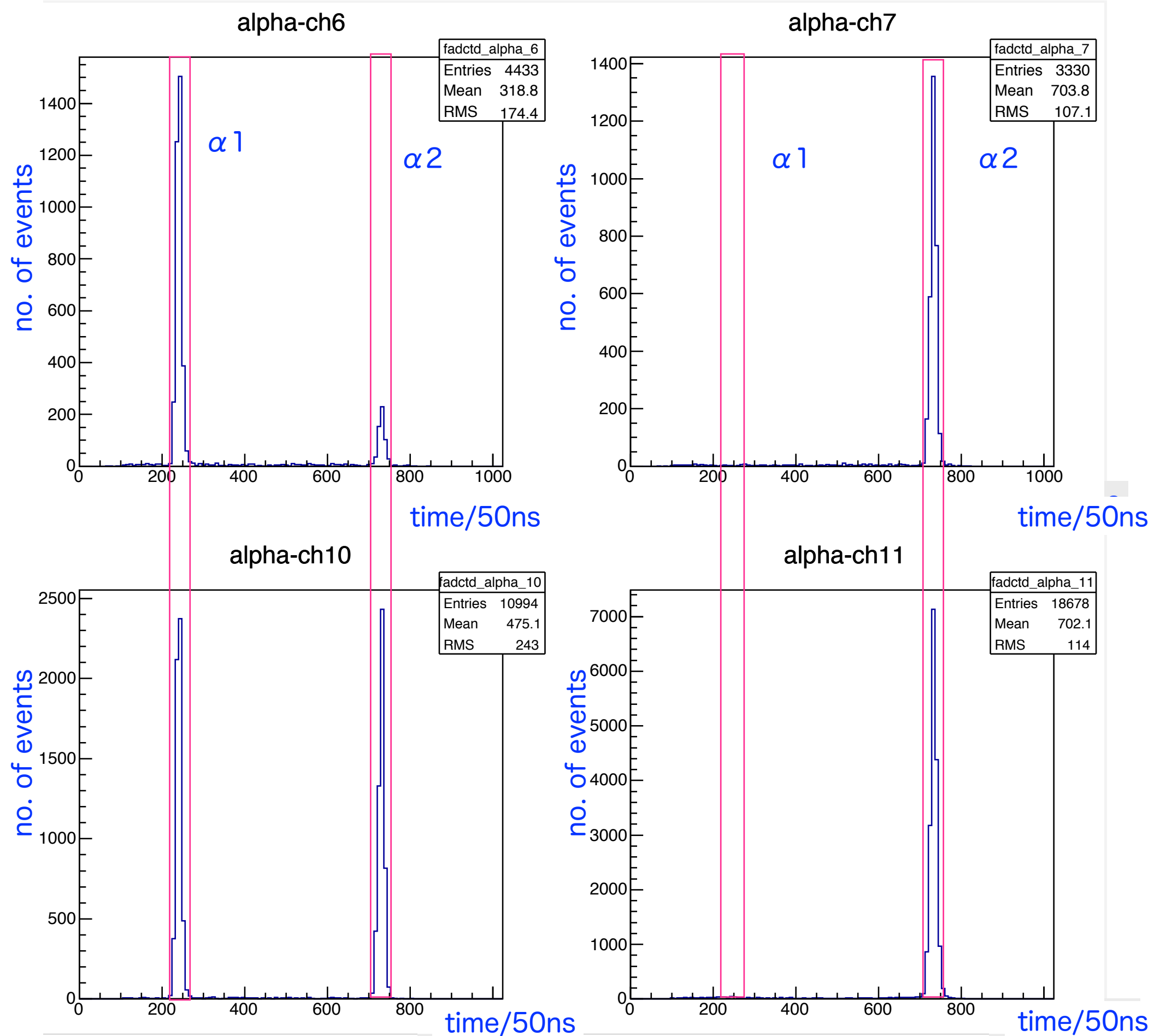


# Fitted peak charges





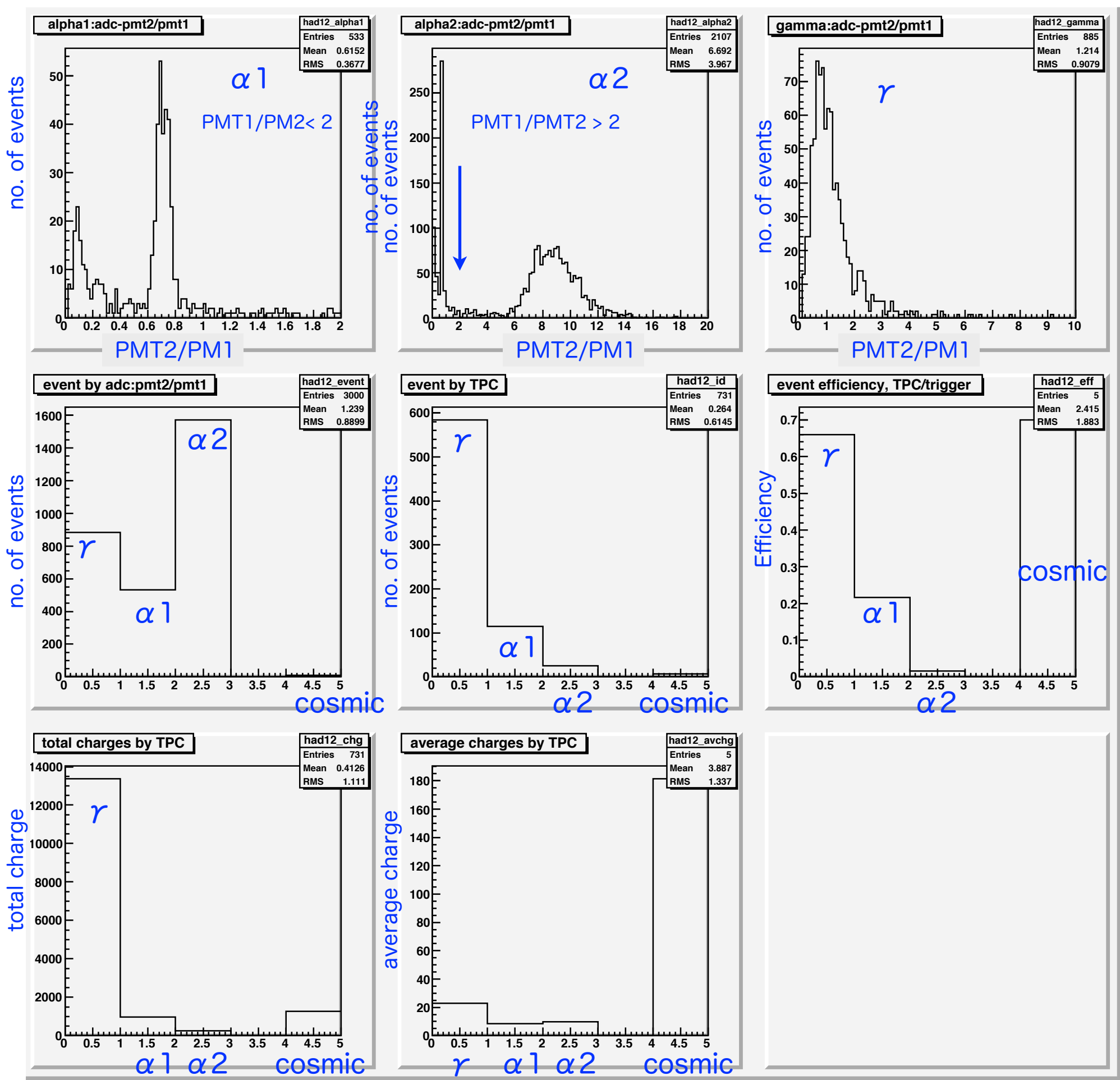
# Fitted peak charges



2012.12.10-  
2013.1.19



scintillation ratio :  
PMT2/PMT1

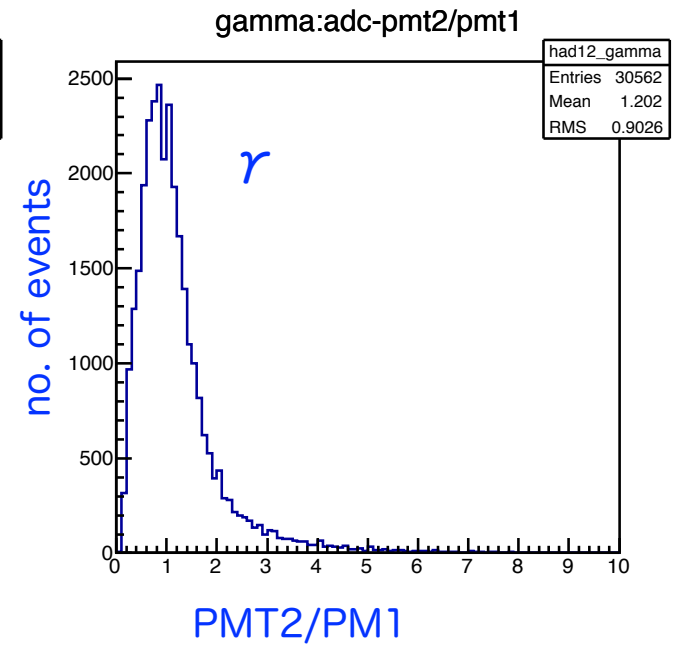
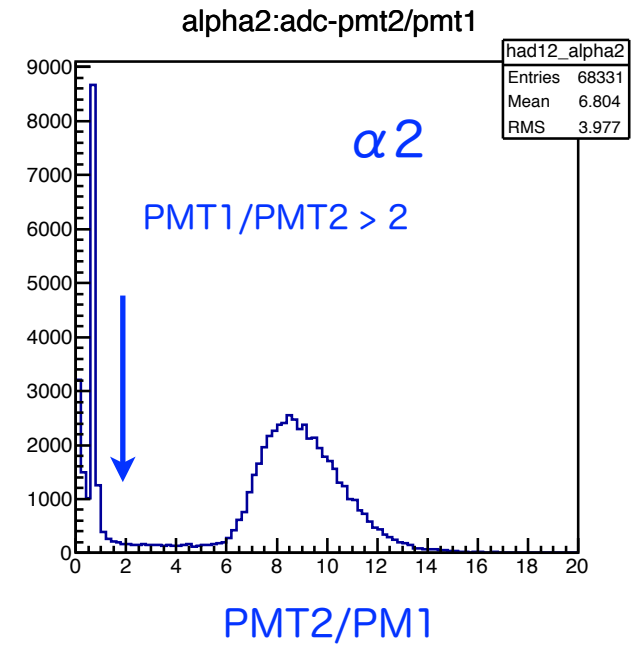
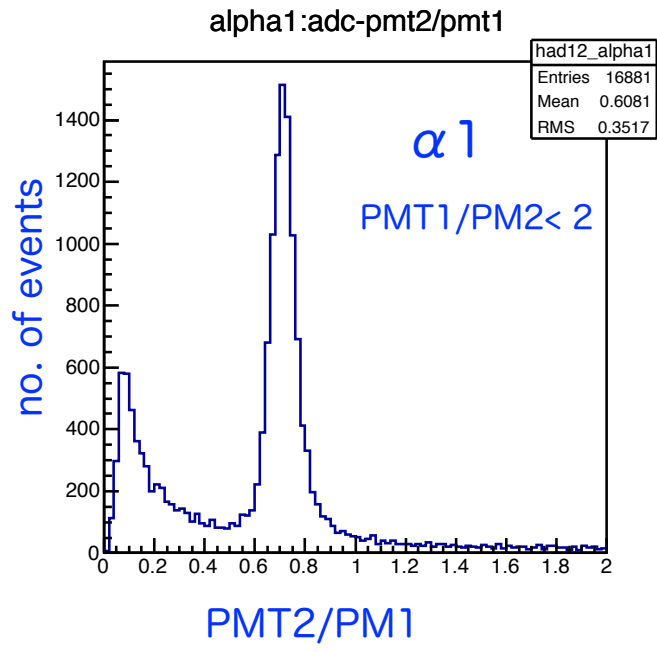


Statistics :  
triggered,  
identified,  
efficiency

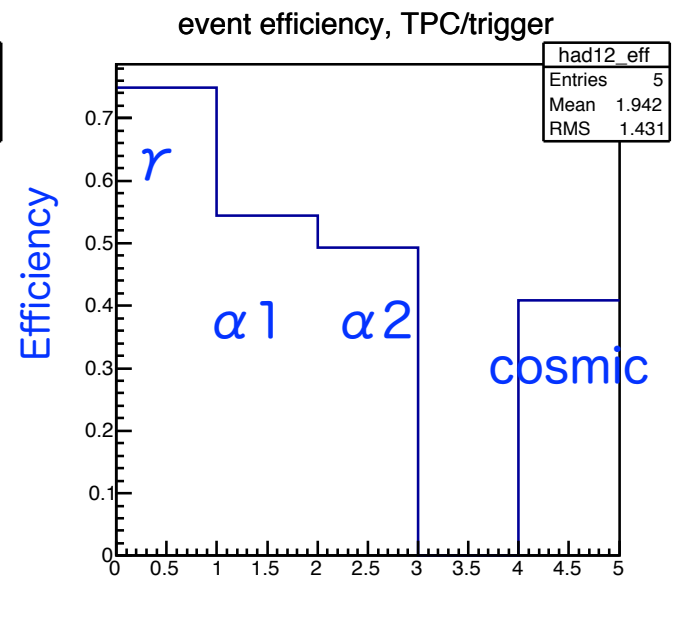
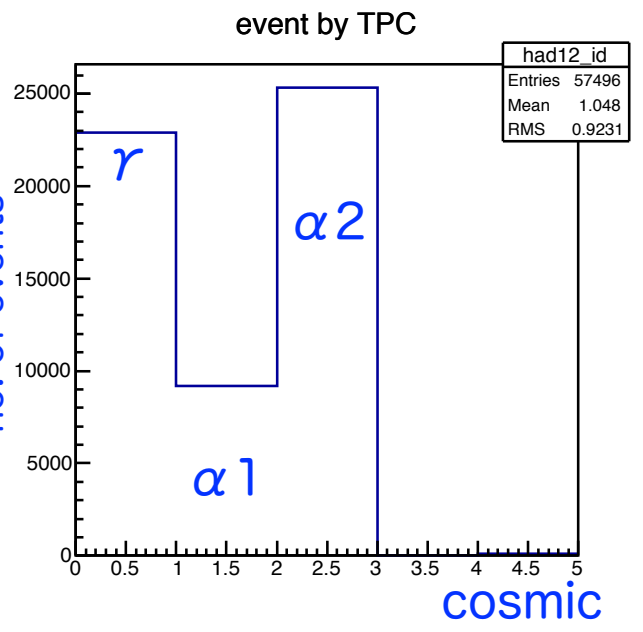
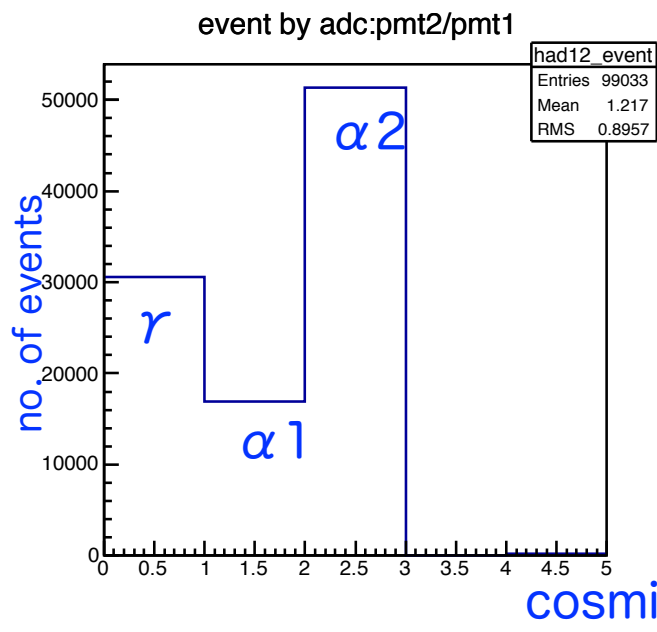
Charges :  
pulse height  
peak fitted,  
averages



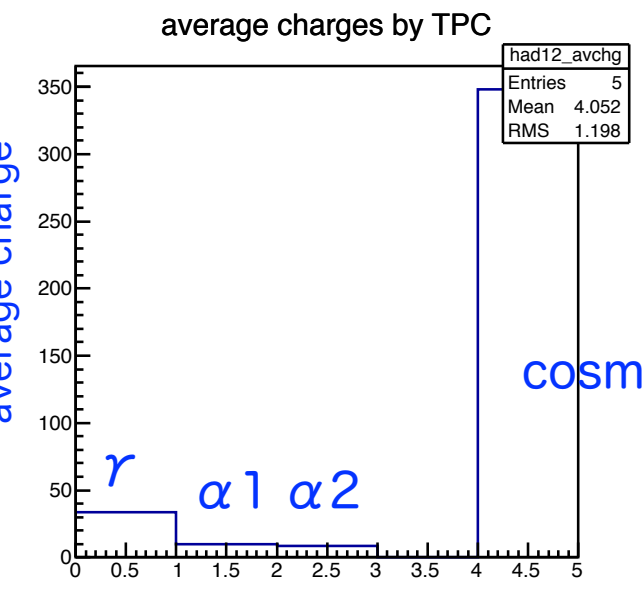
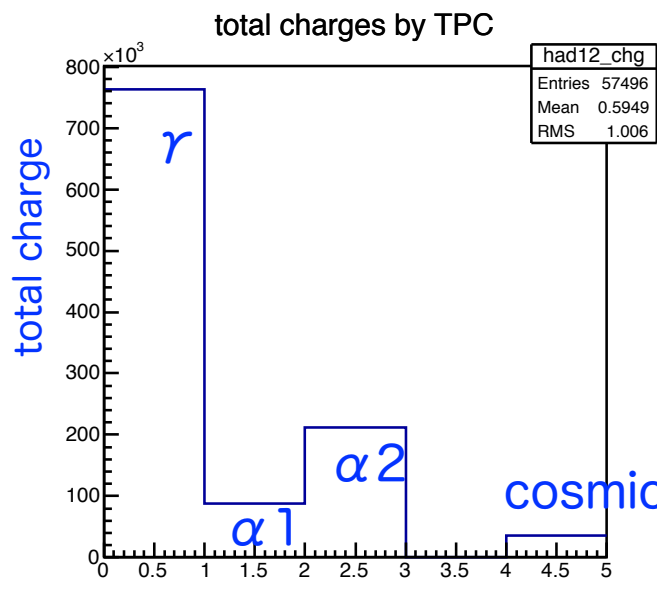
scintillation ratio :  
PMT2/PMT1



Statistics :  
triggered,  
identified,  
efficiency

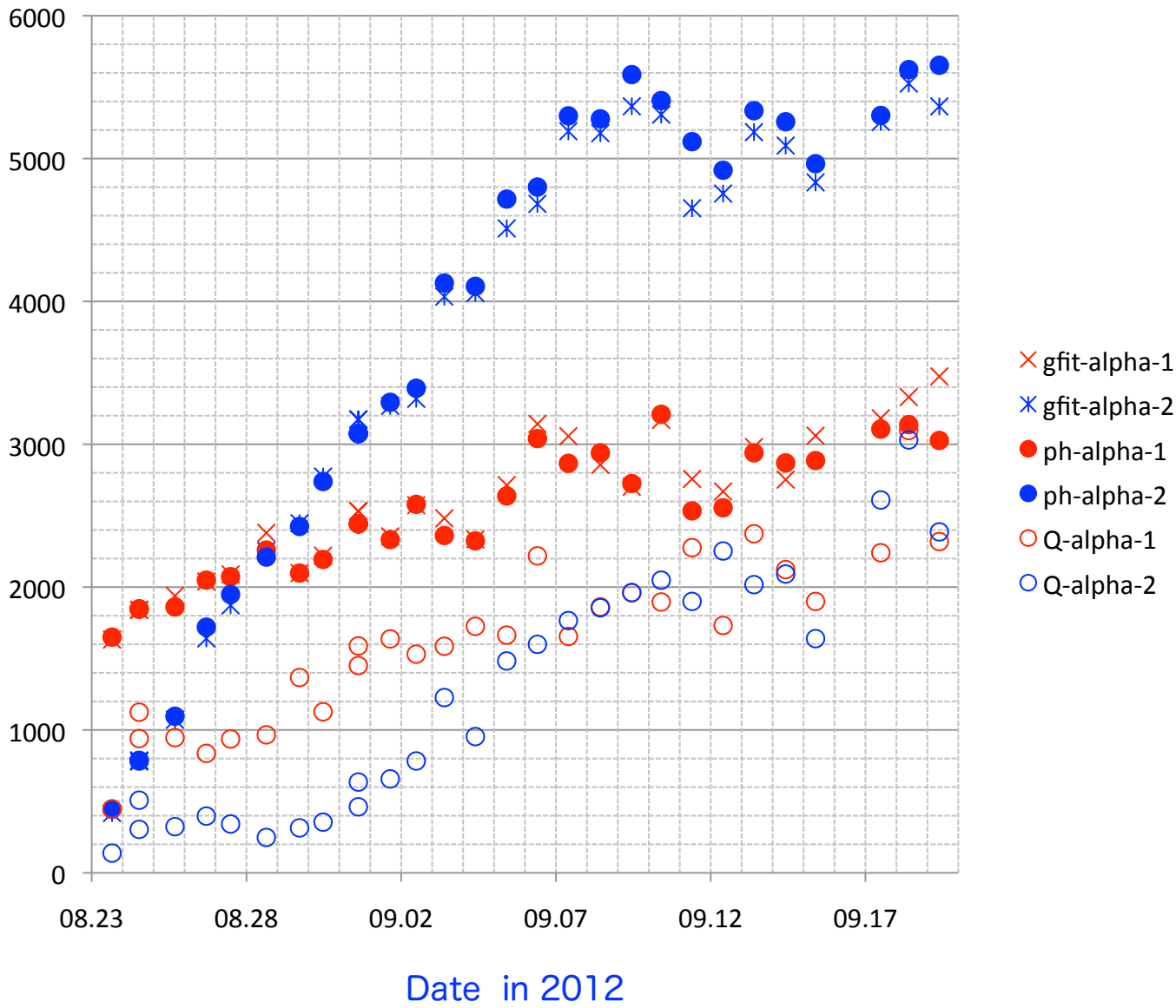


Charges :  
pulse height  
peak fitted,  
averages

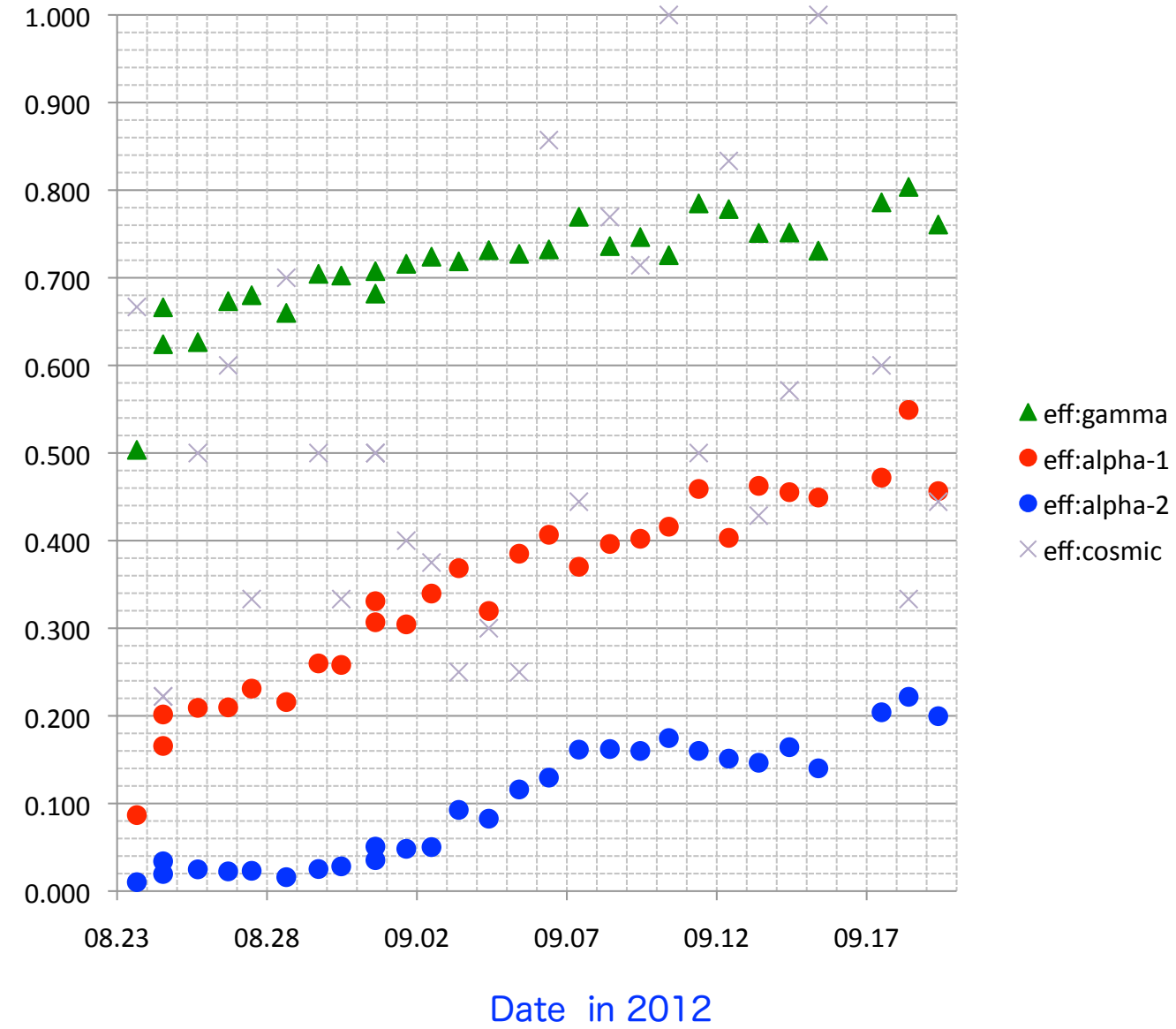


2012.12.10-  
2013.1.19

## Growth of charge from $\alpha$ sources



## Efficiency of charge from $\alpha, \gamma$ sources and cosmic rays



gfit-alpha-1,2 : Gaussian fit w/o baseline subtraction

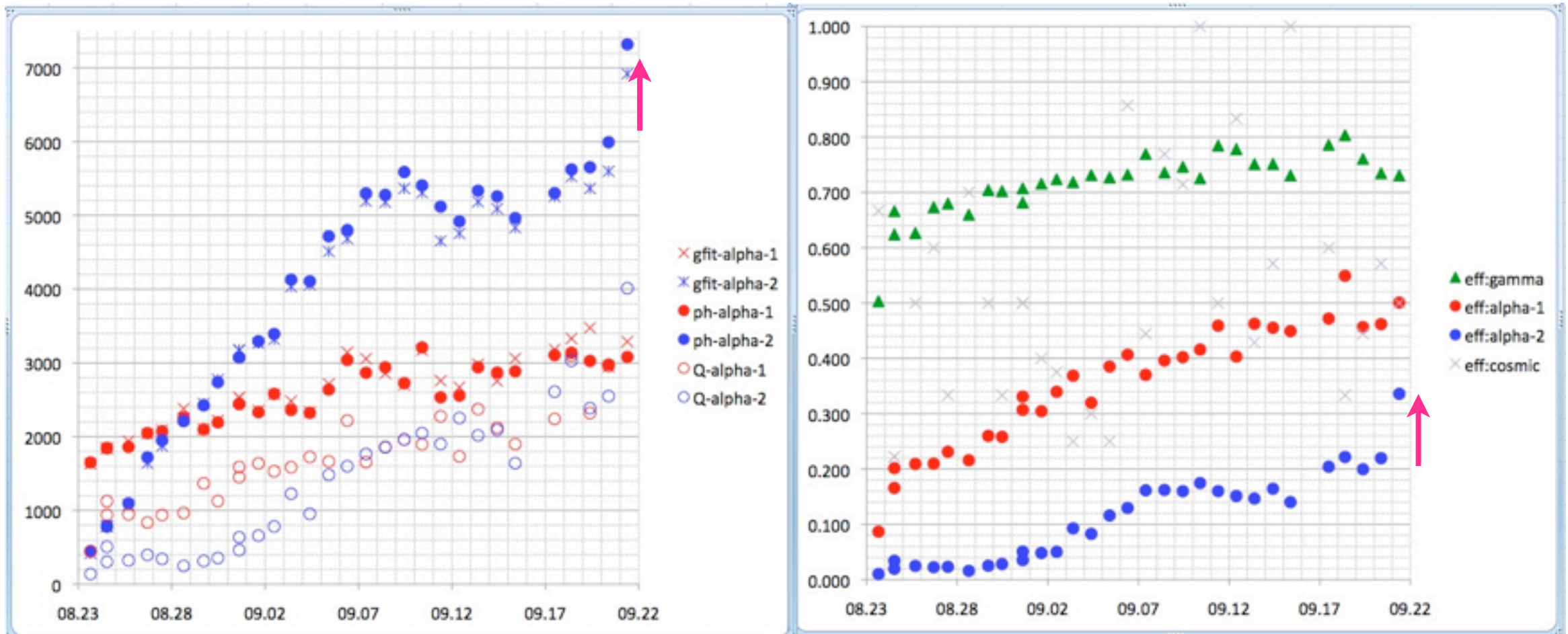
ph-alpha-1,2 : Double Gaussian fit w/ baseline subtraction  
to raw charges summing the 6,7,10 and 11 pads

Q-alpha-1,2 : Double Gaussian fit w/ baseline subtraction  
to individual pad for each event

efficiency=charge signals / signals identified  
by PMTs



# コールドヘッド (CH) 一時加温, 2012.9.20 14:41-16:10



純化流量1.3L/minで  
ヒーターパワーが加温  
前3Wから5Wへ向上



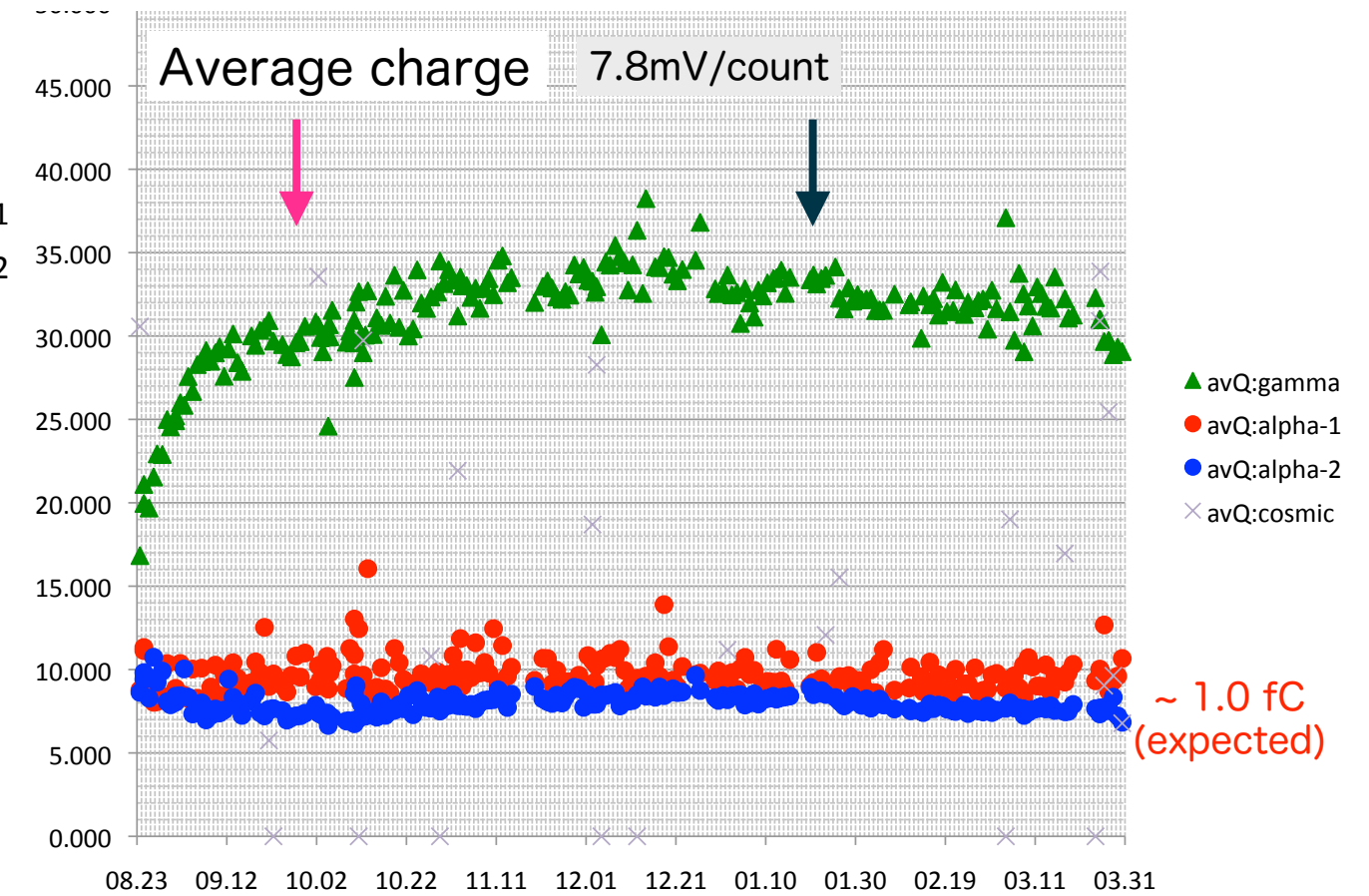
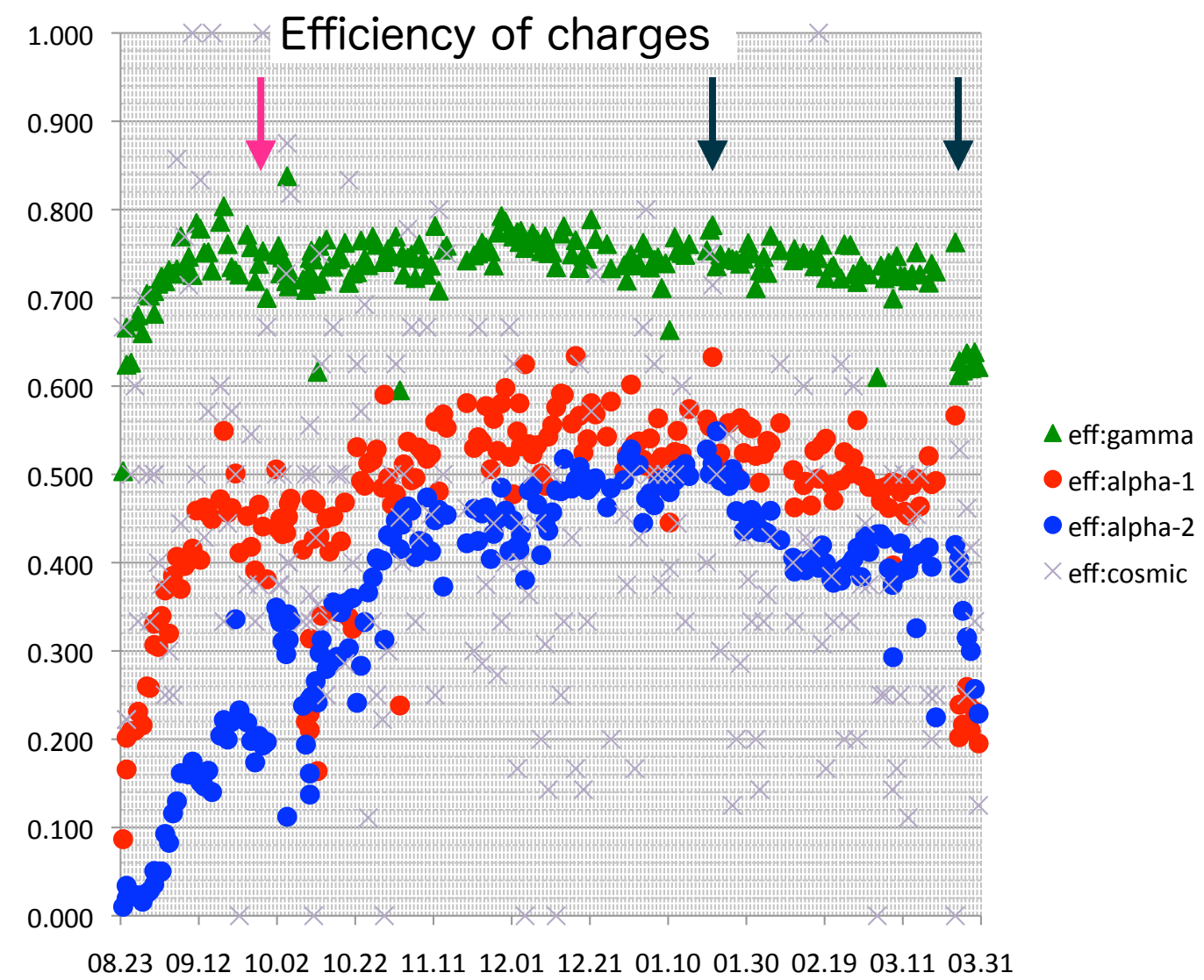
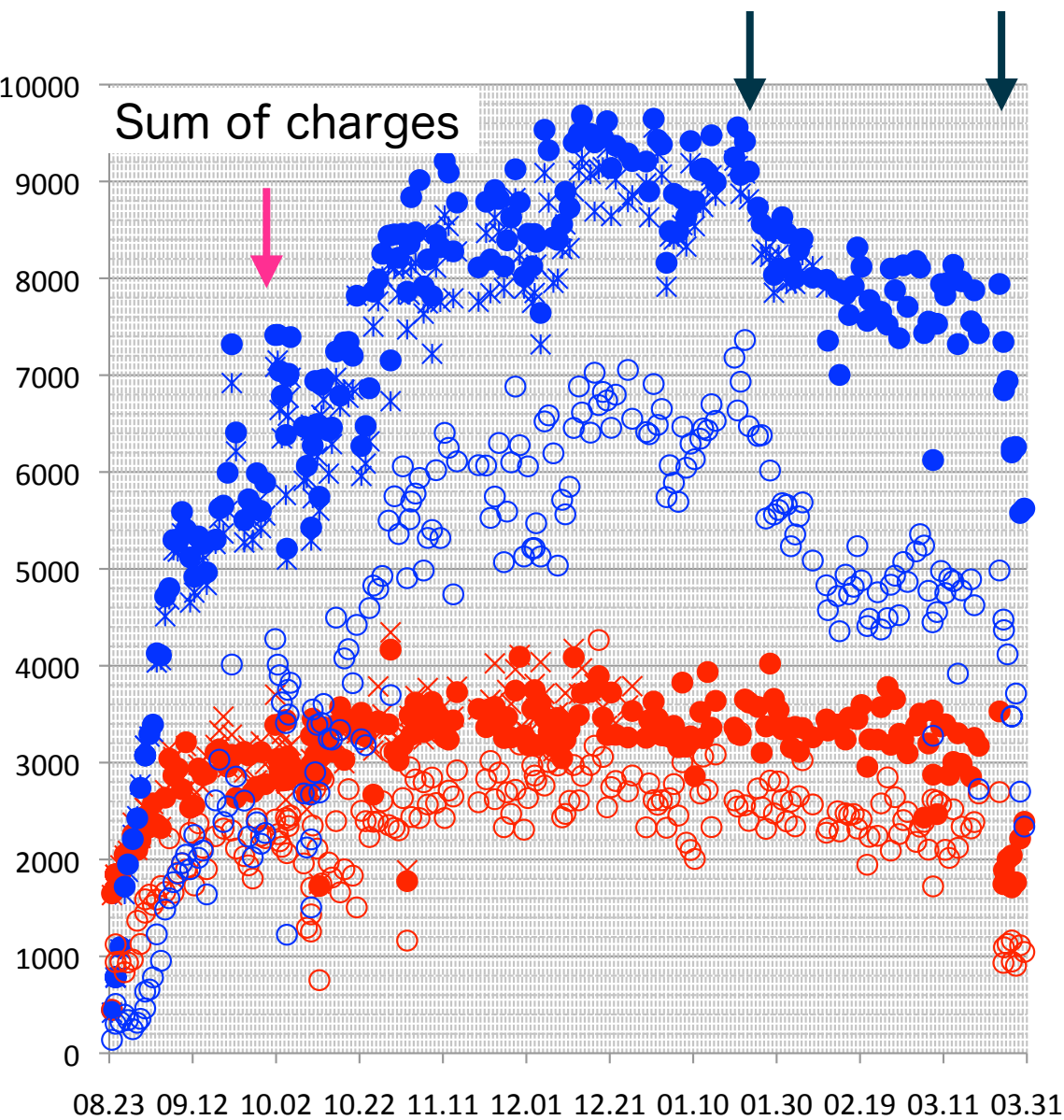
# TPC charge signals

23 August 2012 to 31 March 2013

10/1よりCH加温/日(土日除く)を開始

1/20よりCH加温/日を停止

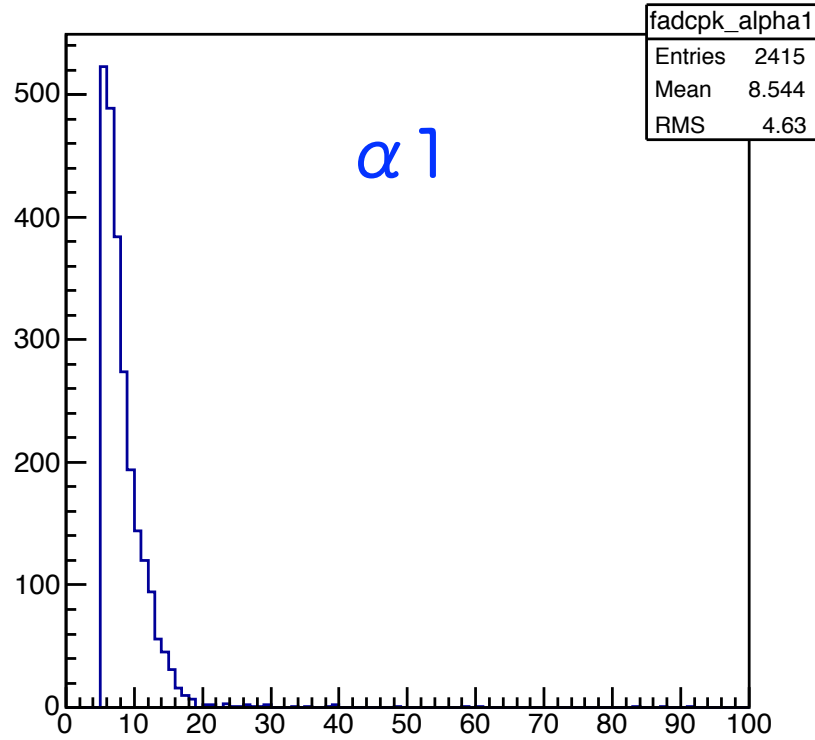
3/25よりガス循環停止



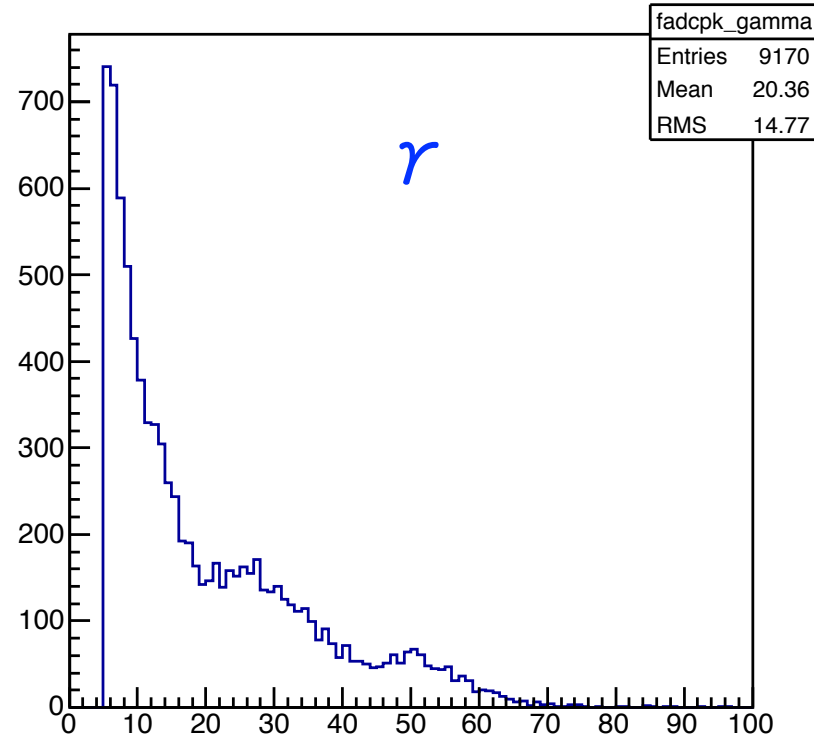


# Charges/pad (peak of D-Gaussian fit) of $\alpha 1$ , $\alpha 2$ and $\gamma$ , 2012.12.20-12.31 (8 days)

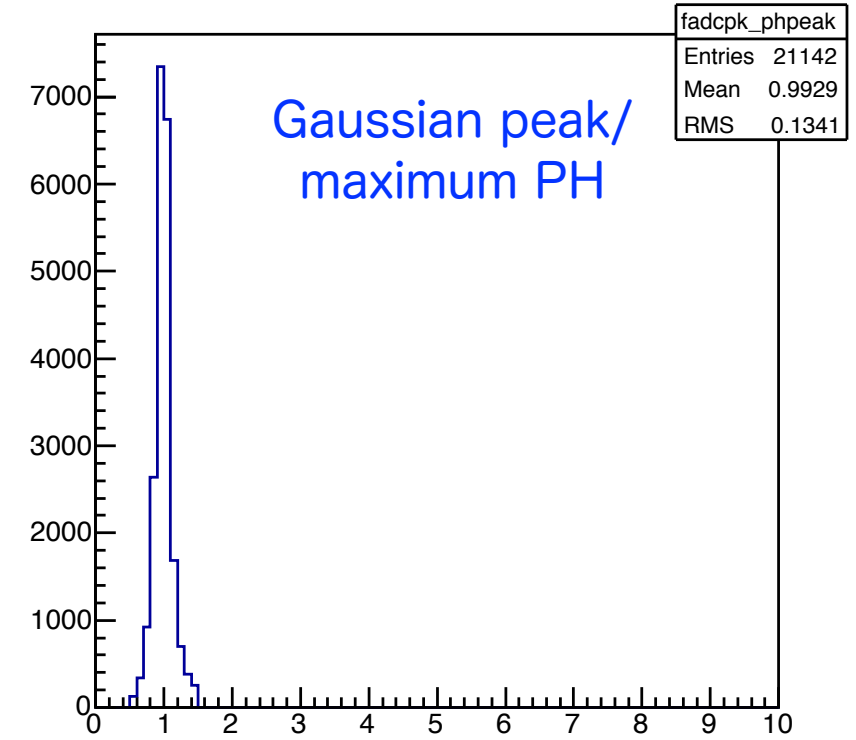
Peak:alpha1



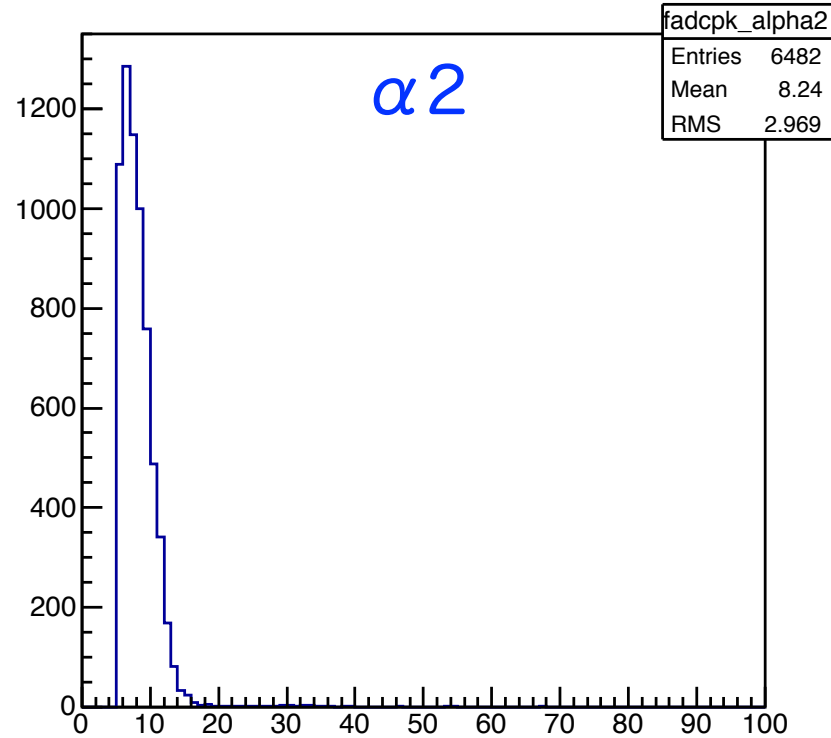
Peak:gamma



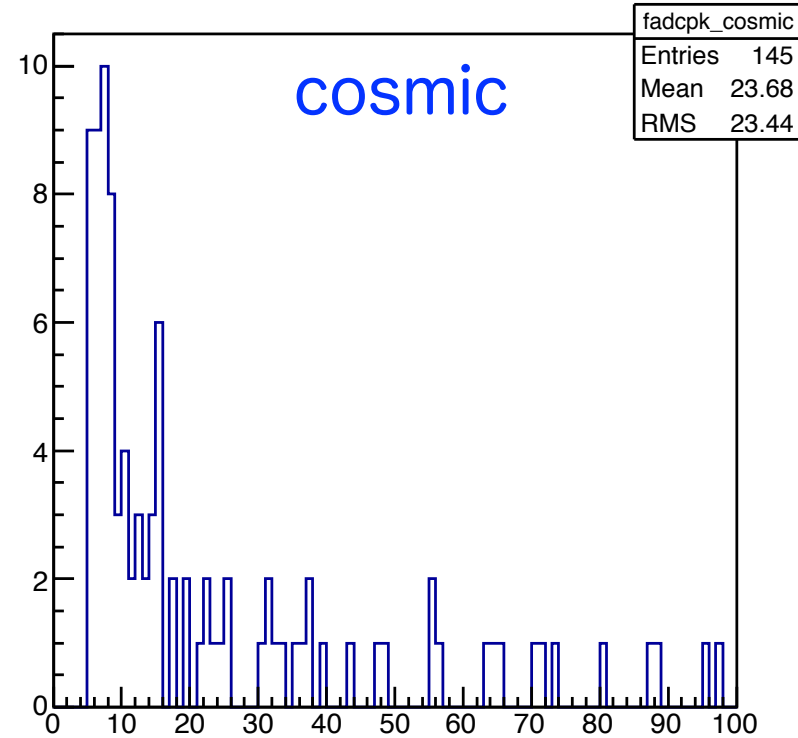
fit-peak/ph-peak



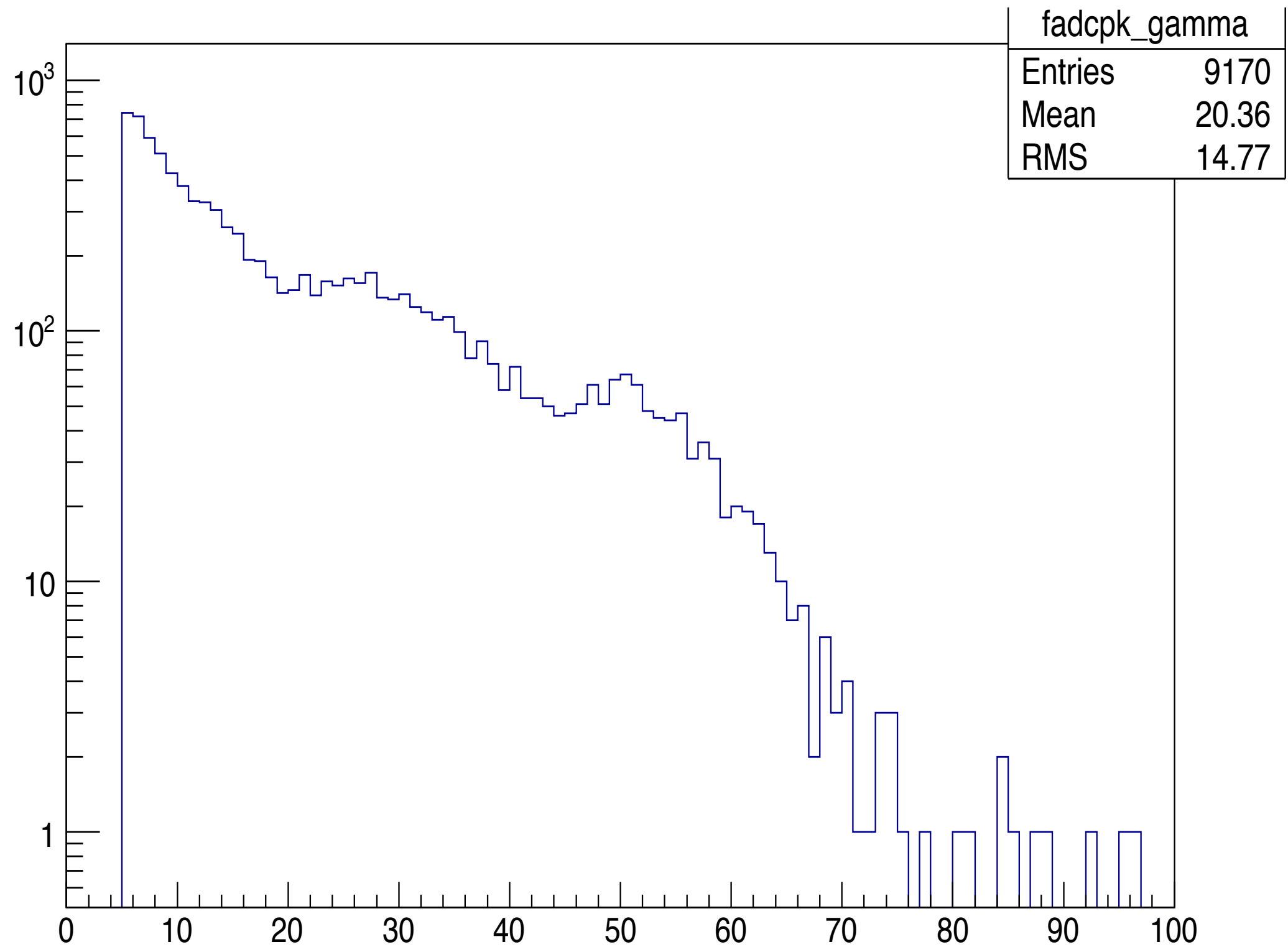
Peak:alpha2



Peak:cosmic



# Charges/pad (peak of D-Gaussian fit) of $\gamma$ , 2012.12.20-12.31 (8 days)





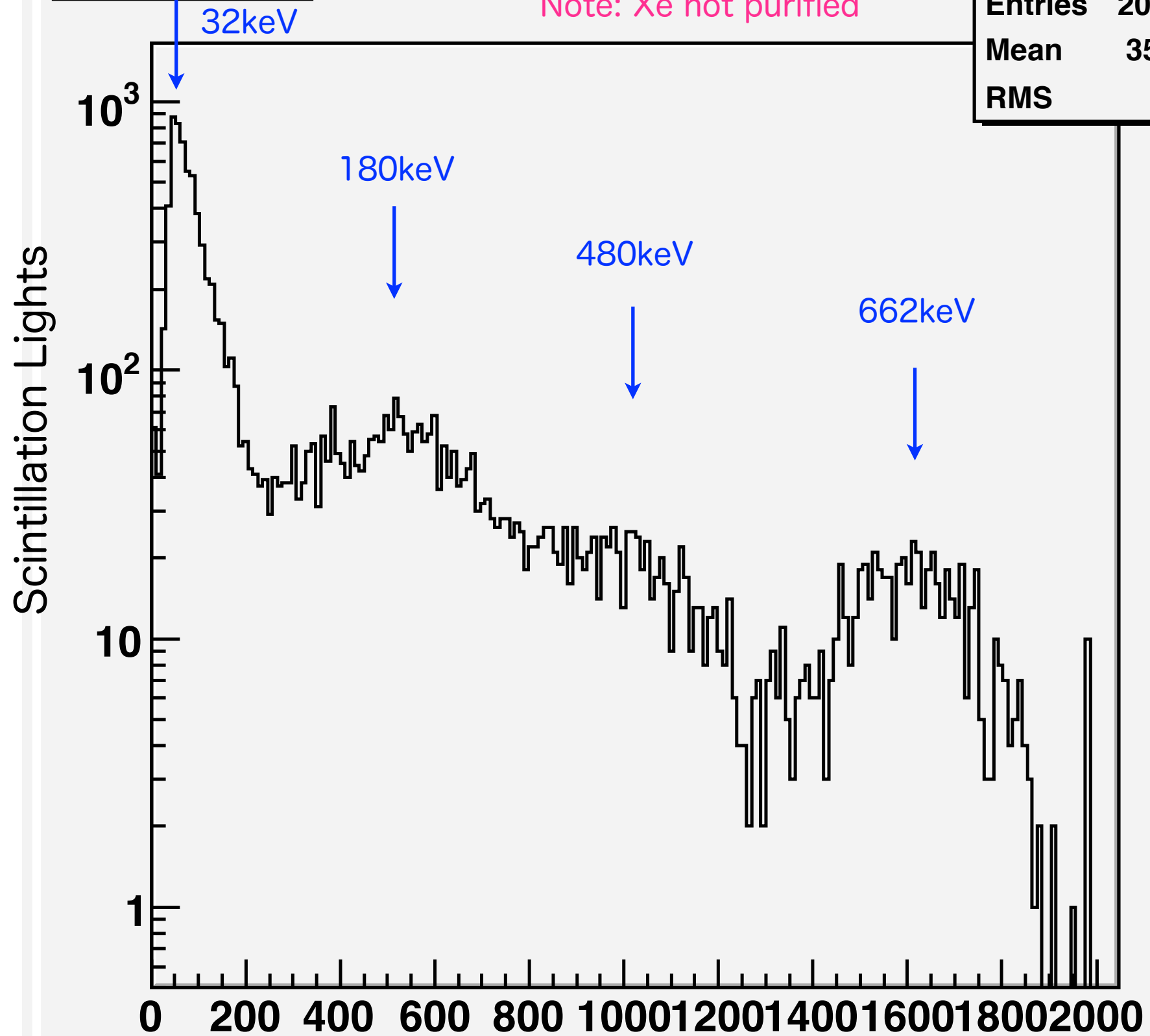
**adc-pmt1**

**had1**

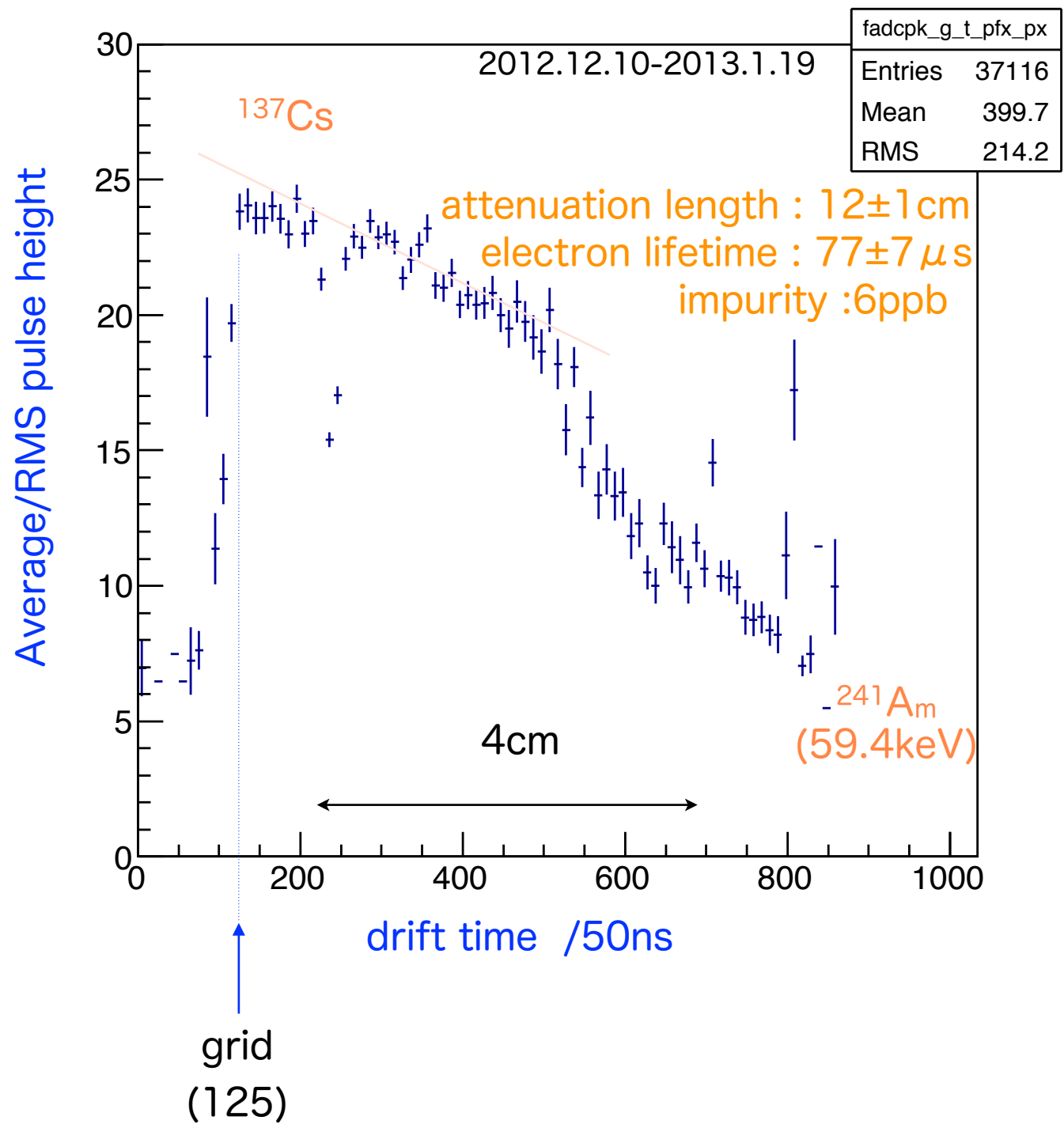
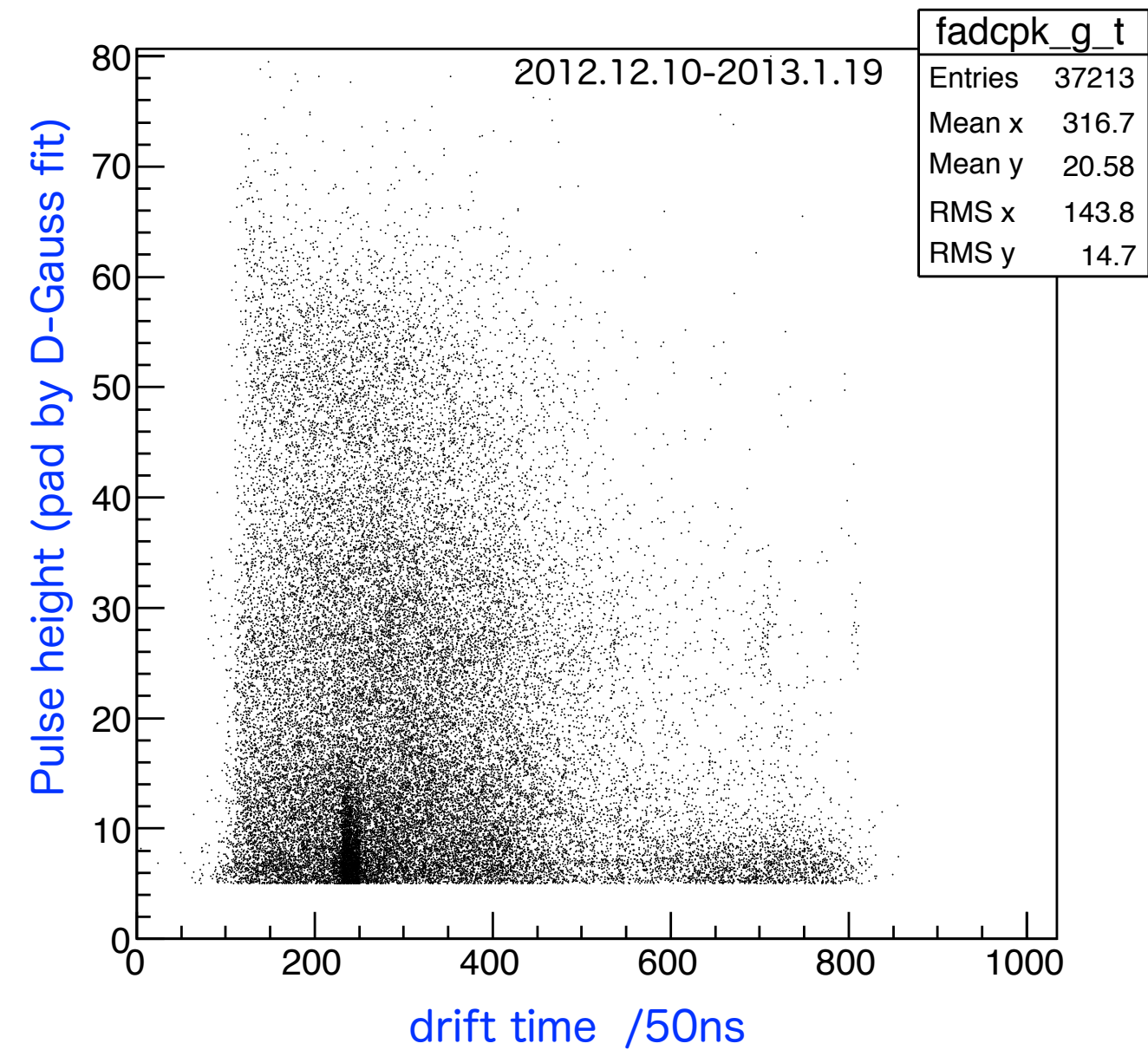
|         |       |
|---------|-------|
| Entries | 20000 |
| Mean    | 357.3 |
| RMS     | 437   |

EDIT2013  
2013.3.19

Note: Xe not purified

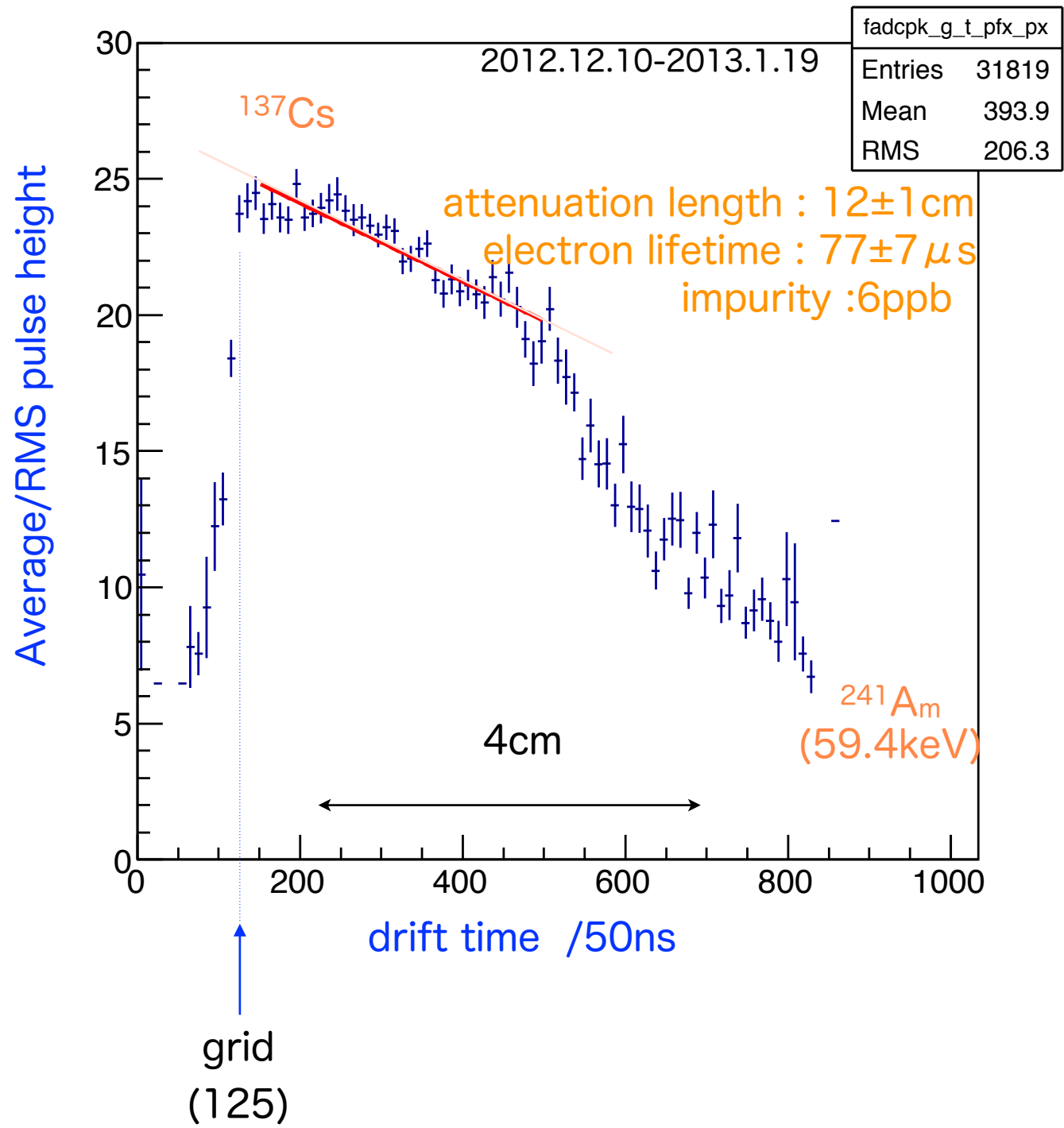
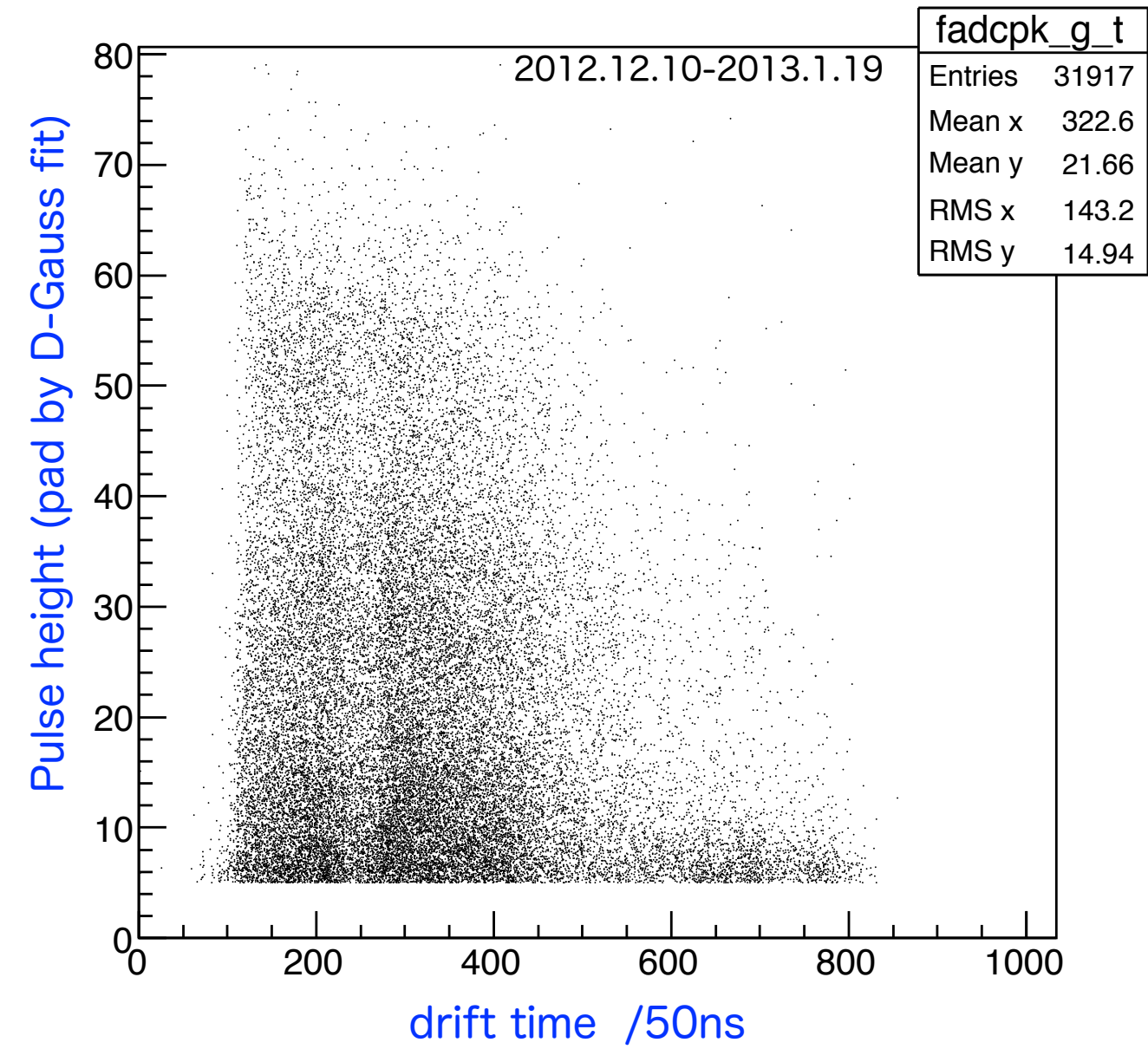


$^{137}\text{Cs}$  in Liq.Xe by 2249W ADC with 800nsec gate, PMT HV=750V, ph=400mV, 191526



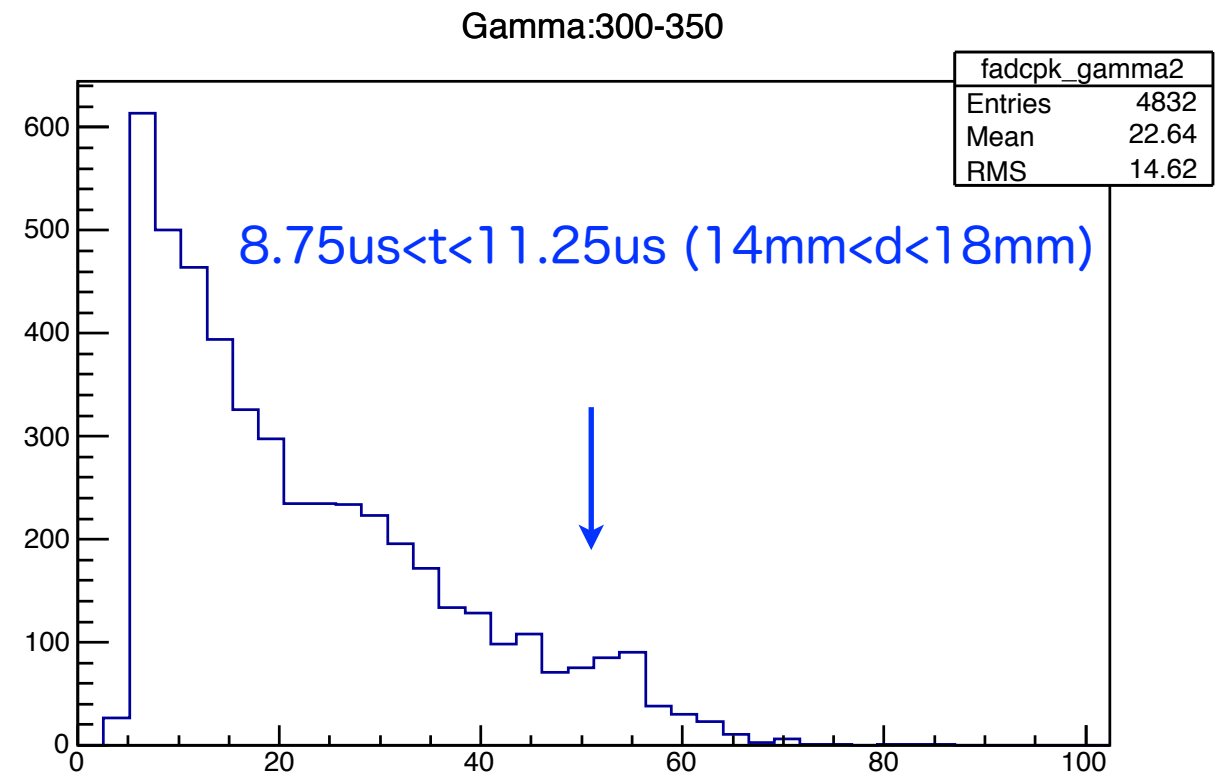
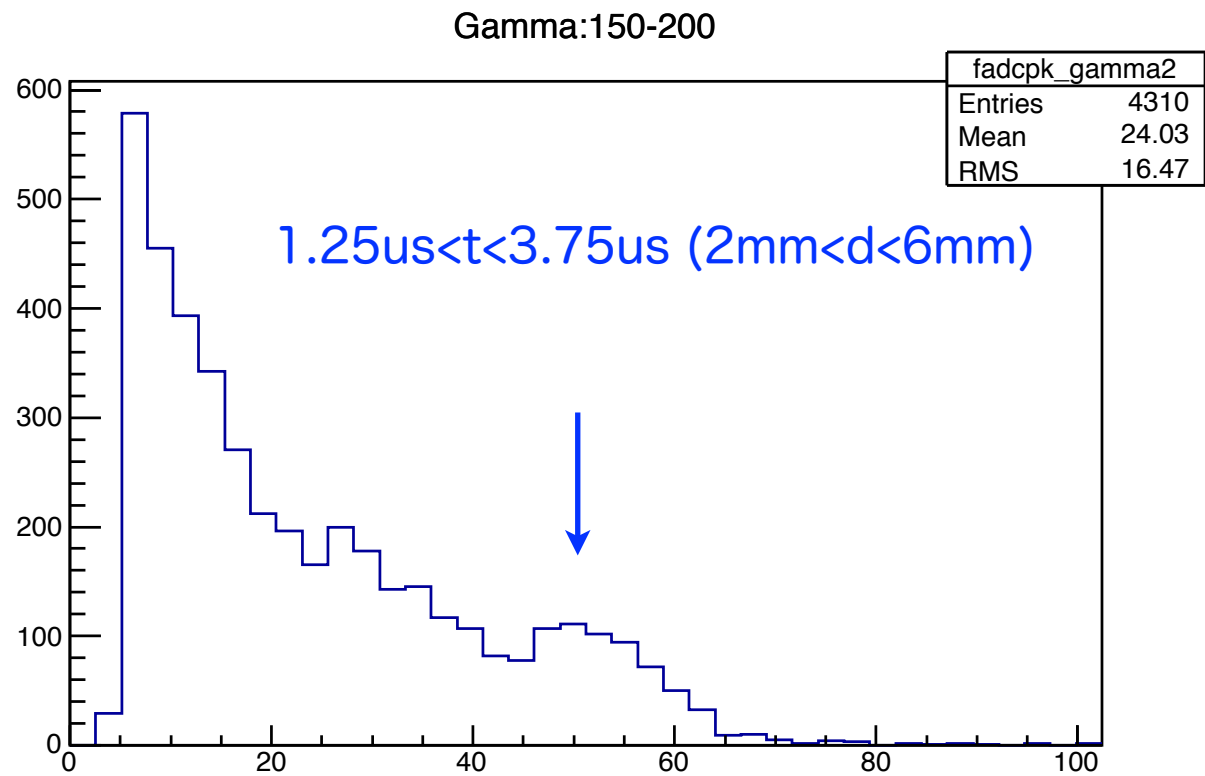
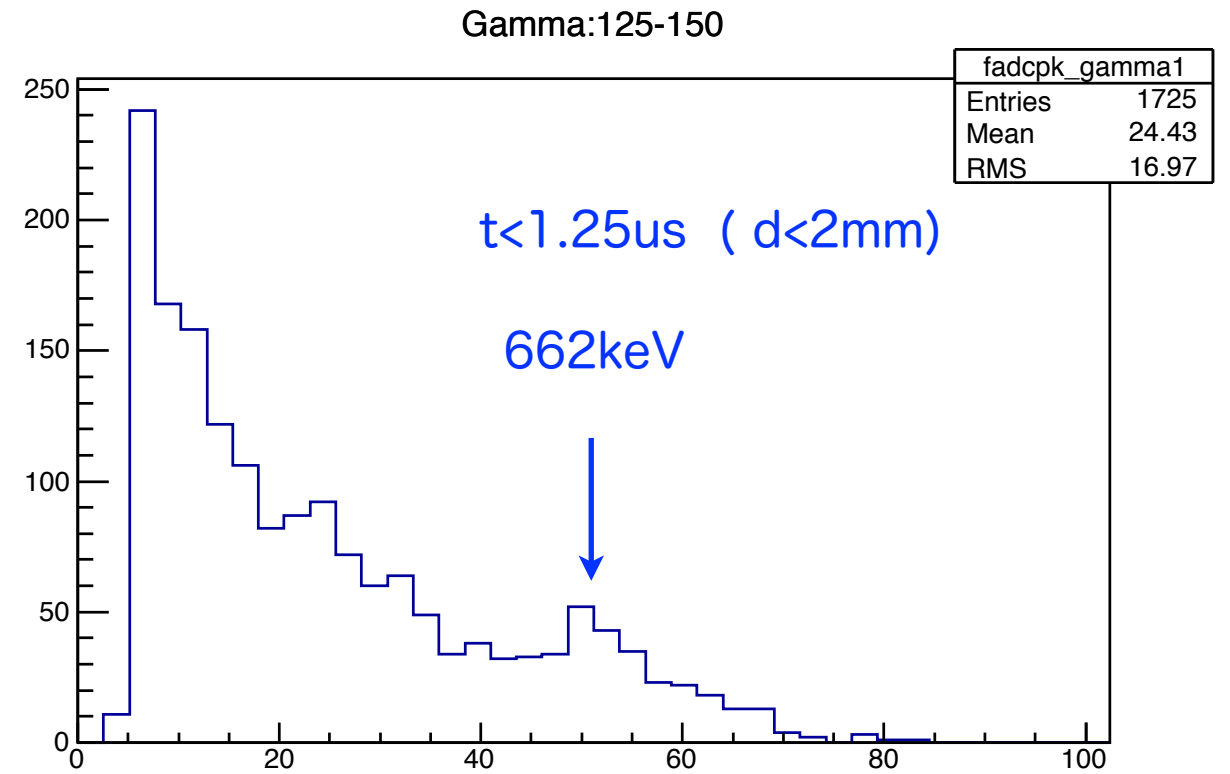
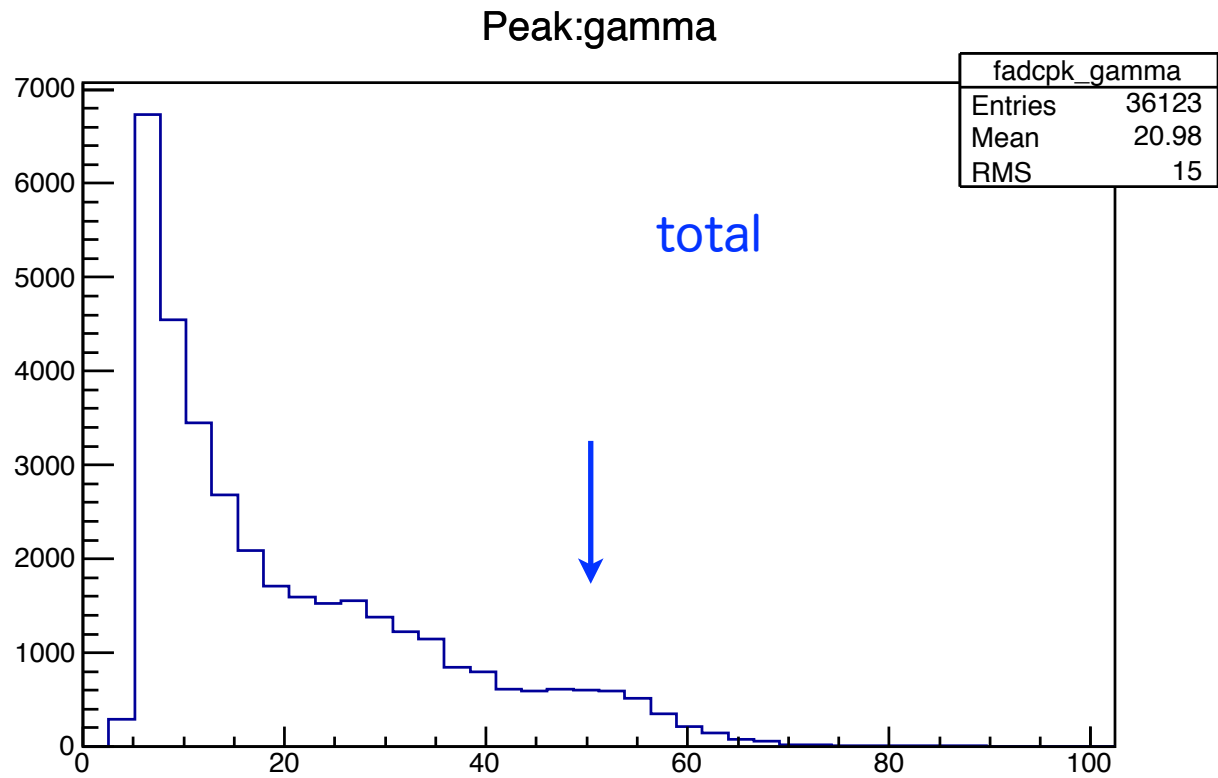
note : the anode plane at 125





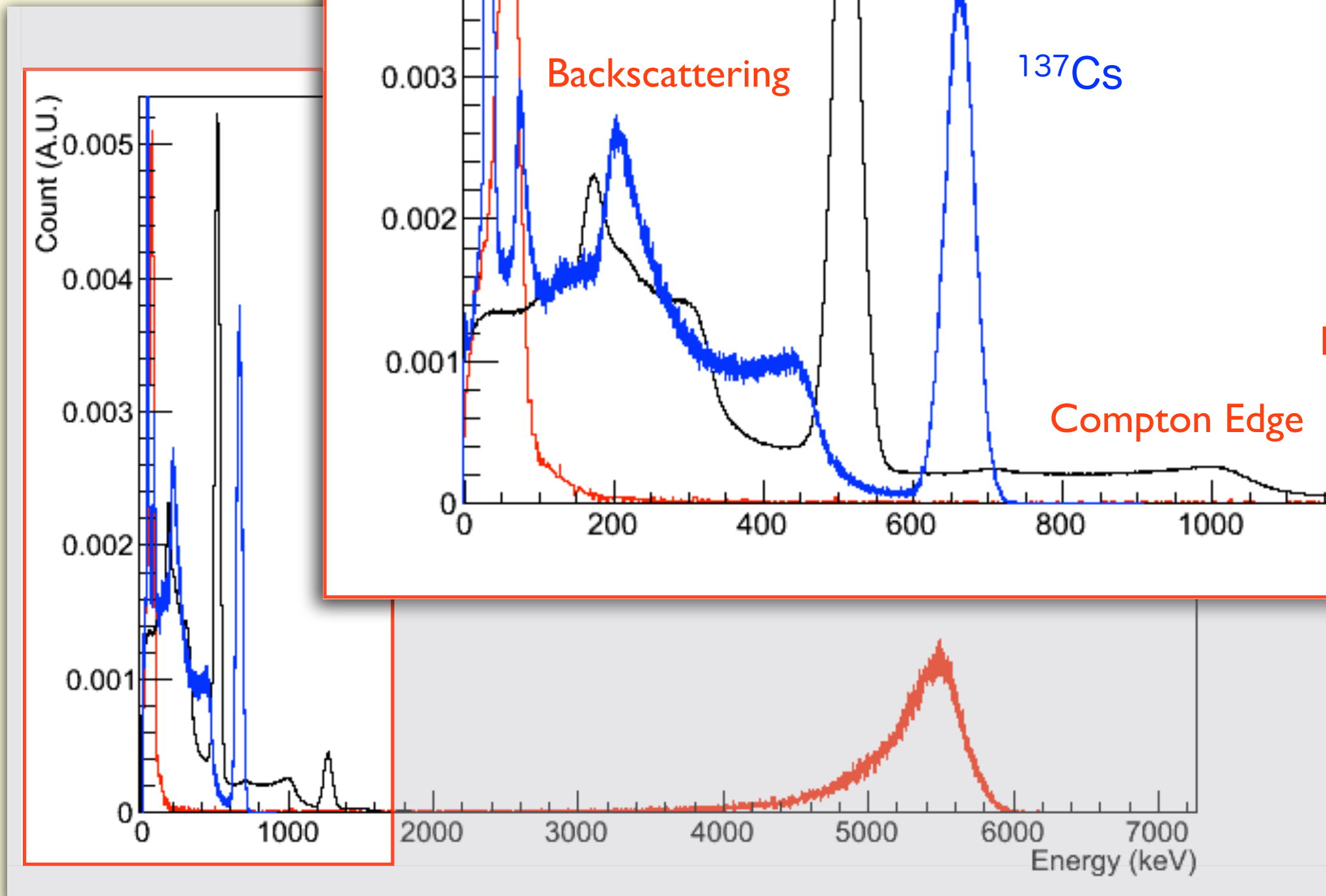
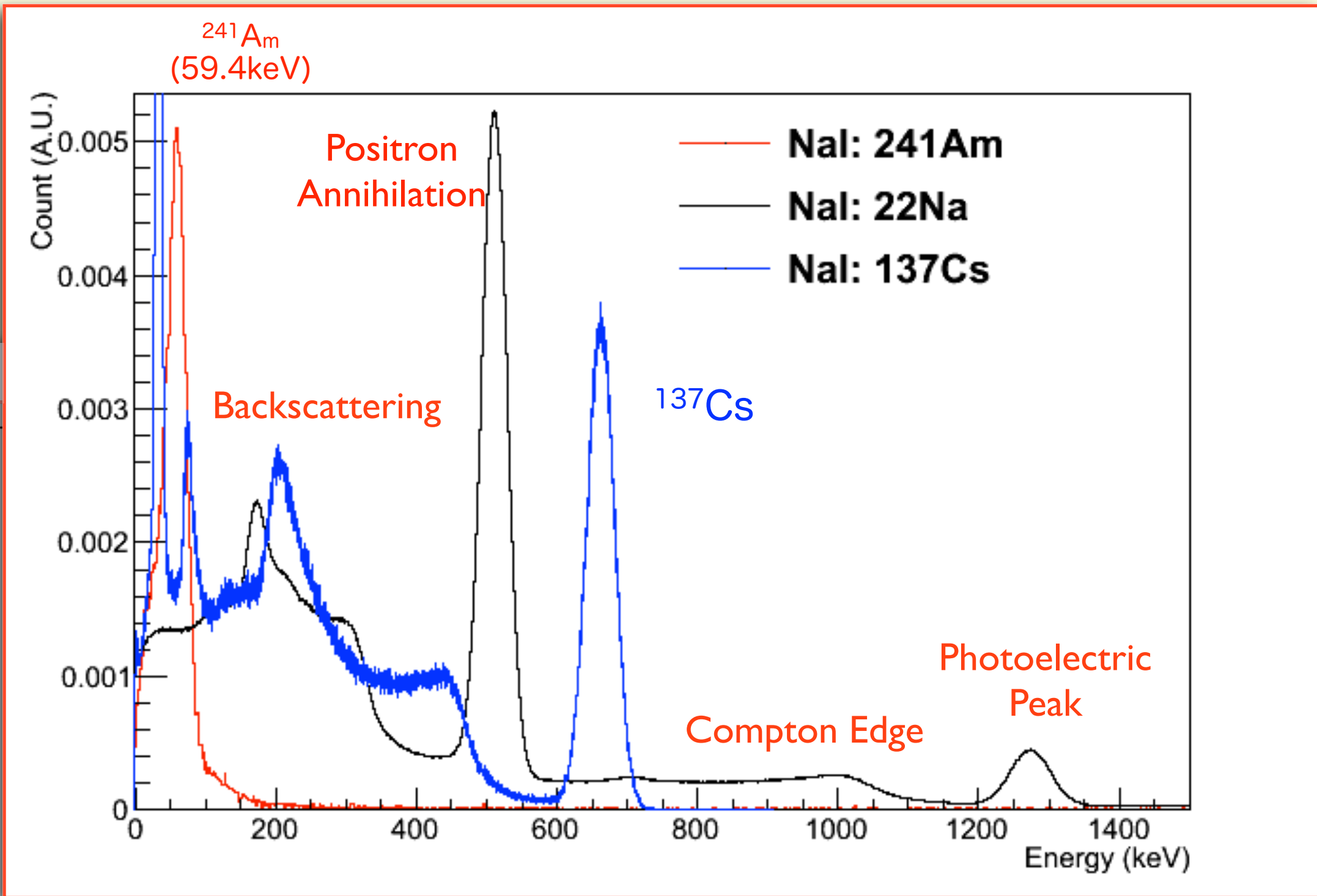
note : the anode plane at 125

# Charges/pad (peak of D-Gaussian fit) of $\gamma$ , 2012.12.10-2-13.1.19

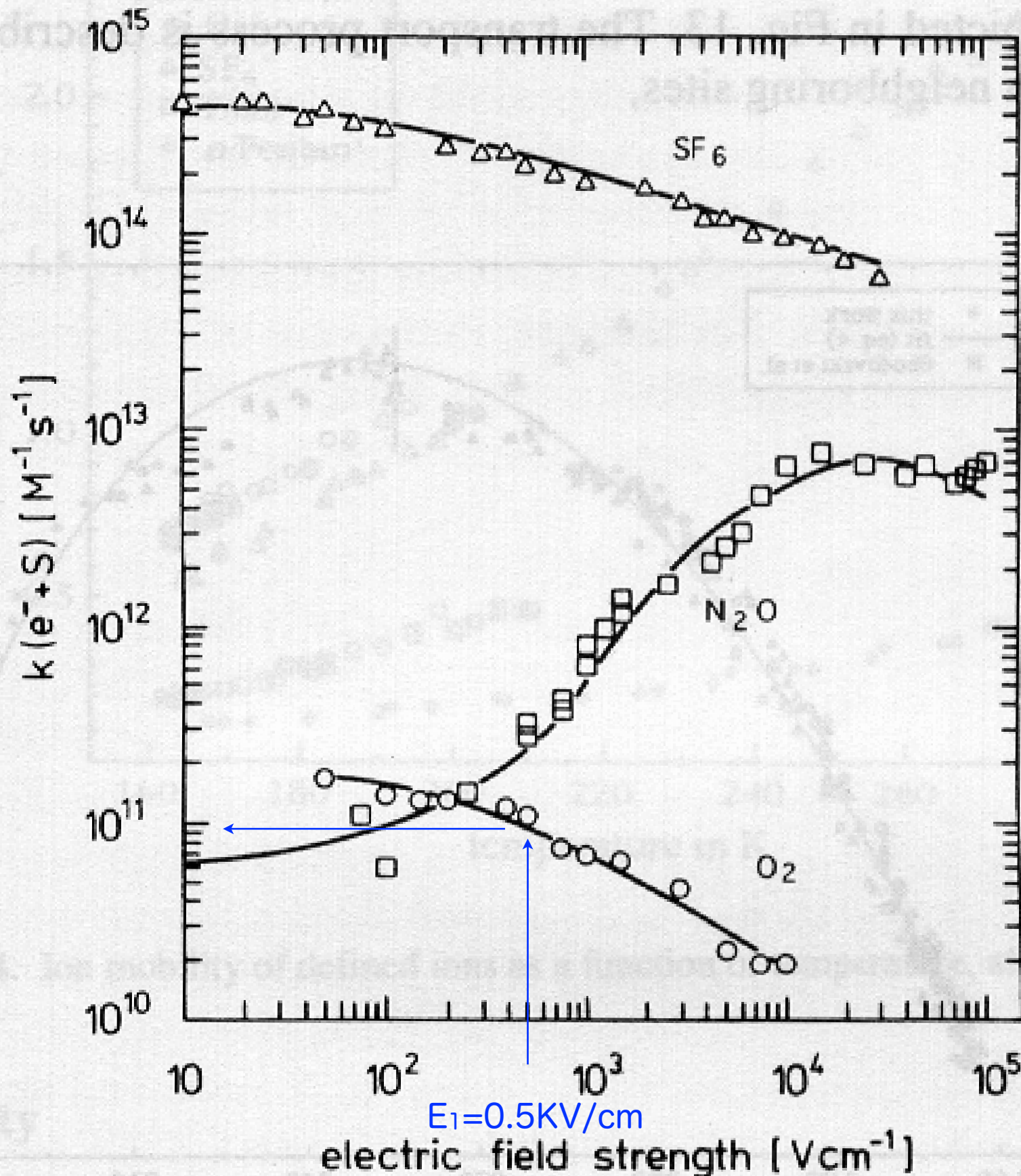




# $\gamma$ Spectra by the second team, EDIT2013, 2013.3.19



# Attachment rate constant $k$ and Purity



**$O_2$  equivalent**

$$k(O_2) = 4.5(10) \times 10^{10} L/mol/s$$

at  $E = 2(0.5) kV/cm$

1.0 L/mol of liquid Xe :

$$1000 \times 3.06 / 131.3 = 23 mol$$

$$k(O_2) = 1,035(2,300) ppb/s$$

electron lifetime time  $\tau$  :

$$\tau = 1/k$$

$$\tau = 966(435) \mu s/ppb$$

attenuation length  $\lambda$  :

$$\lambda = v_d \times \tau$$

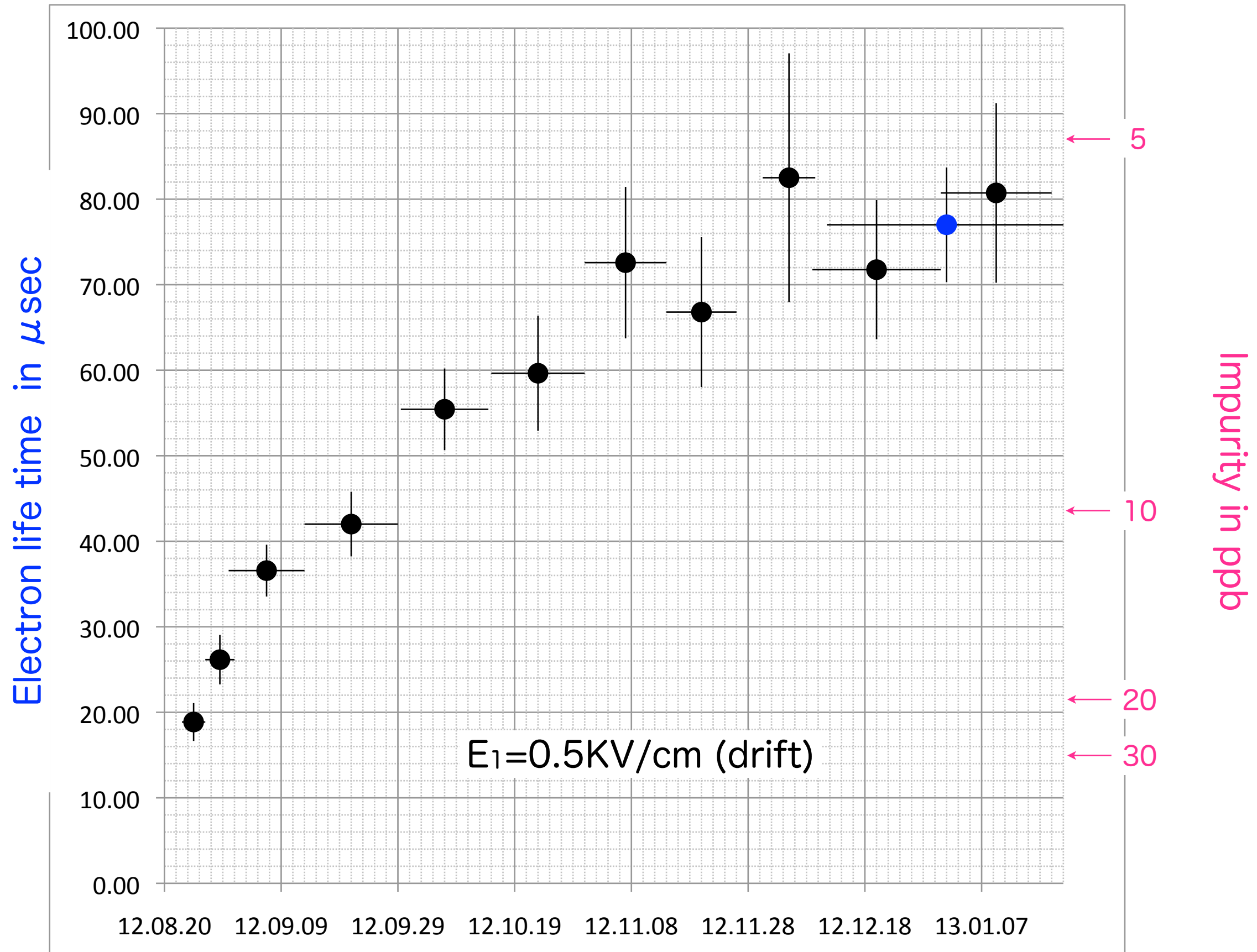
$$\lambda = 2.1(0.7) m/ppb$$

$$v_d = 2.2(1.6) mm/\mu s$$

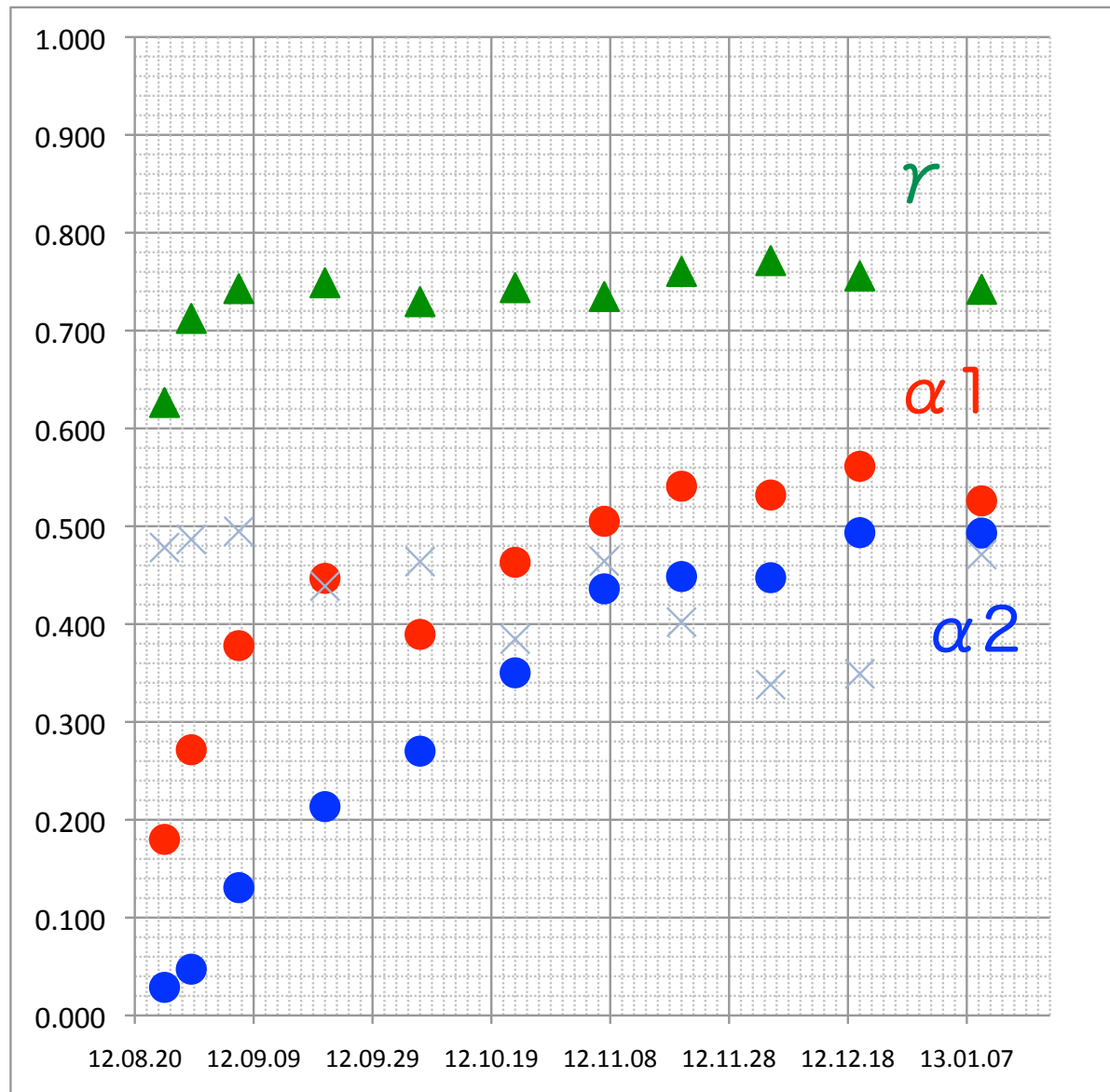


# Electron life time and impurity in Liquid Xe

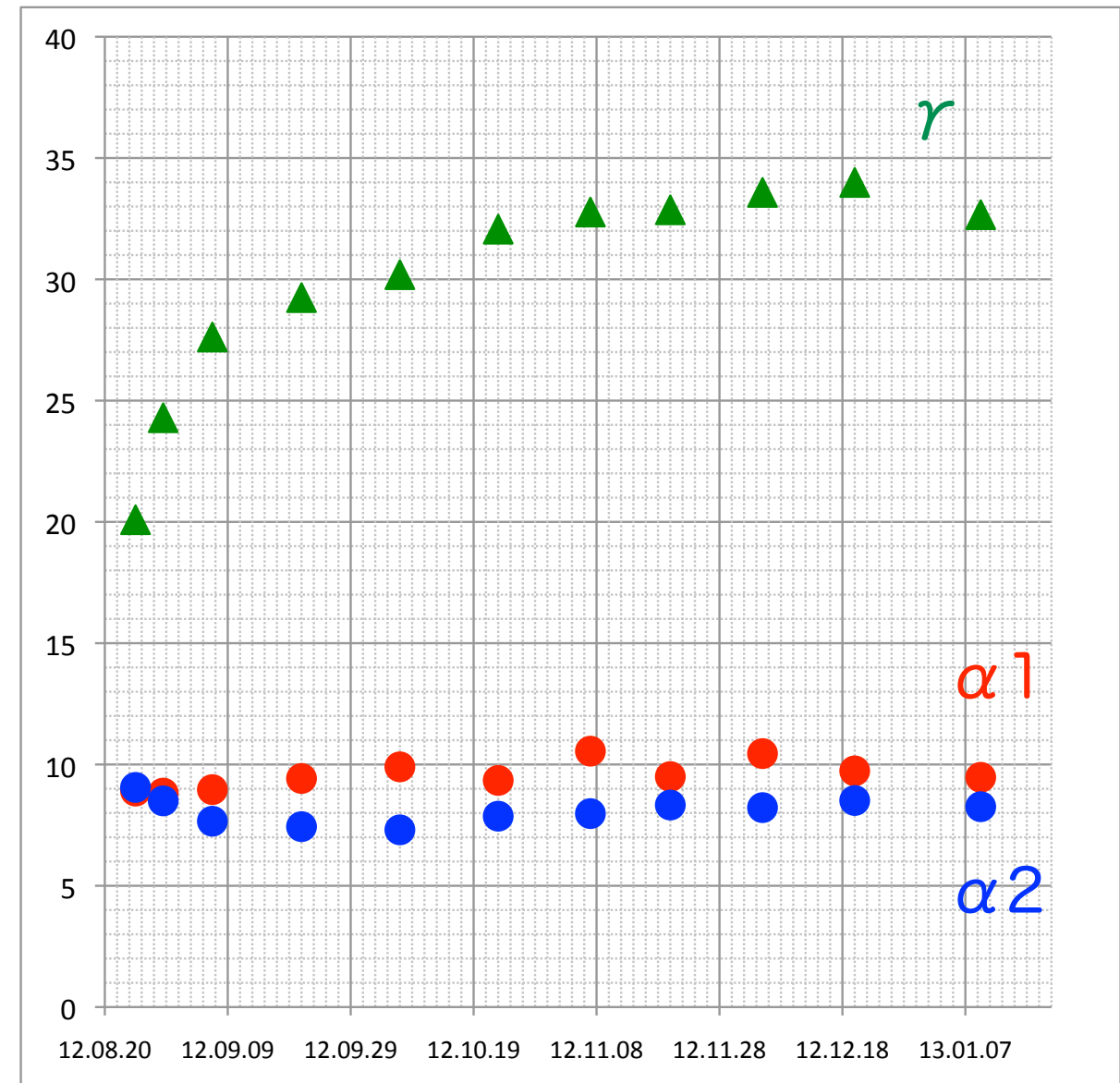
2012.8.23-2013.1.19



### Efficiency of charges



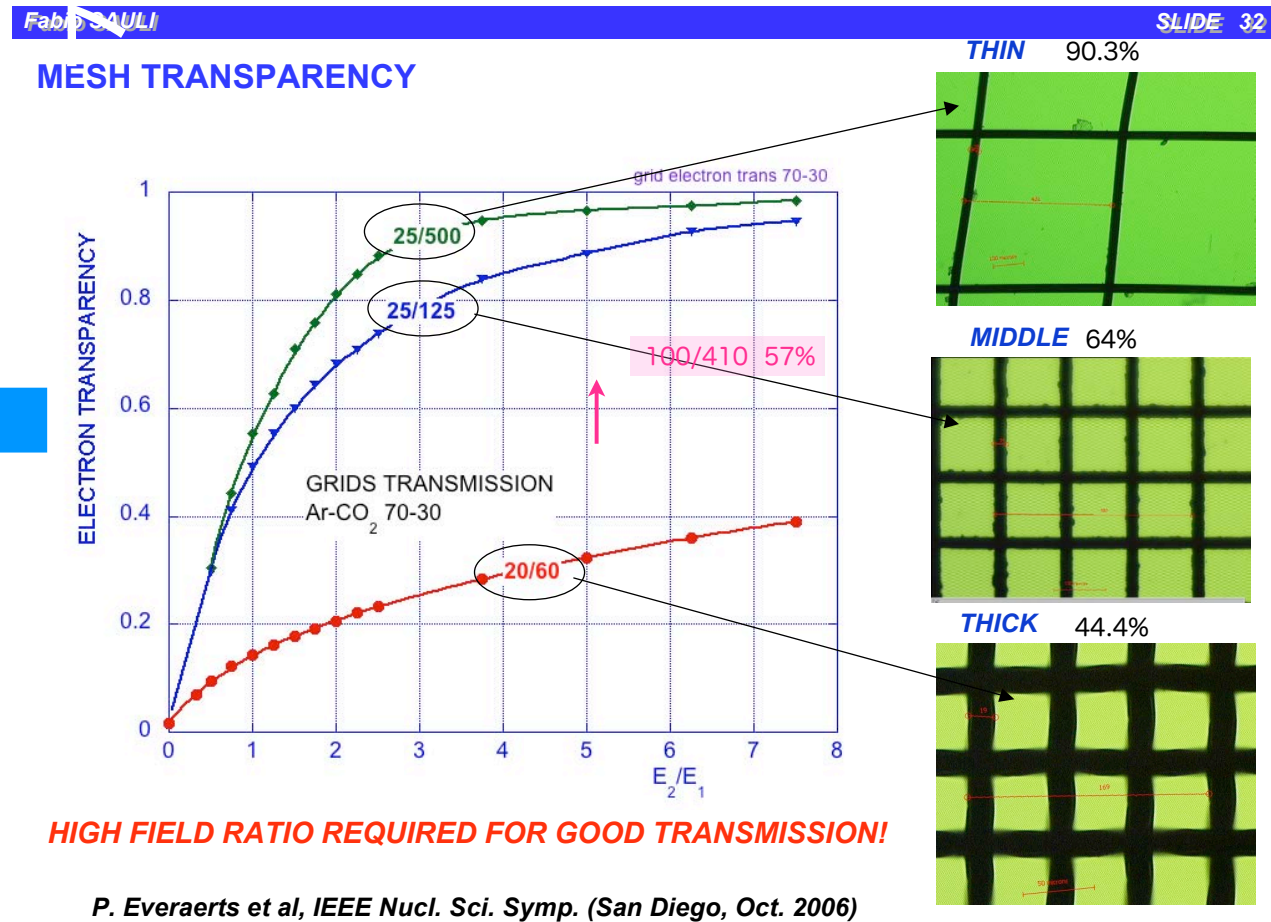
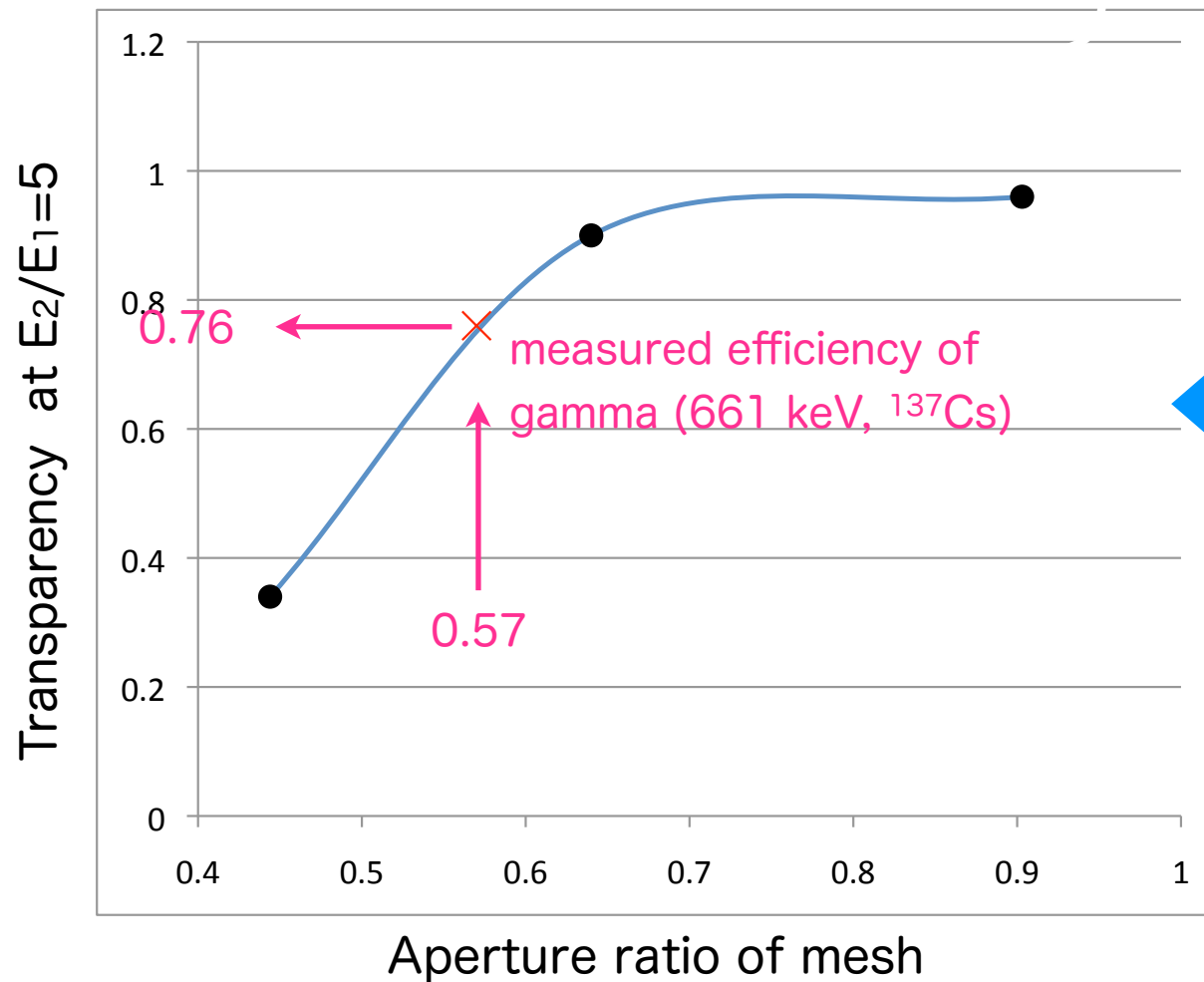
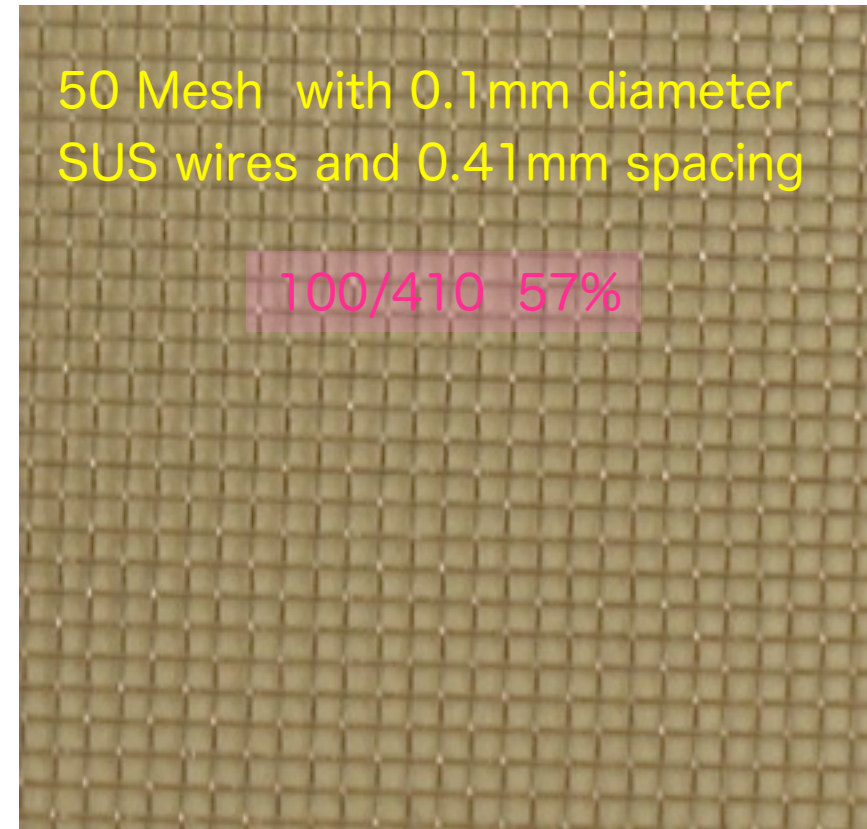
### Average charge

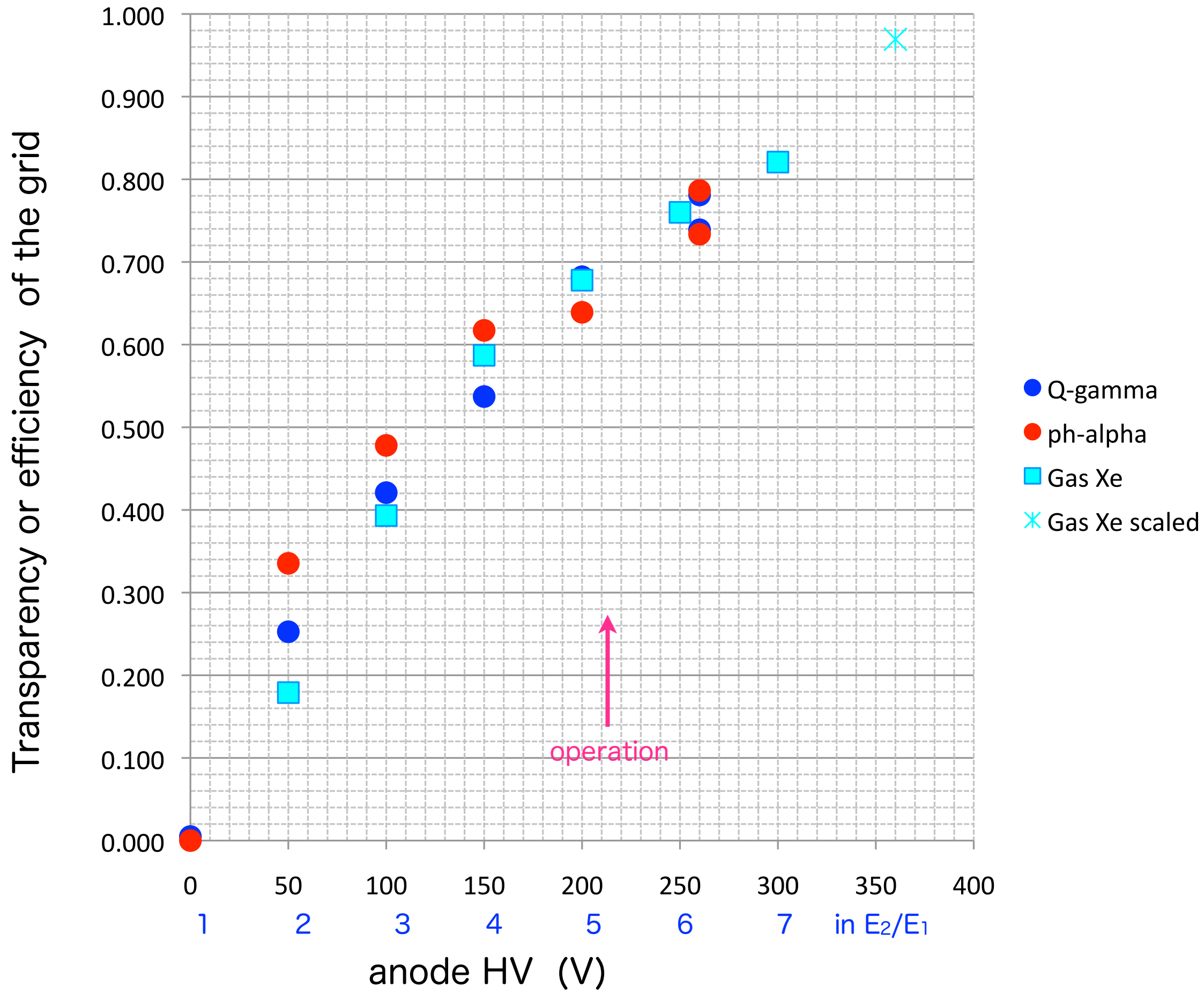




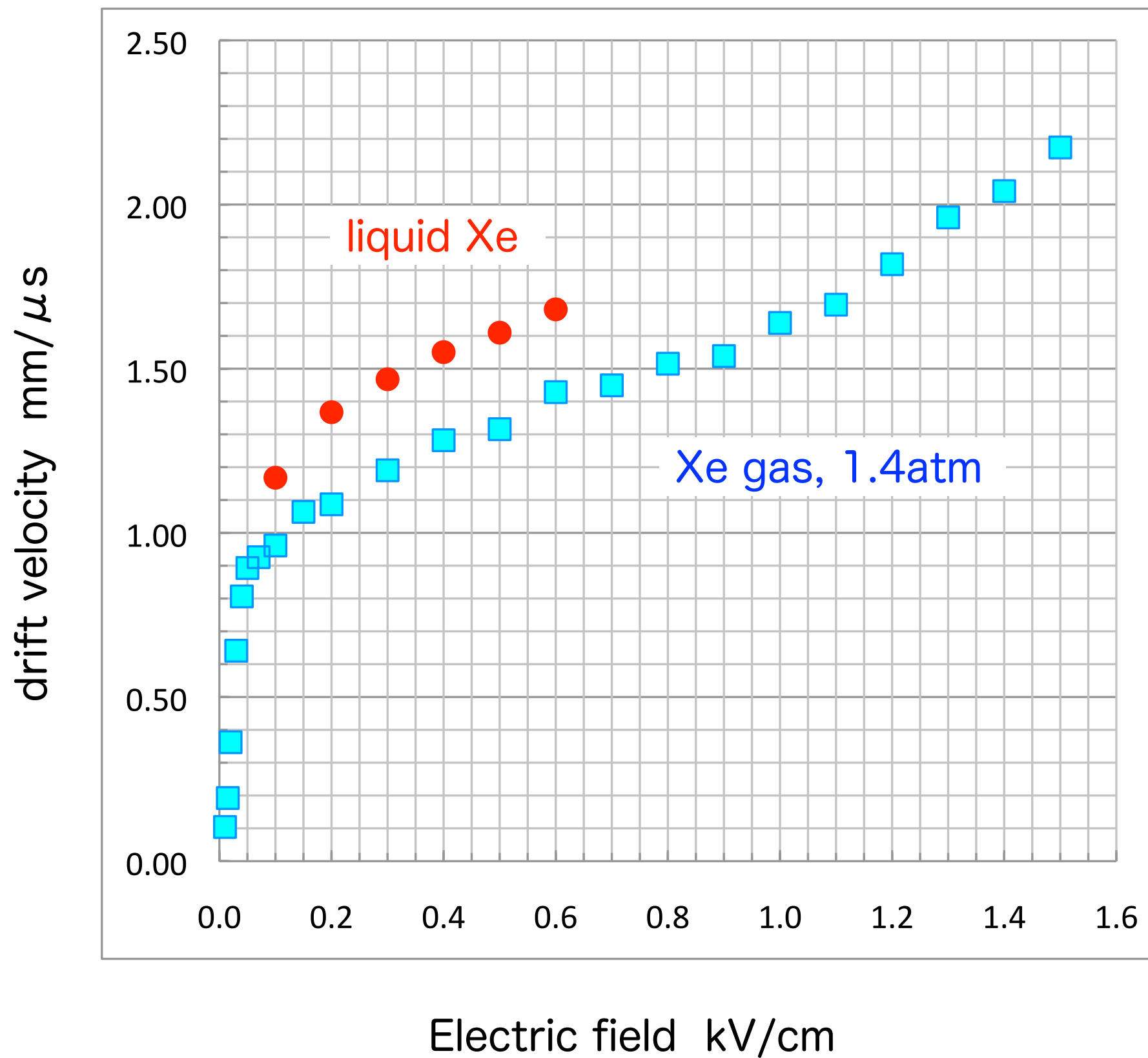
# Estimation of the grid transparency

## Our mesh for the grid





# Drift velocity in Liquid Xe

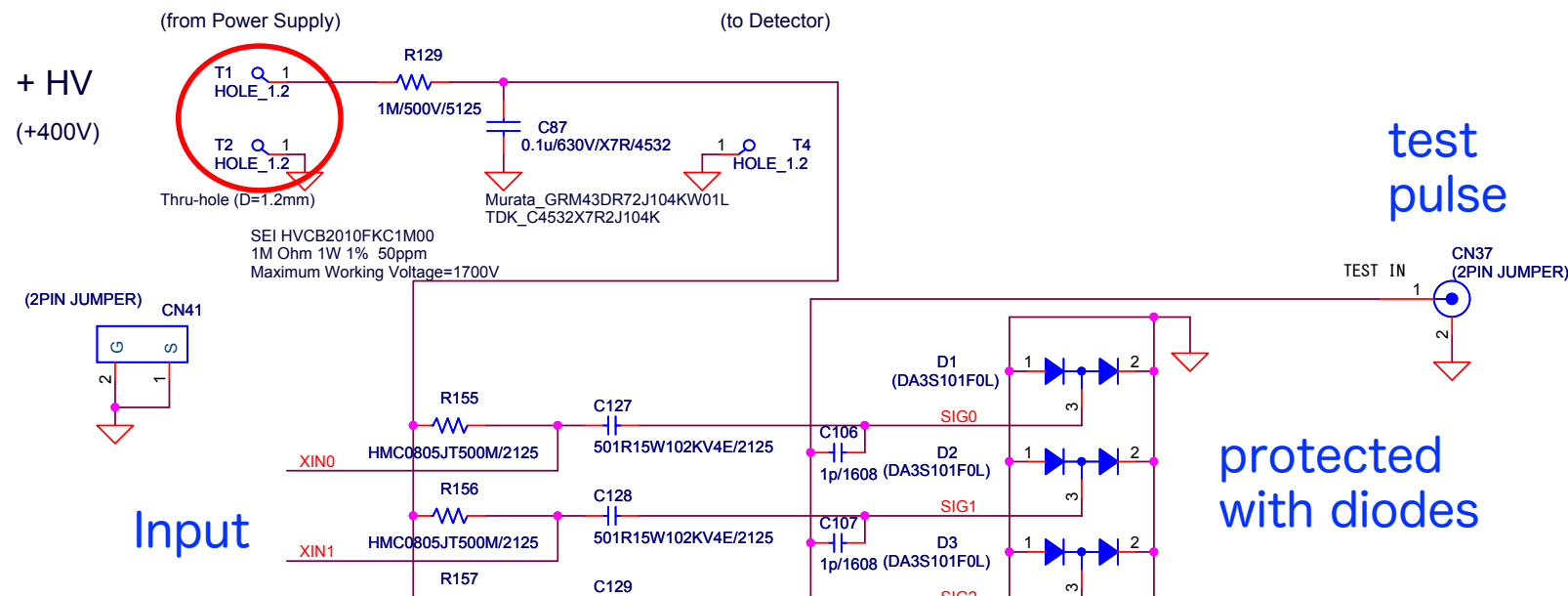
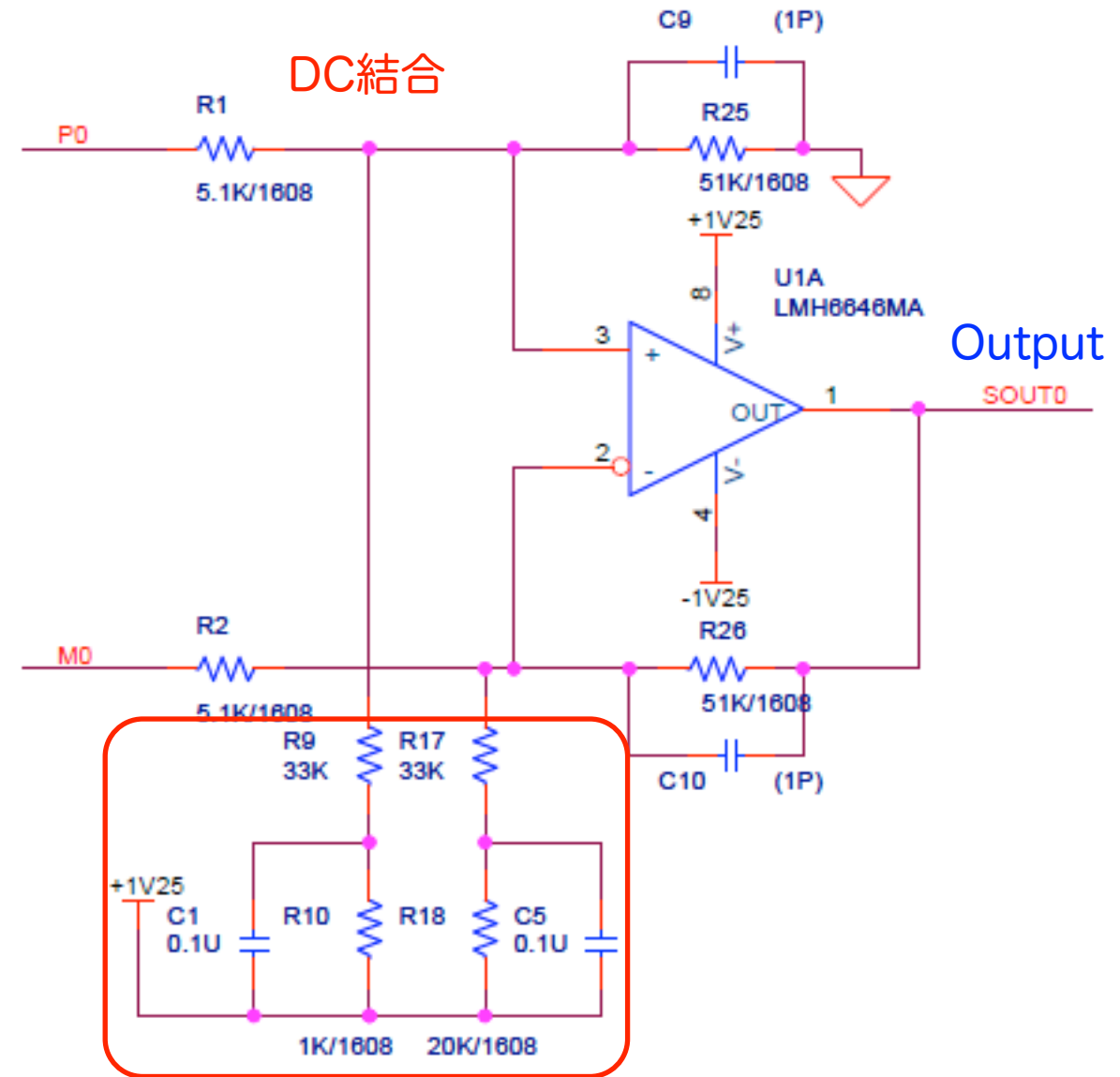
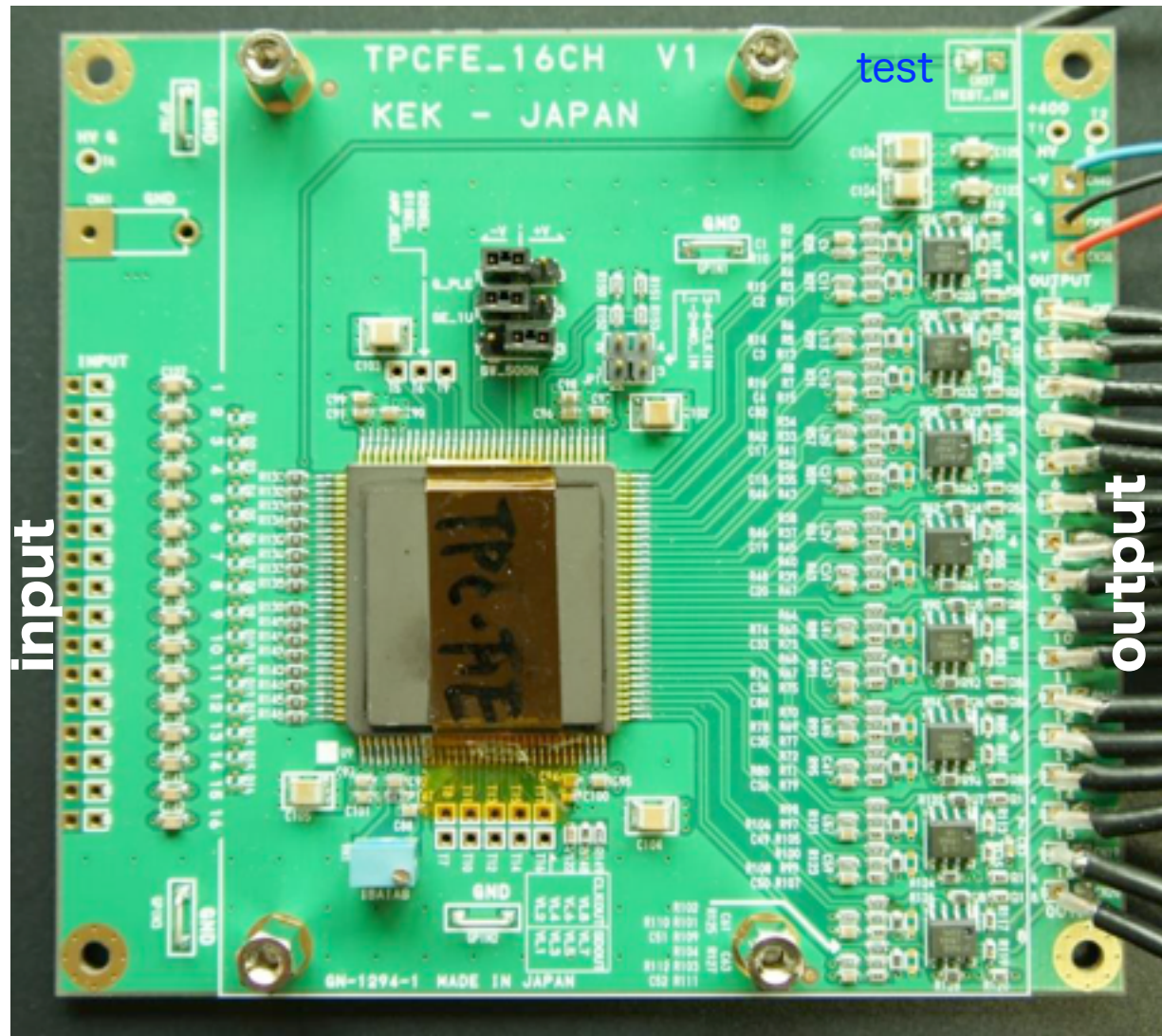




# Mother board of TPCFE (16ch), version -1, for test, Jan-Mar 2013

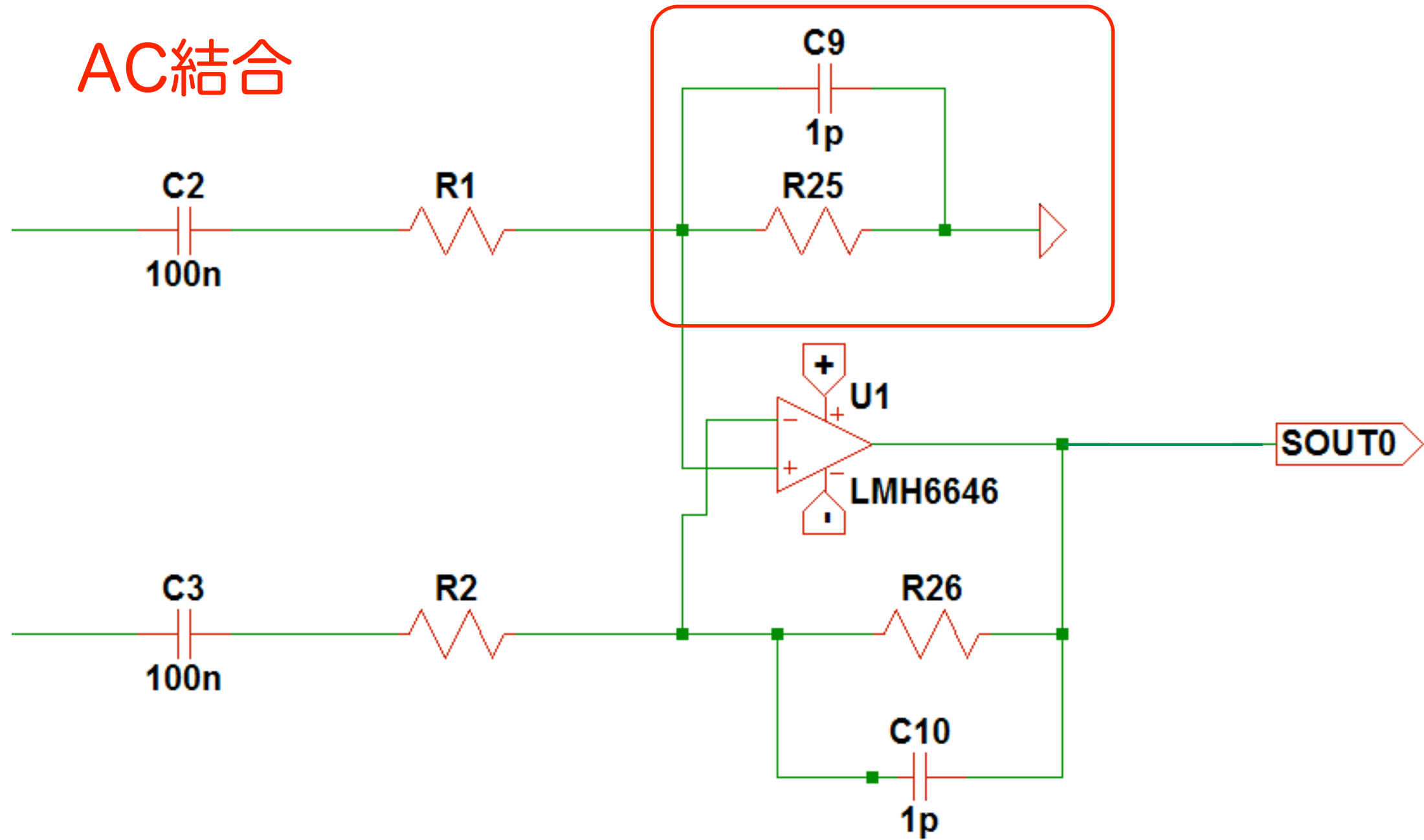
studied by Yuya Iwazaki, Yokohama National University

GN-1294-1(FR4), based on Takagi's M thesis



AC結合

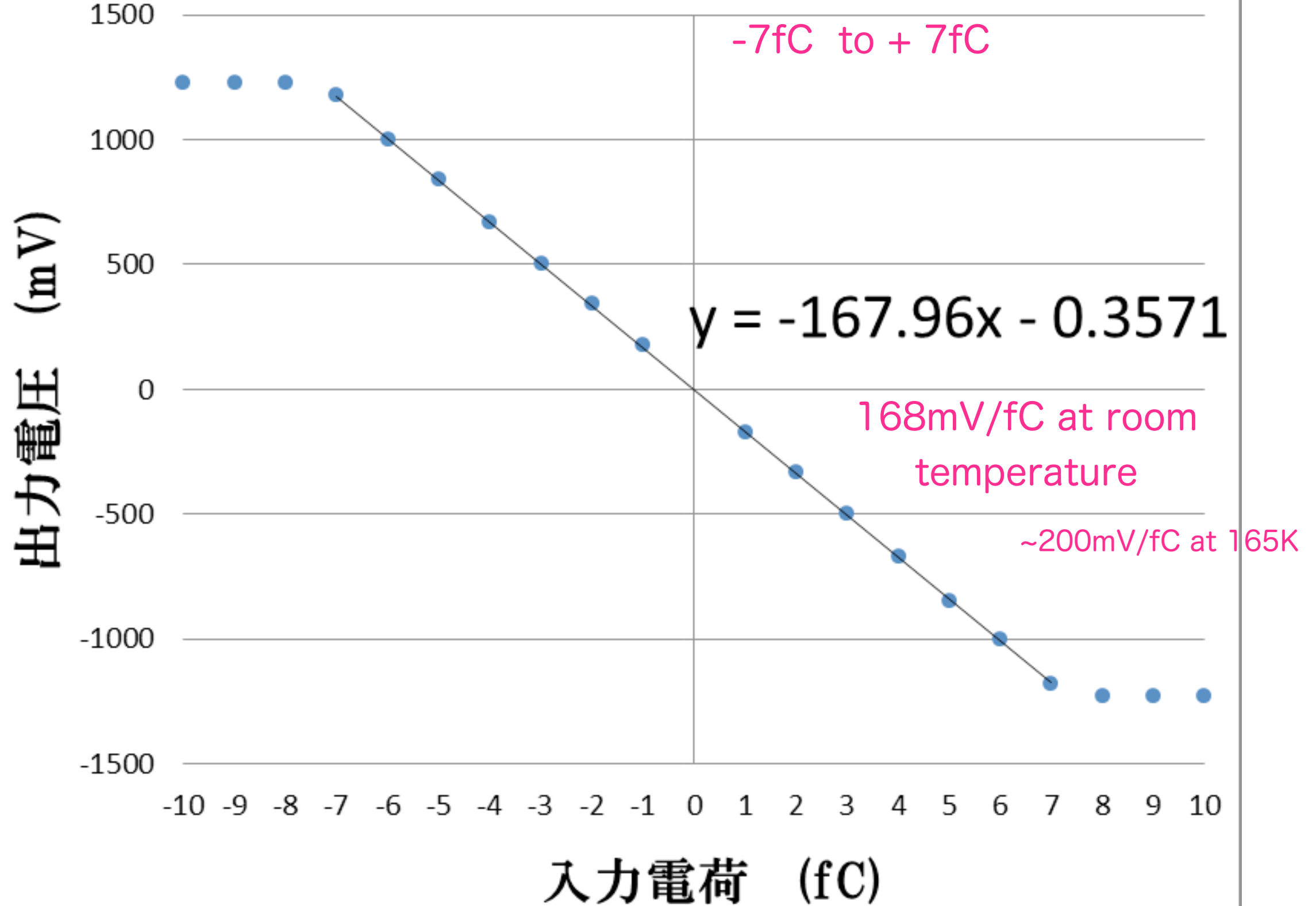
DCリターン



$R1=R2=5.1k\Omega$  :  $R25=R26=100k\Omega$  Gain=19.6 → GN-1294-2(LTCC)

# GN-1294-2(LTCC)

## ch1のダイナミックレンジ特性(5.1 k: 102k)





# まとめ

1. Preamp 全16ch OK (2012.July - 2013 May)
2. 液体Xeの純化 (1.3ℓ /分) 約3ヶ月:
  - 8/23 - 9/9 (17日) 順調に電荷シグナルの増加、その後、飽和
  - 10/1-12/10 (71日) CT加温/日で電荷シグナルの増加、その後、飽和
3.  $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線スペクトラム測定 (662keV, Compton edge) で純化を確認
  - 飽和後: 電子ドリフト寿命= $77\pm 7\mu\text{s}$ , 減衰長= $12\pm 1\text{cm}$ , 不純度=6ppb (評価)
4. 電荷通過率のグリッド電圧 ( $E_2$ ) 依存性の測定
  - 期待値(ガス中測定): 通過率=0.76 at  $E_2/E_1=5.2$ , mesh aperture=0.57
  - $\gamma$ 線源からの電荷の検出効率とよい一致
5. 電荷のドリフト速度の電場 ( $E_1$ ) 依存性の測定
  - 1.6mm/ $\mu\text{sec}$  at  $E_1=0.5\text{kV/cm}$  (1.4気圧のXeガス中で1.3mm/ $\mu\text{sec}$ )
6. 液面と電荷シグナルの関係
7. ASICのTPCFE09用の基板の製作: 回路シミュレーション+試験で最適化
  - 168mV/fC,  $-7\text{fC}<\text{入力}<+7\text{fC}$  (バッファアンプへAC結合でゲイン20倍)
  - 液体Xe温度でのゲイン期待値 (実測): 0.2V/fC (peaking time = 1  $\mu\text{sec}$ )
8. EDIT2013 LIQ参加 (2013.3.12 - 3.22) 12 students, 4 TA's



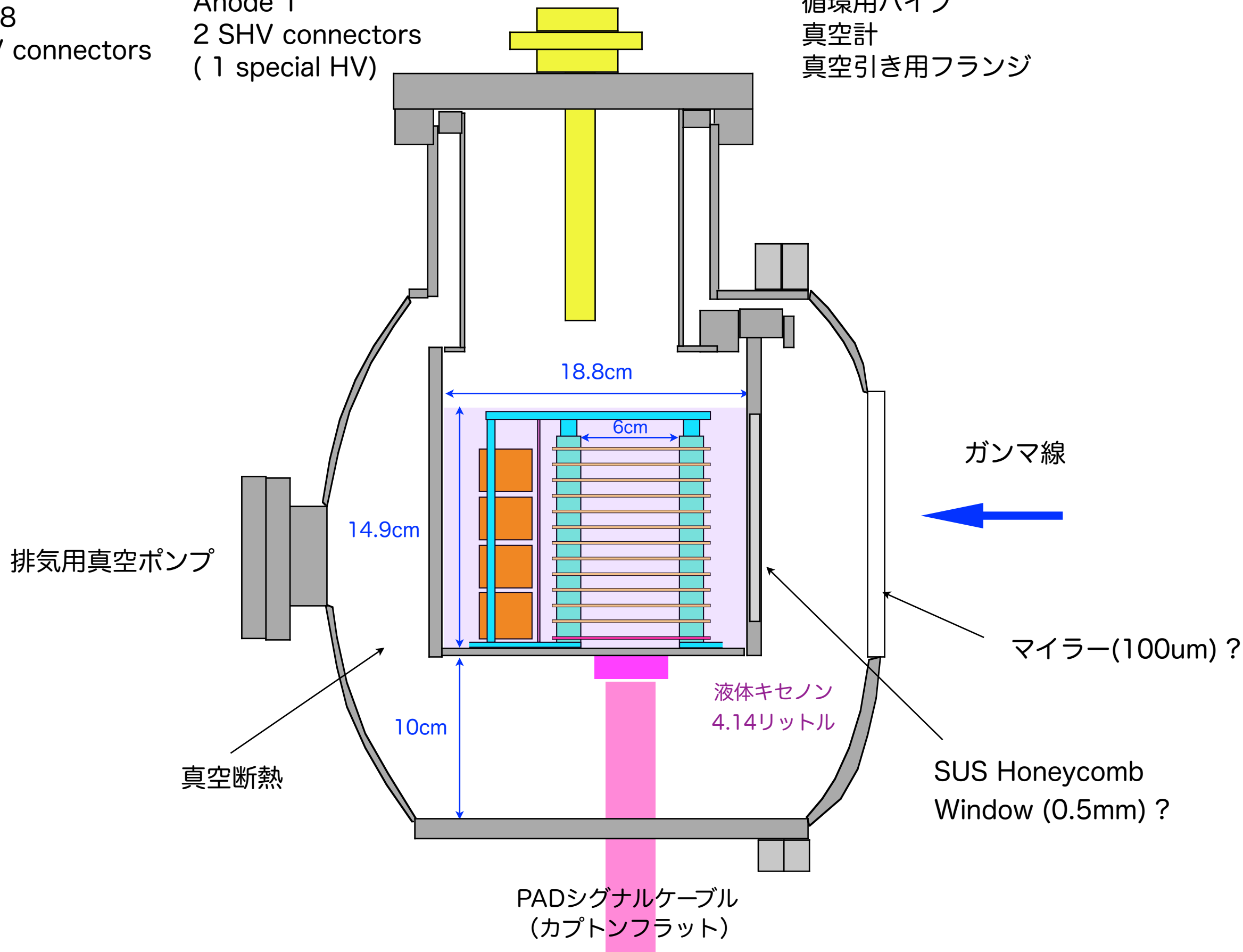
# TPCX : 2013年度計画

- (1) ノイズ源のHe圧縮機をできるだけ遠ざける、約3mから15m
- (2) ASIC-TPCFE09による16chのシグナル読み出し  
2SK152ドータカード, A250プリアンプ, N568Bポストアンプに代わるもの  
放射線源:  $^{22}\text{Na}$ @anode上,  $\alpha 2$ @cathode
- (3) 冷凍機を1台追加してガス循環と液体Xeの純化の速度増大を試験
- (4) さらに、真空断熱・熱交換器を使用したXe純化の効率化の試験
- (5) Subatechとの日仏協力を継続：PETプロトタイプ（参考資料を添付）
- (6) 追加予算等があれば、TPCFE09などのエレクトロニクス部品をXe-chamberの外（真空中）に設置し、シグナルの読み出し試験を行う。アノードパッドはセラミックエンドプレート上に配置し、このプレートでXeと真空を分離する。
- (7) このとき、TPCの電極を形成するフィールドケージをシンチレーション光を遮蔽しない構造とする。電荷とシンチレーションシグナルによるエネルギー分解の測定（ $^{22}\text{Na}$ -陽電子線源使用）

PMT 8本  
HV cables 8  
signals 8  
16 SHV connectors

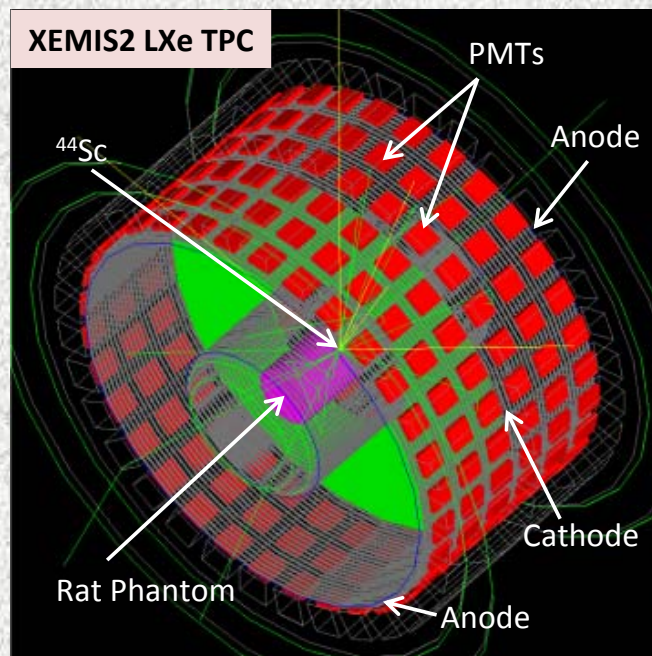
TPC  
Cathode 1  
Anode 1  
2 SHV connectors  
( 1 special HV)

PT 冷凍機  
熱交換器  
循環用パイプ  
真空計  
真空引き用フランジ





# XEMIS2 pre-design study for small animal imaging with GATE



## Cylindrical camera XEMIS2 (~ 100 kg LXe)

- radial  $8 < r < 20$  cm
- axial (z) Length =  $2 \times 12$  cm
- Electric Field in z direction 2 kV/cm
- 192 PMTs
- Micromegas ionization read-out
- FEE Idef-X, pixels  $3.175 \times 3.175$  mm<sup>2</sup> (~25k channels)

## TPC characteristics

- Intrinsic energy resolution: 5% @ 511 keV
- Spatial resolution: 0.5 mm (X, Y and Z)

R&D on liquid Xenon detector technology, presented by Wan-Ting Chen, FJPPL2012, Clemond-Ferrand, France, 28-29 May, 2012

## Performances (simulation in progress, PhD student: A.F. Mohamad Hadi)

- Efficiency to measure LOR: 30%
- Efficiency to measure 1.157 MeV  $\gamma$ -rays: 43%
- 3 photons efficiency (after selection): ~5%
- Precision on localization along LOR ~ 1 cm (FWHM)

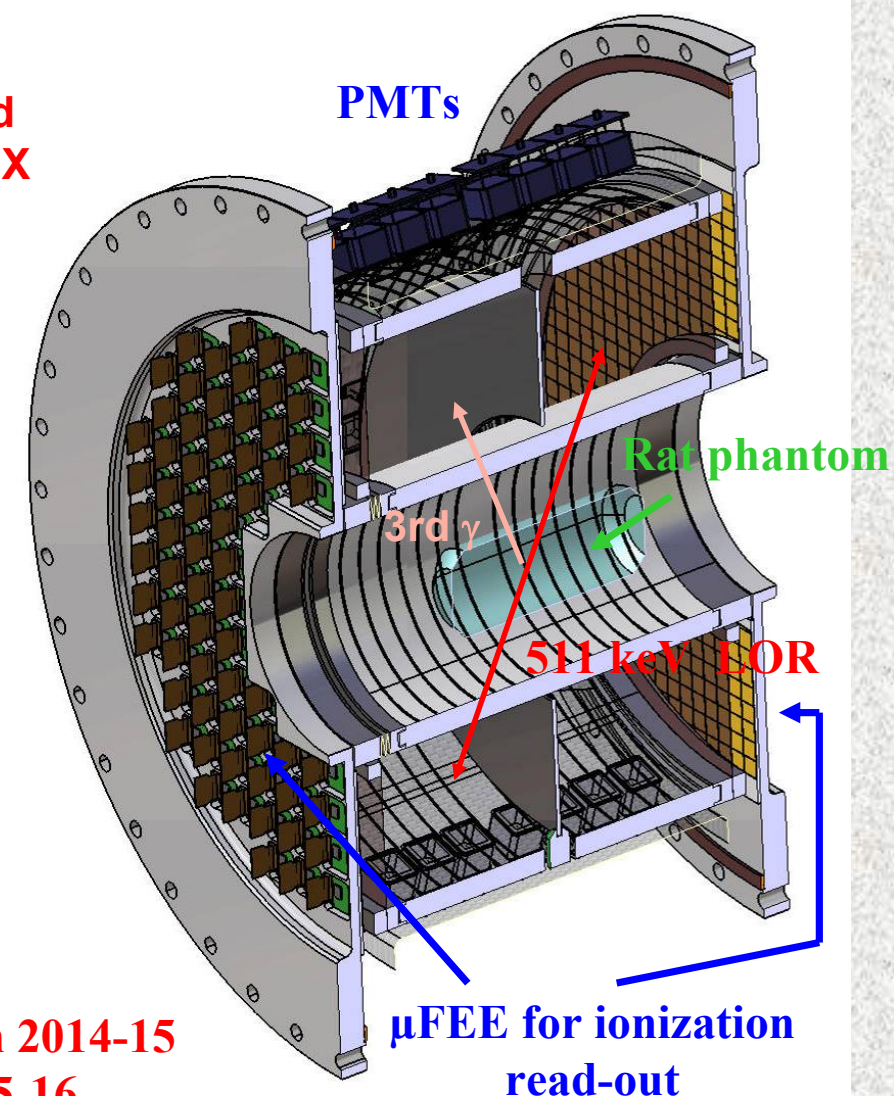
## Simulation status:

- LXe Compton Telescope already implemented in GATE
  - Future => Simulation of test Phantoms (NEMA, Derenzo...) with
- Wan-Ting CHEN, Annual FJPPL Work



Funding issues almost addressed with the ARRONAXPLUS EQUIPEX

Improved reliability and safety :  
ReStoX (liquid xenon station)



Expected to run at Subatech in 2014-15  
→ Nantes Hospital in 2015-16





**XEMIS2 pre-design study for small animal imaging with GATE**

