

液体キセノングループ報告

KEKDTP重点レビュー、2011年12月27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、春山富義、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、千葉哲平 (M2)

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、高木雄太、遠藤雄也 (M2)、名越健誠 (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)

2011年 第2実験経過 (続き 2)

- 4/28 セラミックエンドプレートの水圧による強度試験, 0 ~ 35気圧(ゲージ)
- 4/26 真空引き開始、5/12 ビルドアップ試験
- 5/13 圧縮機増強(0.7->1.6kW)で冷却開始; 21W -> 31W at 165K
- 5/16 液層純化開始; 0.4L/分 -> 2L/分
- 5/18 - 20 PADシグナル上のノイズスタディー; ダイヤフラムポンプ,GND
- 5/28 冷凍能力低下でコールドヘッド (CH)を293Kに加温後、再冷却
- 6/2 Chamber内の温度上昇 (190, 185, 177K) でガス化
- 6/5-6 Xeガス中でデータ収集
- 6/7-14 Chamberを大気開放; 2個のドータカード交換,ノイズスタディー
- 6/14 真空引き開始
- 6/20 冷却開始, ロータリーバルブ交換, - 6/21 CH部分の調整
- 6/22 液層純化開始, -6/24 CH加温と液層循環(1~1.8L/分)を繰り返す
- 7/12 PMTシンチレーションシグナルでPSD解析

2011年 第2実験経過 (続き 3)

8/1 CHの温度上昇により冷却断念

8/1 - 9/5 Xeガス中でのTPCシグナルのデータ収集と解析

8/6 15:07まで TPC cathode HV=0Vであった。

8/16-19 全所停電

8/25 PMTシグナルのADCゲートのpick upノイズの処理

8/31-9/1 ガス循環のシンチレーション光量による純化曲線の測定

9/2 PMTシグナル用2.2mケーブル交換, RG59/c(73 Ω) -> RG58u(50 Ω)

9/5 Chamberを大気開放;

9/8 ドータカード1枚交換, マザーボード交換、シールドボックス追加

9/9 真空引き開始、9/16 ビルドアップ試験

9/21 冷却開始, 圧縮機吐出側にモレキュラーシーブ吸着筒を増設

9/26 液層循環開始 1.4~1.8L/分

10/6 Xeガスと液体中のシンチレーションシグナル($\alpha 1, \alpha 2, \gamma$)の確認

10/21 電荷シグナルによる純化過程のモニタープロットを設定

2011年 第2実験経過 (続き 4)

10/11 PAD 7に電荷シグナル (液層循環開始2週間後)

10/11 電荷シグナル上のpick up ノイズの削減のため、
PMT1,2のHVを720Vから580Vに変更

10/12 10倍PMTアンプ追加, 宇宙線トリガー時 +16dB設定

10/18 10倍PMTアンプの2番目の出力に50 Ω ターミネーション

10/20 16dBアッテネータを10倍アンプの前に移動

10/30 - 31 PMT2用の10倍アンプ故障、別のchへ交換 (ch4 -> 6)

11/18 液層循環停止

11/21 PAD 6, 7, 11に電荷シグナル (PAD 10は発振のため入力せず)

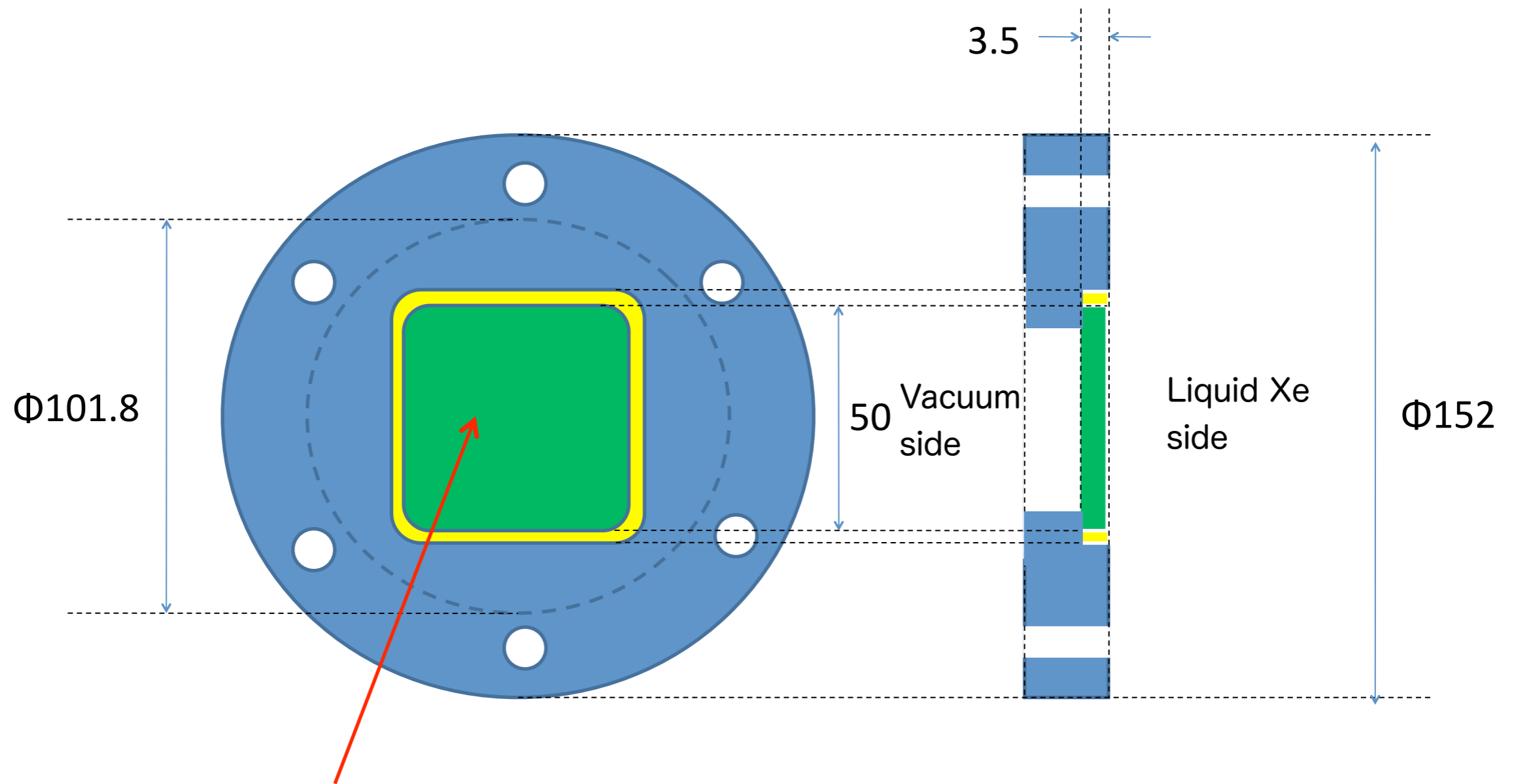
11/21 CH加温のため冷凍機を5分間停止

この直後より電荷シグナルが見えなくなる

12/ 6 - 7 日仏協力(TYL) 三原, 春山 Subatech訪問

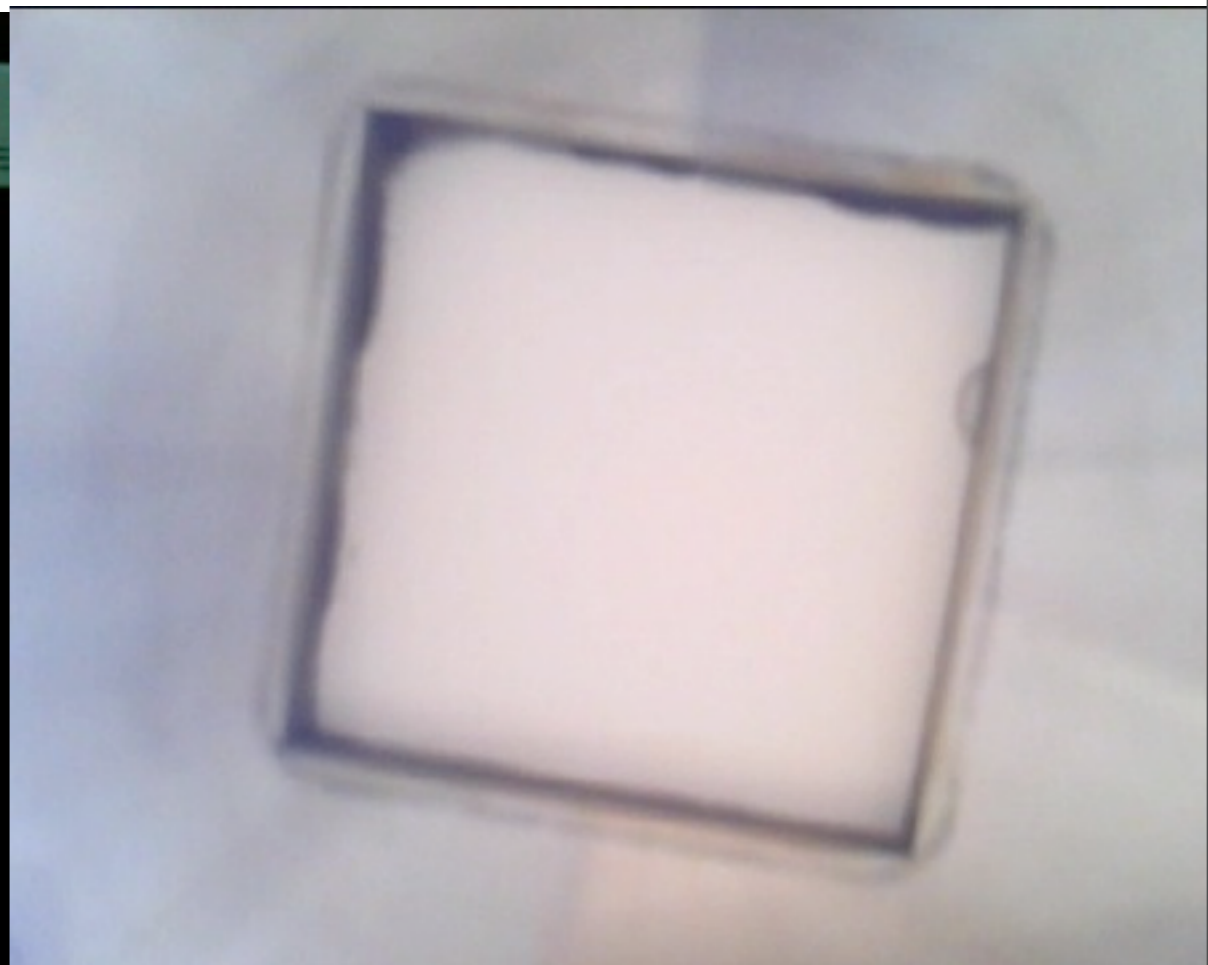
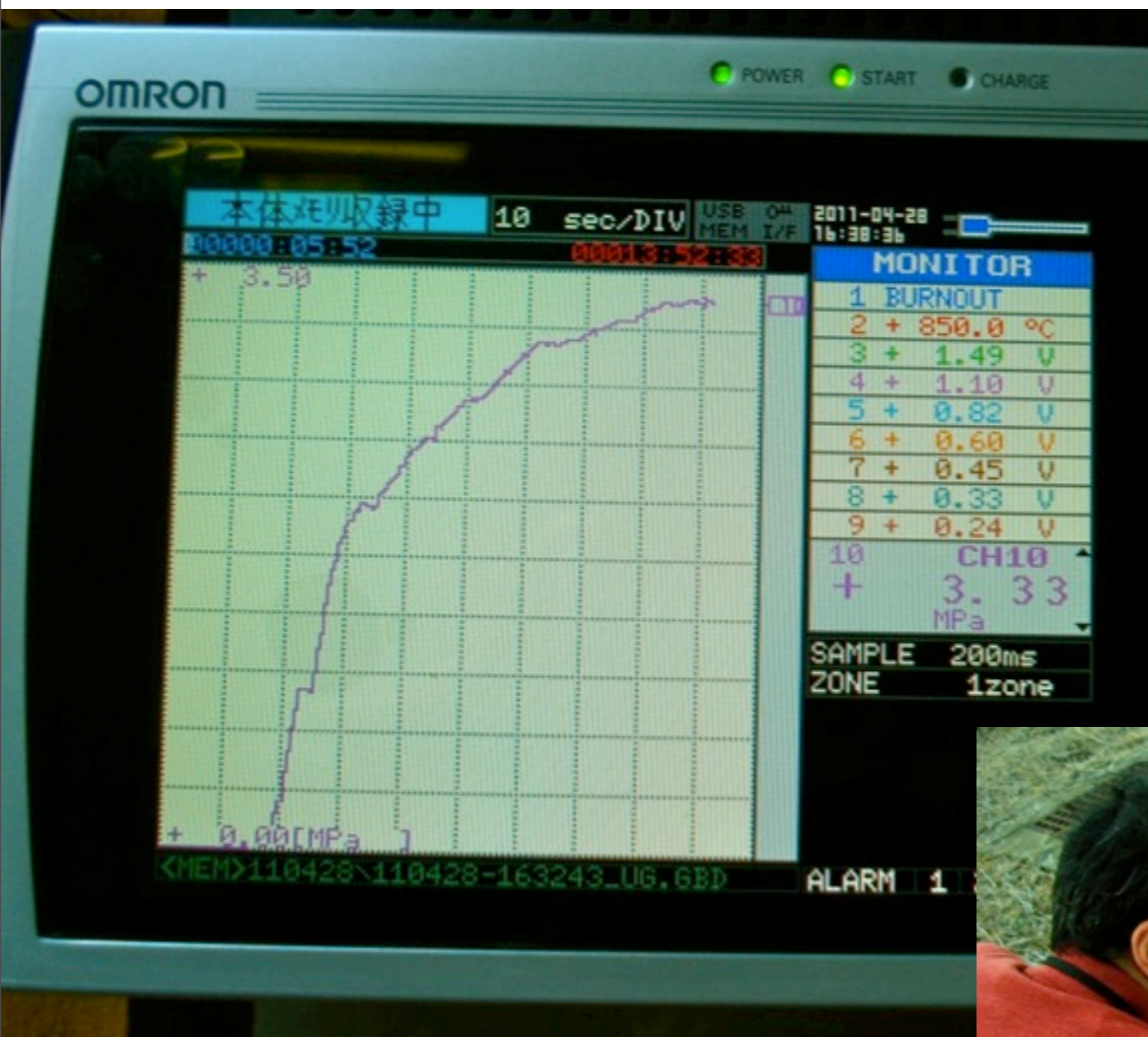
12/19-20 日仏協力(TYL) 田内 Subatech訪問

Pressure Capacity Test on the Ceramic End Plate (vacuum - liquid xenon window)



Ceramic plate with
3.5mm thickness

at 3 ~4 bars and $< -110^\circ\text{C}$



ゲージ圧の20気圧くらいで、セラミック板(3.5mm 厚) の縁から水が漏れ出した。セラミックはスタイキャストでSUSフランジに接着している。セラミック板は破碎されずに、スタイキャストの部分から水が漏れ出したものと考えられる。



γ -source
 $^{137}\text{Cs}, 7.34\text{KBq}$

2SK152
0.1pF, 1G Ω

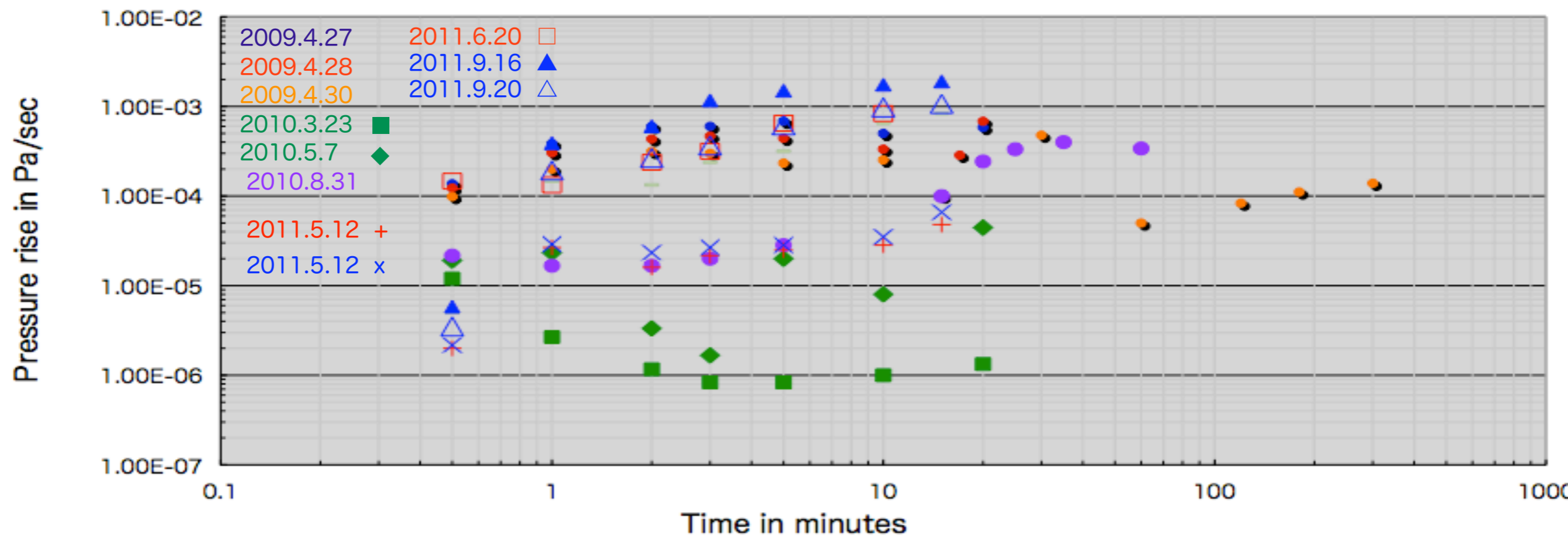
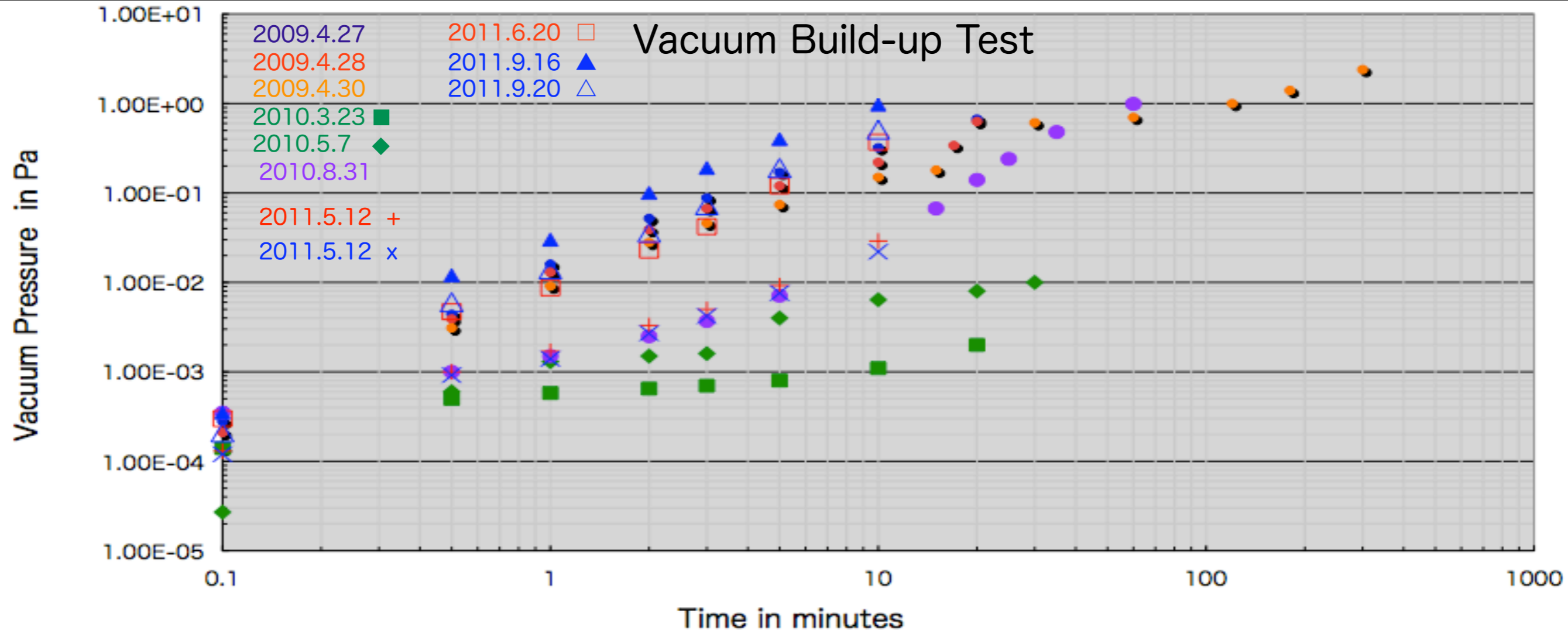
α -source: $\alpha 1$
($^{241}\text{Am}, 200\text{Bq}$)
on a wire
at 1cm from
the anode

PMT1 (up) : R5900;
DY1 - 12
20.7 μA at +900V(max)
Q.E.=20%@175nm
(2003.11.28)

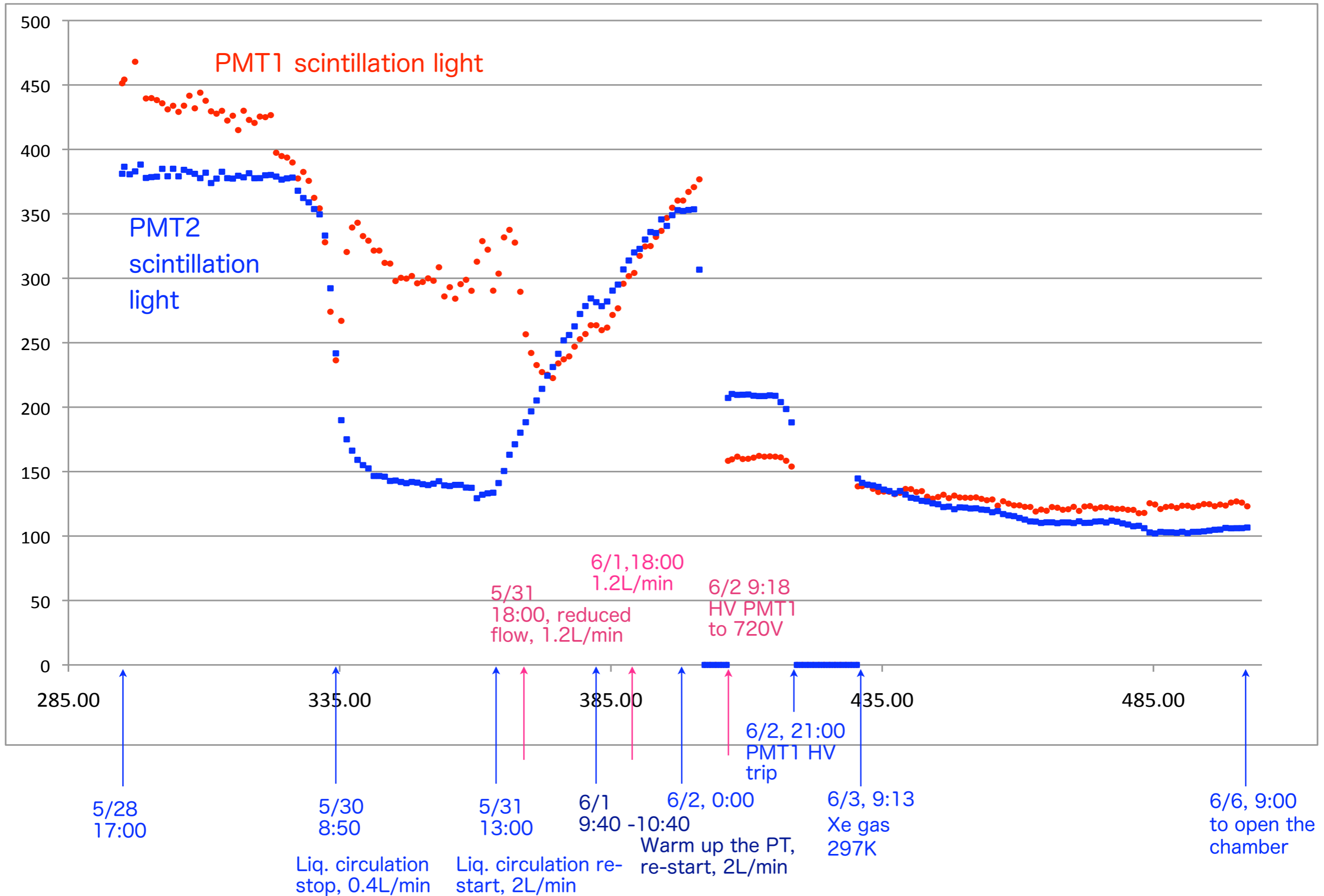
α -source: $\alpha 2$
 $^{241}\text{Am}, 200\text{Bq}$

PMT2 (down) : R7600;
DY1 - 10
23.9 μA at +900V(max)
Q.E.=30%@175nm
(2009.06.15)

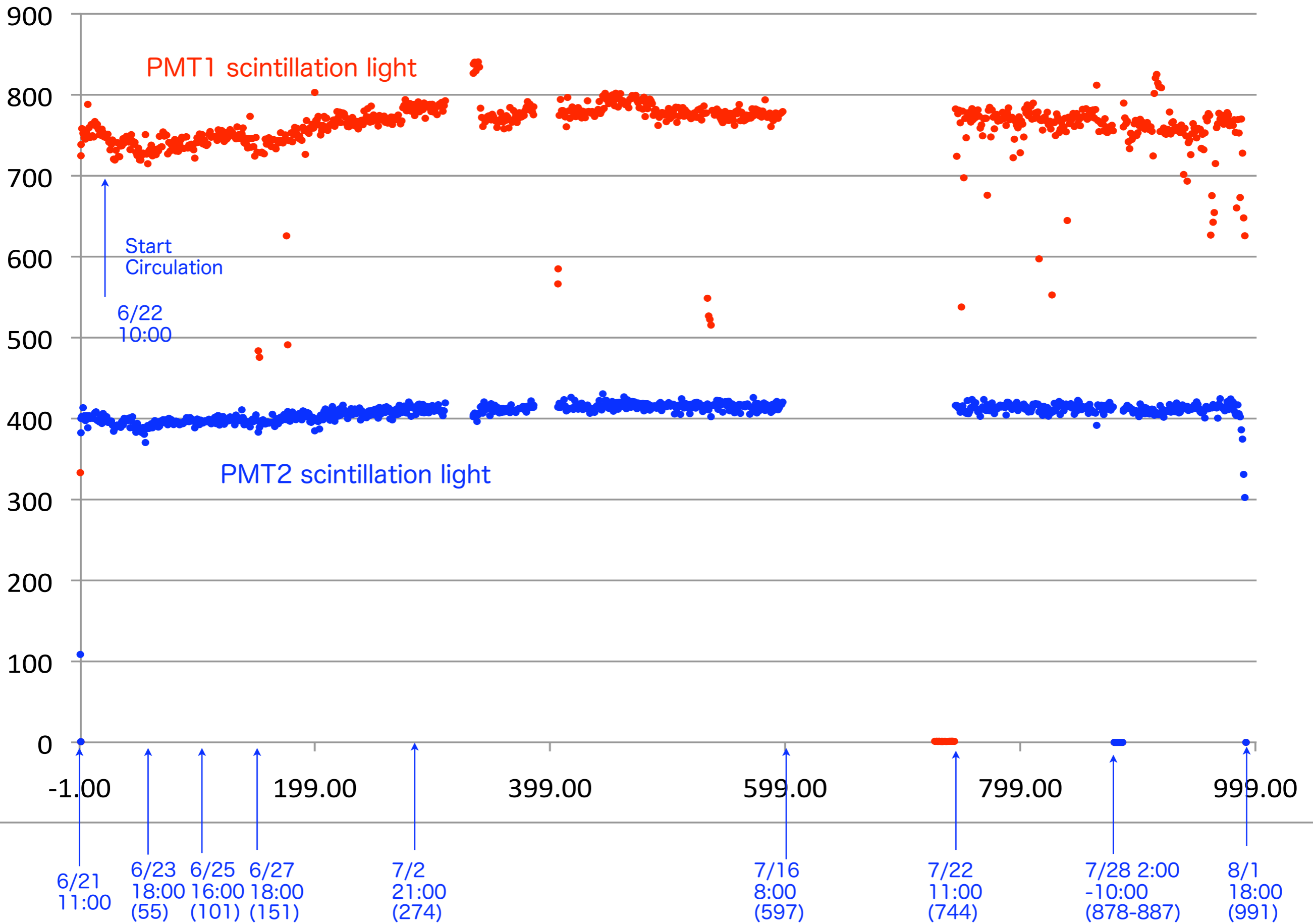
2011.4.15



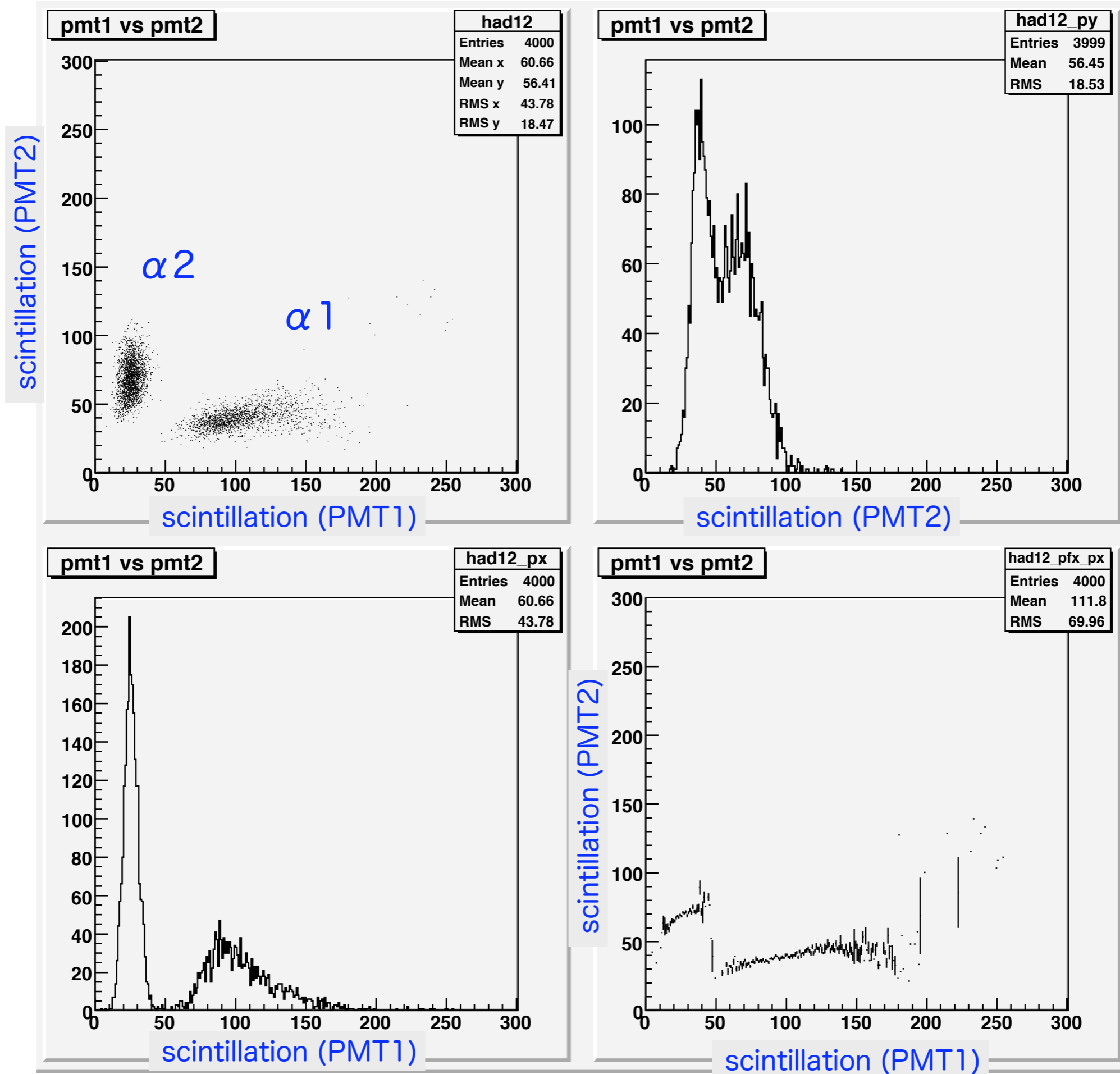
Purification of Liquid Xe, May 2011



Purification of Liquid Xe, June-July 2011



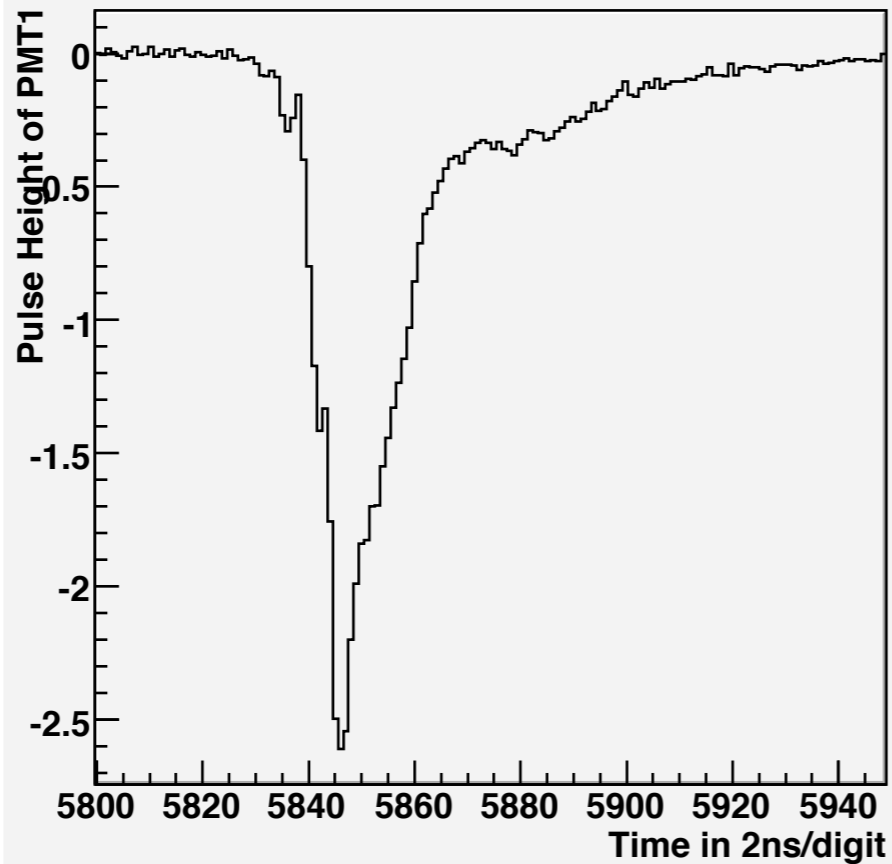
Scintillation lights in Xe Gas at 1.4atm, 4,000 events, Aug. 15, 2011



Xe Gas
1.4 atm

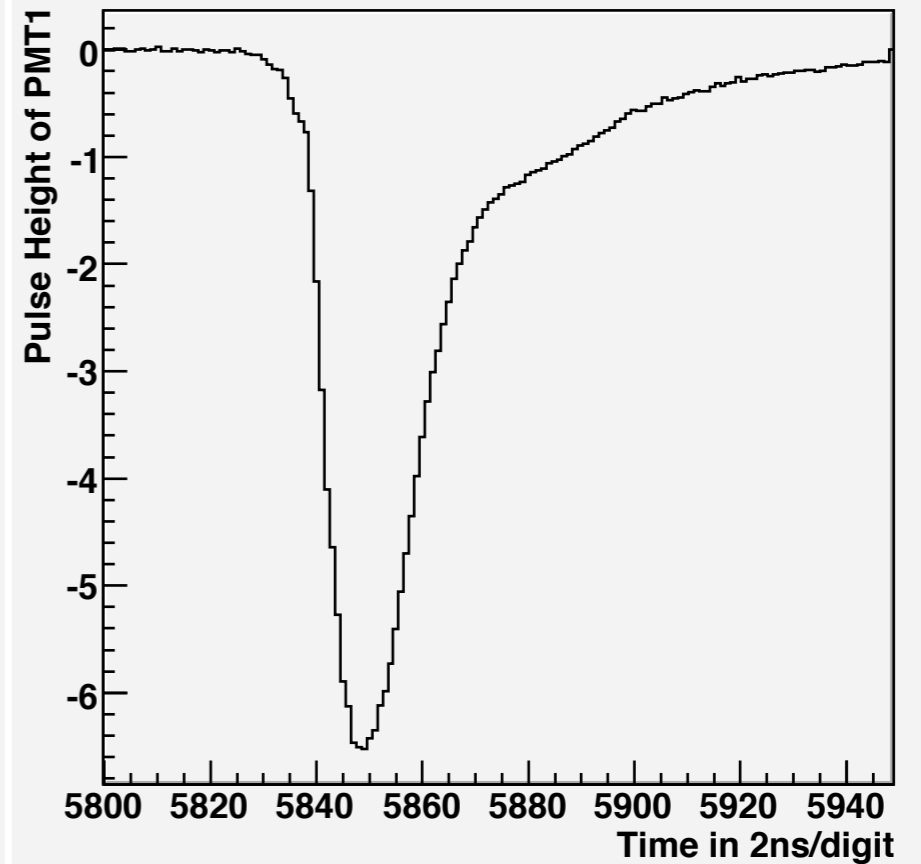
c1117-ch1-gamma

$\alpha 2$



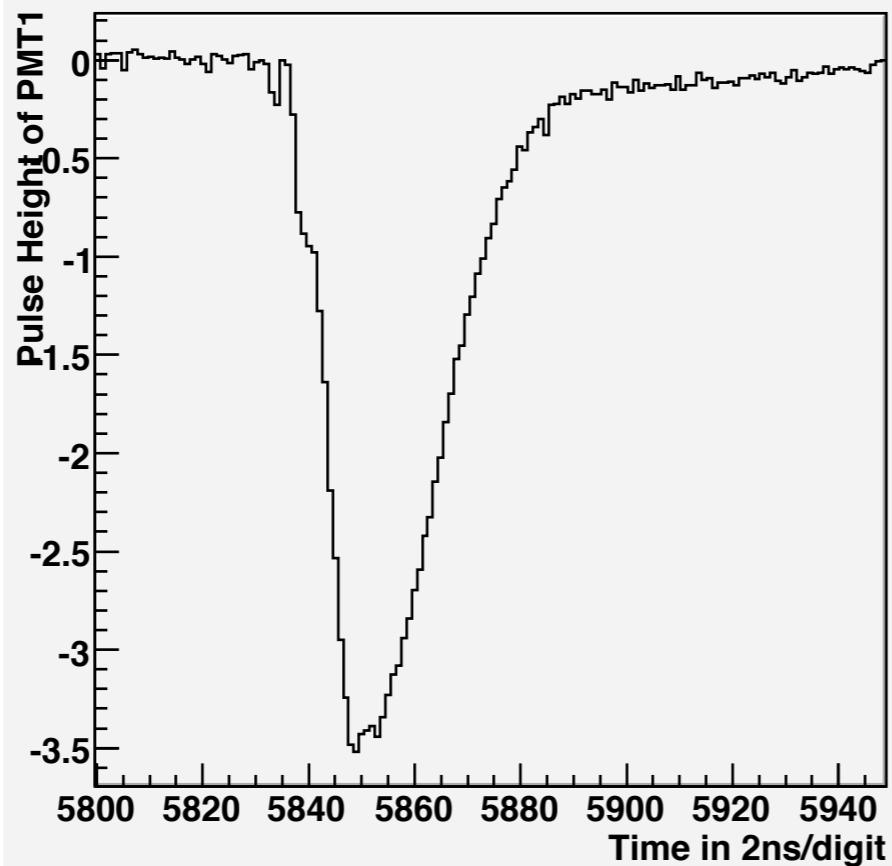
c1117-ch1-alpha

$\alpha 1$



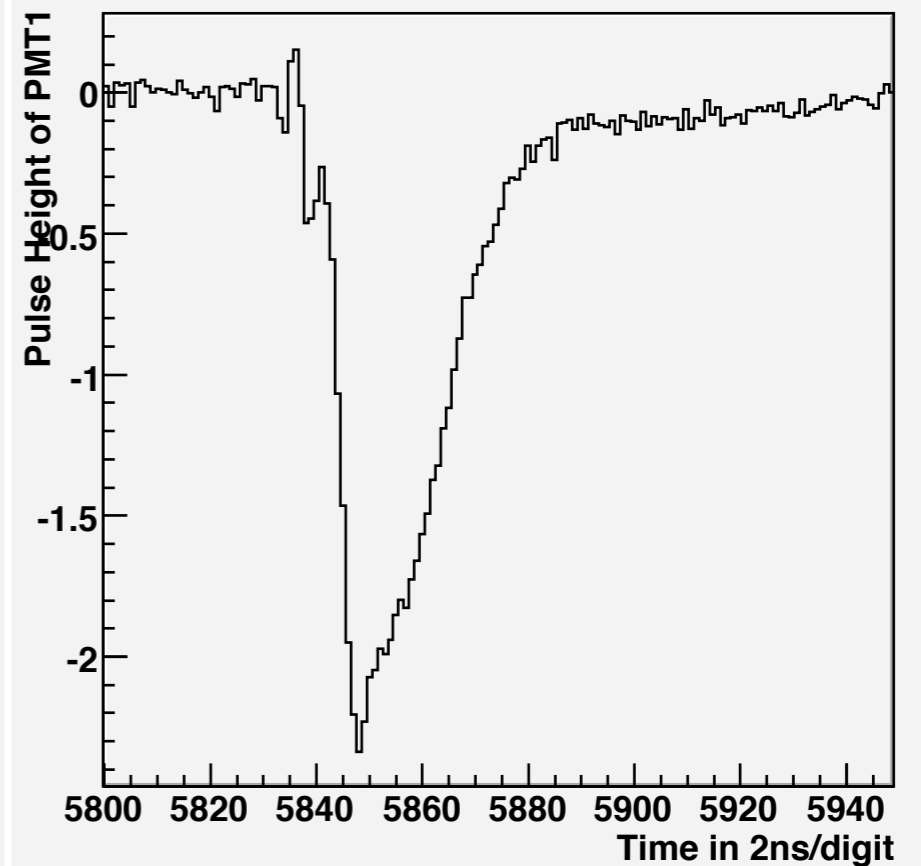
c1117-ch2-gamma

$\alpha 2$



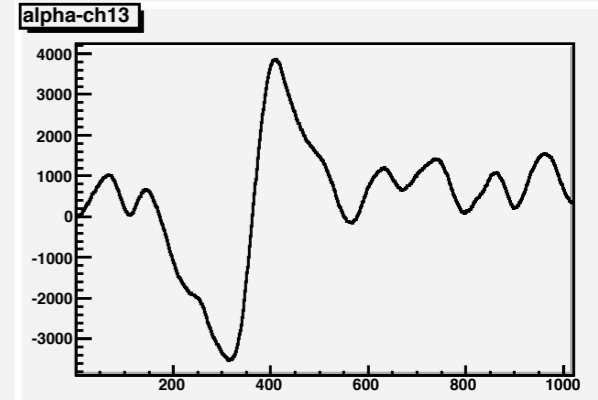
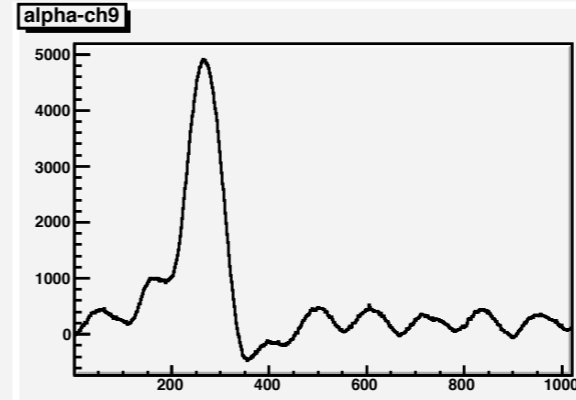
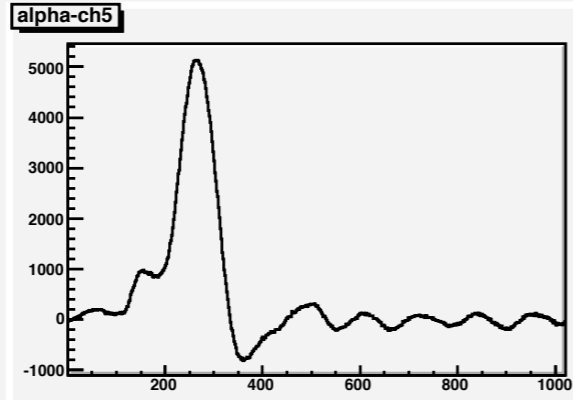
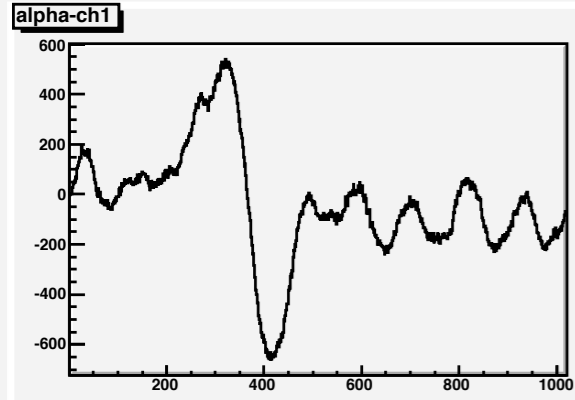
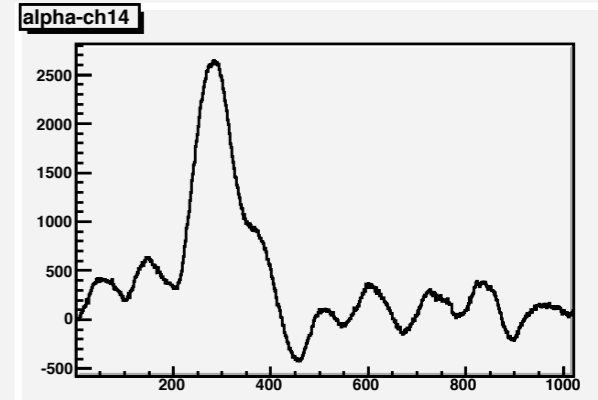
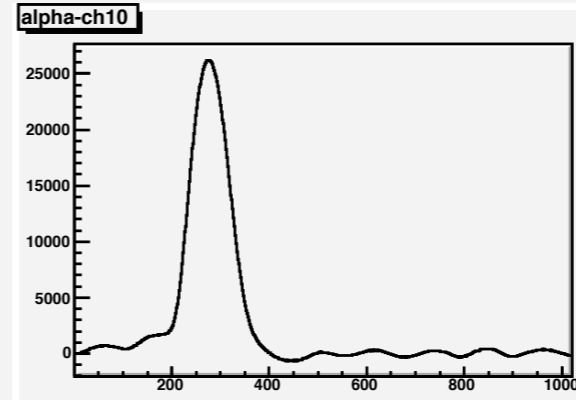
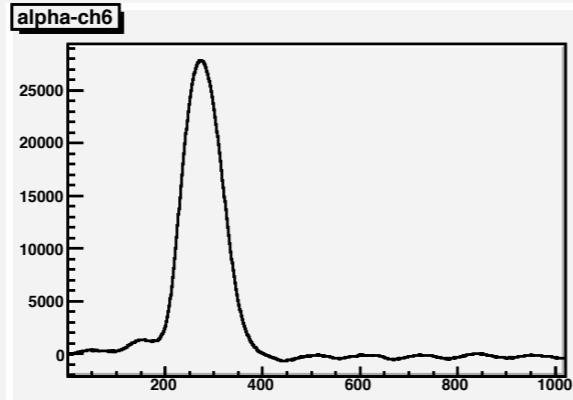
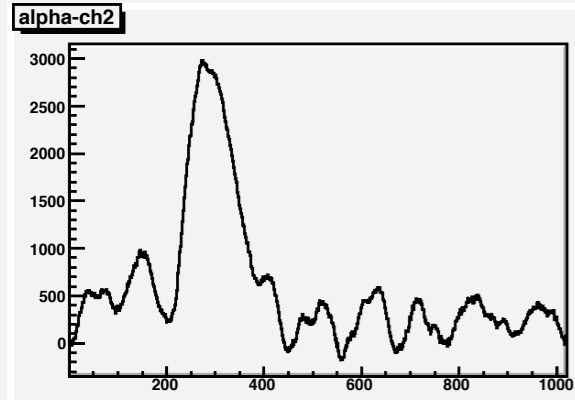
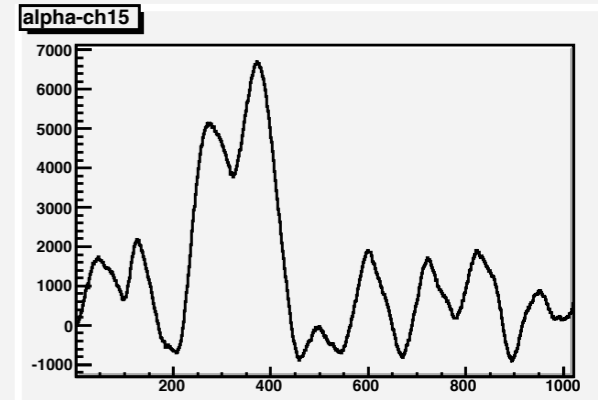
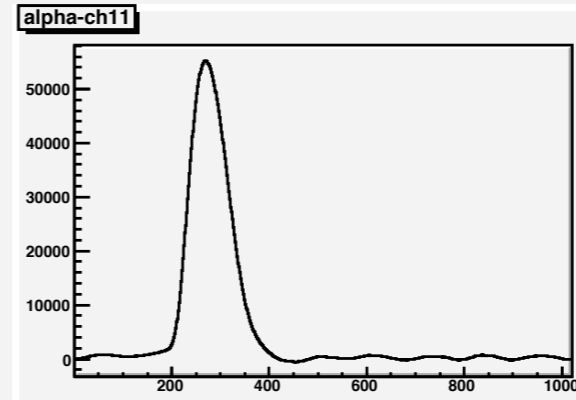
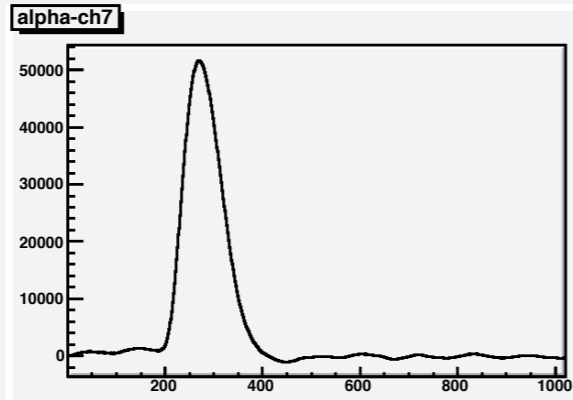
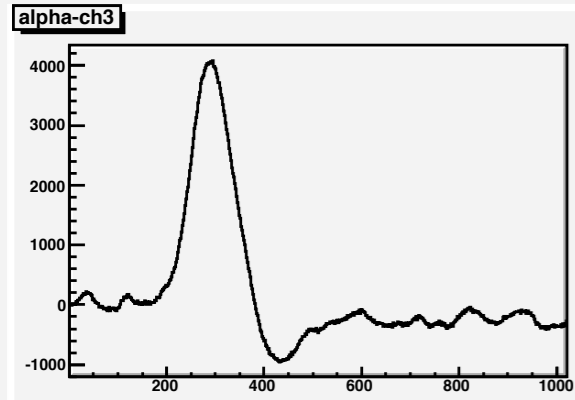
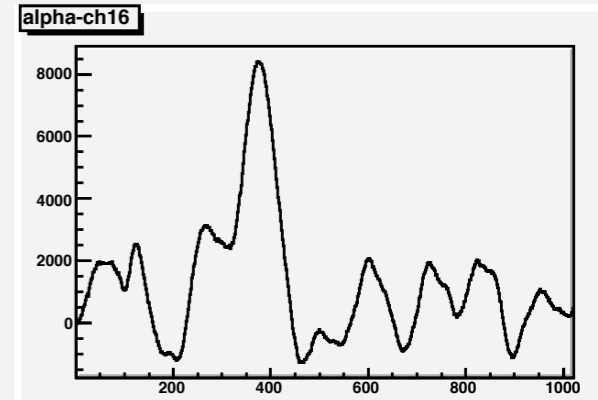
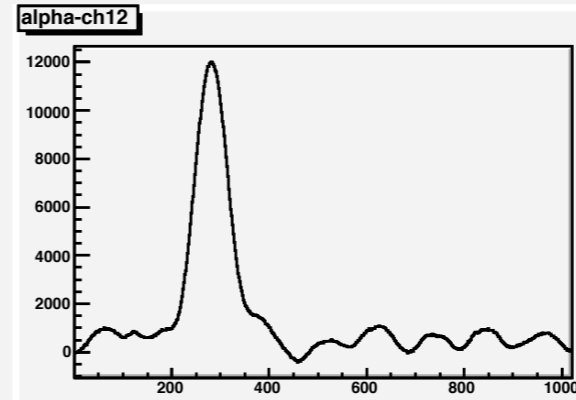
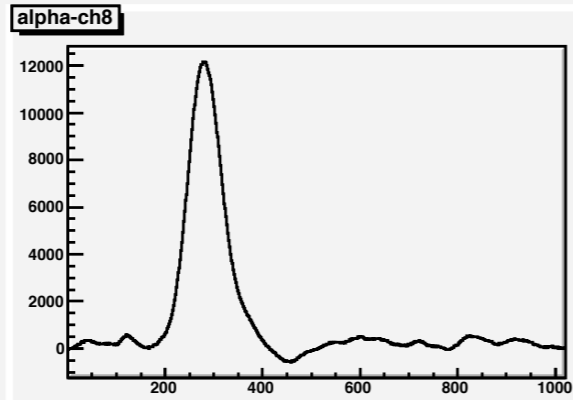
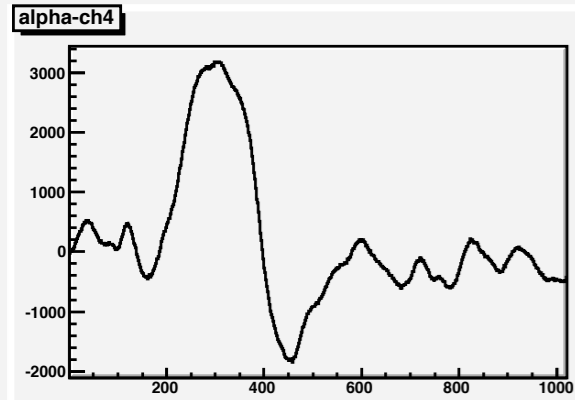
c1117-ch2-alpha

$\alpha 1$



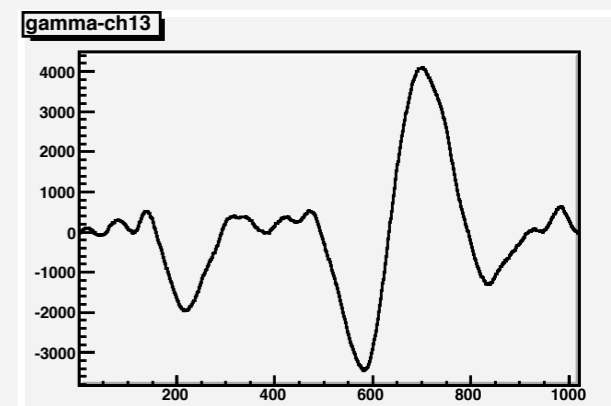
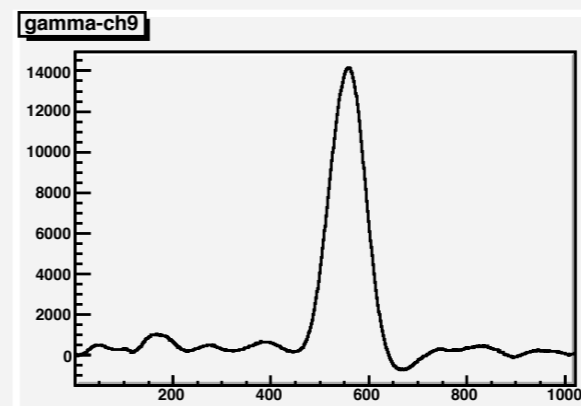
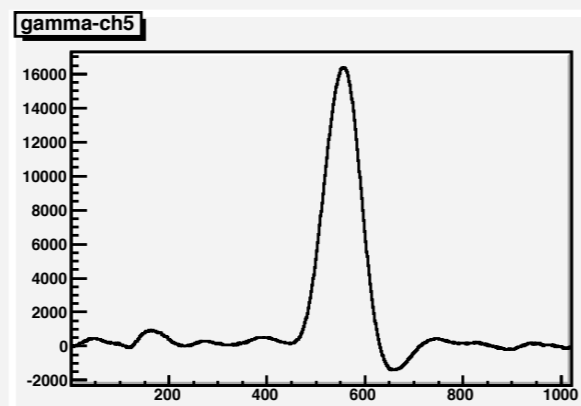
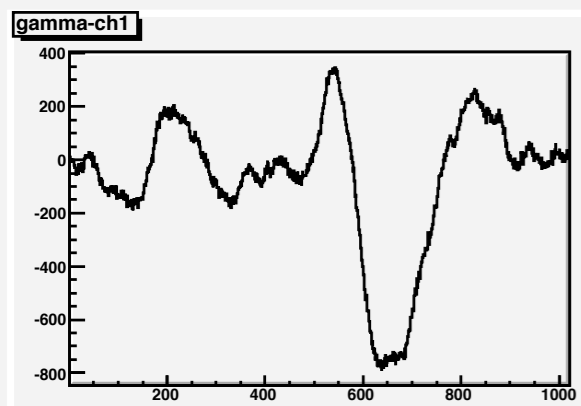
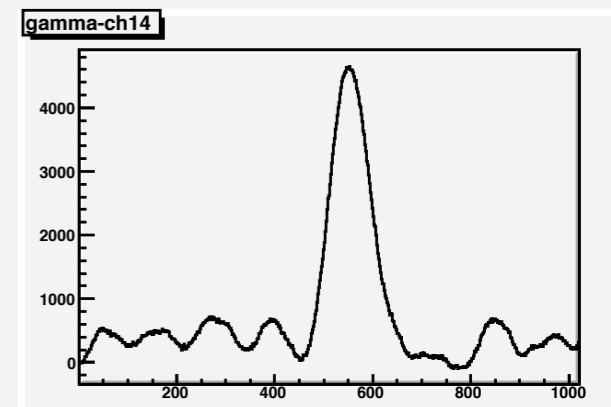
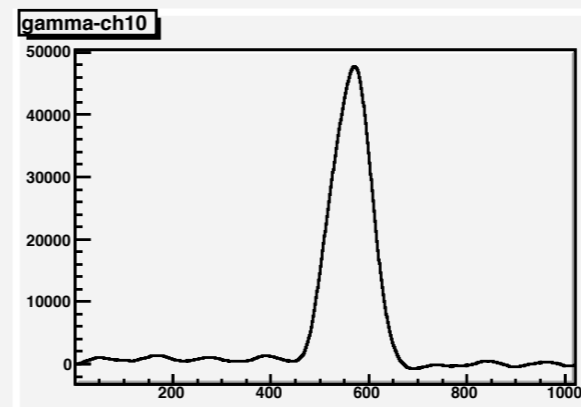
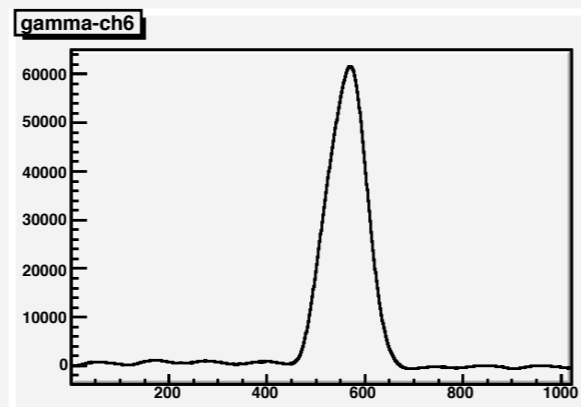
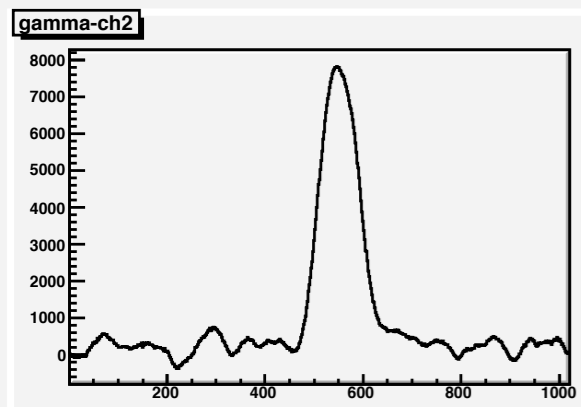
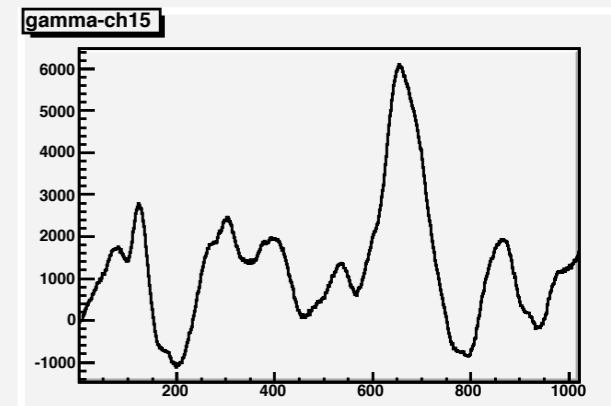
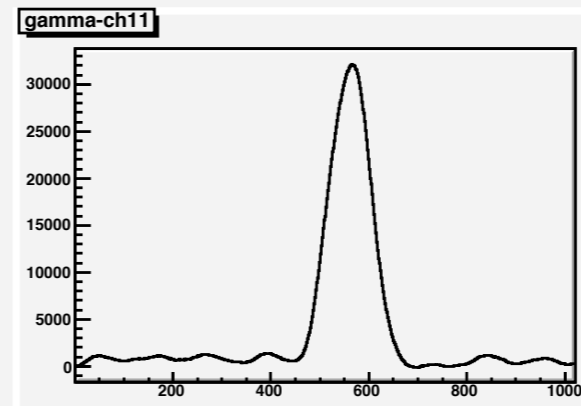
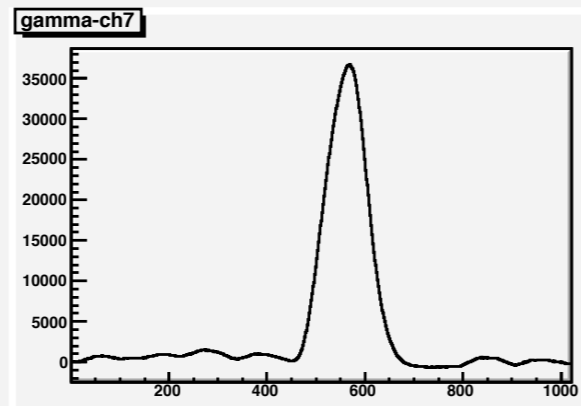
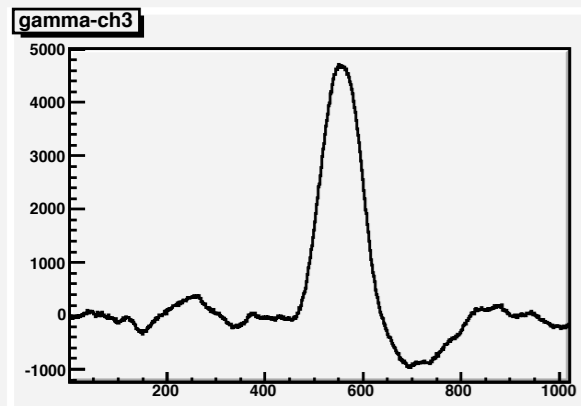
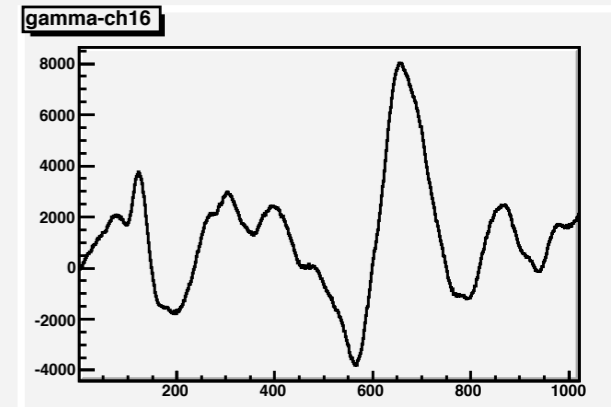
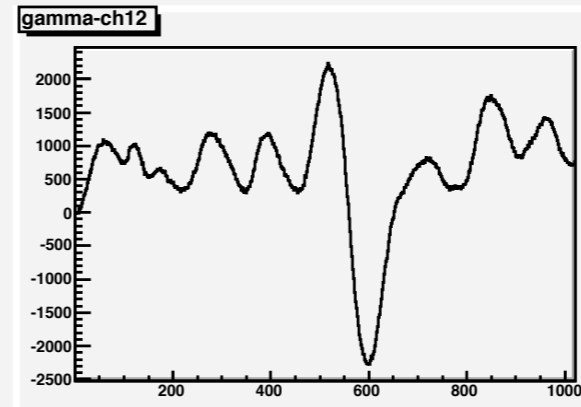
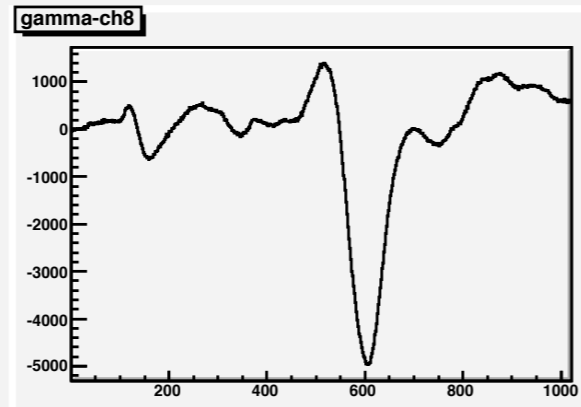
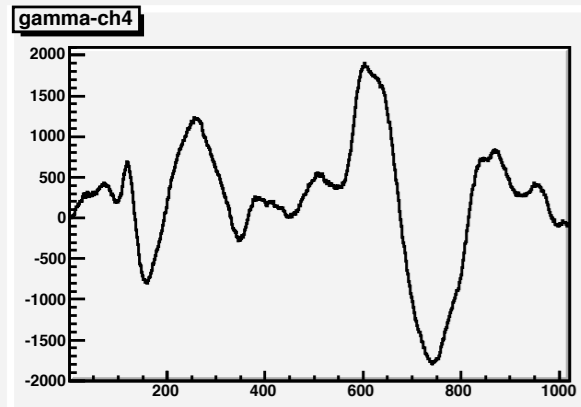
2011.8.15

charge ($\alpha 1$)



All PADs OK, 2011.8.15

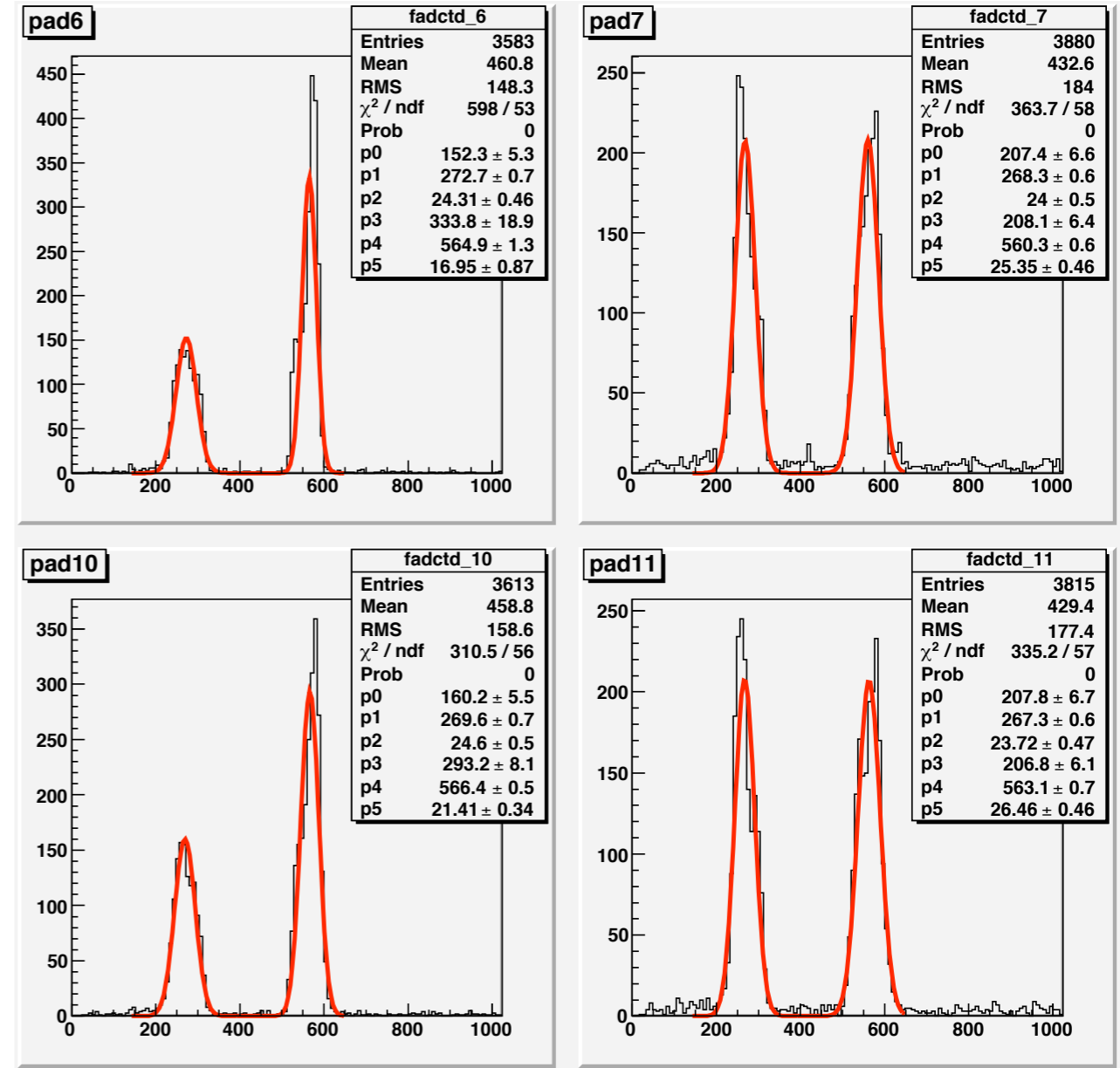
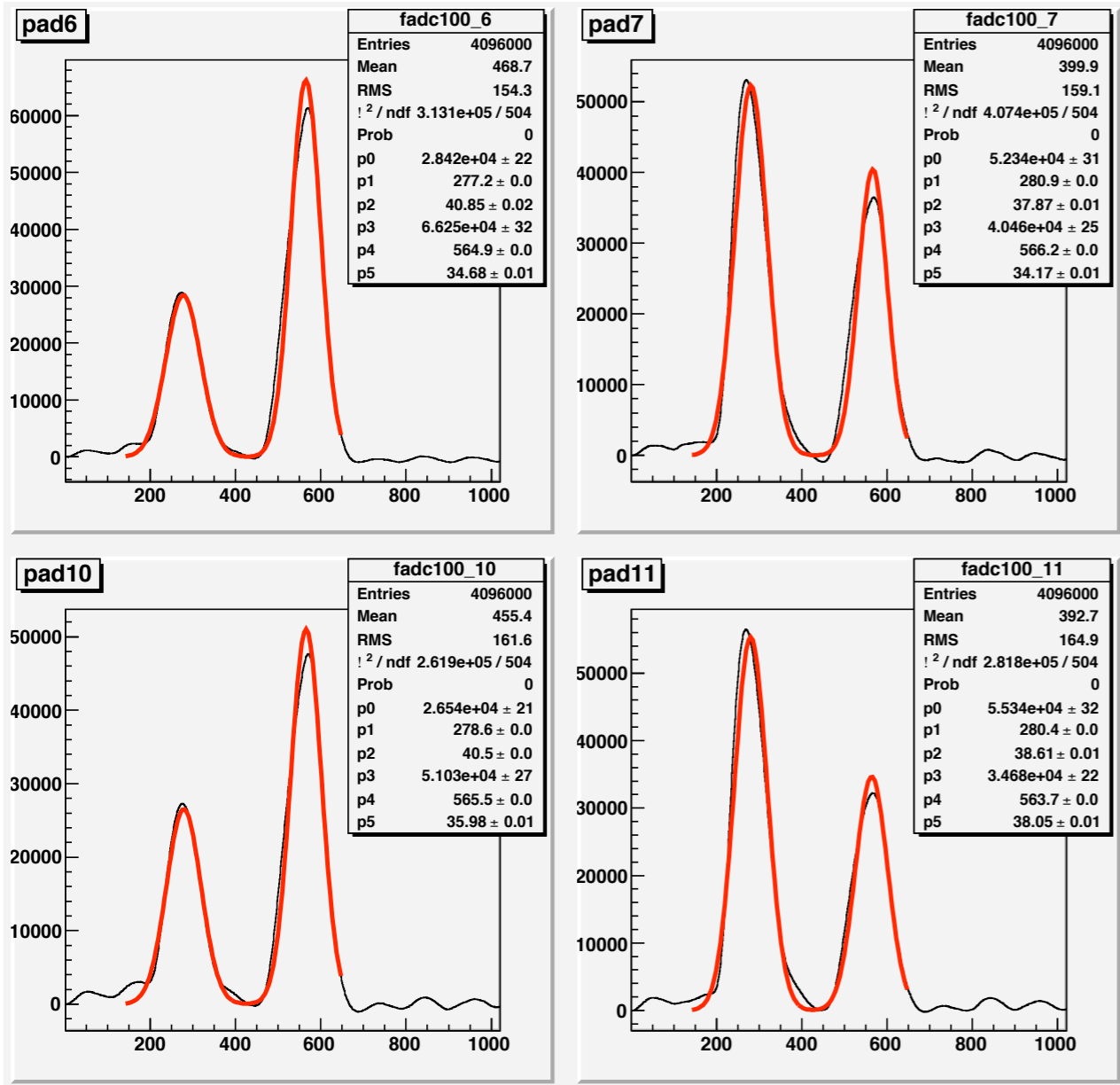
charge ($\alpha 2$)

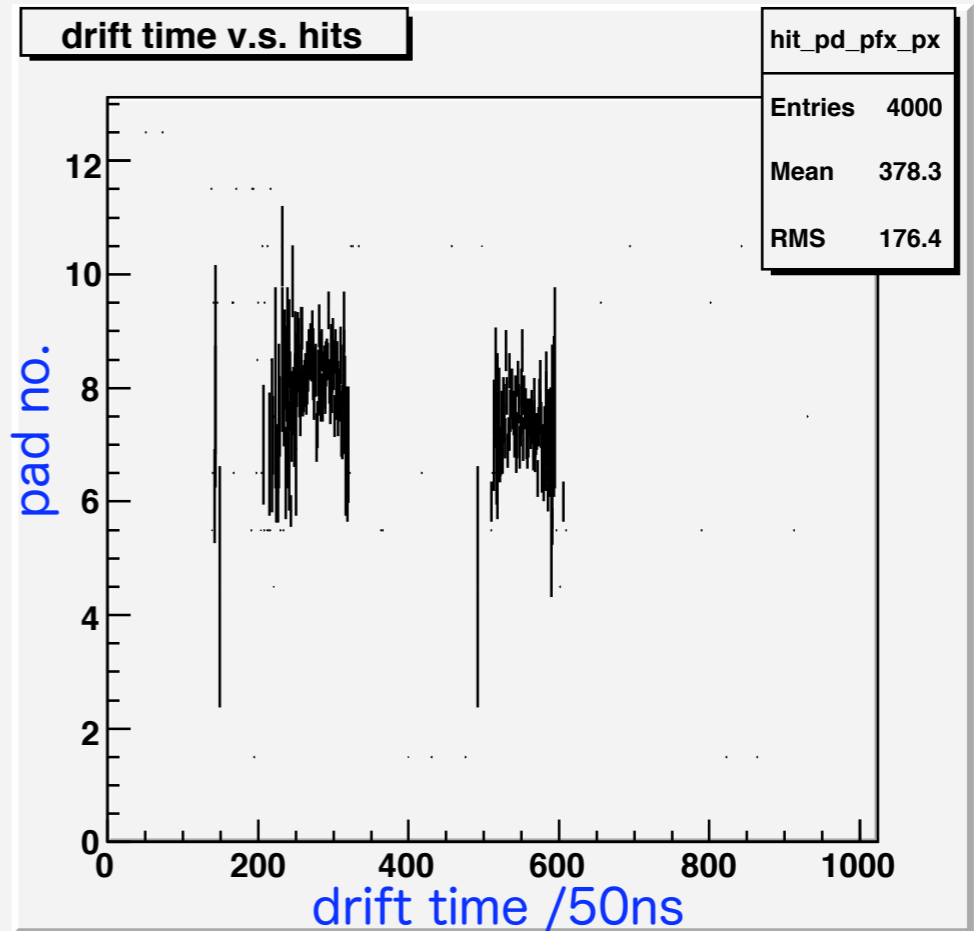
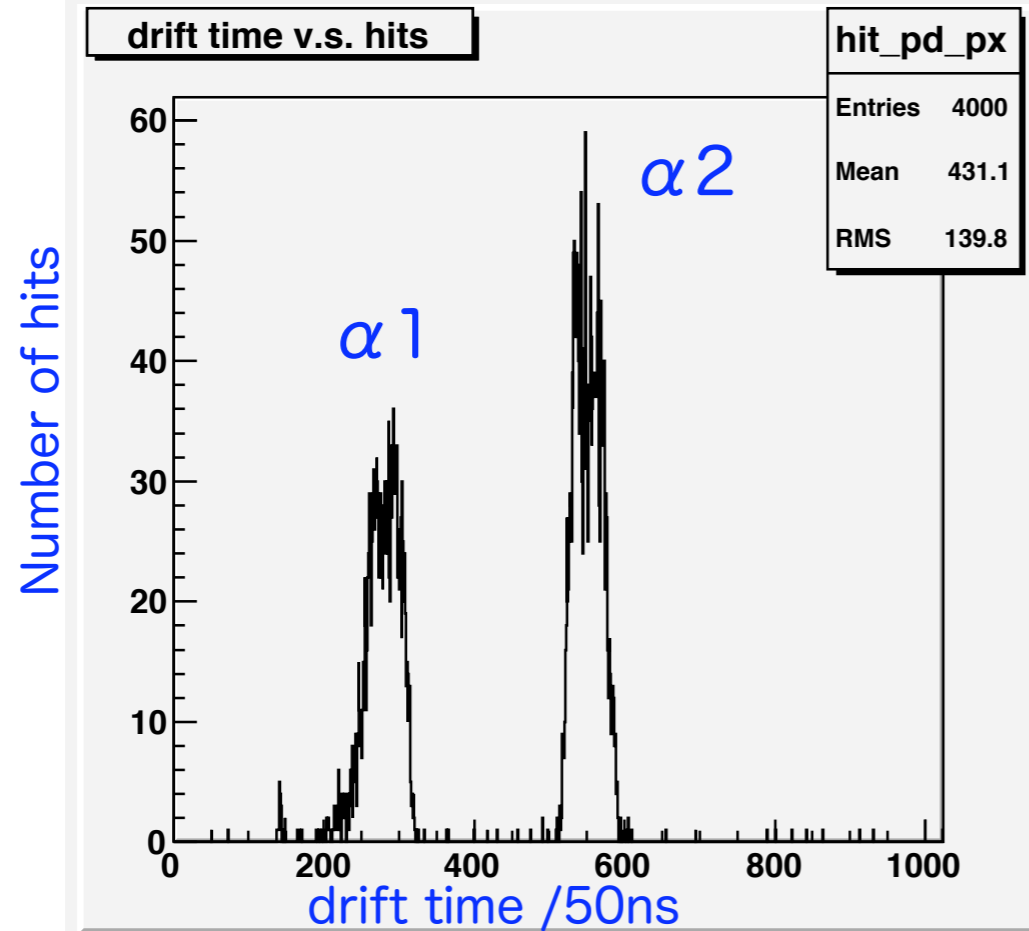
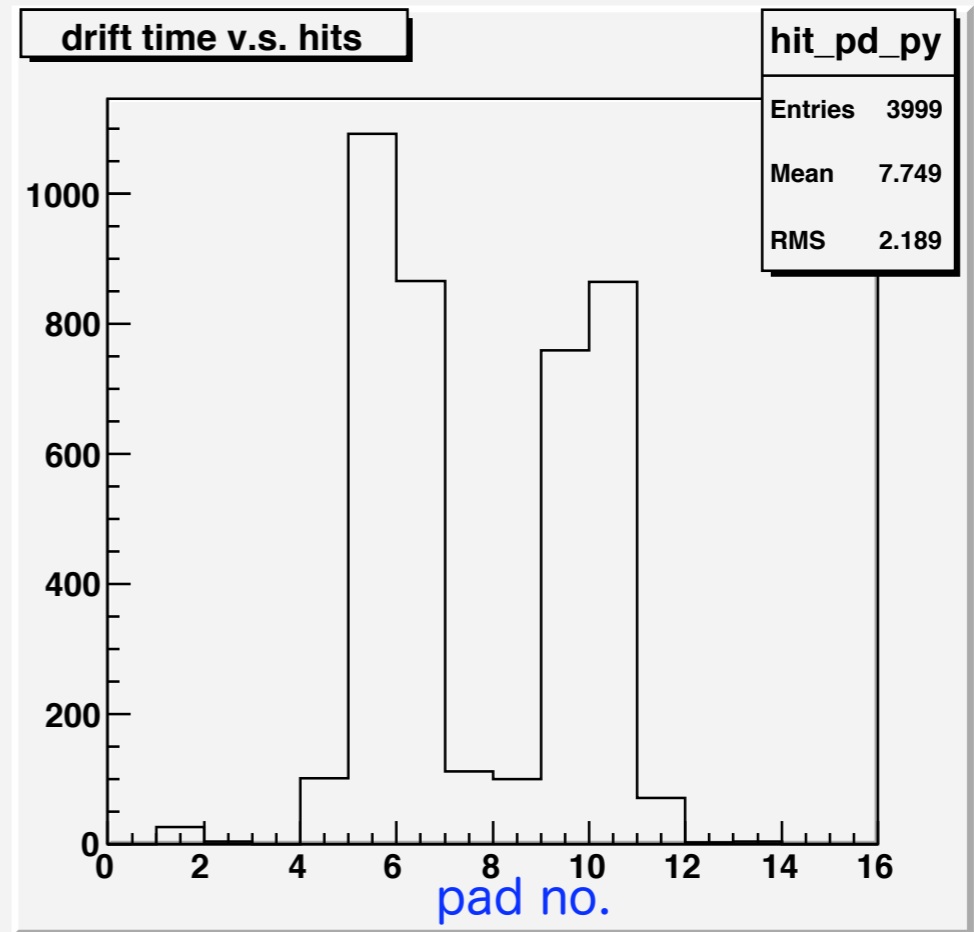
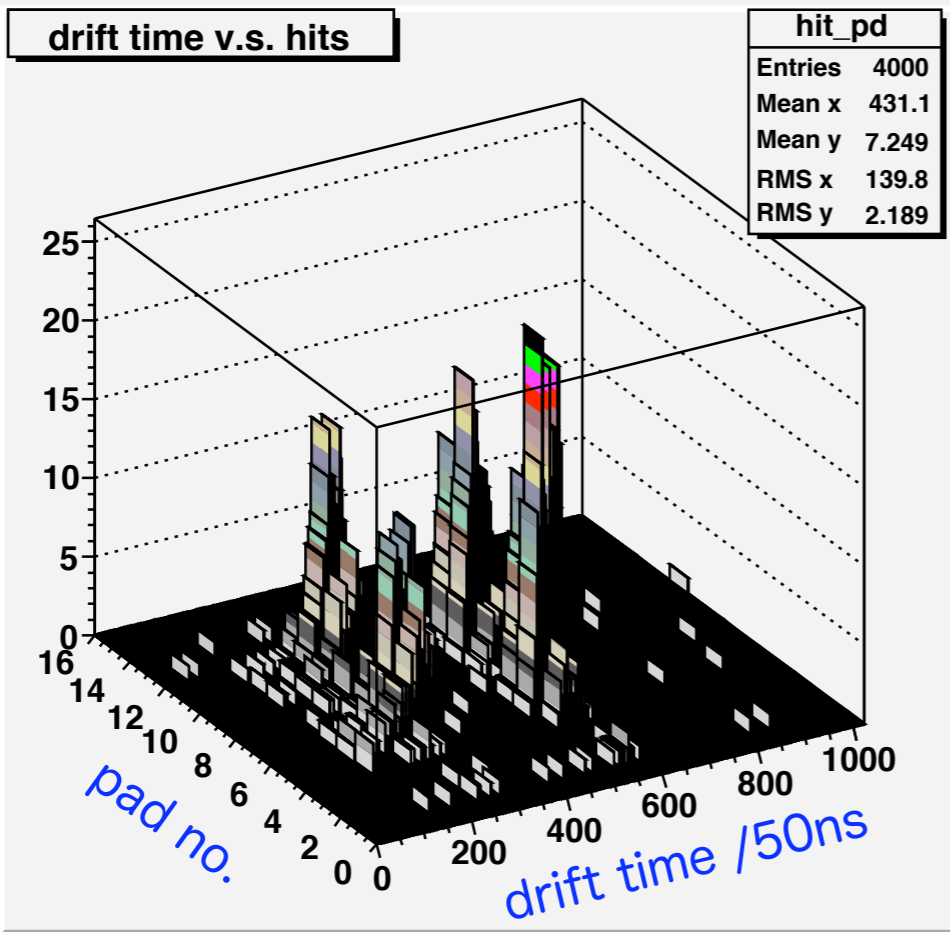


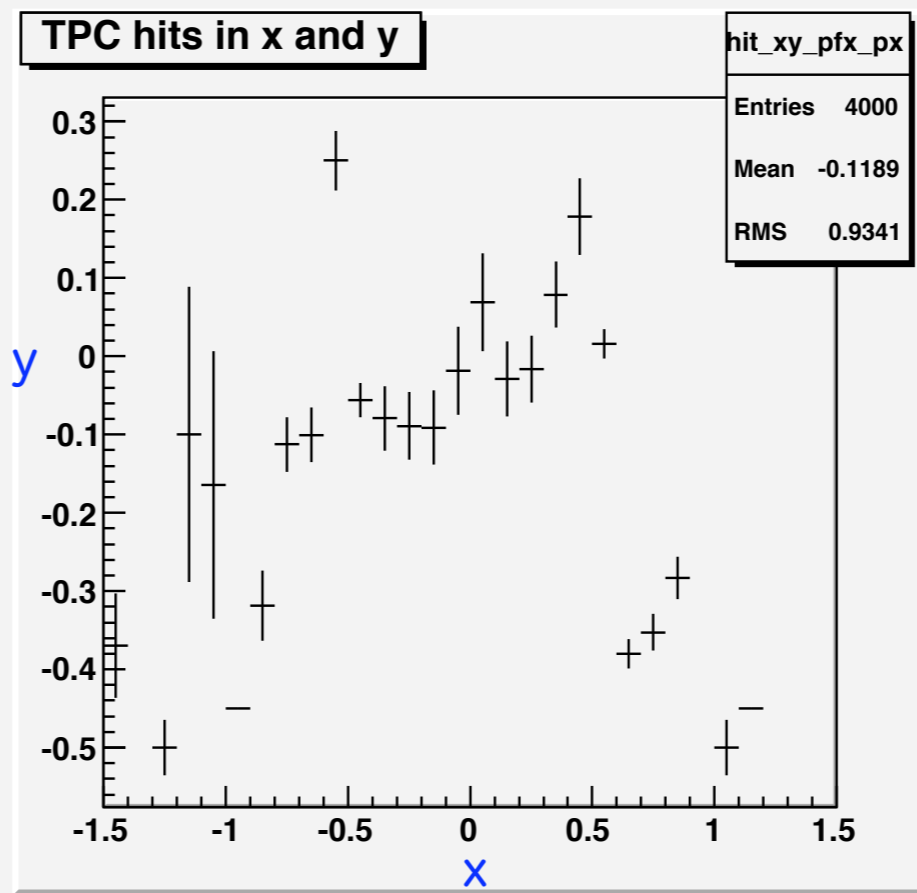
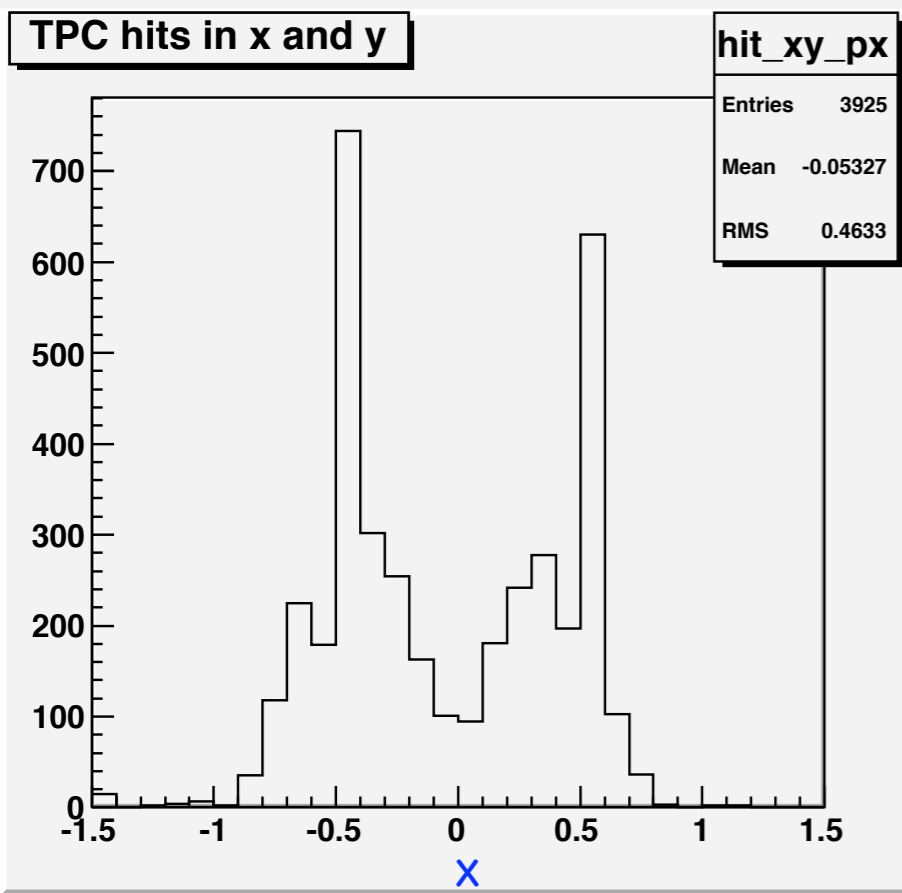
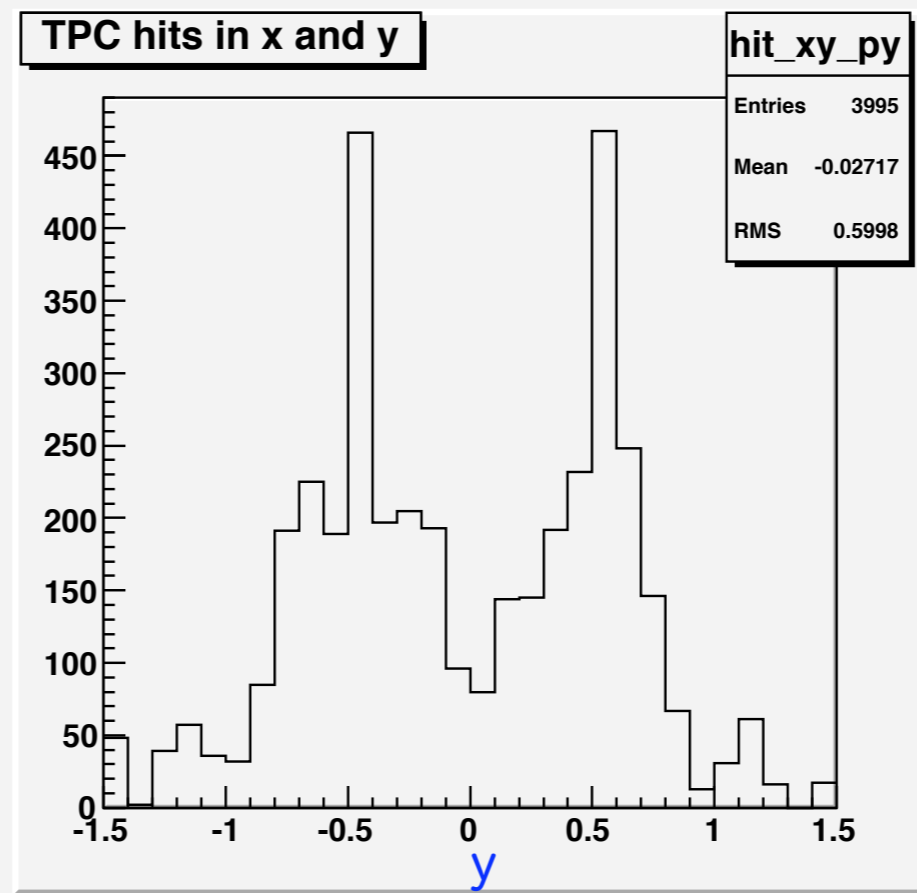
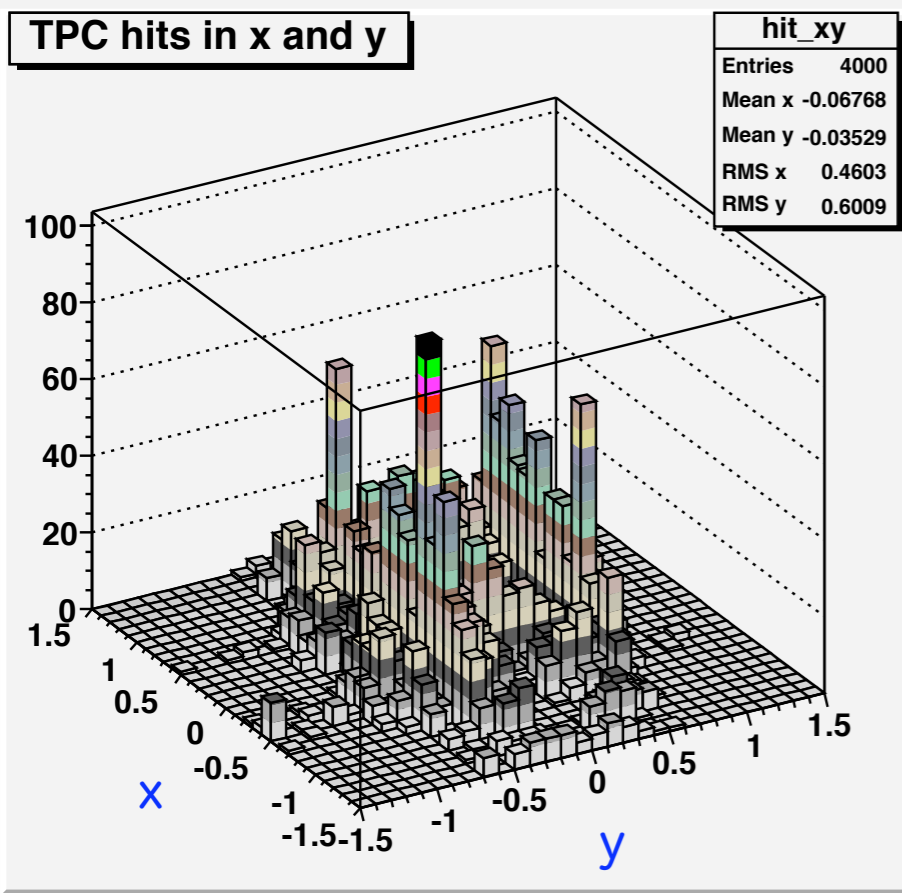
charge signals : drift time per 50ns

charges

hits





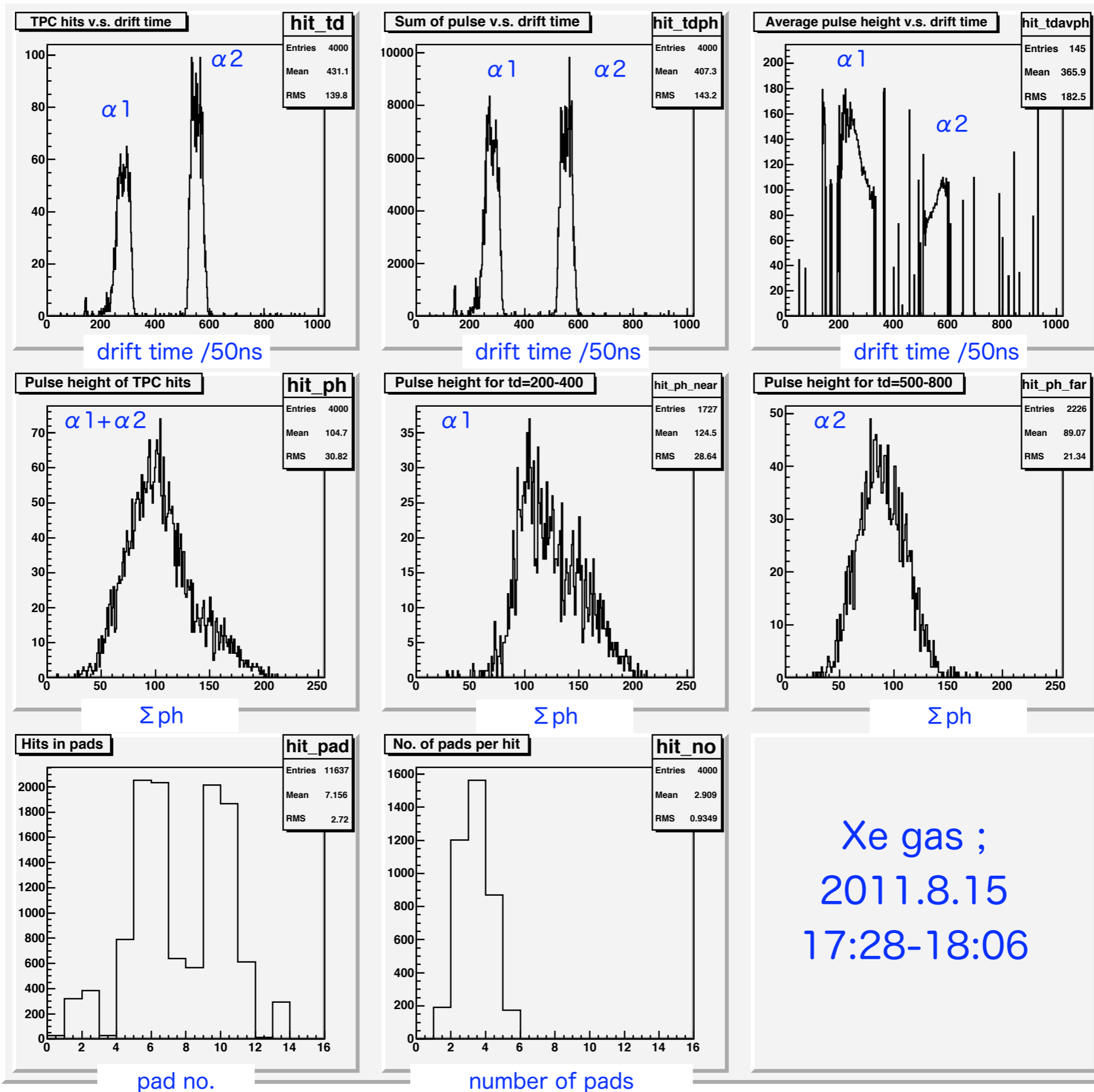


If; $\sqrt{(x_{\max} - x_i)^2 + (y_{\max} - y_i)^2} < D_{\max}$

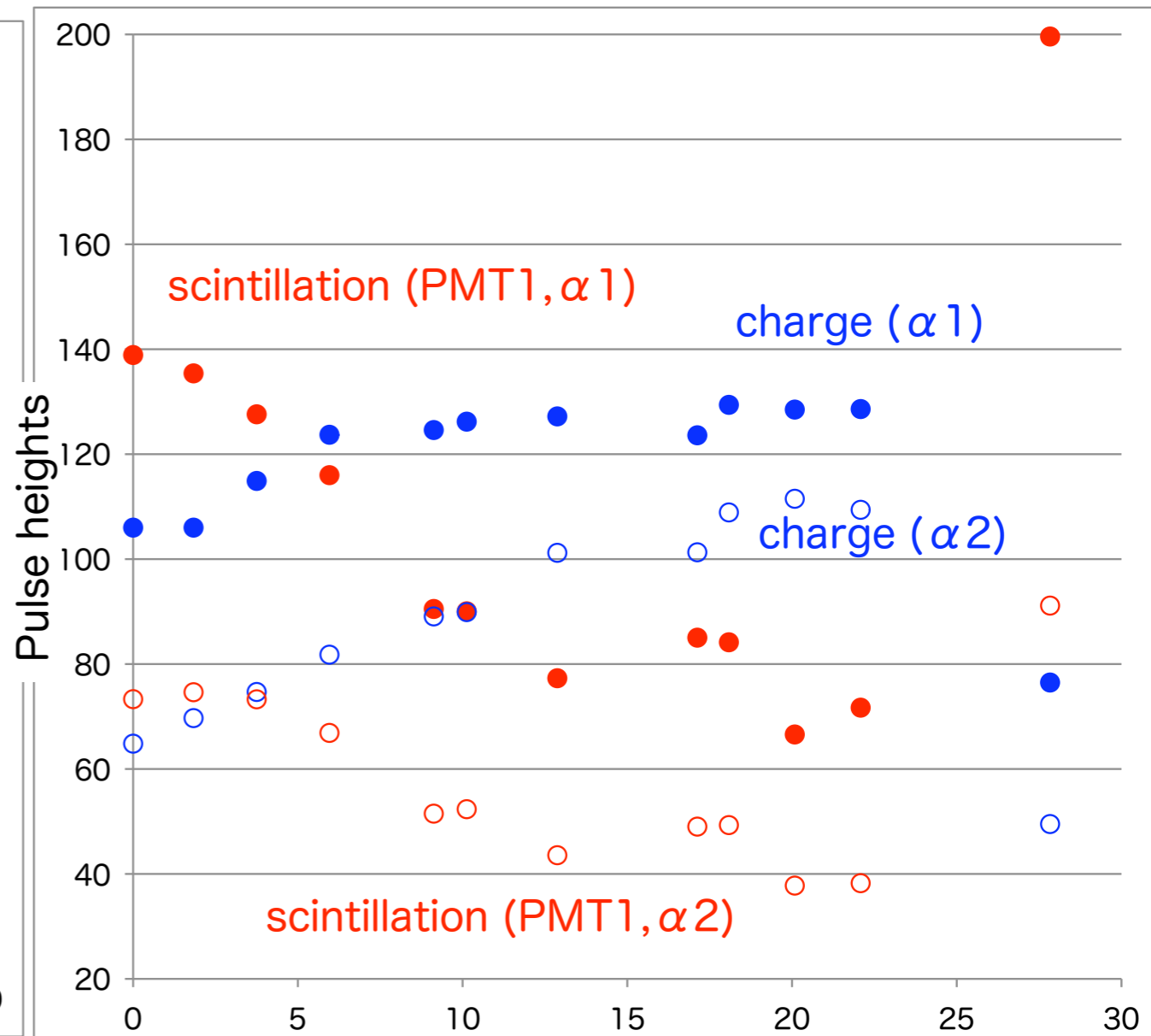
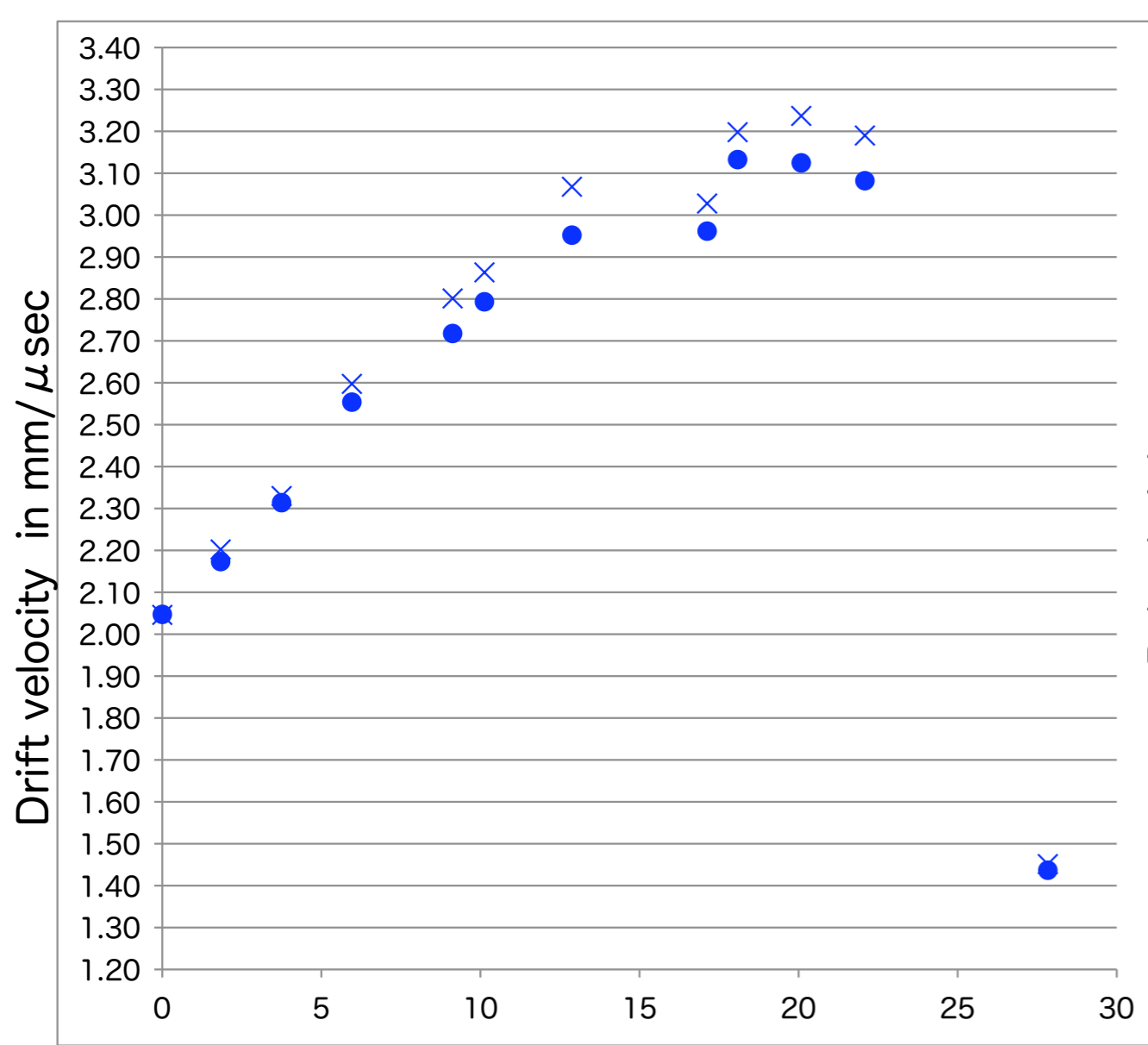
$$x = \frac{\sum Q_i x_i}{Q_i}$$

$$y = \frac{\sum Q_i y_i}{Q_i}$$

2011.8.15



Signals in Xe Gas at 1.4atm, Aug.-Sept, 2011



8/6 15:17 8/8 11:34 8/9 9:13 8/12 14:21 8/15 18:00 8/16 17:42 8/19 11:32 8/23 17:23 8/24 16:12 8/26 16:19 8/29 14:41 9/1 10:15

Days since 8/6, 15:17



8/31 13:30 - 9/1 purification

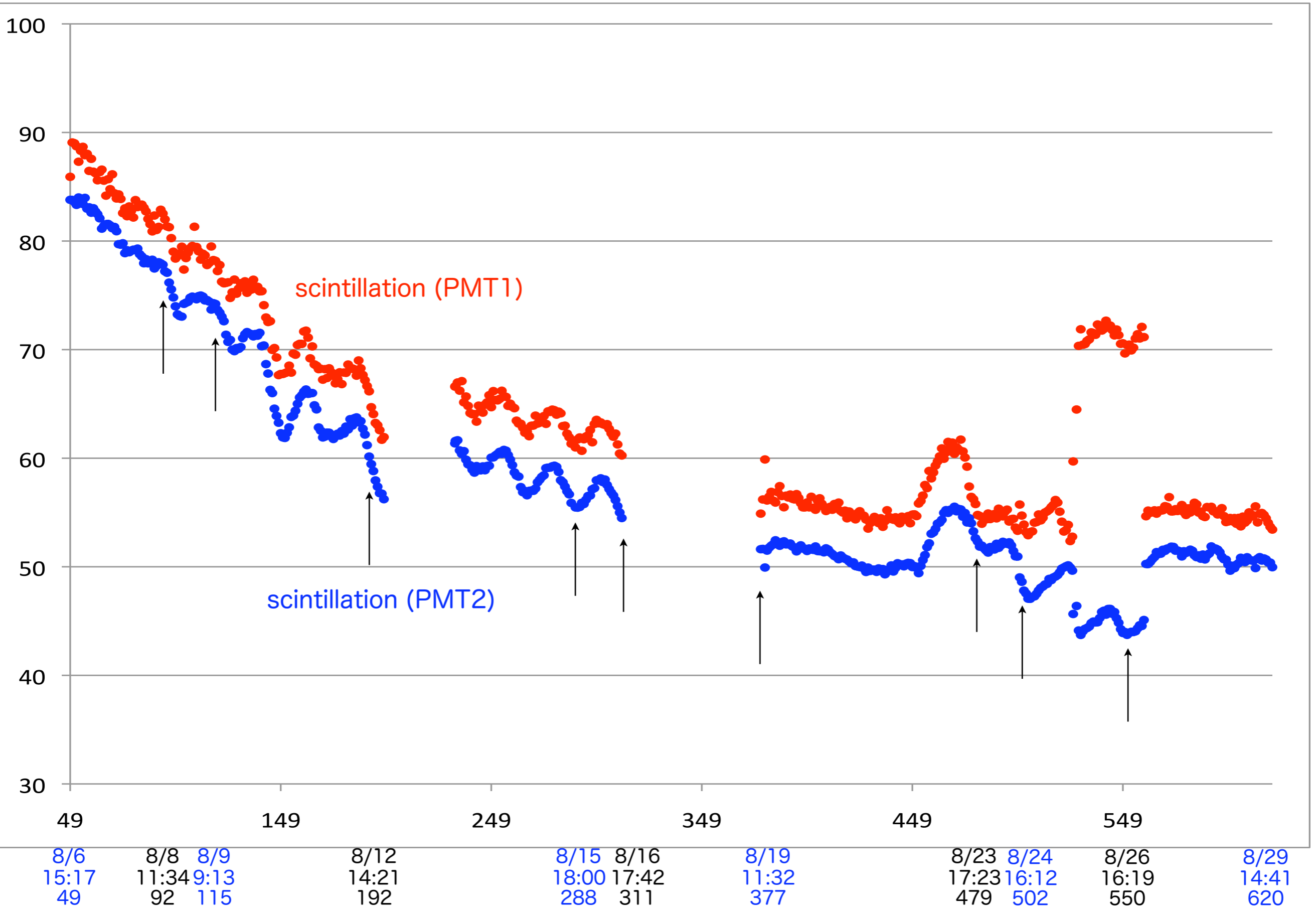
8/6 15:17 8/8 11:34 8/9 9:13 8/12 14:21 8/15 18:00 8/16 17:42 8/19 11:32 8/23 17:23 8/24 16:12 8/26 16:19 8/29 14:41 9/1 10:15

Days since 8/6, 15:17

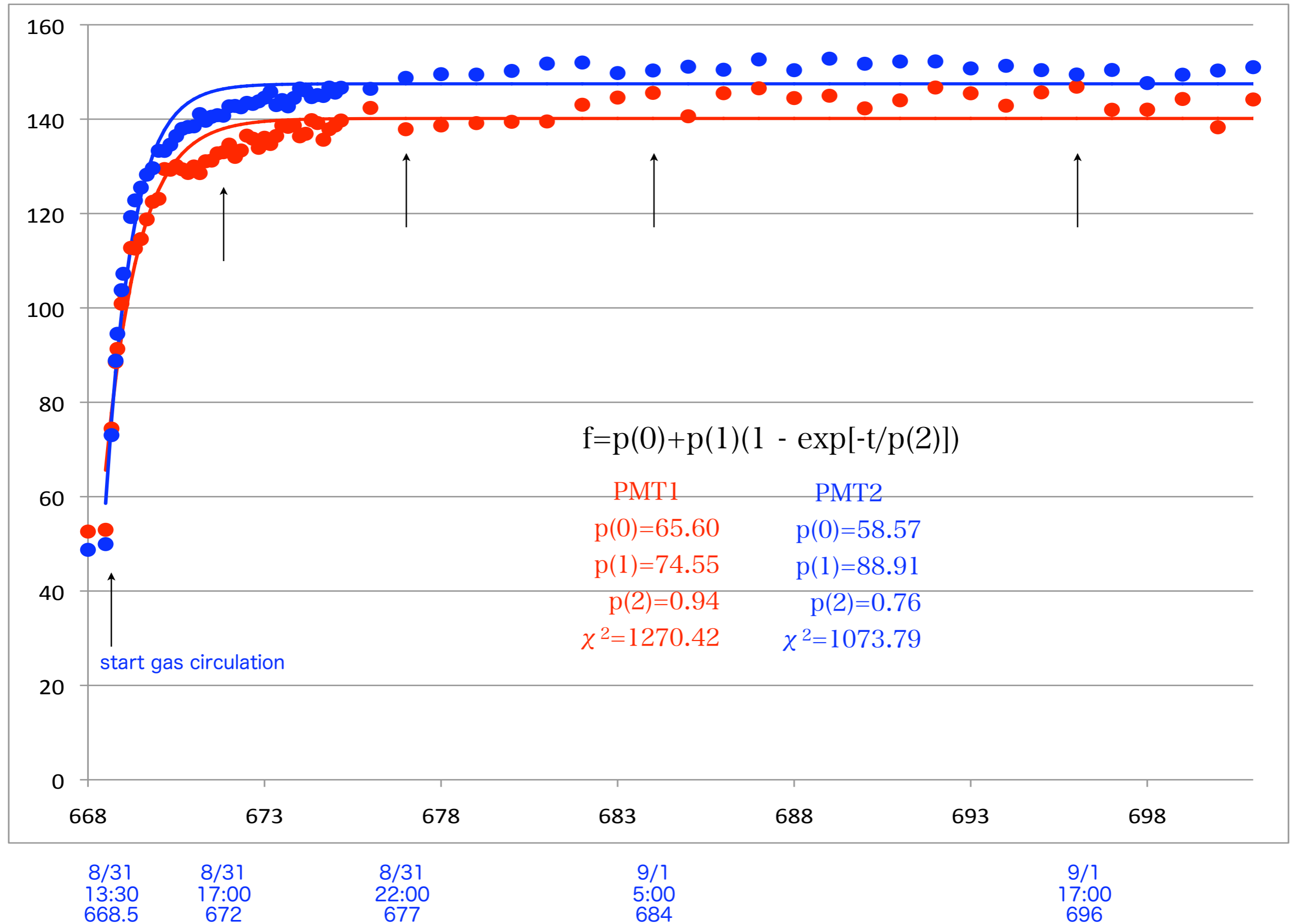


8/31 13:30 - 9/1 purification

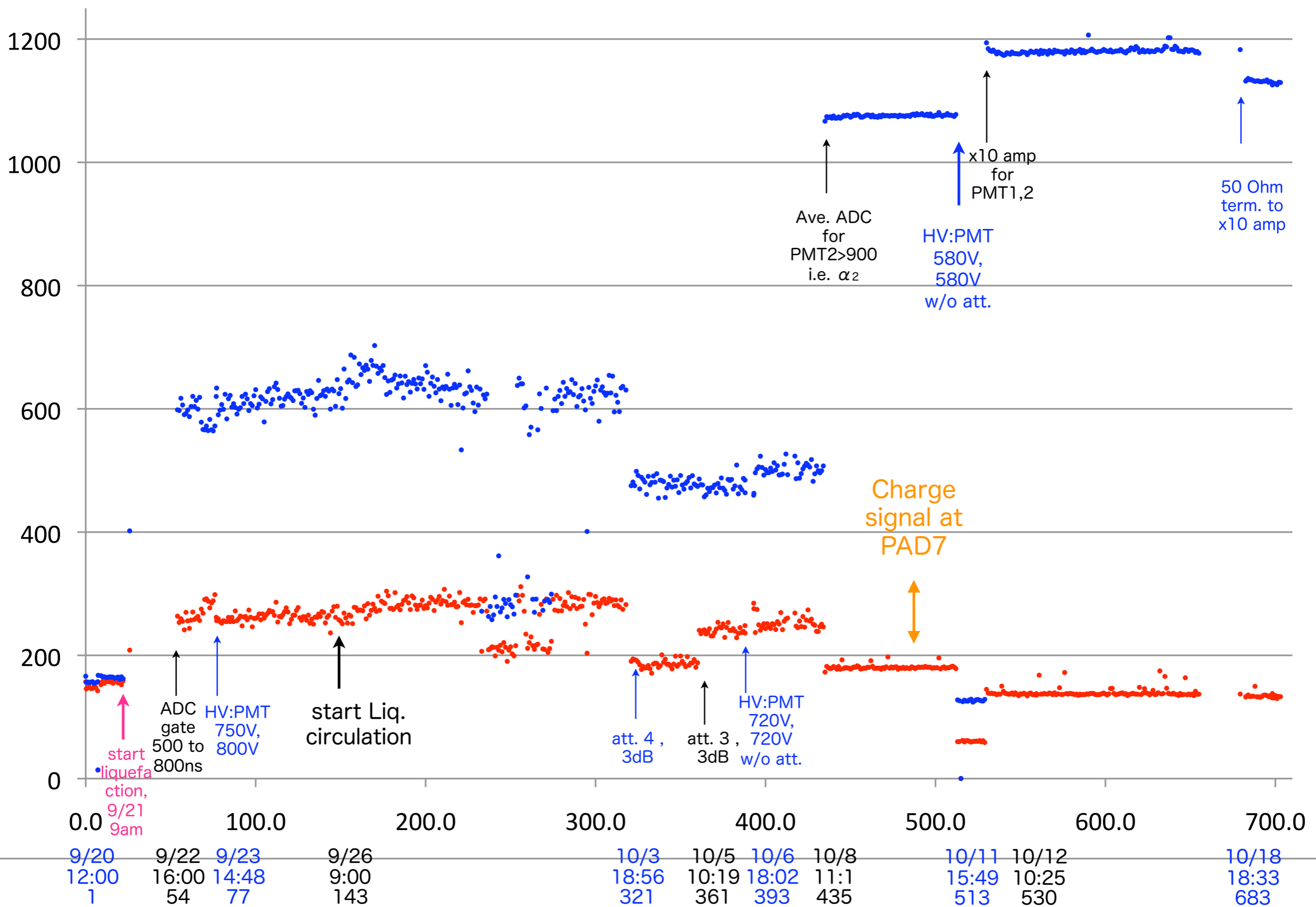
Scintillation lights in Xe Gas at 1.4atm, August, 2011



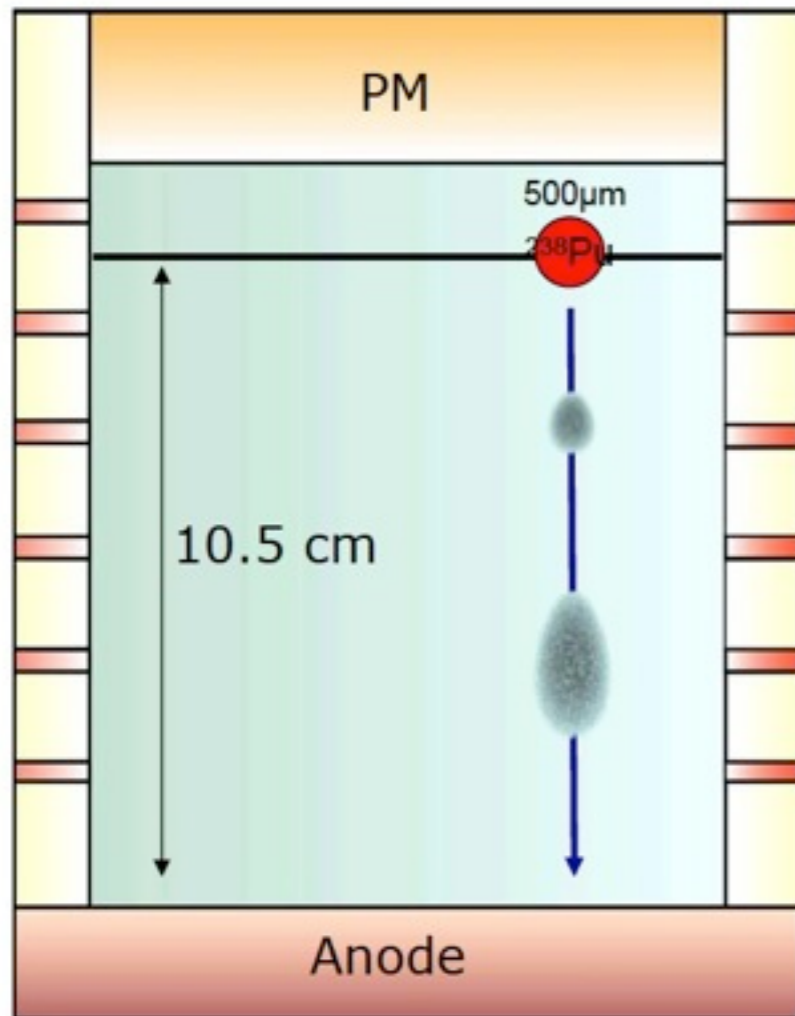
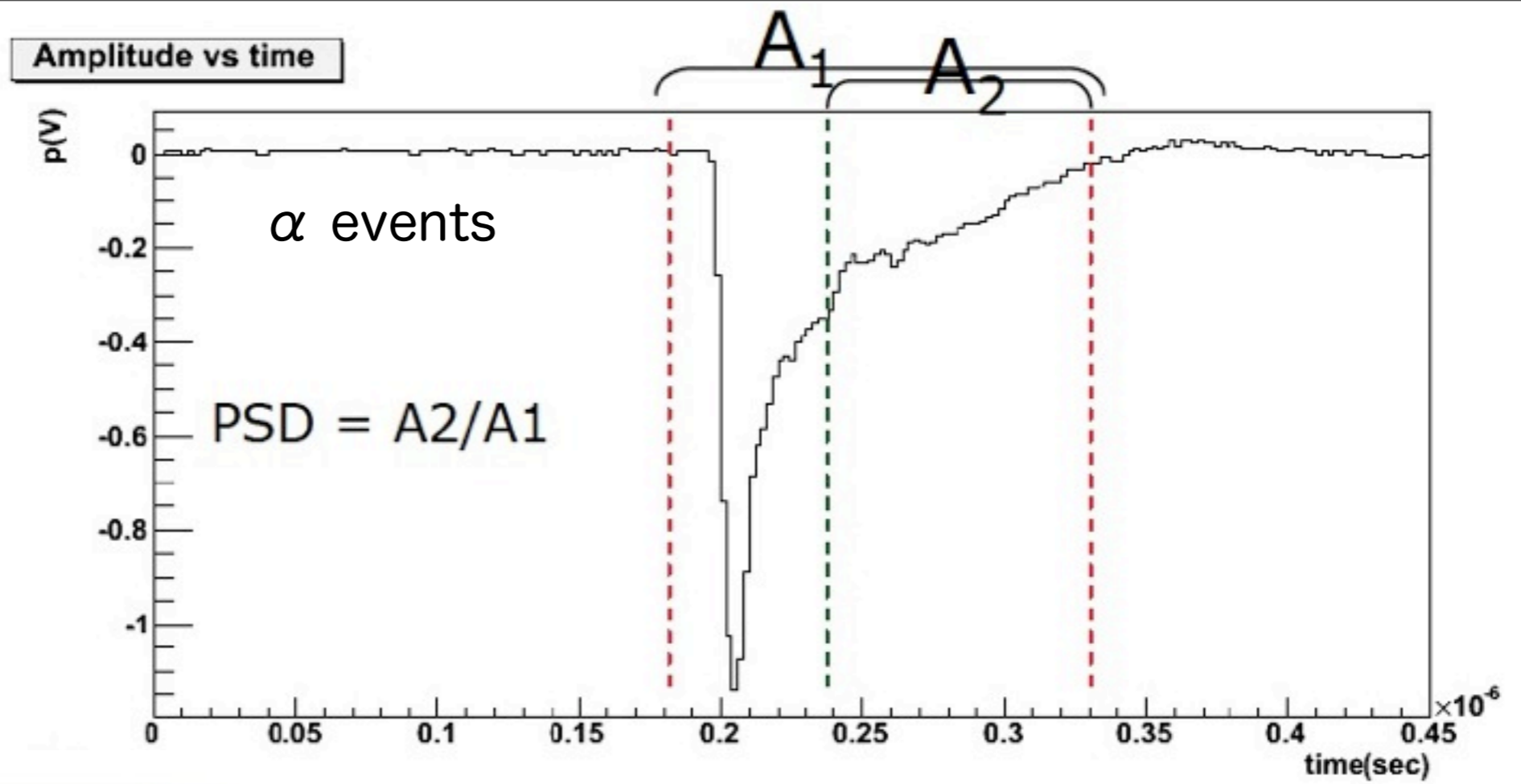
Purification of Xe Gas at 1.4atm, 8/31-9/1, 2011



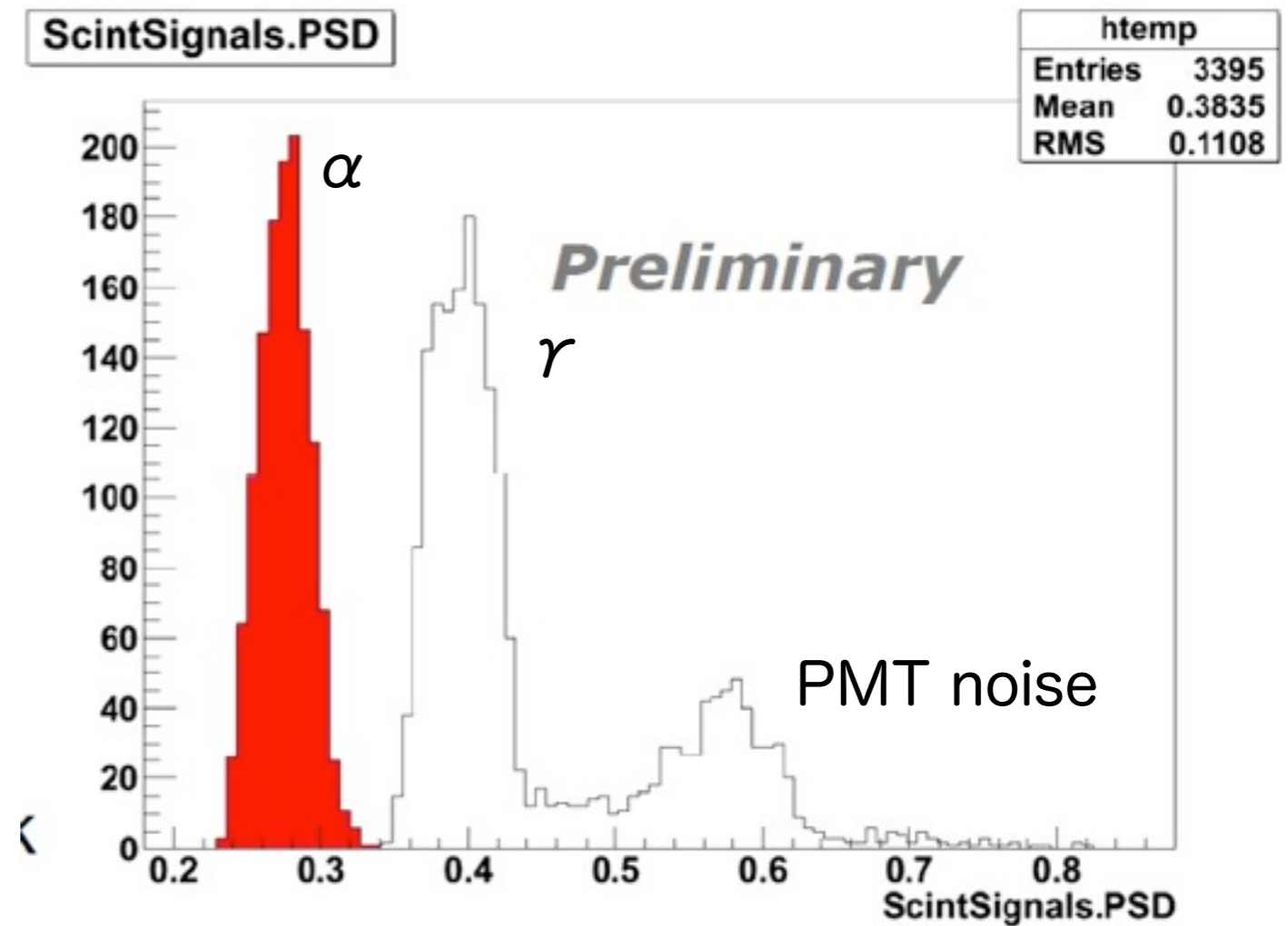
Scintillation lights in Liquid Xe, Sep.-Oct., 2011



PSD Analysis by
Nantes group



ScintSignals.PSD

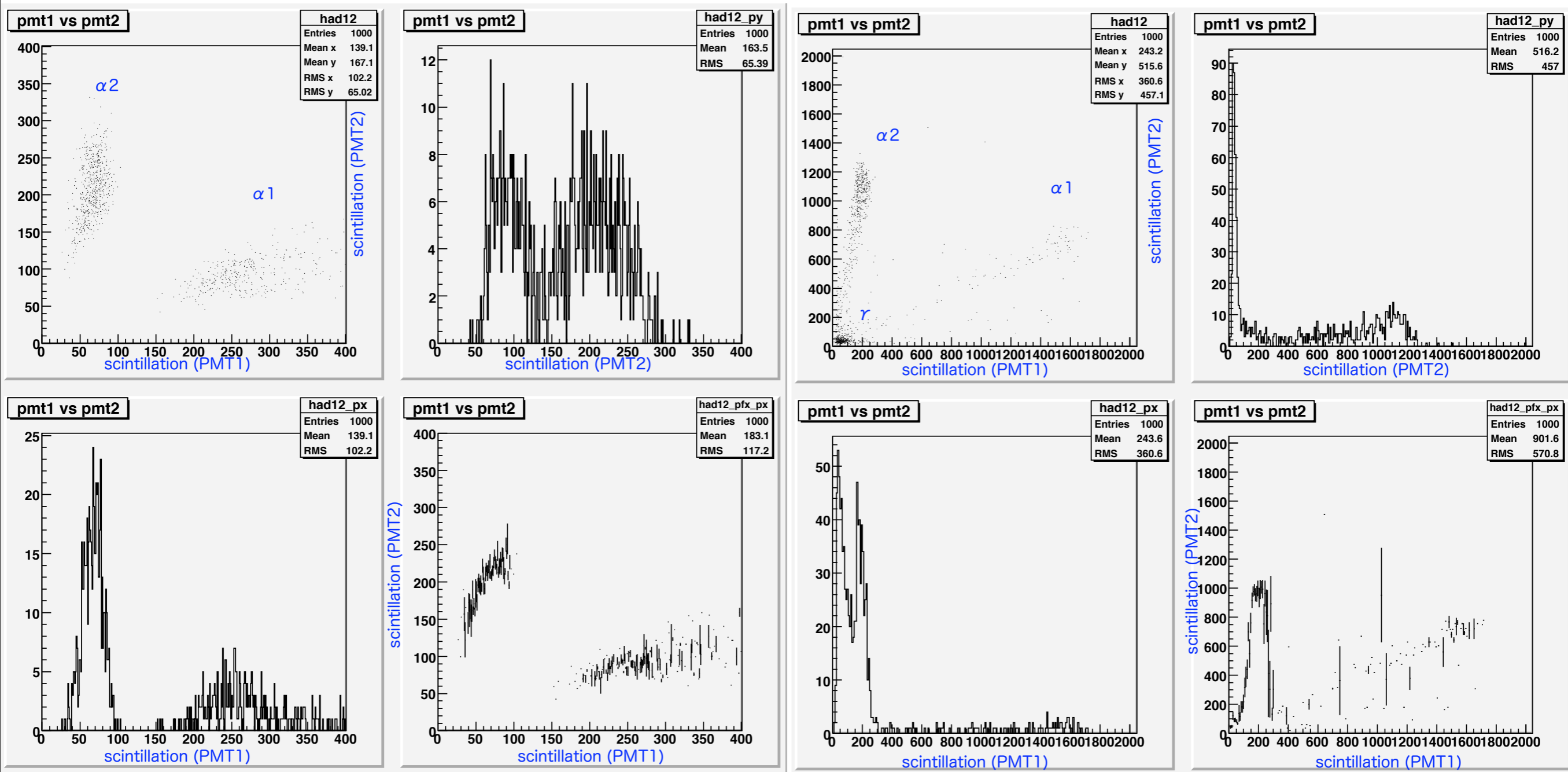


Xe Gas at 1.4 atm

2011.9.21.0801

Xe Liquid at 165K

2011.10.6.1832



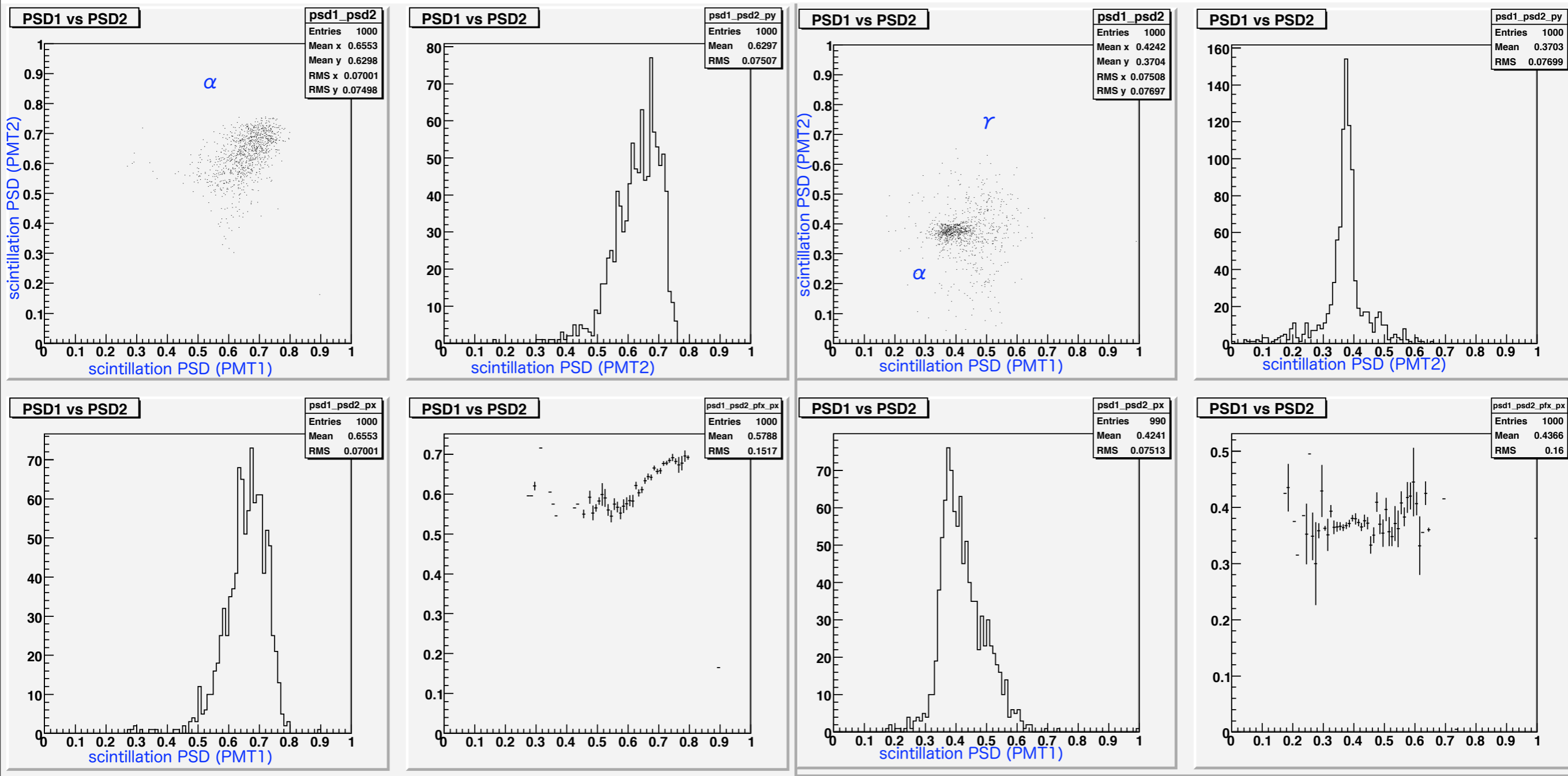
PMT1=PMT2=+720V, TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Xe Gas at 1.4 atm

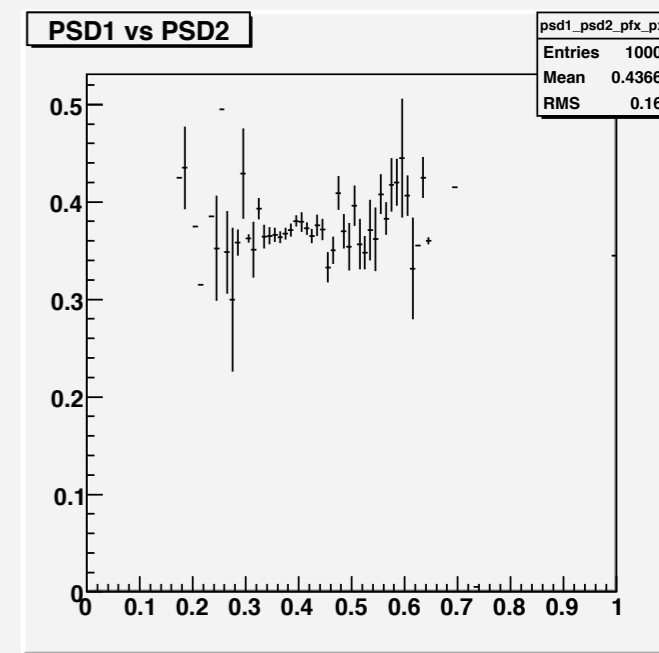
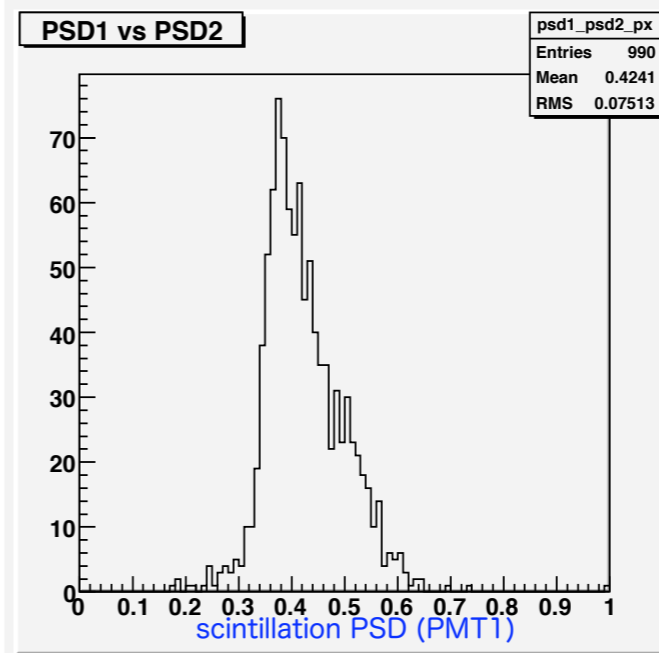
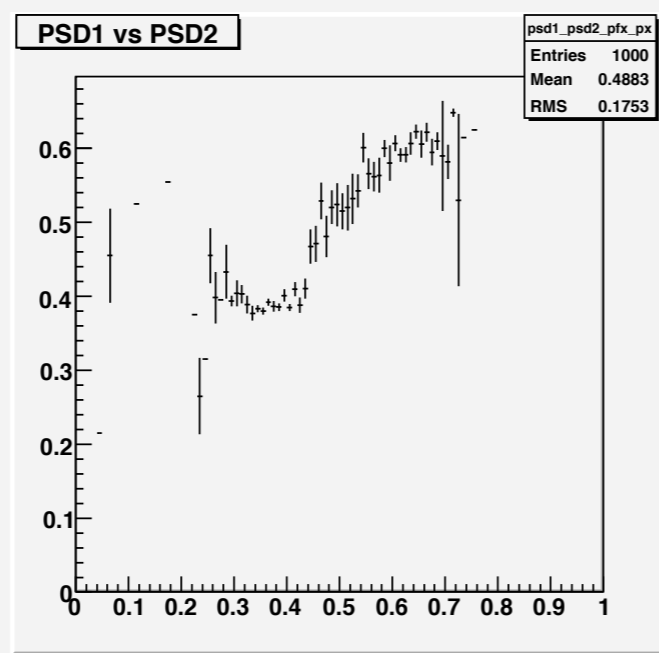
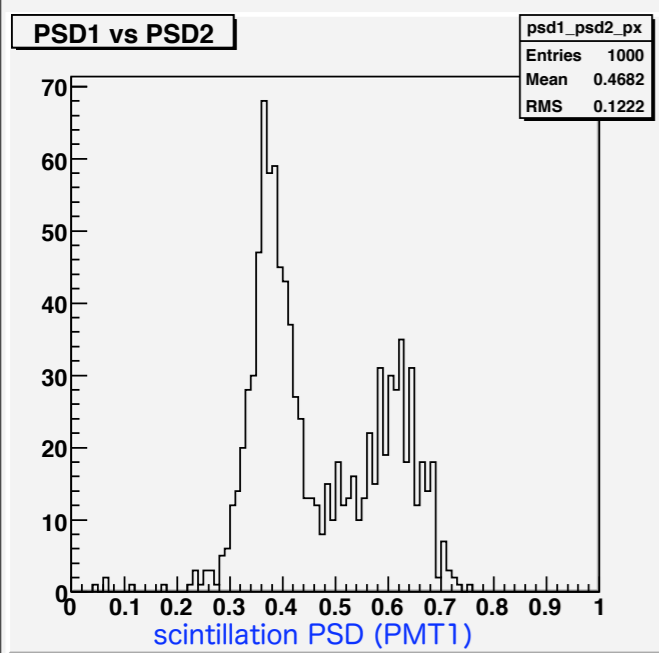
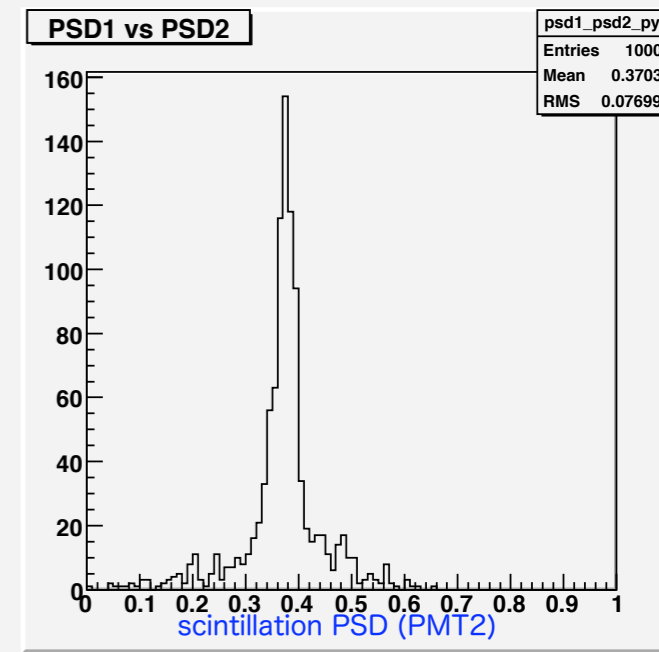
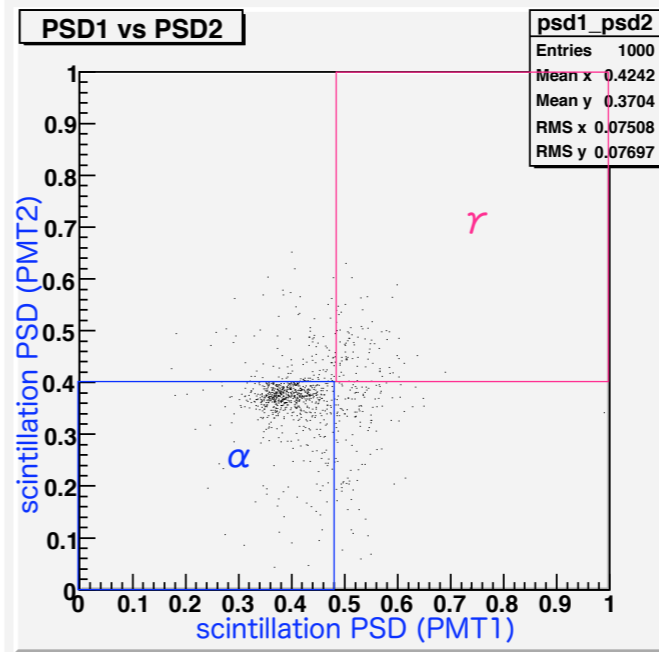
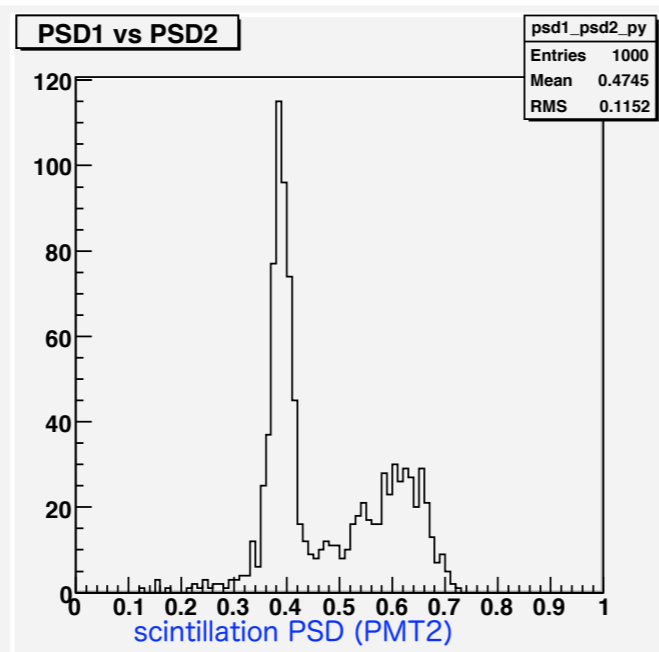
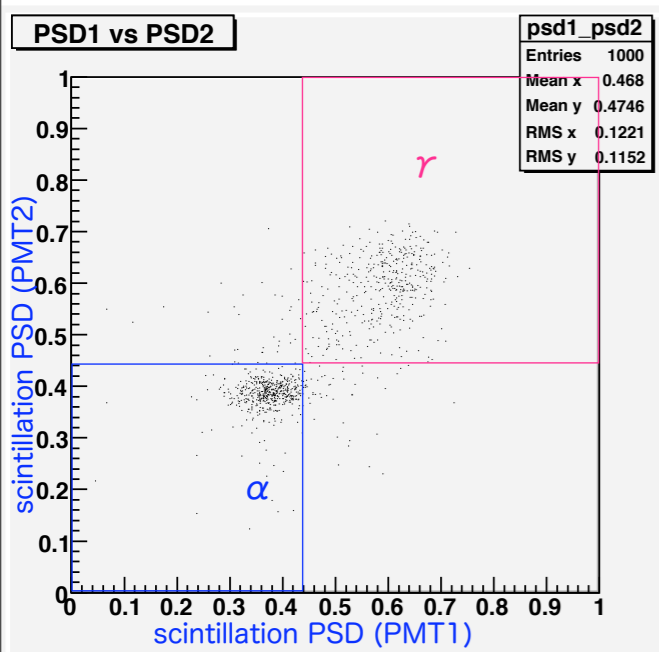
2011.9.21.0801

Xe Liquid at 165K

2011.10.6.1832



PMT1=PMT2=+720V, TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V



TPC cathode =0V, anode=0V

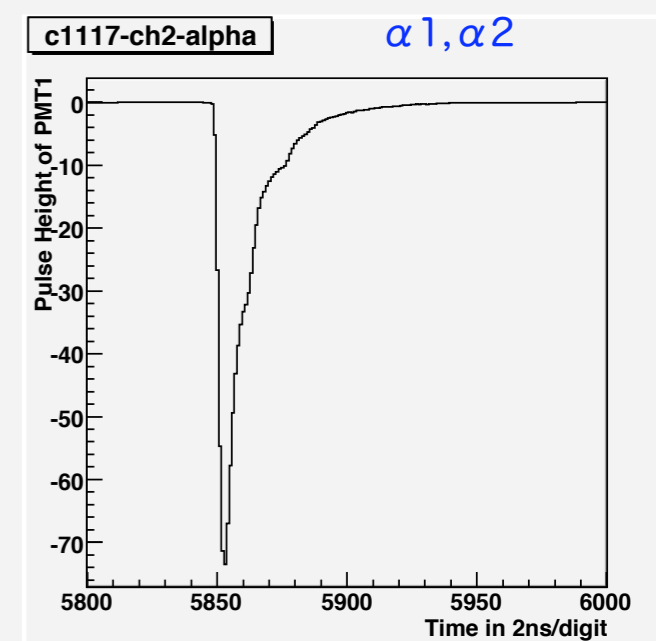
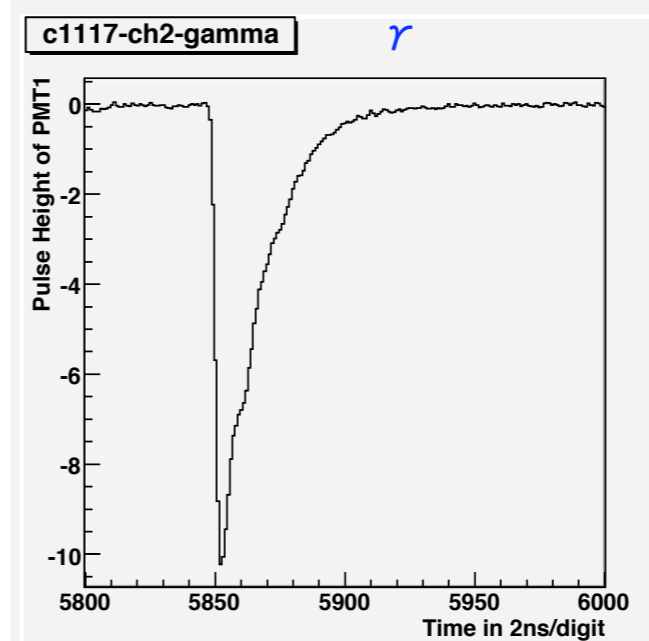
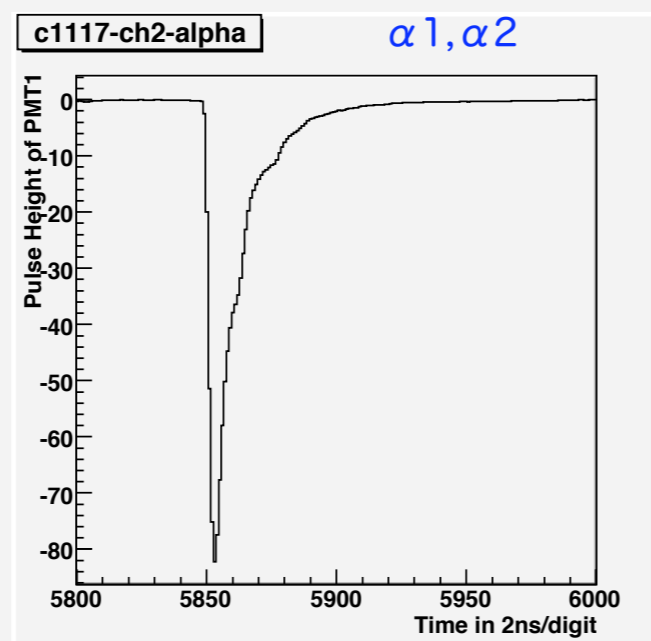
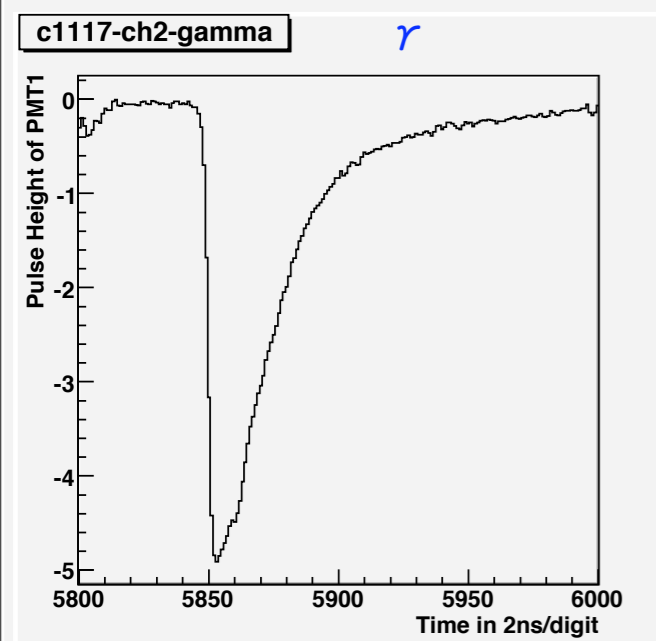
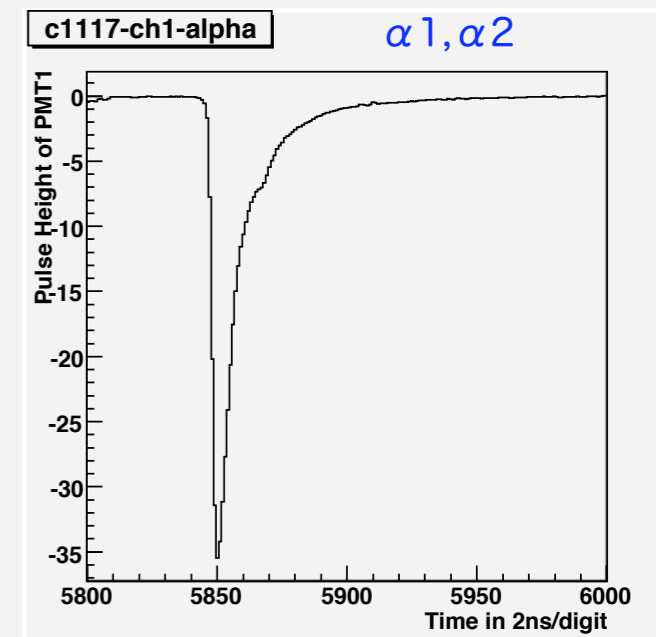
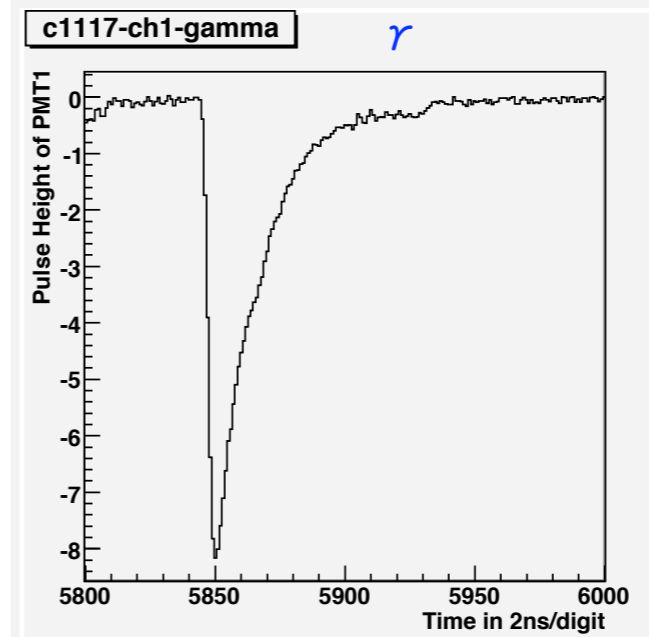
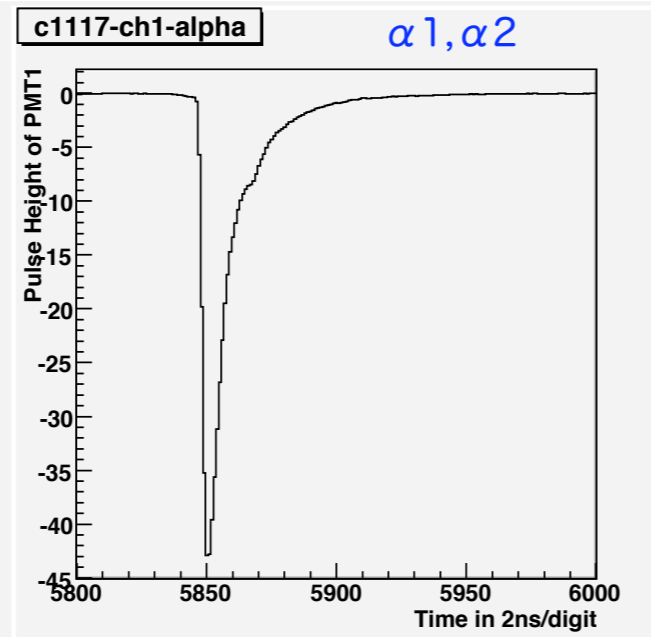
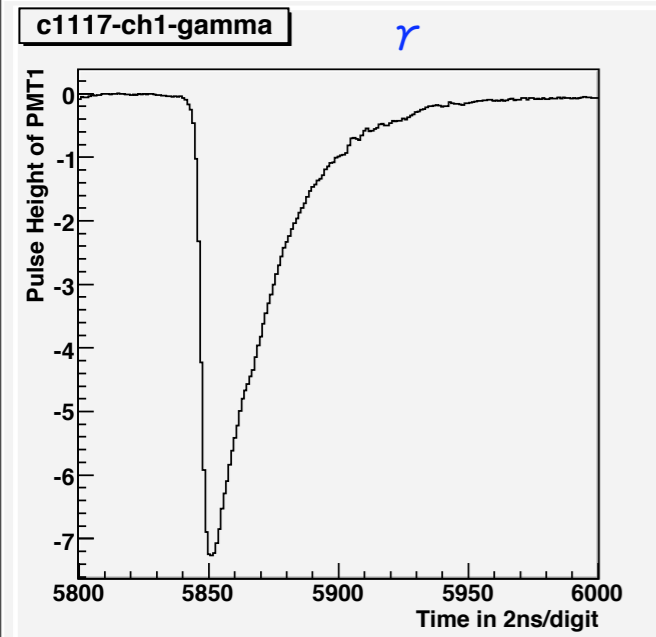
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V

2011.10.6.1808

2011.10.6.1832



TPC cathode =0V, anode=0V

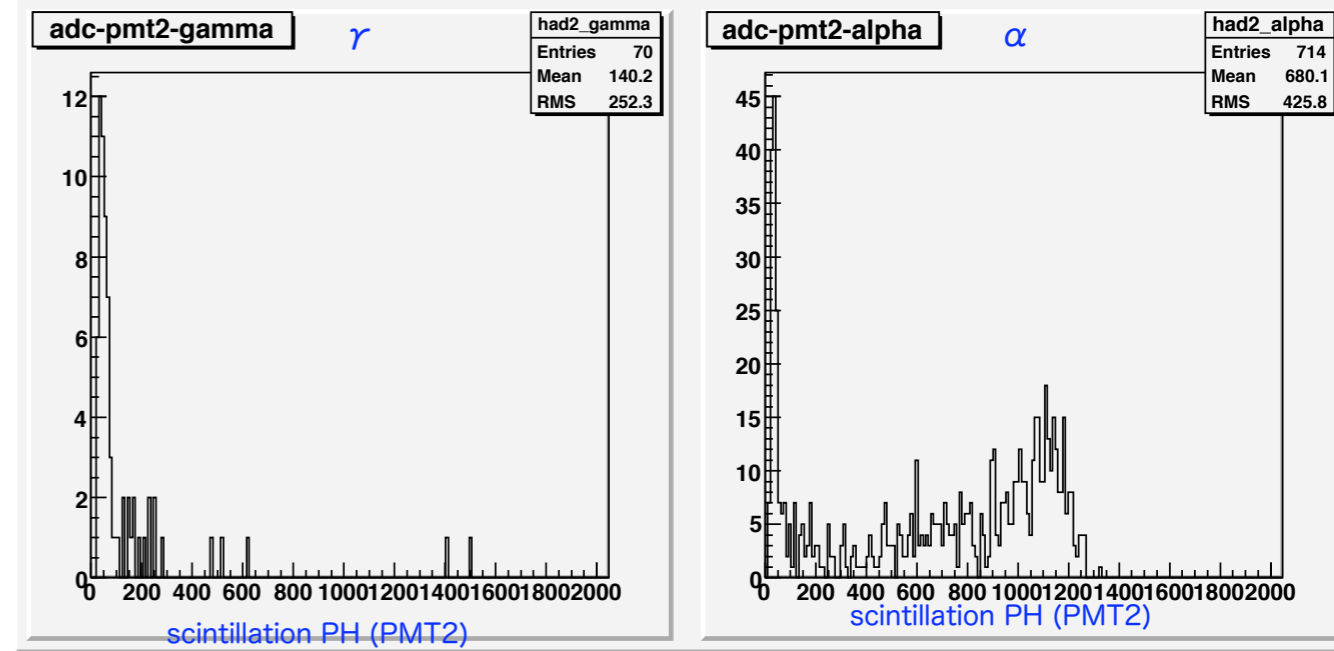
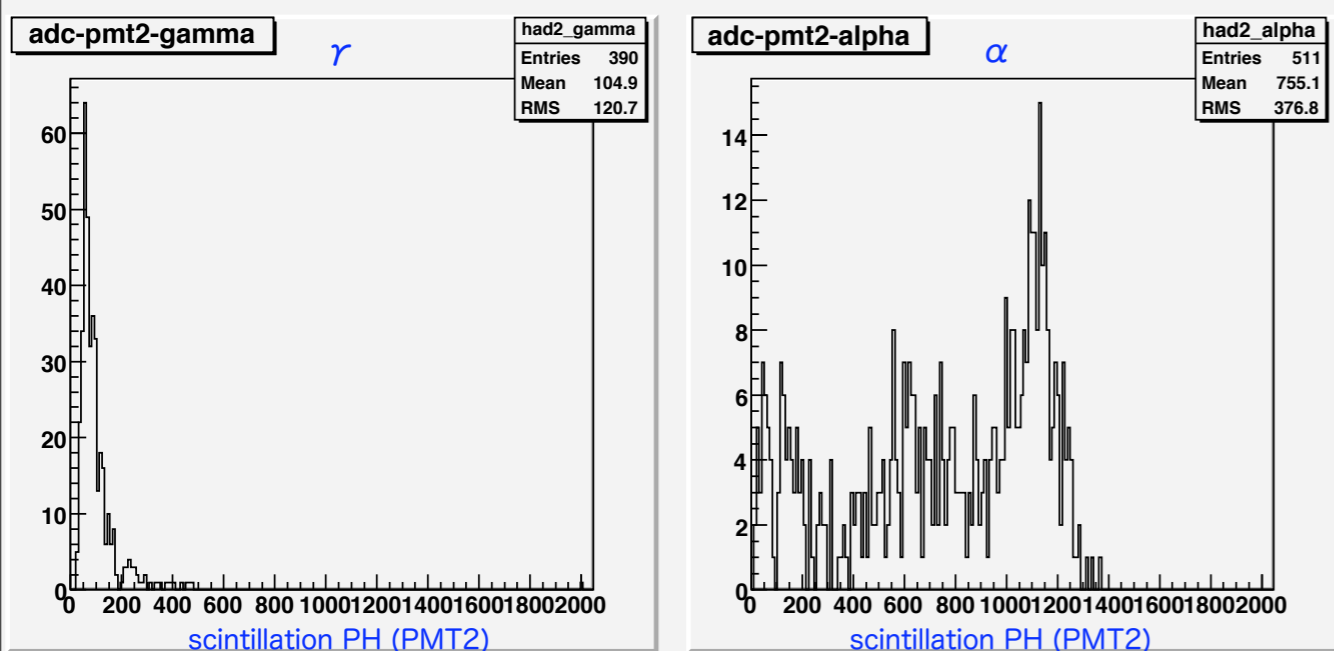
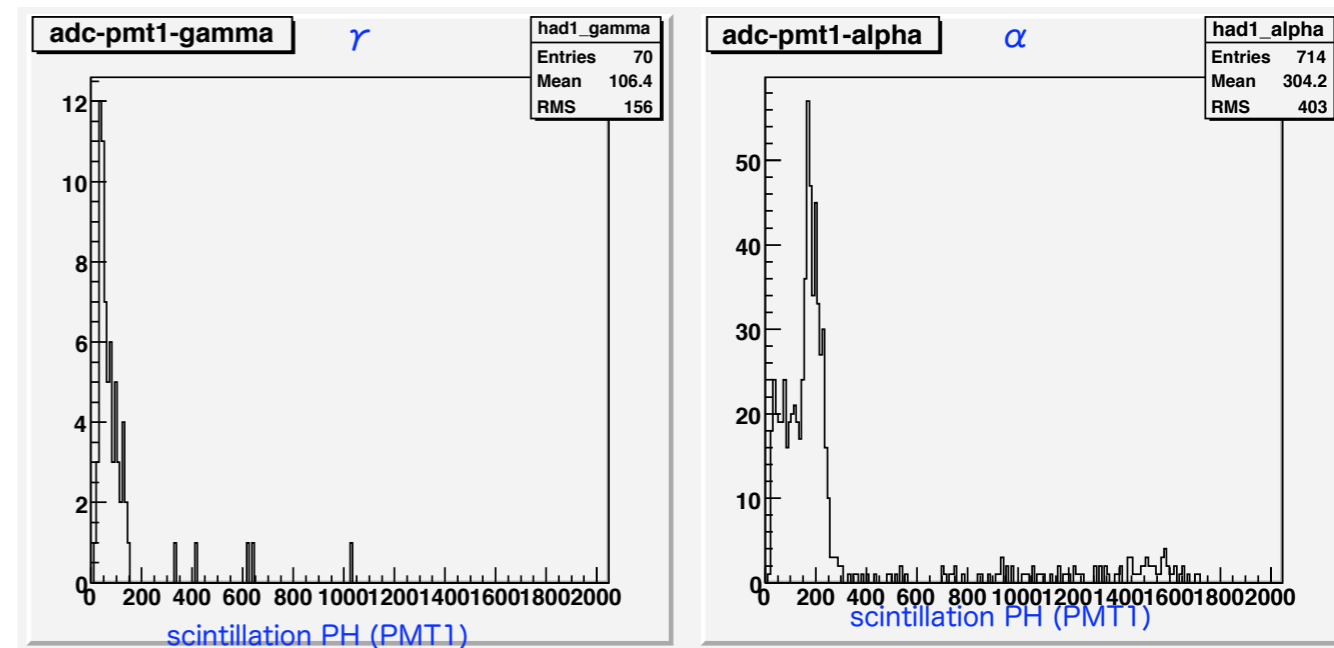
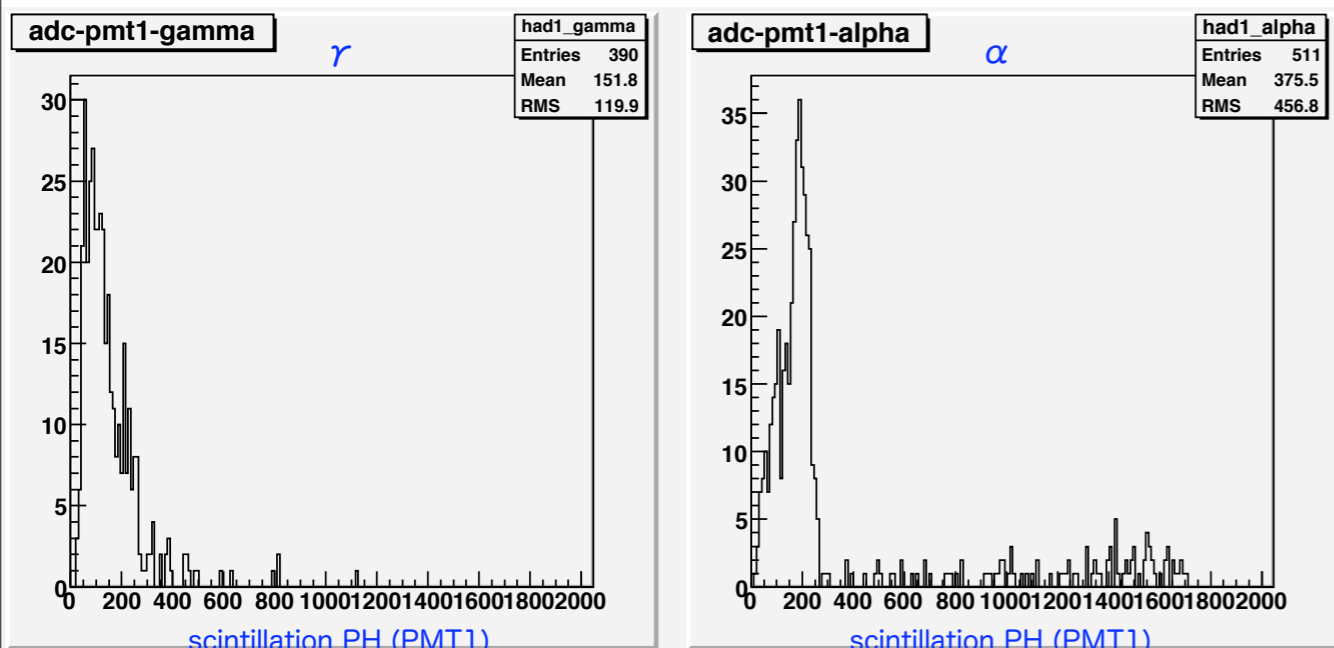
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V

2011.10.6.1808

2011.10.6.1832



TPC cathode =0V, anode=0V

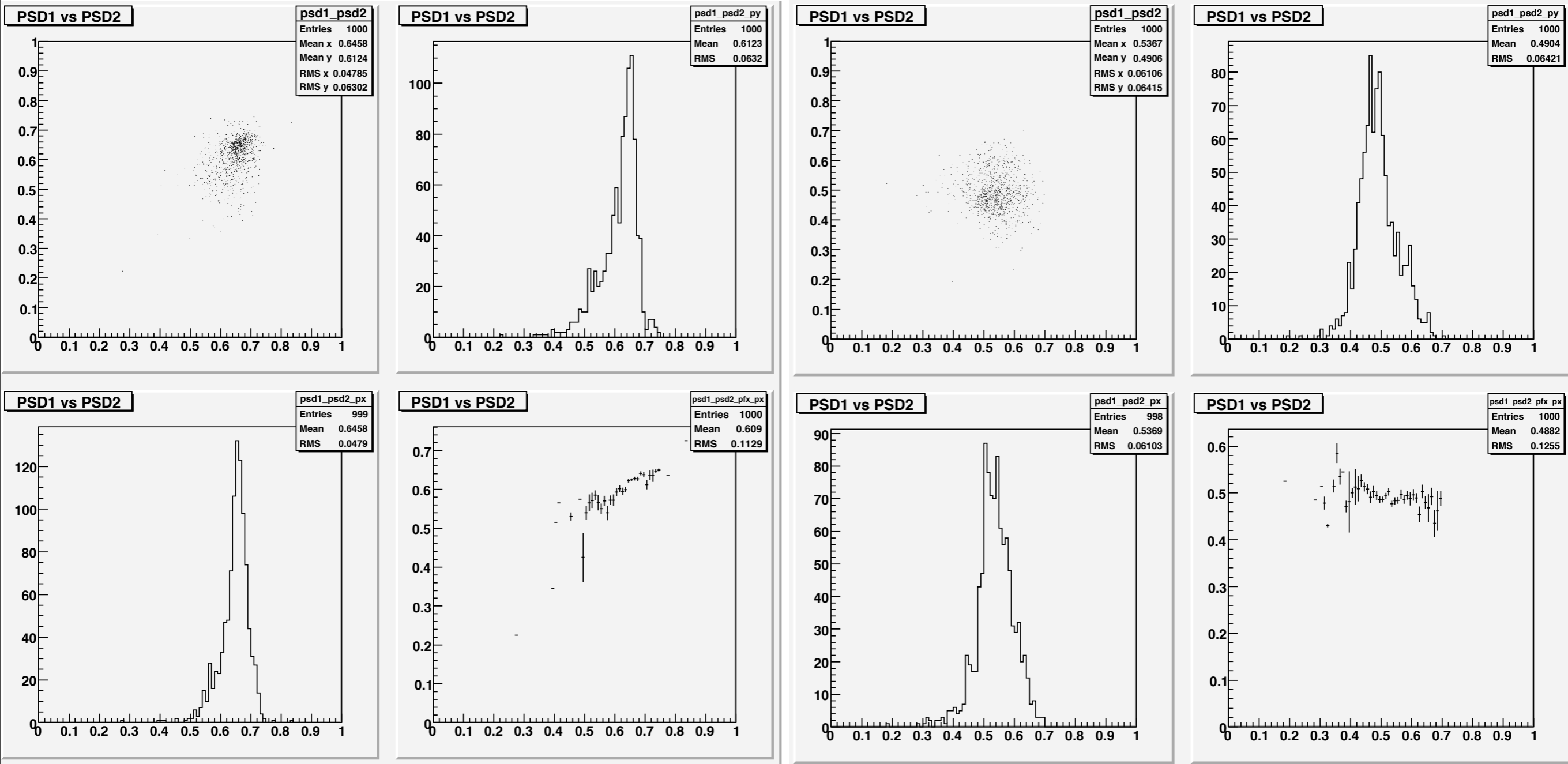
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Cosmic trigger :Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V,16dB

2011.10.8.1526

2011.10.8.1643

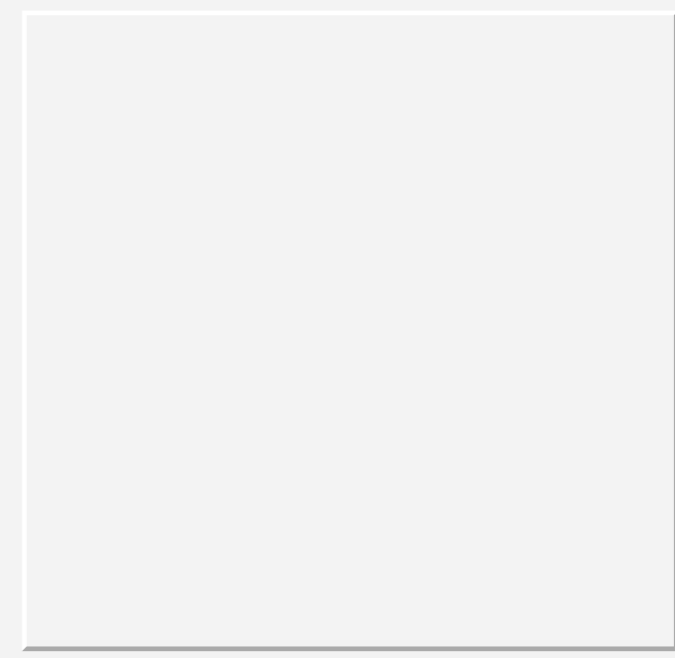
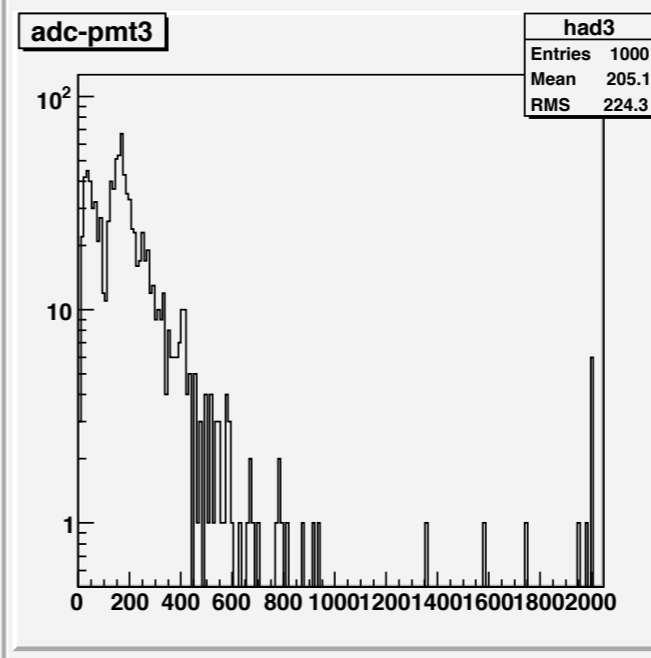
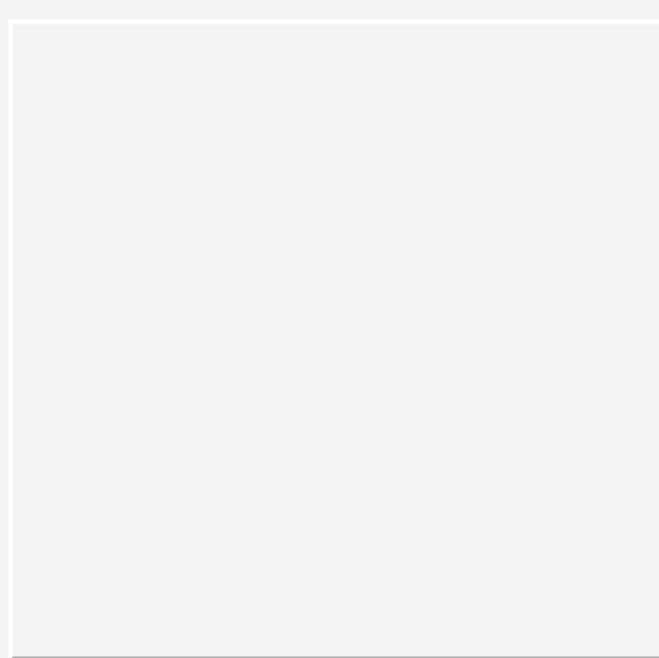
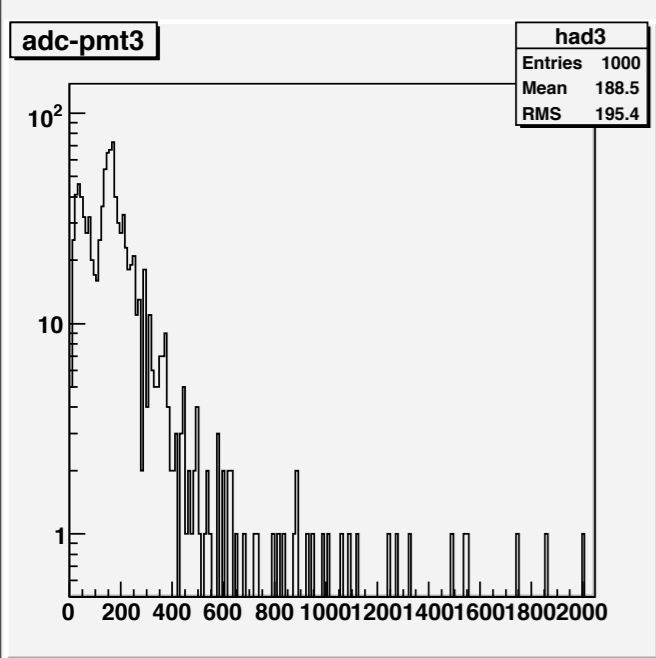
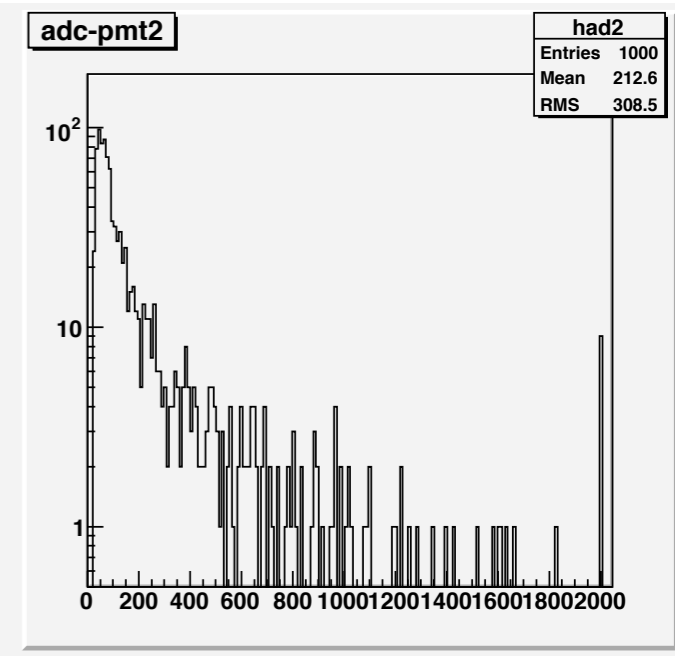
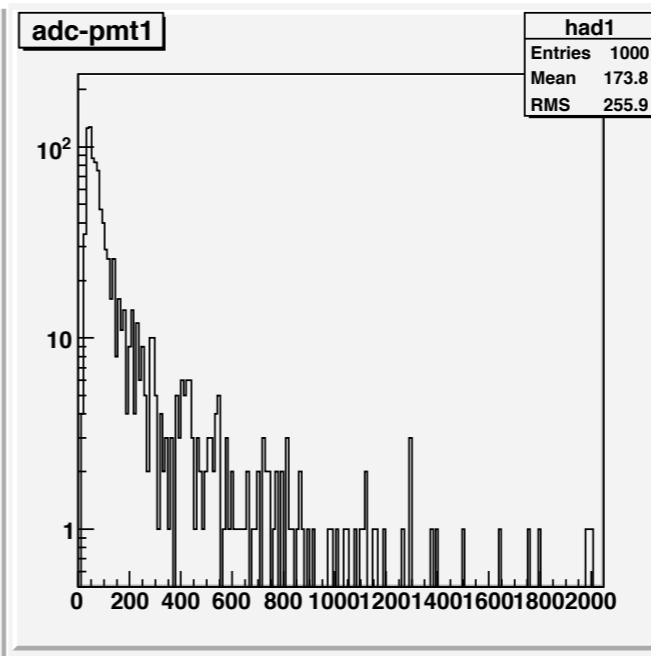
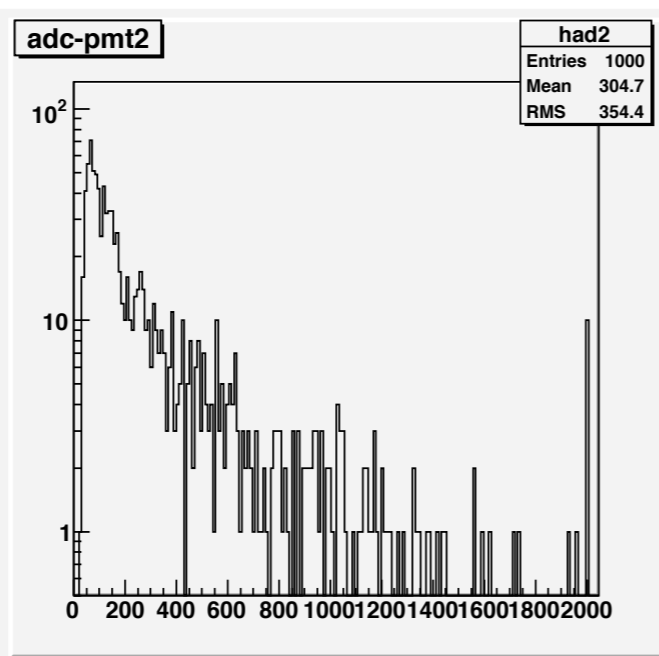
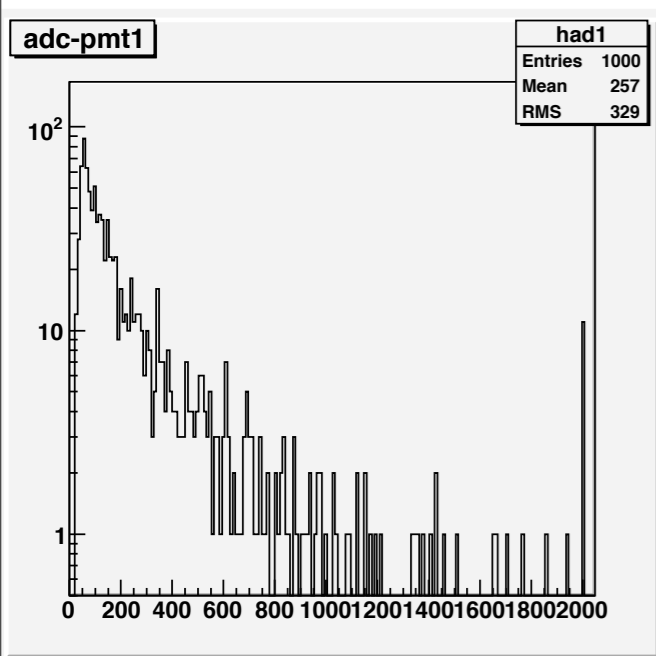


TPC cathode =0V, anode=+255V

TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

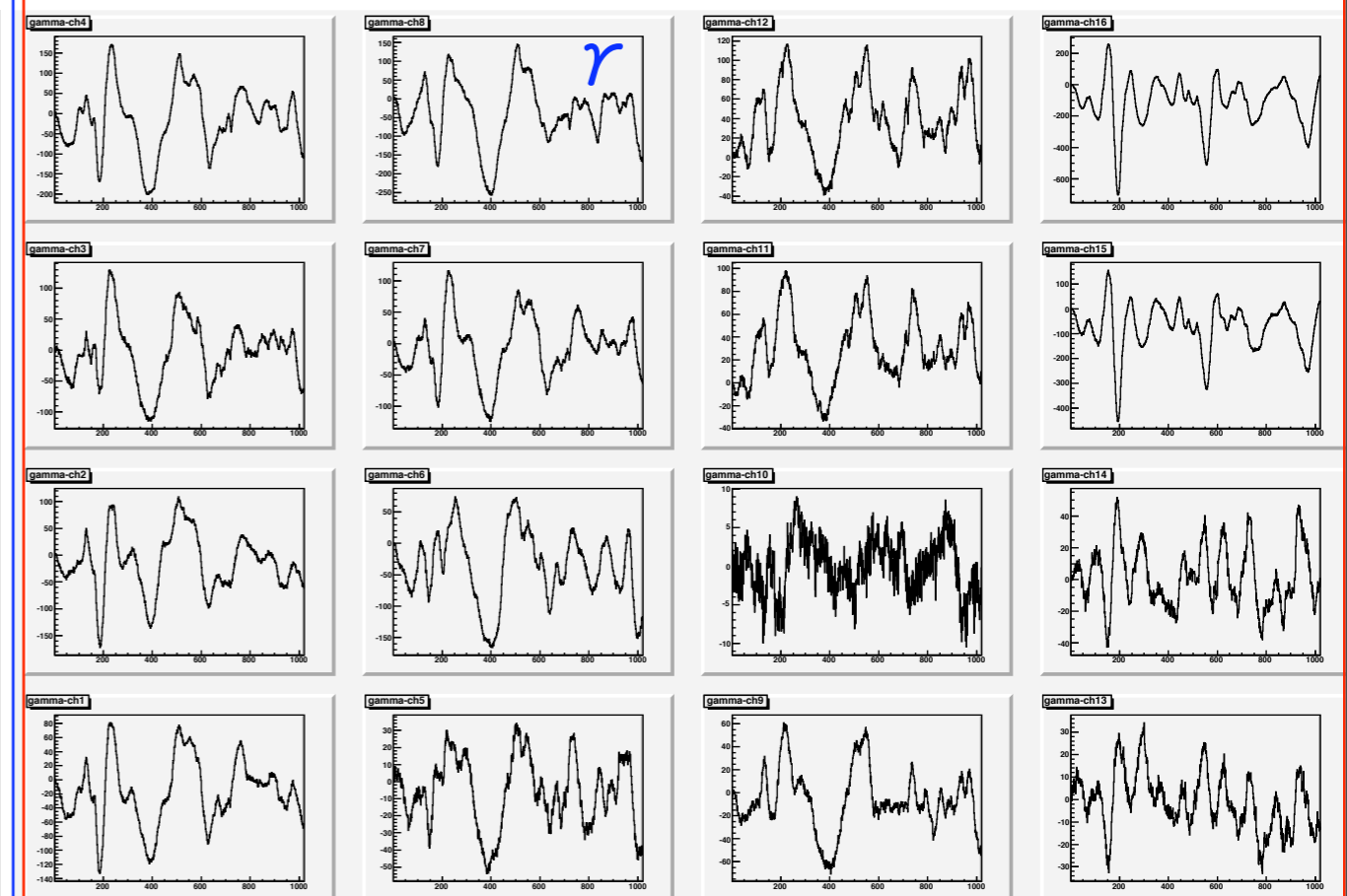
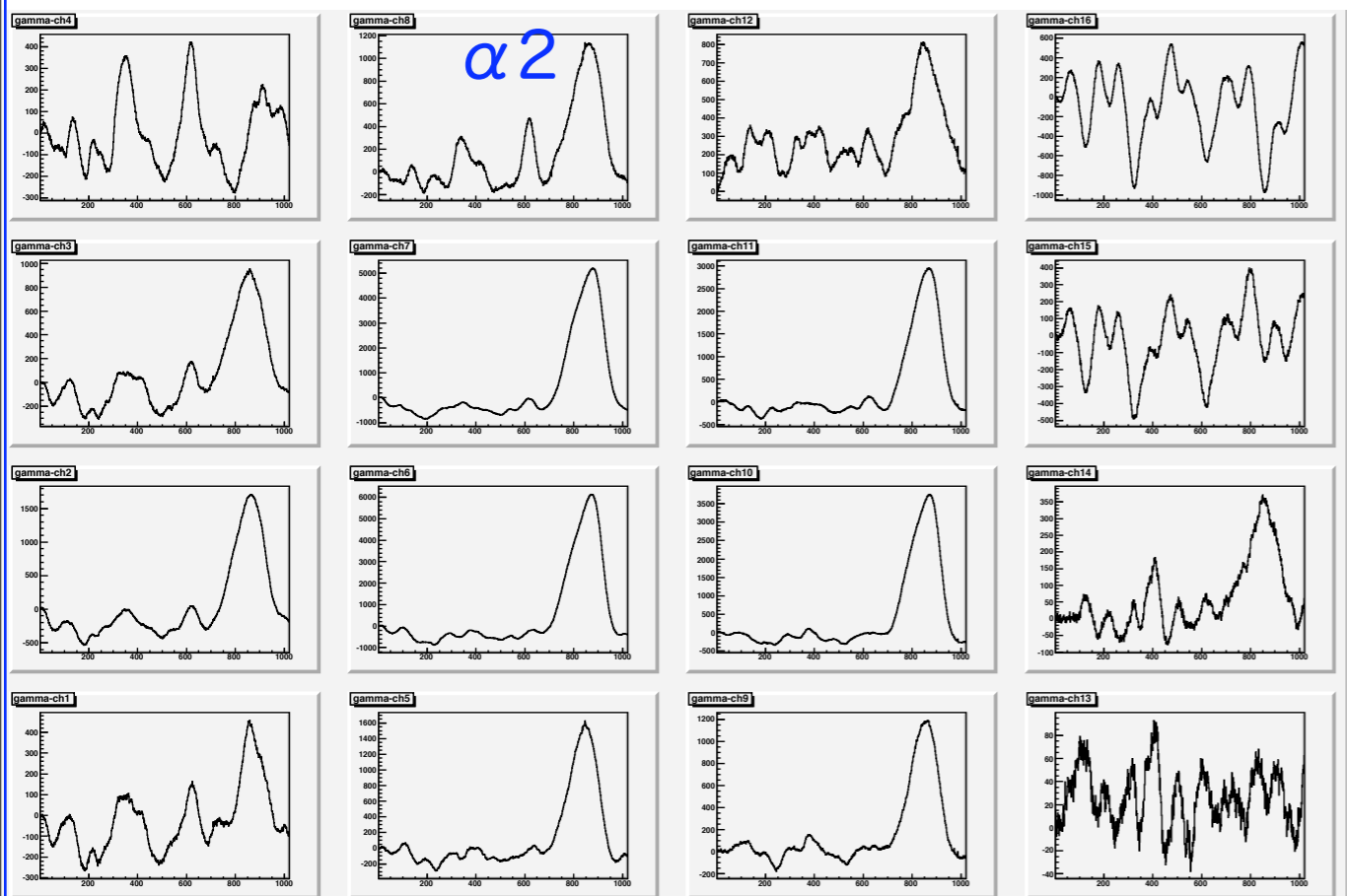
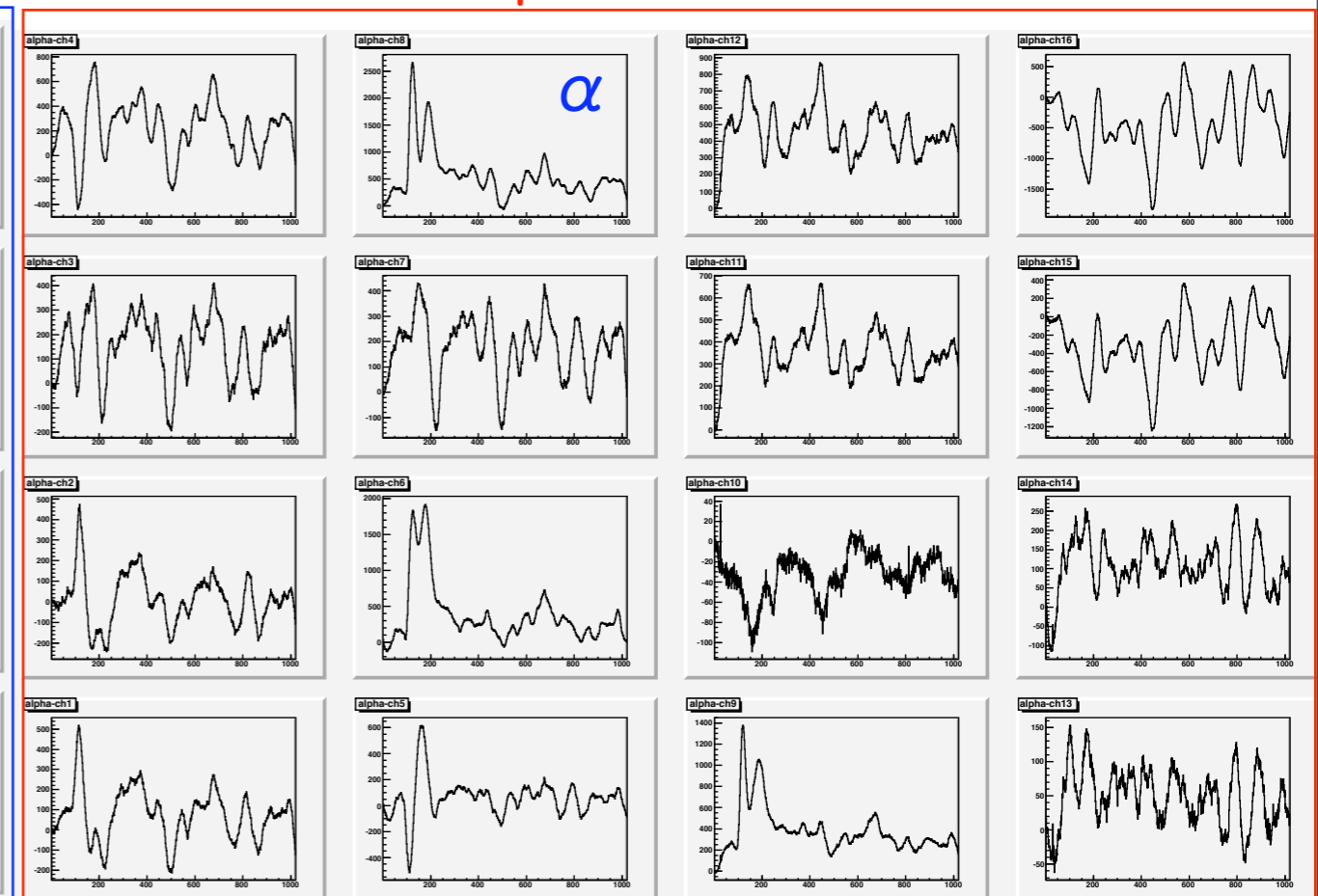
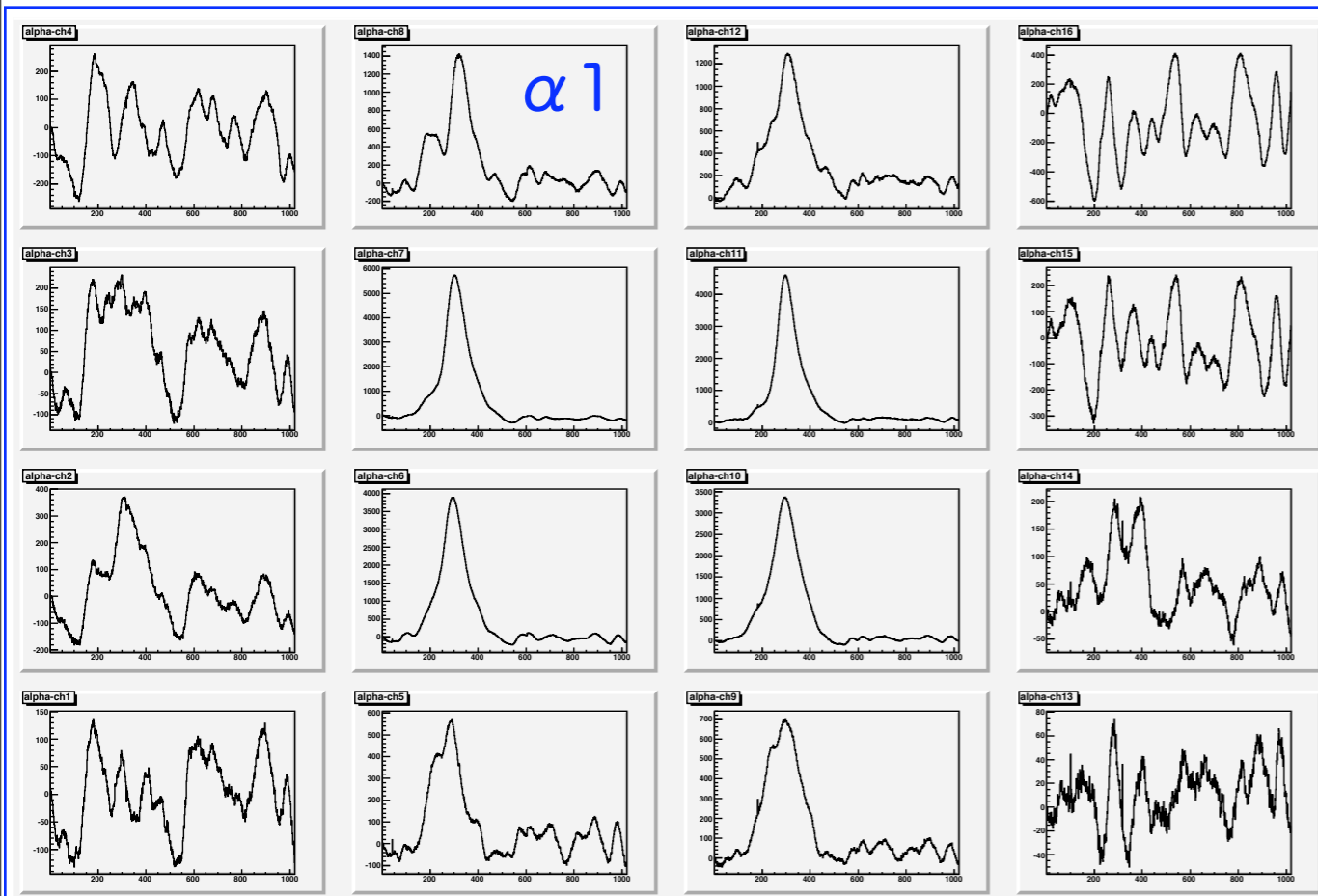
2011.10.8.1526

2011.10.8.1643



TPC cathode =0V, anode=+255V

TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V



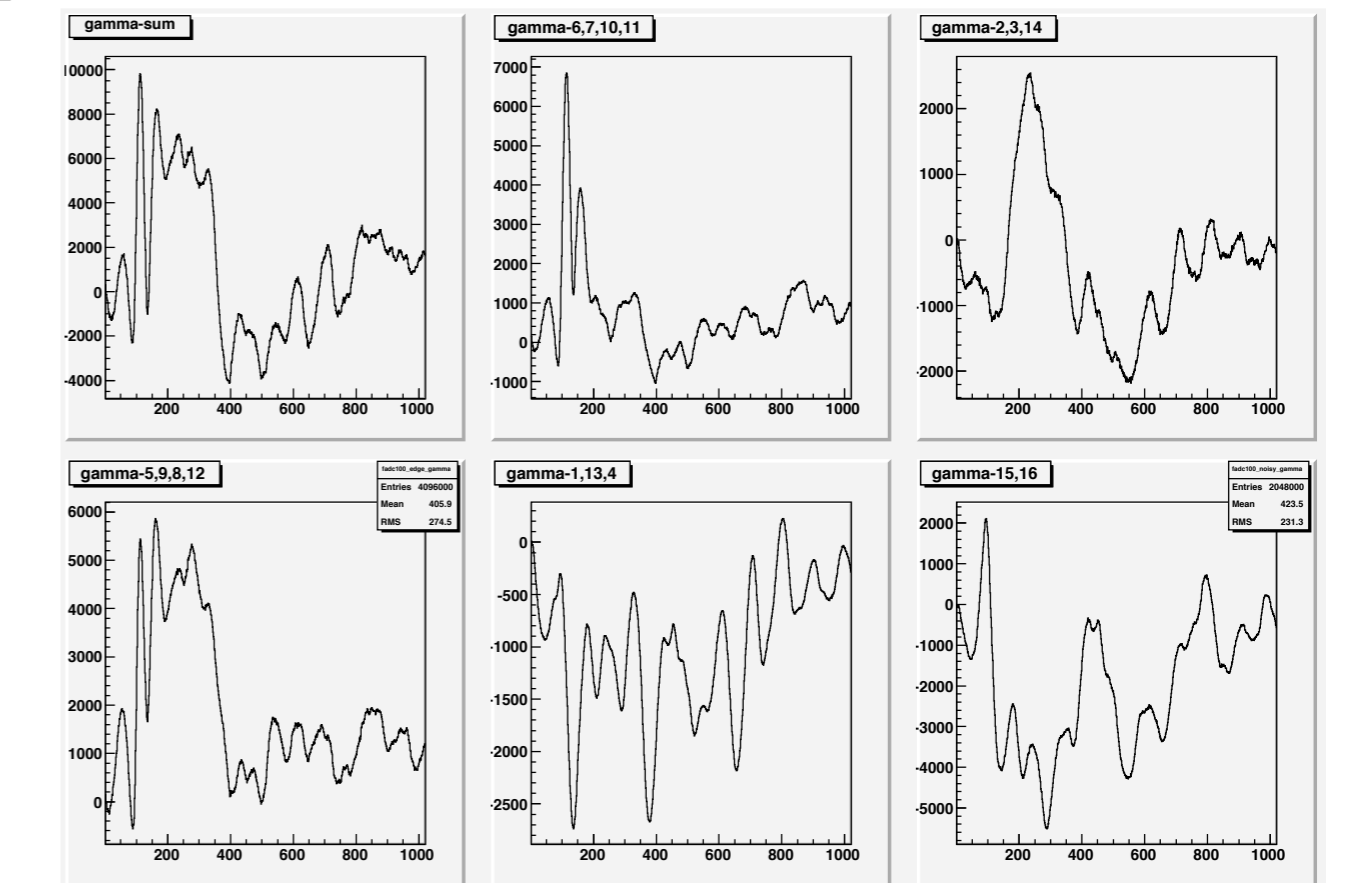
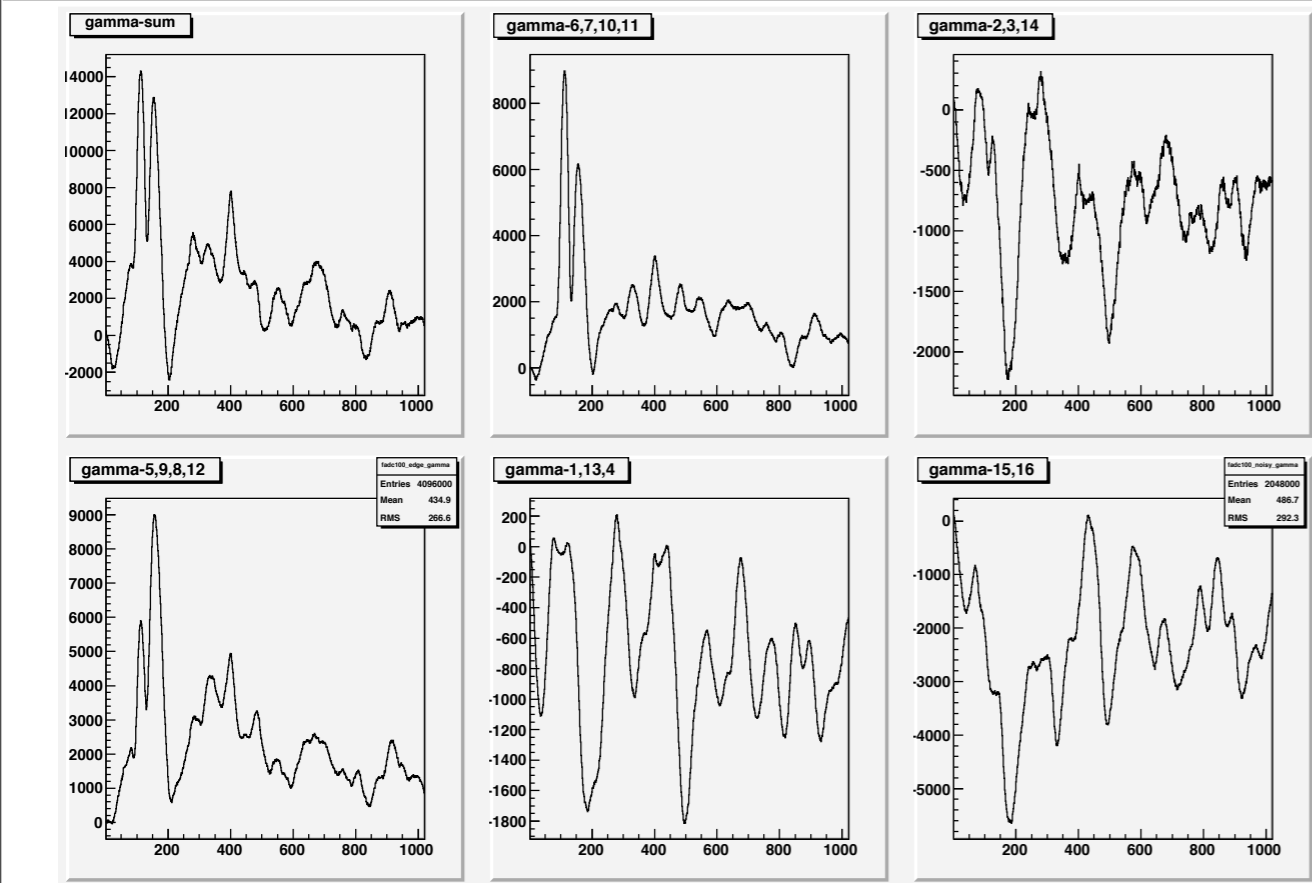
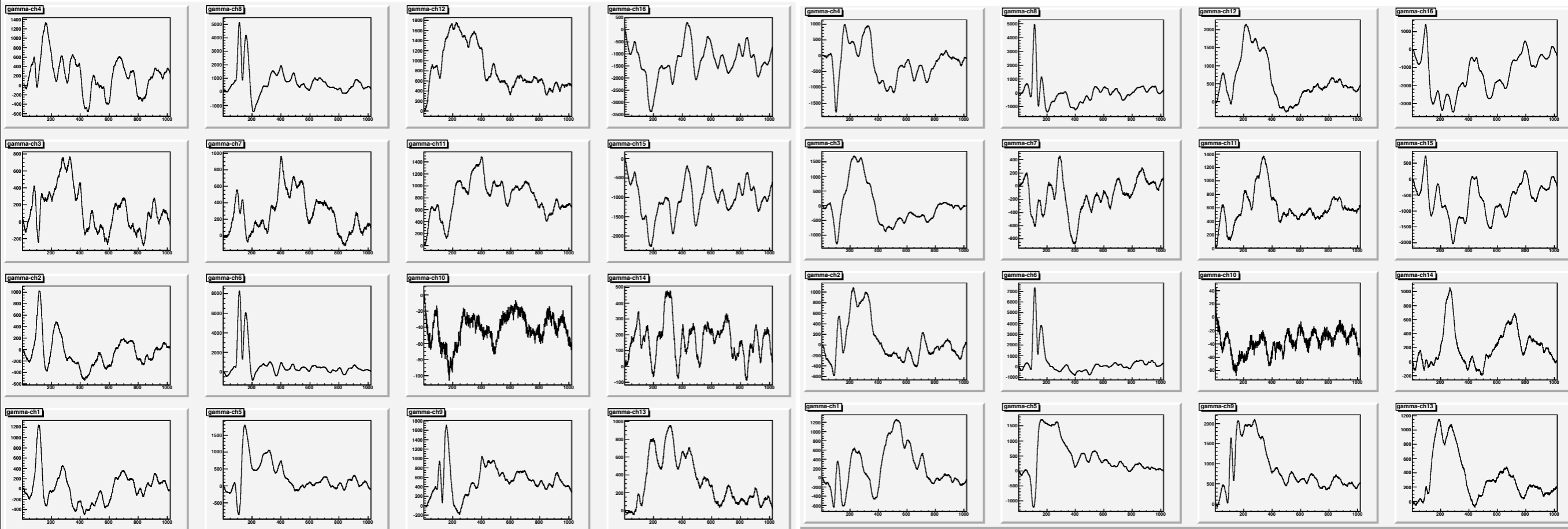
PMT1=PMT2=+720V, TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Cosmic trigger :Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V,16dB

2011.10.8.1526

2011.10.8.1643



TPC cathode =0V, anode=+255V

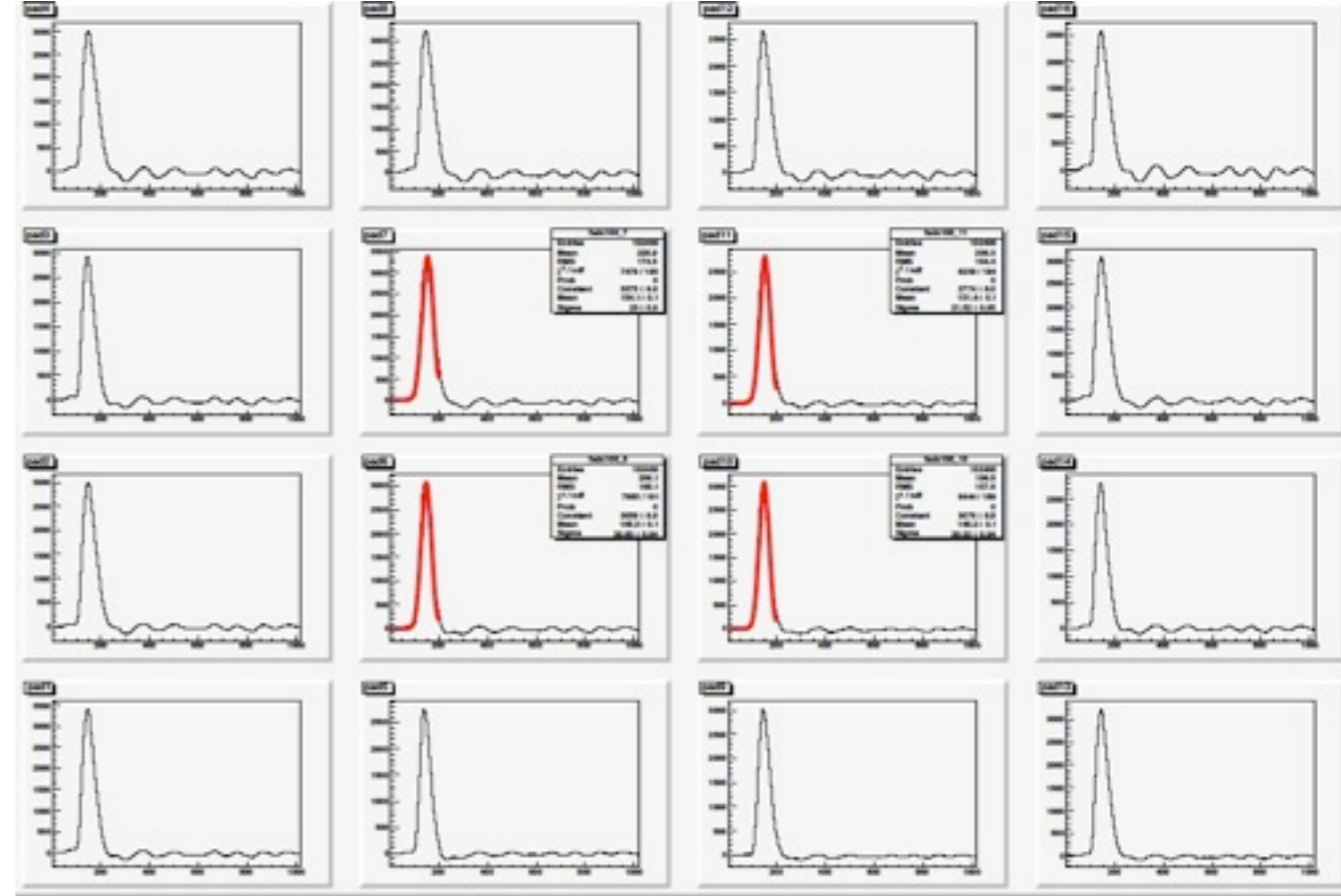
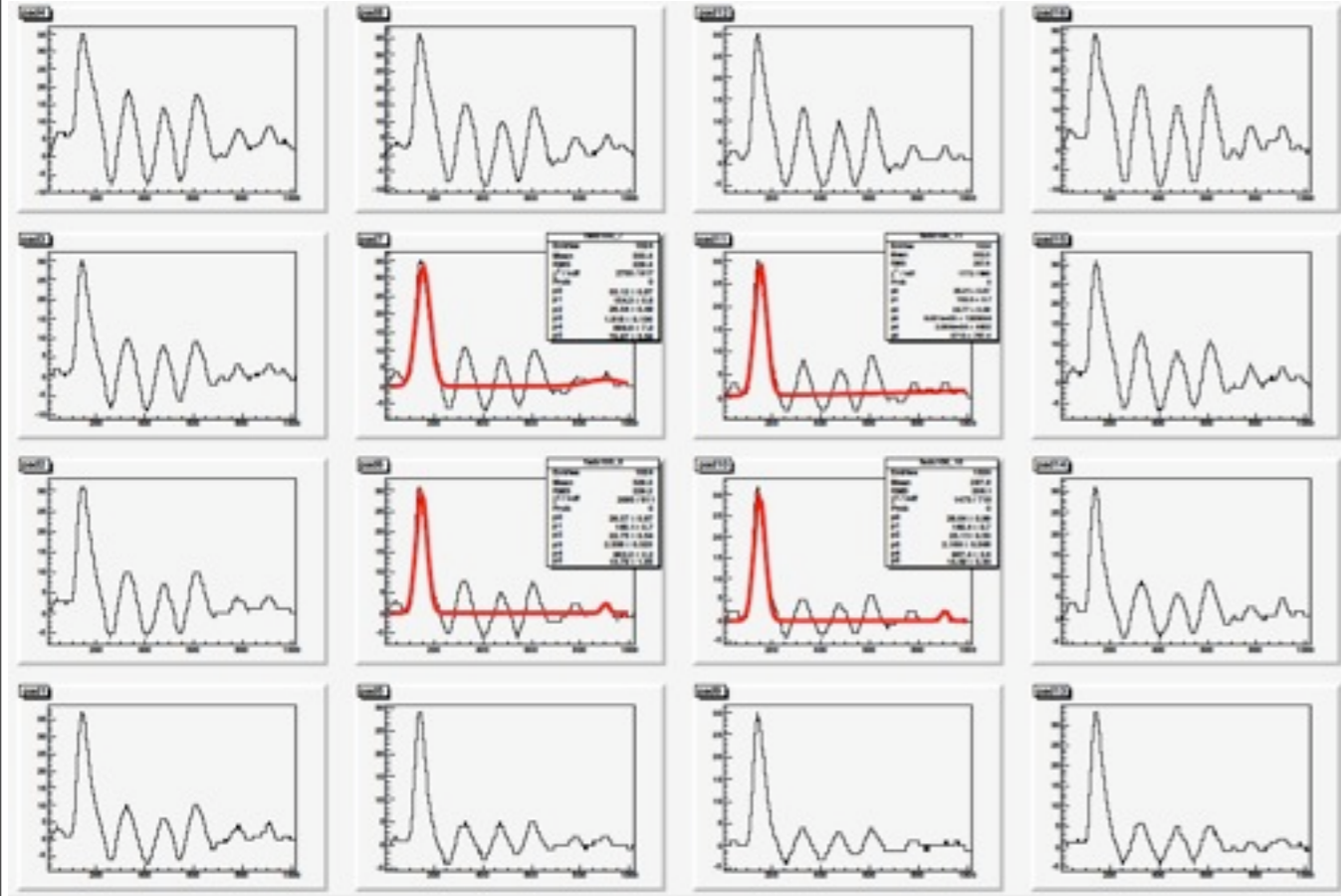
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Test Pulse

Air ; 2011.9.9 13:53

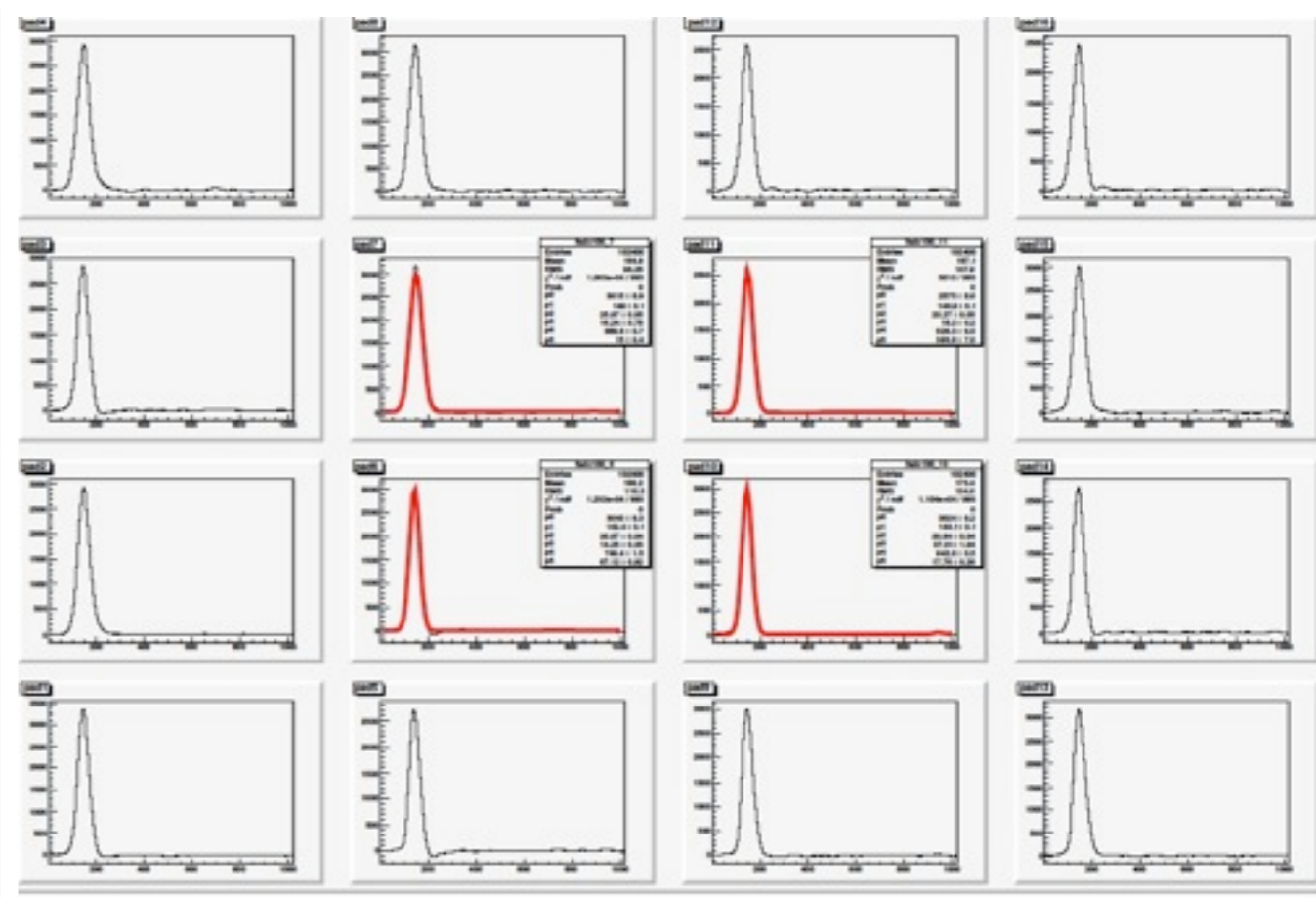
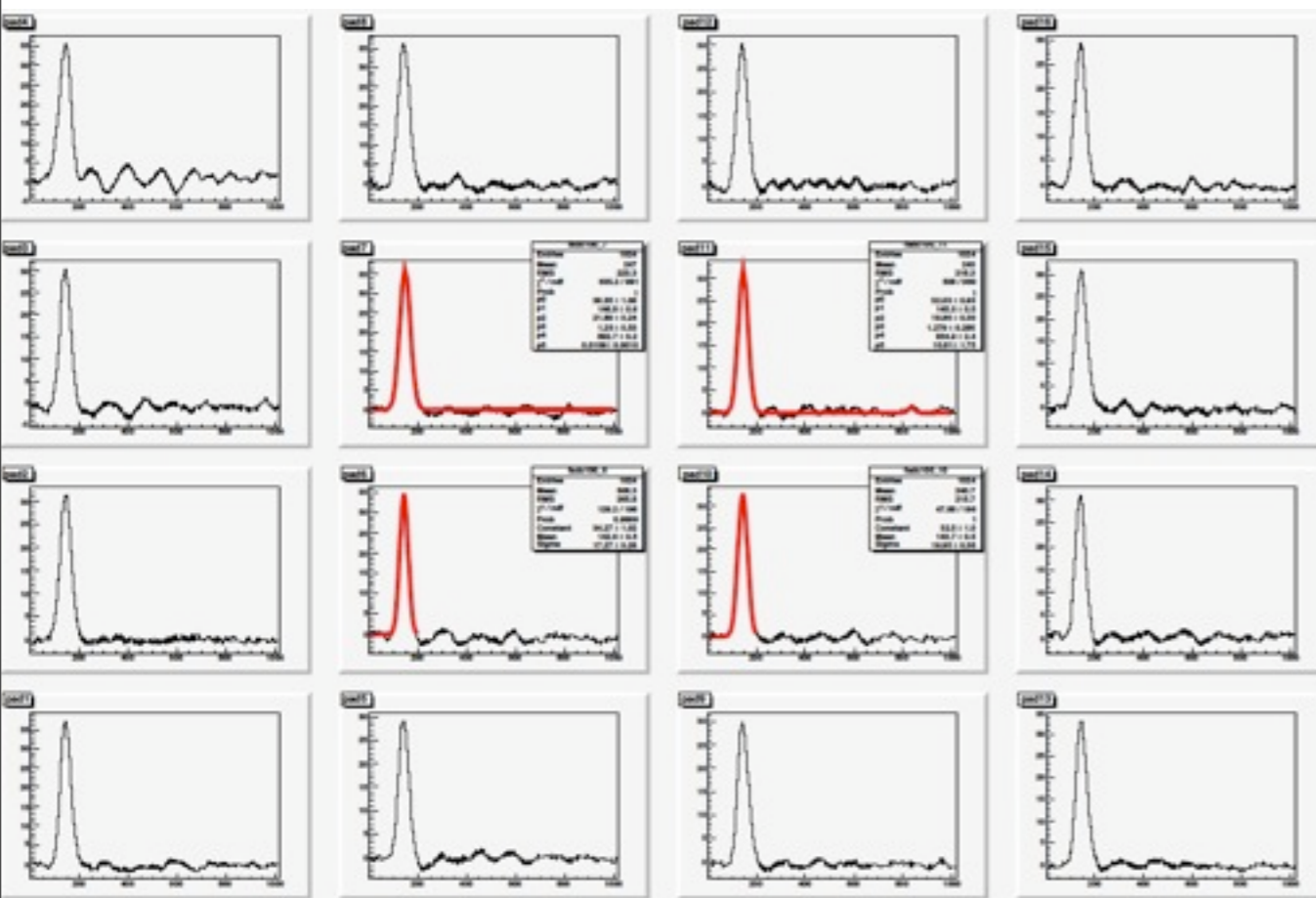
event no.=20 w/o correction

sum of 100 events w/o correction

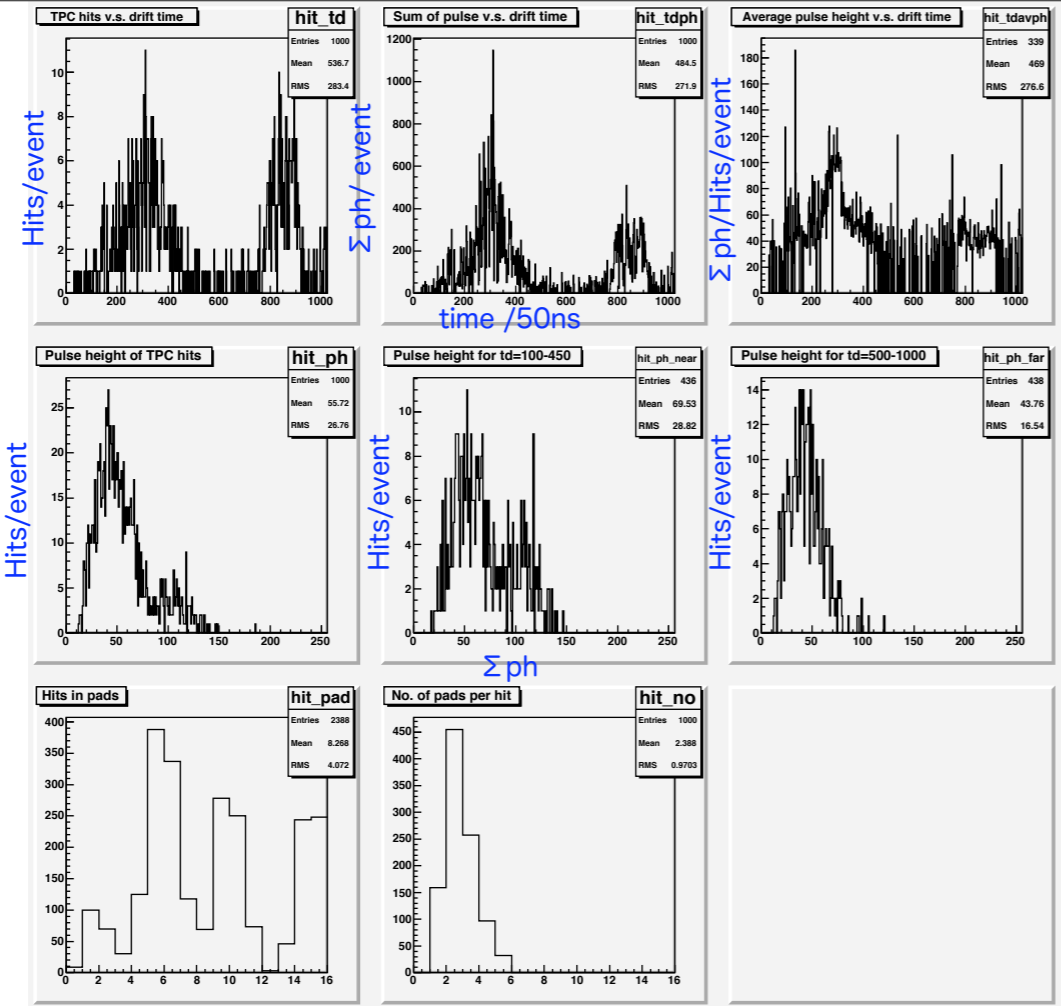


event no.=20 with correction

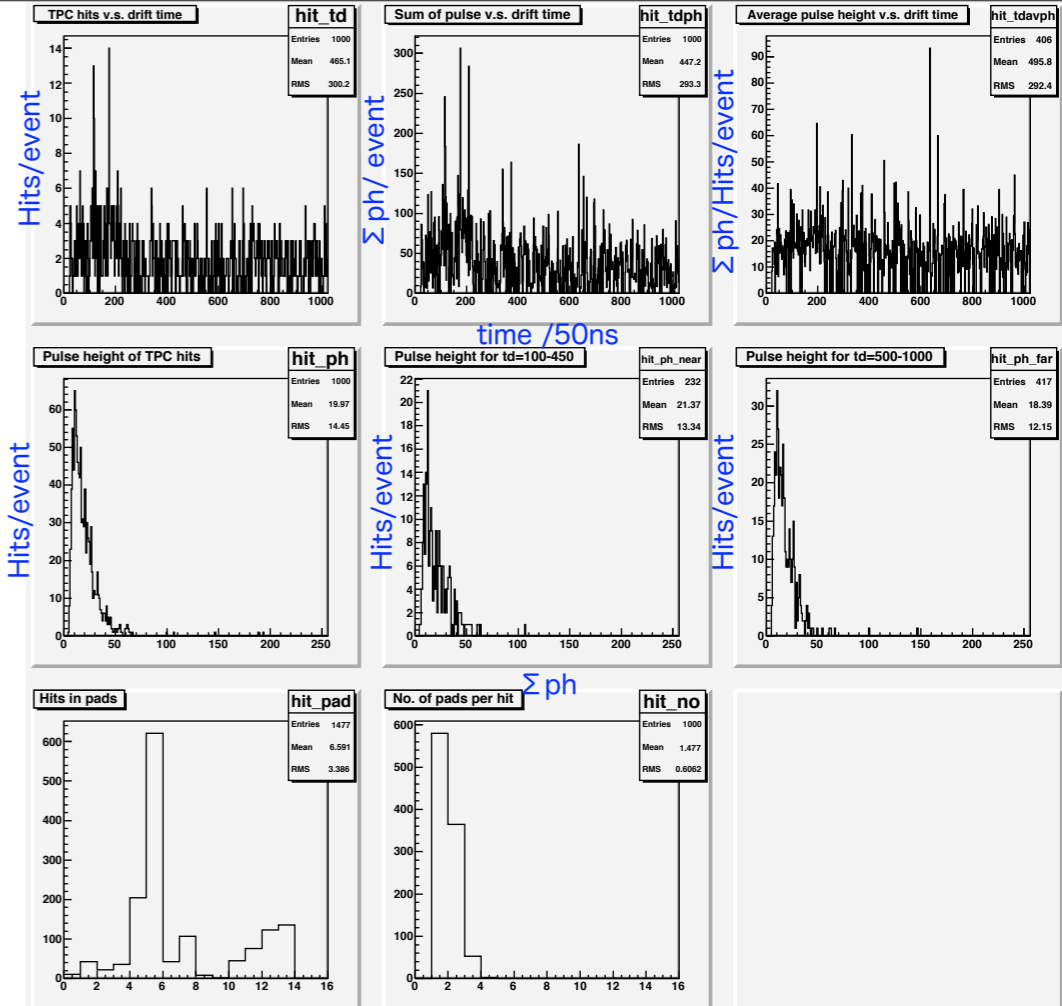
sum of 100 events with correction



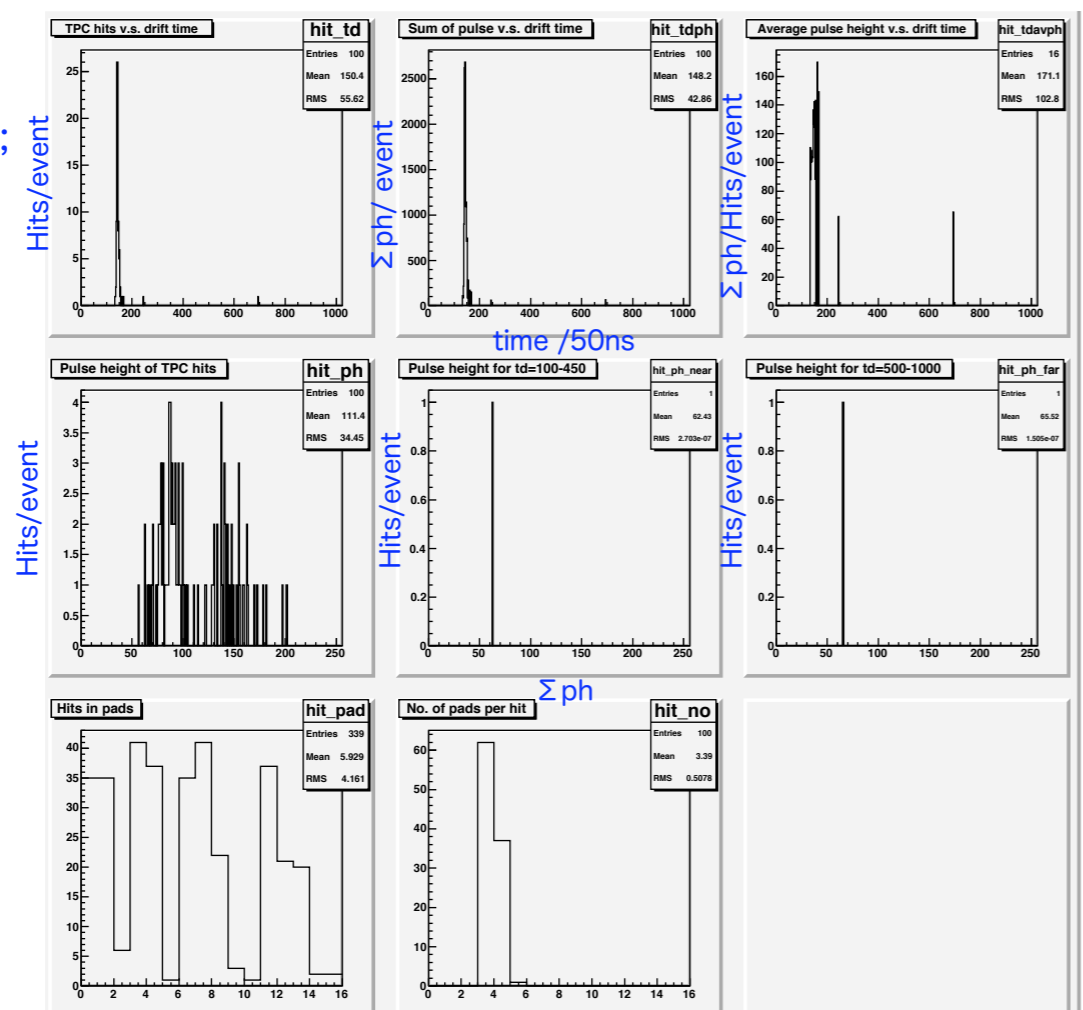
Xe gas ;
2011.9.20
11:22



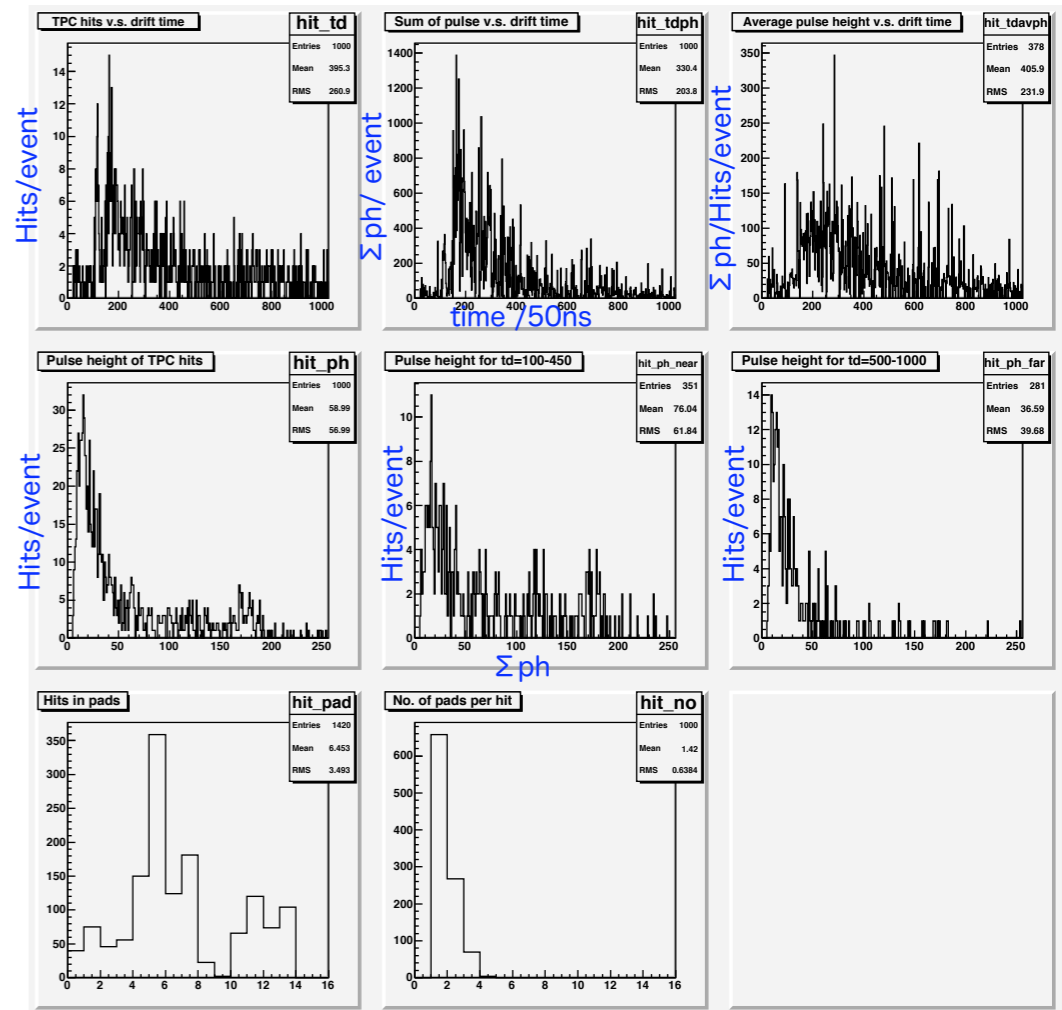
2-fold trig.
Xe liquid ;
2011.10.20
9:1



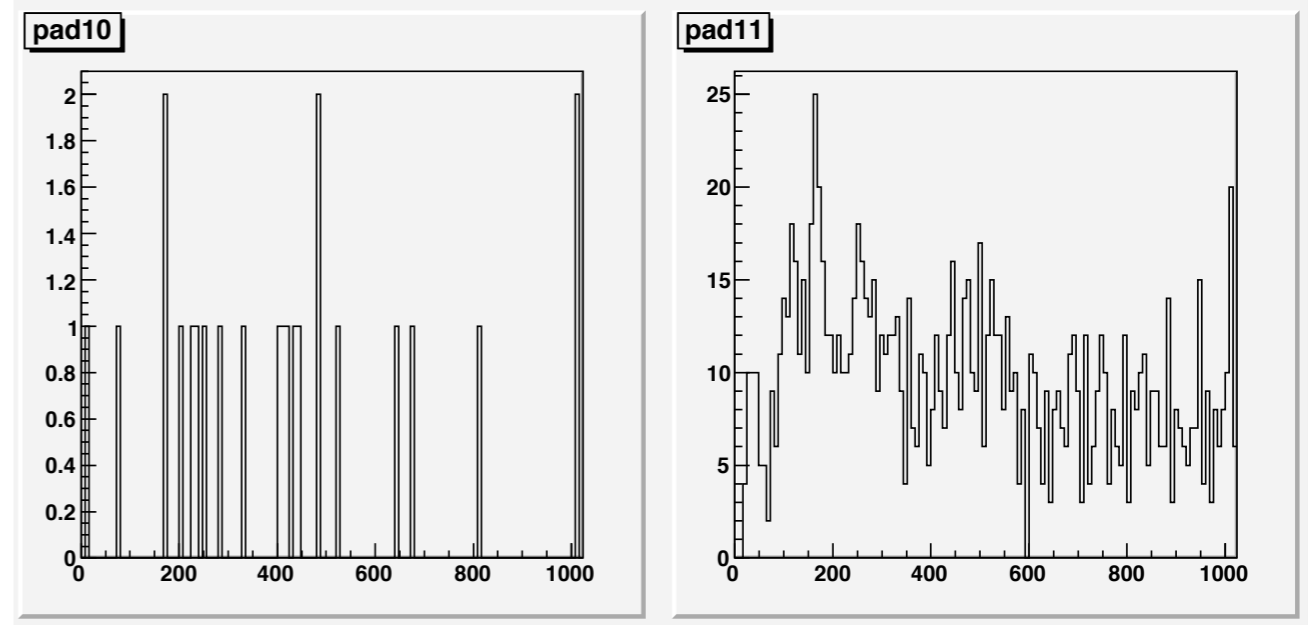
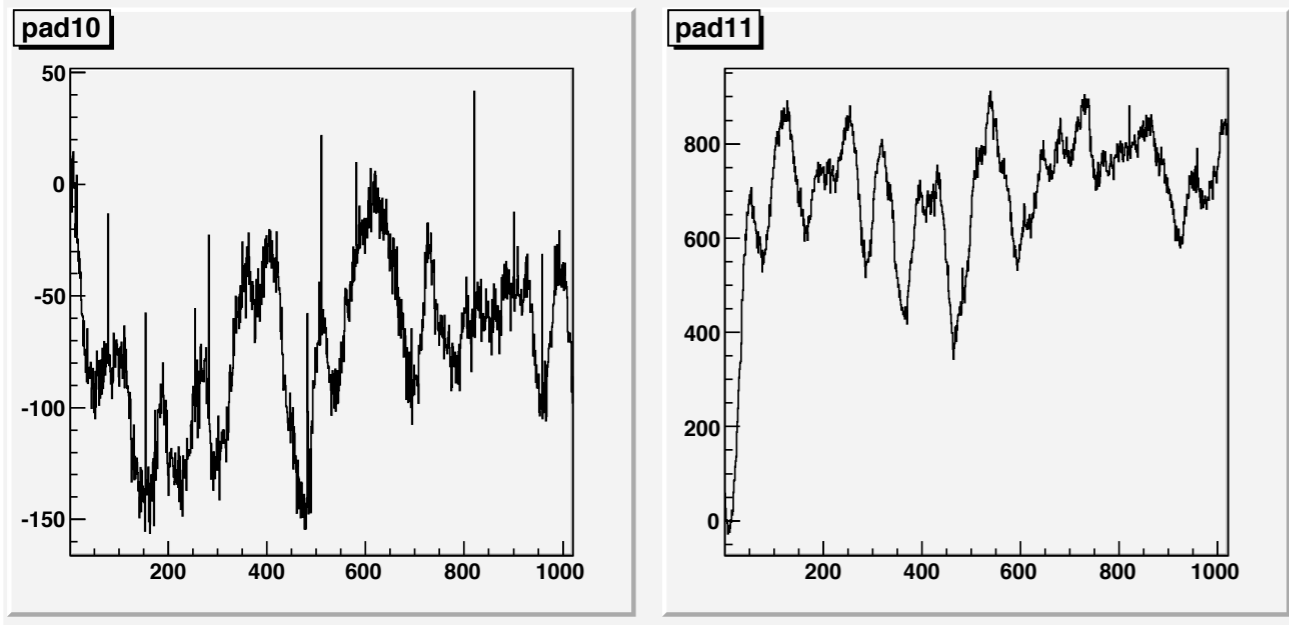
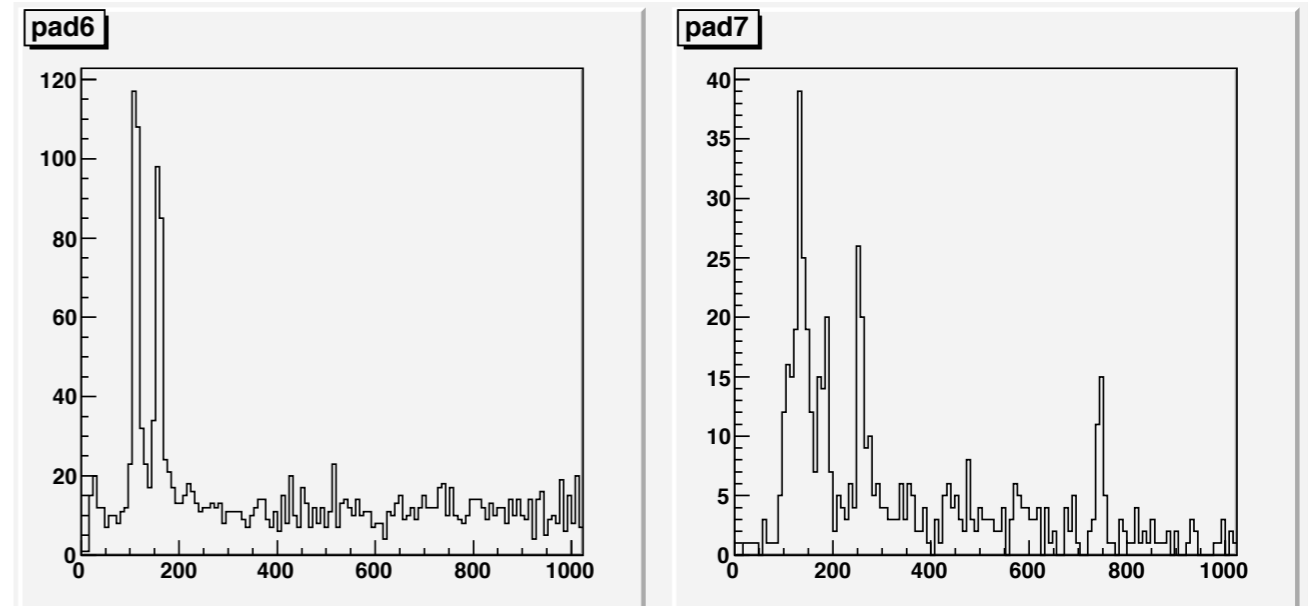
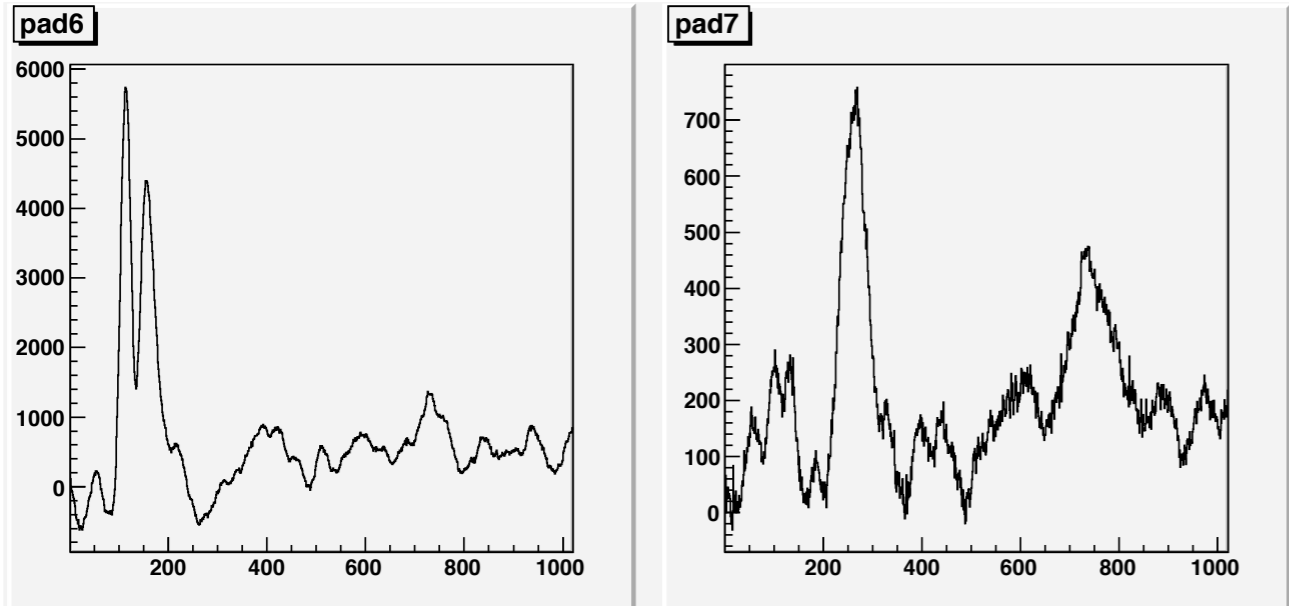
Test pulse ;
2011.9.9
13:53



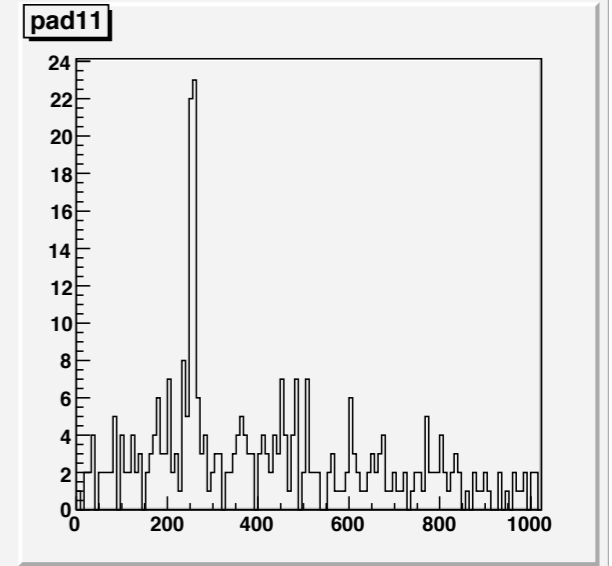
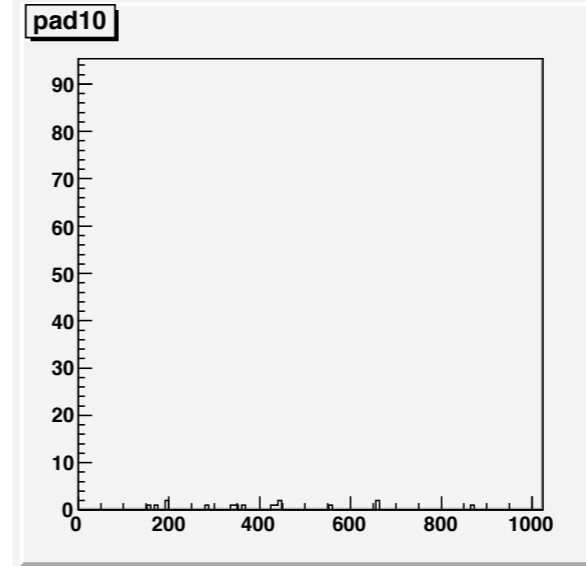
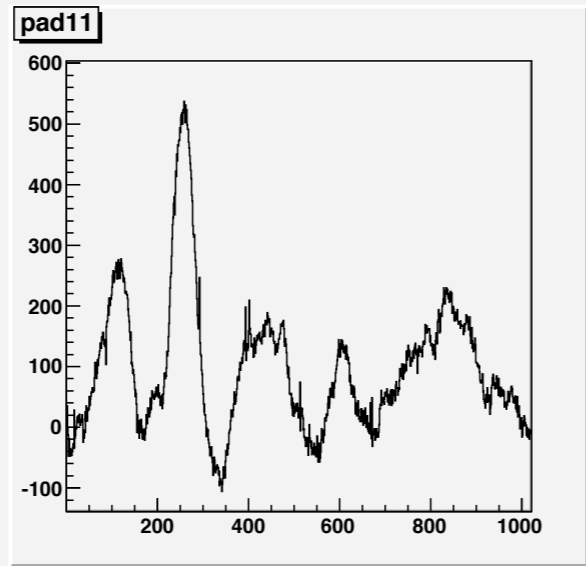
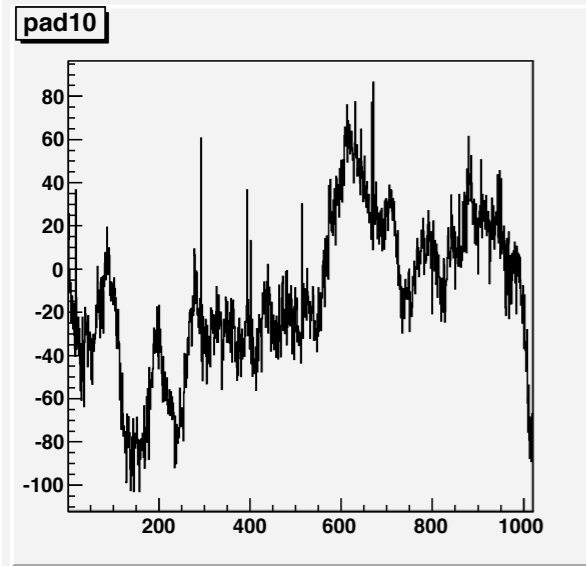
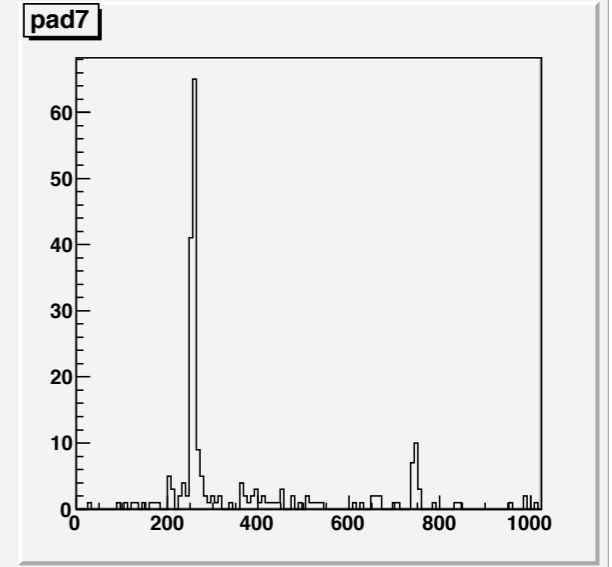
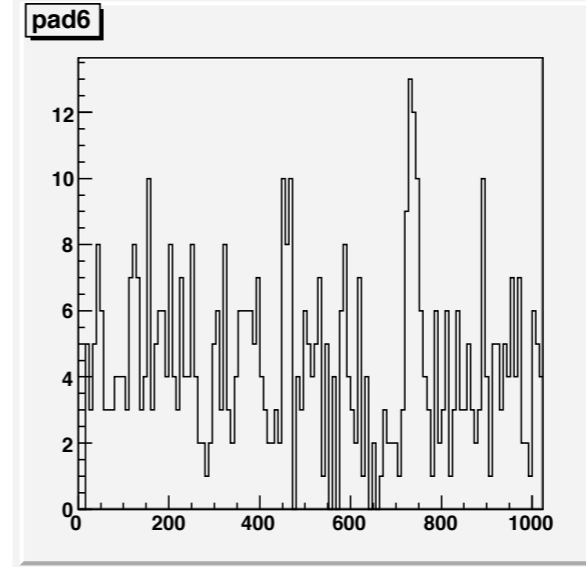
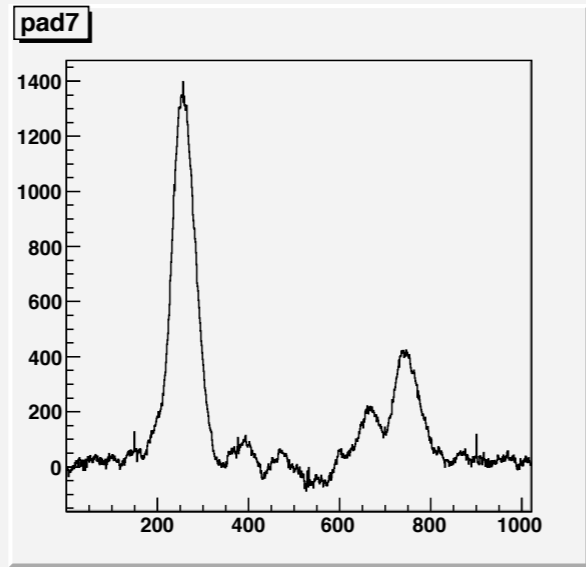
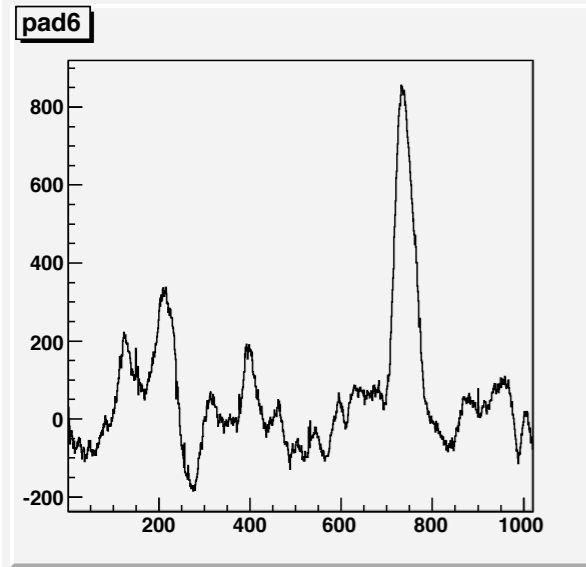
3-fold trig.
(cosmic)
Xe liquid ;
2011.10.20
7:38



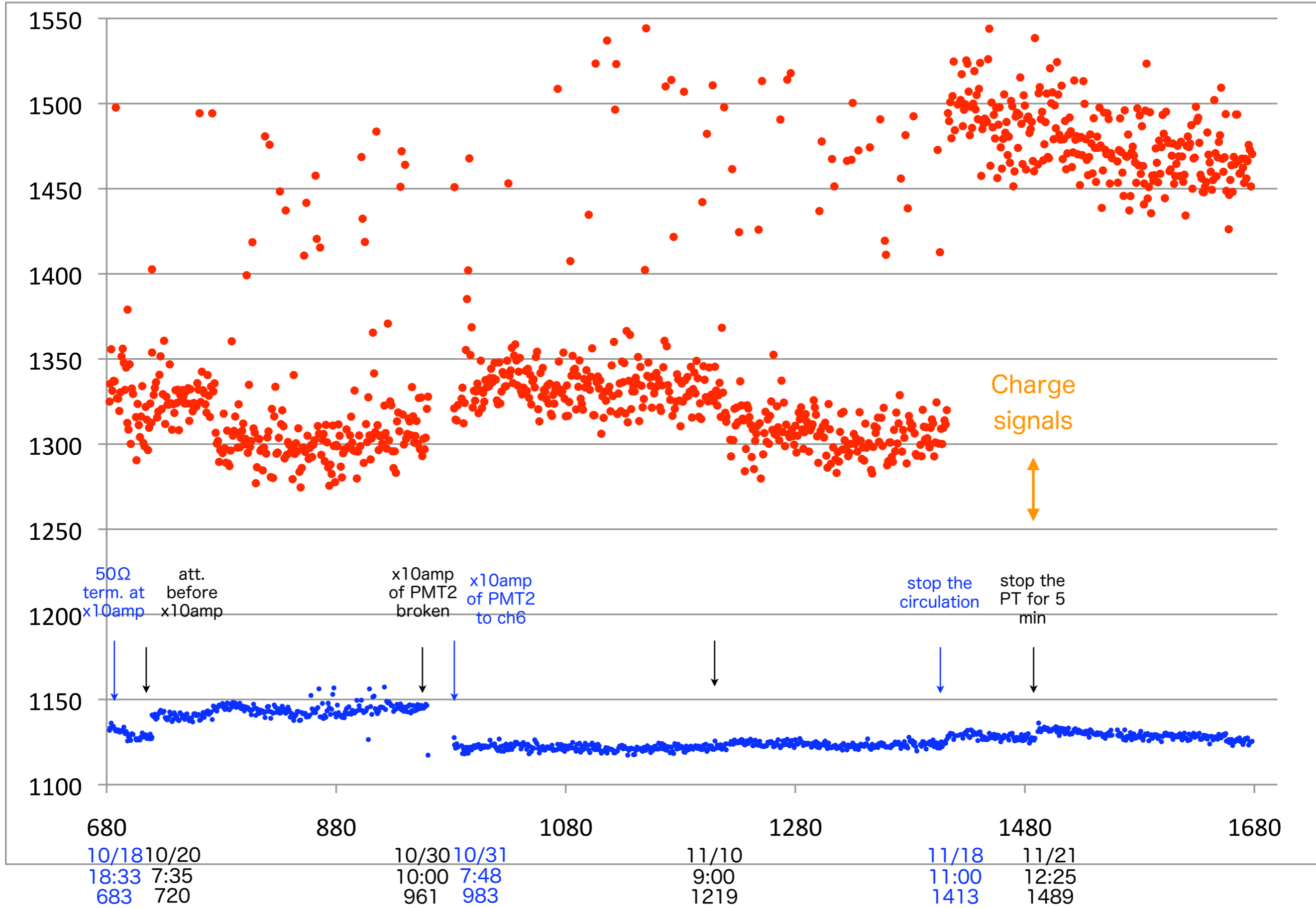
2011.10.11.10:40-11:06, 2-fold trigger



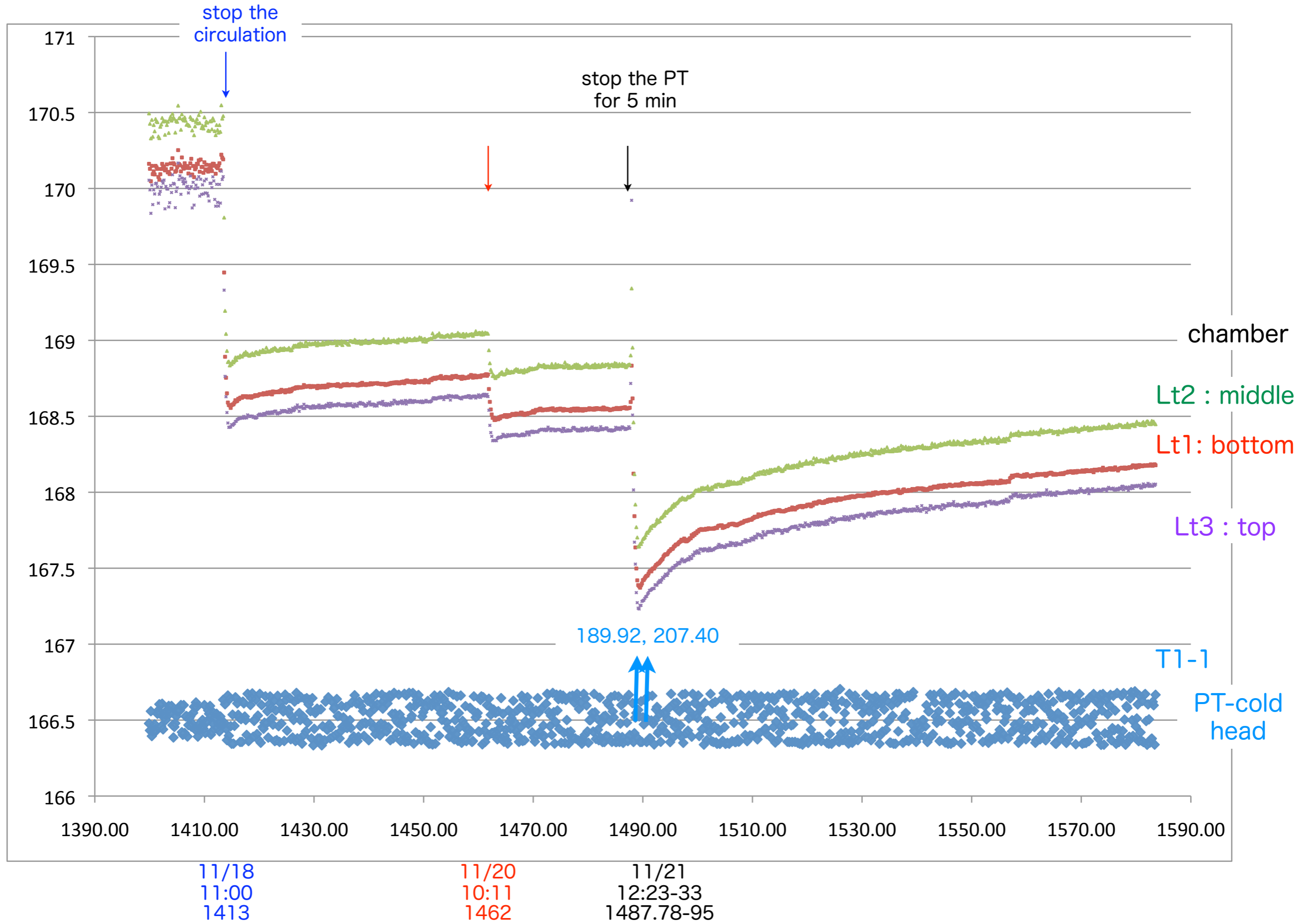
2011.11.21.11:22, 2-fold trigger



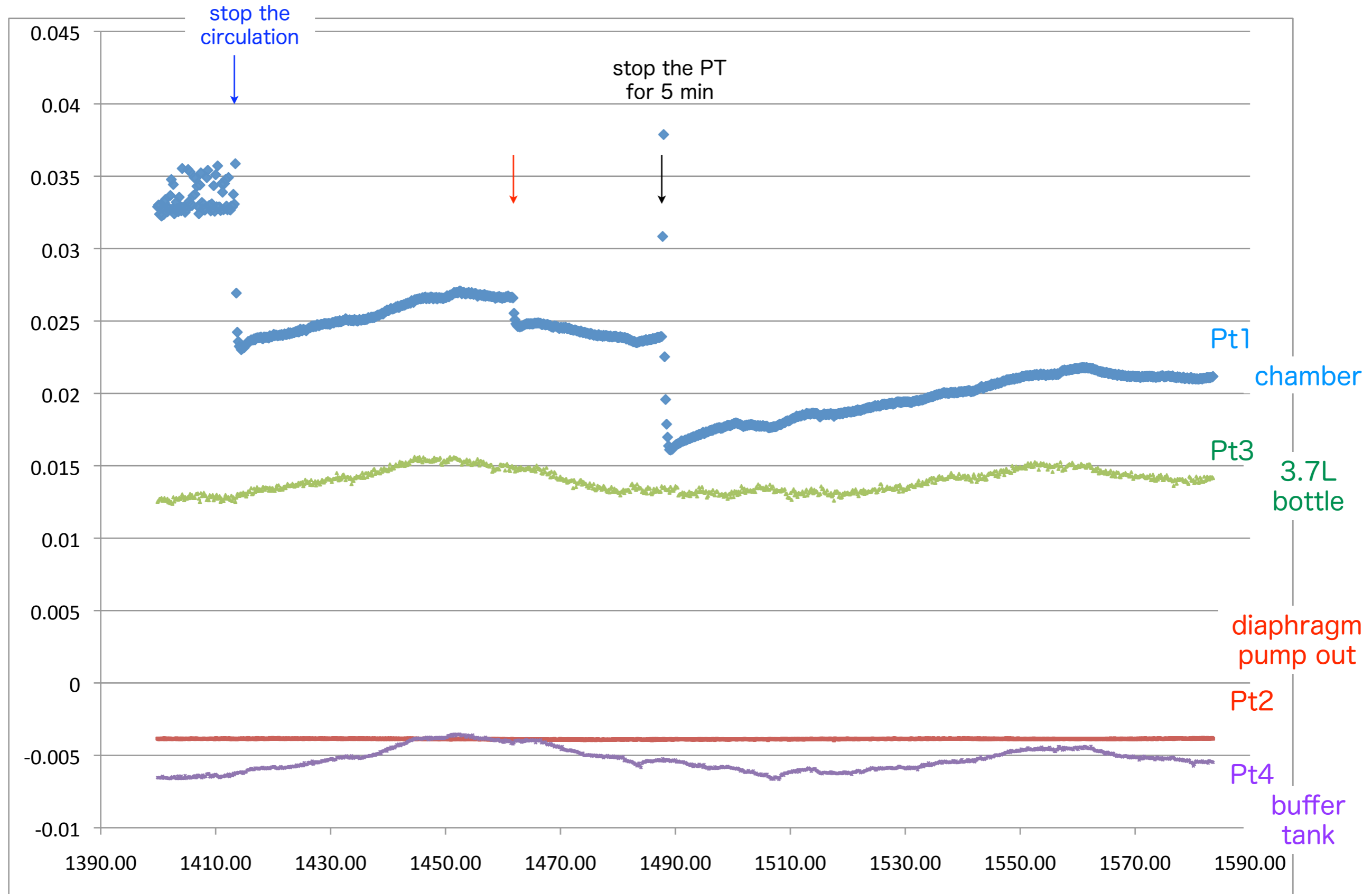
Scintillation lights in Liquid Xe, 18 Oct.-29 Nov., 2011



Temperature (K) in liquid Xe, per 10 min. 17 Nov.-25 Nov., 2011



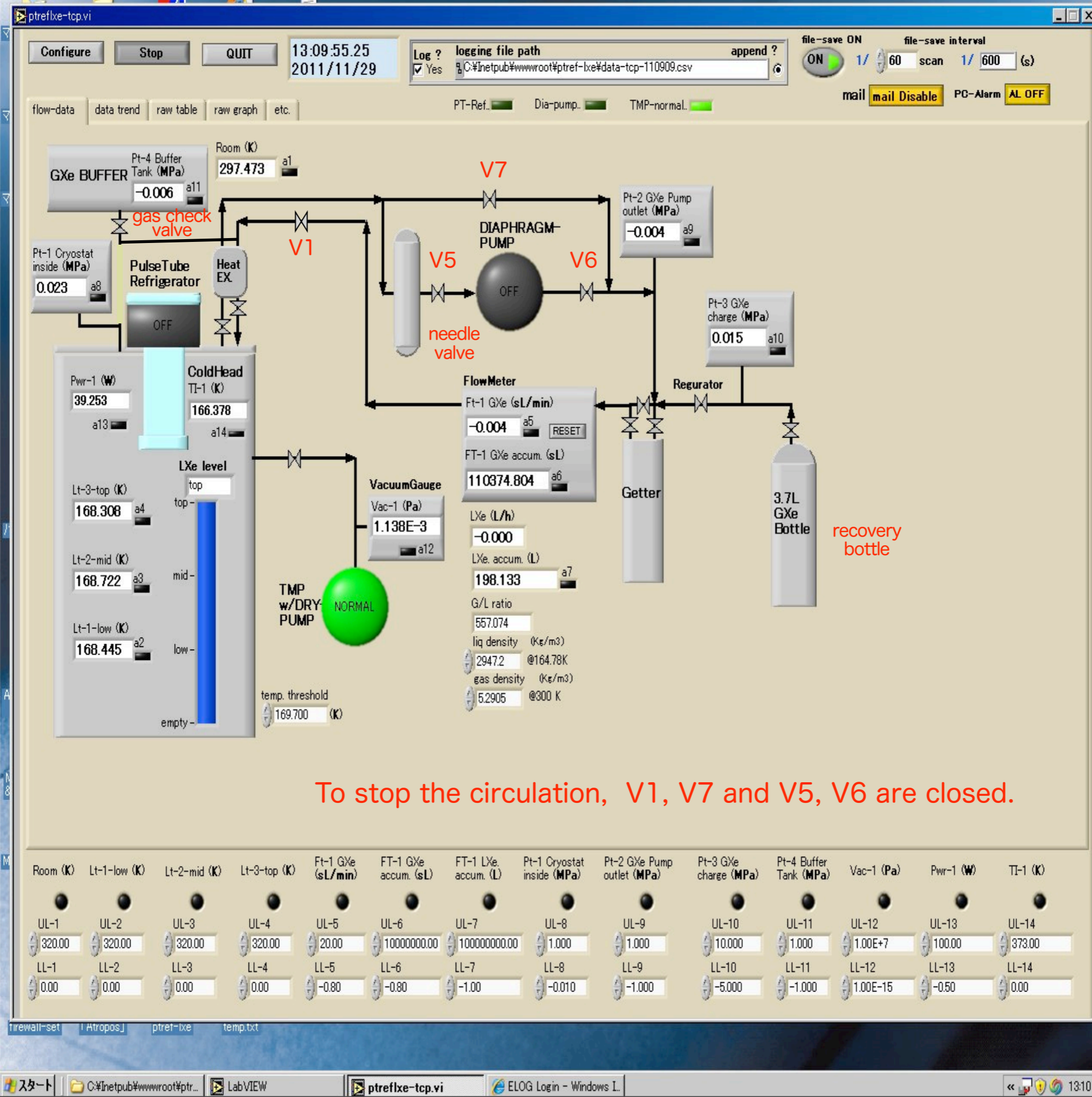
Pressure (MPa), per 10 min. 17 Nov.-25 Nov., 2011



11/18
11:00
1413

11/20
10:11
1462

11/21
12:25
1489



To stop the circulation, V1, V7 and V5, V6 are closed.

Second version : FEXE09



Designed by Open-IT ;
Yuta Takagi (Yokohama N. univ.) ,
Takatoshi Higashi (Saga univ.),
Takahiro Fusayasu(NIAS) , Hirokazu
Ikeda(JAXA) , Manobu Tanaka(IPNS)

Open-It (Open source consortium for detector
instrumentation) collaboration

together with the neutron group

Schedule

1. Circuit design was completed
2. Simulation was completed
3. Layout design was passed to
the company on 24 November
4. Tape out was(?) submitted by
end of January 2011
5. Delivery in Summer 2011
6. Test in Autumn 2011

Parameters	TPCFE09(TPCFE1x)
dynamic range	-75fC~+25fC -500fC ~ -5fC
gain	2V/pC 10V/pC
gain tolerance	~1%
ENC	400+25/pF@0.5us
cross talk	~1%
peaking time	0.5, 1 and 2 us
power dissipation	<10mW/ch
Temperature range	-110 ~ + 25°C
# of channels	16ch
ADC	none (10bit/10MHz)

UMC 0.25um process

発表：高木雄太（横国大）

宇宙科学シンポジウム ポスター発表
2012年1月5～6日、宇宙科学研究所

研究会「放射線検出器とその利用」
講演『液体キセノンTPCのための低温動作フロントエンド集積回路の開発』
2012年2月1～3日, KEK

春期物理学会；講演『液体キセノンTPC用フロントエンド集積回路開発』
2012年3月24～27日、関西学院大学

液体キセノンTPCに向けたASICの開発

○高木雄太（横国大） 田内利明，春山富義，田中秀治，三原智，笠見勝祐，真木品弘，鈴木祥仁(KEK)，千葉 哲平(東大)，中村正吾，名越健誠(横国大)，熊田雅之(放医研)，田中真伸(KEK，Open-it)，池田博一(宇宙研，Open-it)，房安 貴弘(長崎総合科学大，Open-it)

研究概要

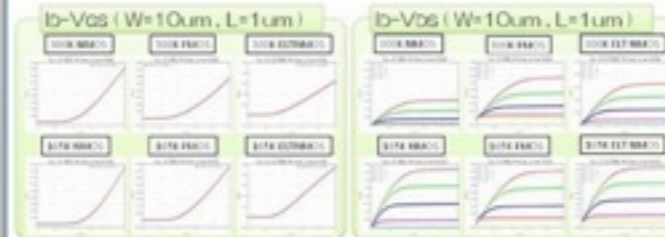
我々高エネルギー加速器研究機構(KEK)の液体キセノンTPCグループは次世代医療に向けたPET装置の研究開発のため、液体のキセノンを検出媒体とした3次元放射線検出器(LXe-TPC)を開発中である。LXe-TPCの開発において、低温(165K)で動作するフロントエンド回路が必要となり、オープンソースコンソーシアム(Open-it)のプロジェクトの一つとしてASIC(特定用途向け集積回路)の開発を進めてきた。
今回我々は低温動作するASICの作成のため、ASICの構成要素であるMOSFETの低温での動作を評価し、実際にASICを製作し評価した。

MOSFETの低温動作

ASICの構成要素であるMOSFETの低温動作(165K)について評価した。MOSFETはNMOSとPMOS、放射線耐性を高めたELT NMOSの評価をした。

ドレイン電流IDはゲートソース間電圧Vgsとドレインソース間電圧Vdsを用いて

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$



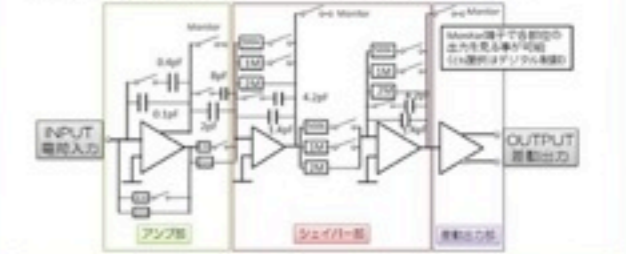
VTH[V]	NMOS	PMOS	ELT NMOS
300K	0.5279 ± 0.000716	0.4843 ± 0.0025	0.42981 ± 0.000716
165K	0.8006 ± 0.00362	0.5986 ± 0.00512	0.52813 ± 0.00145

・165KにおいてMOSFETの動作を確認
 ・低温において、Vthが増加する事を確認
 ASICの構成要素であるMOSFETは165Kにおいてドレイン電流、しきい電圧が変化したが、動作したため、ASICは165Kの温度下で動作する

ASICの設計

仕様	目標値
検出器からの入力信号	5nC
入力信号動作	-25°C~25°C
電荷電圧変換係数	10 V/cI 2 V/cI
ノイズ	ENC = 400e + 25e/cI
シェイピング時間	1 us, 0.5 us, variable
チャンネル数	16チャンネル/chip
電源電圧	±1.25V
消費電力	10mW/ch以下
動作温度範囲	-105°C(165K)~25°C

製造プロセス：UMC社 0.25umプロセス
チップサイズ：4mm x 4mm



アンプ部 入力電圧を電圧に変換する電荷増幅器とボルトゼロキャンセル回路からなるフィードバックキャパシタを定数する事でゲインを10V/cI, 2V/cIで選択可能
シェイパ部 入力信号を高周波で動作するために微分を形成する回路
 微分の立ち上がり時間0.5us, 0.7us, 1.0us, 2.5usで選択可能
駆動出力部 シェイパ部の出力を正負の駆動出力とする回路
 負荷に強いツイストペアケーブルを用いて後段の回路へ信号を送る事が目的

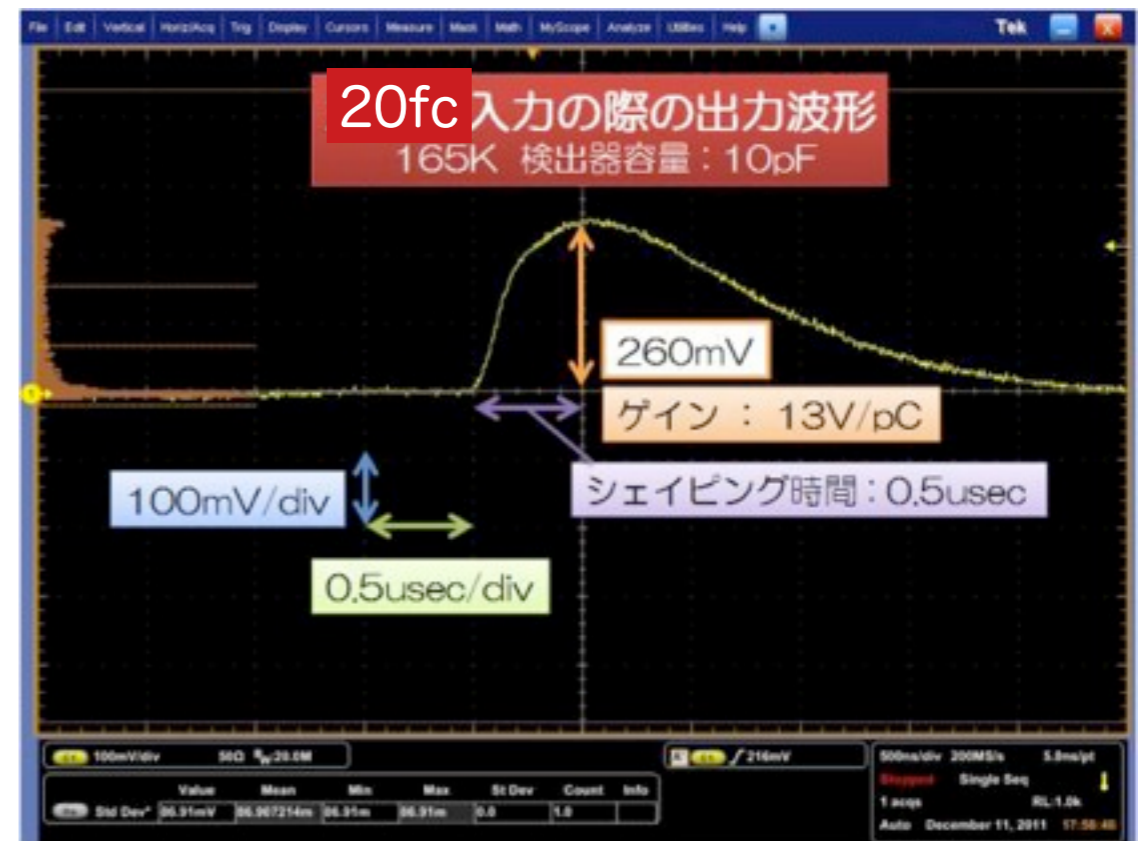
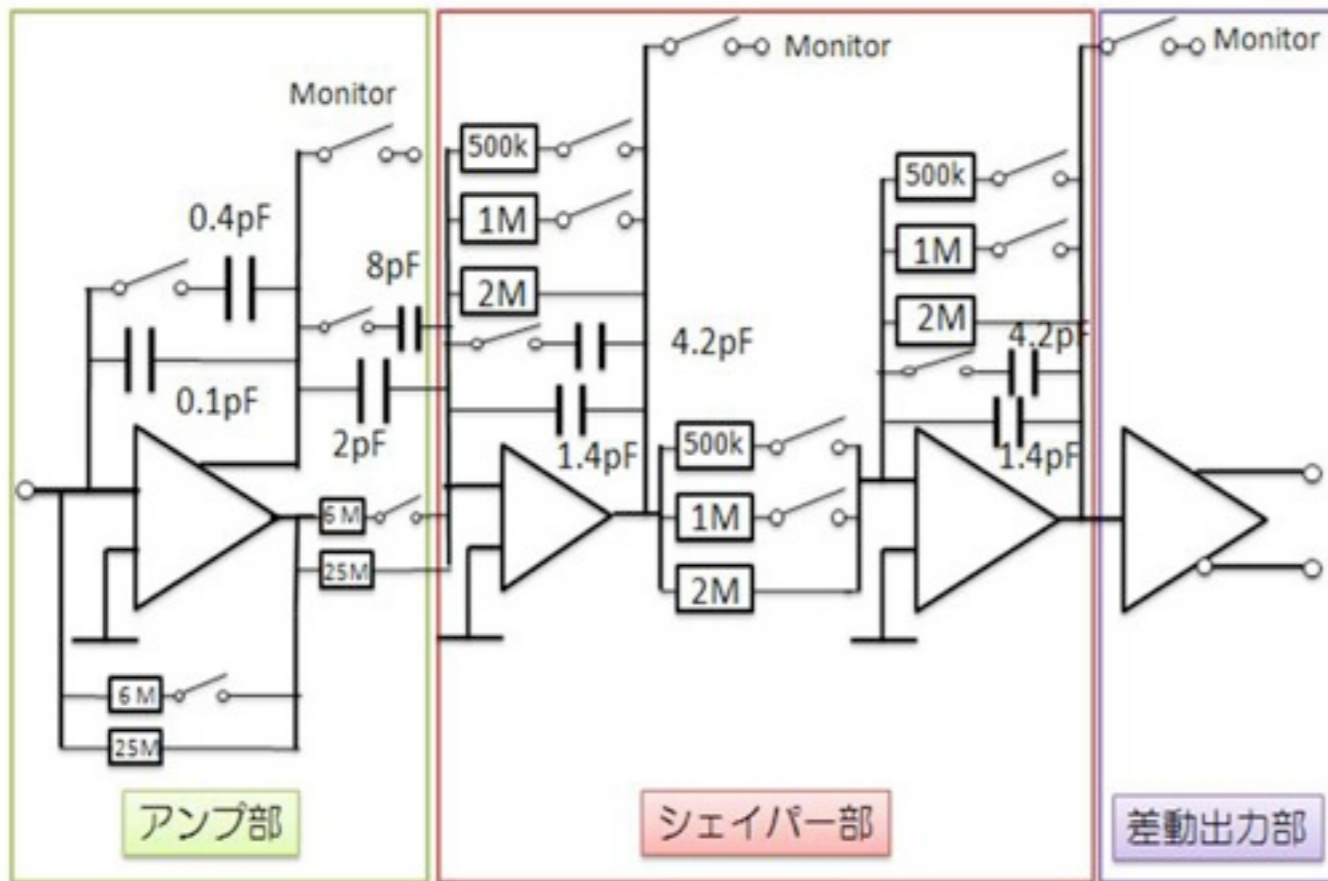
ASICの評価



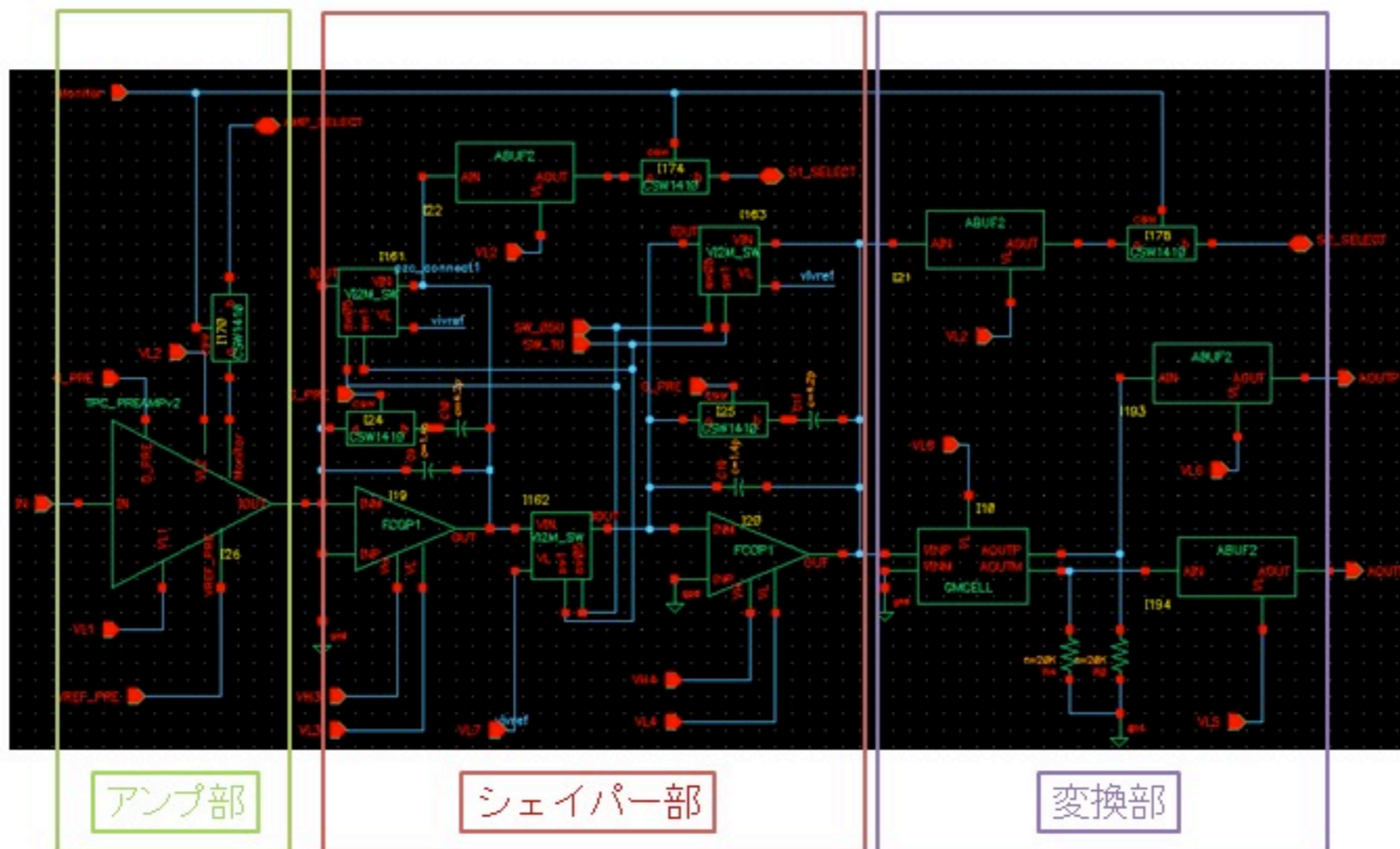
・165KにおいてASICの動作を確認した
 ・5fC入力の際に165KにおけるS/Nは25dBであり、LXe-TPCにおいて十分に信号検出可能
 →低温下ではより外來雑音を低減することが可能でS/Nを30dB(300KにおけるS/N)以上にできる
 更にトランジスタパラメータの調整でS/Nを向上させることができる
 ・消費電力は165Kにおいて8.5mW/chであり、低消費電力なASICを製作できた
 ・低温におけるch毎のベースラインのばらつき(-150mV~600mV)によるダイナミックレンジの変化が問題に
 低温(165K)でのASICの動作を確認し、LXe-TPCで運用できるASICを製作
 雑音とベースラインのばらつきの問題は今後の改善点

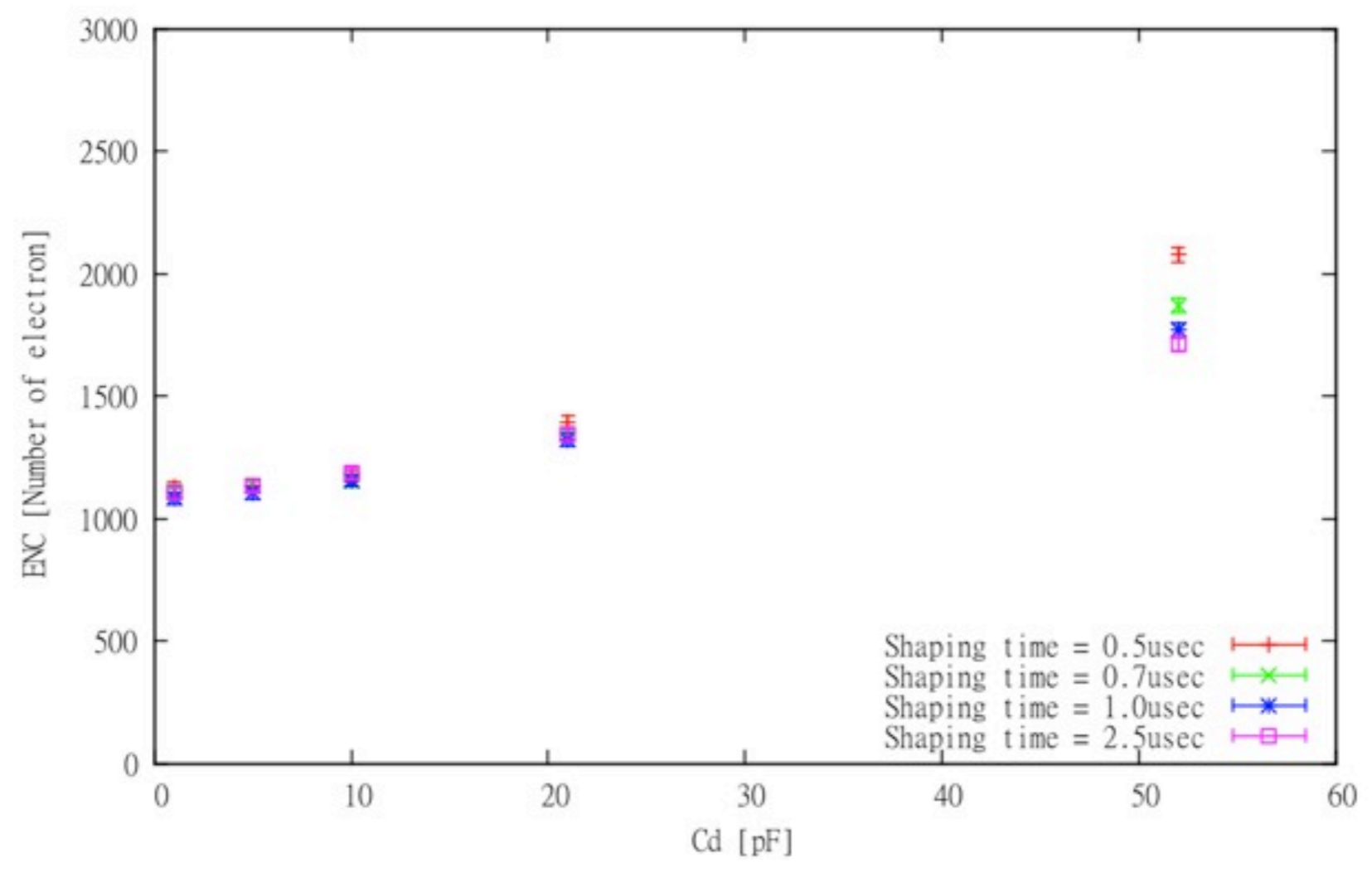
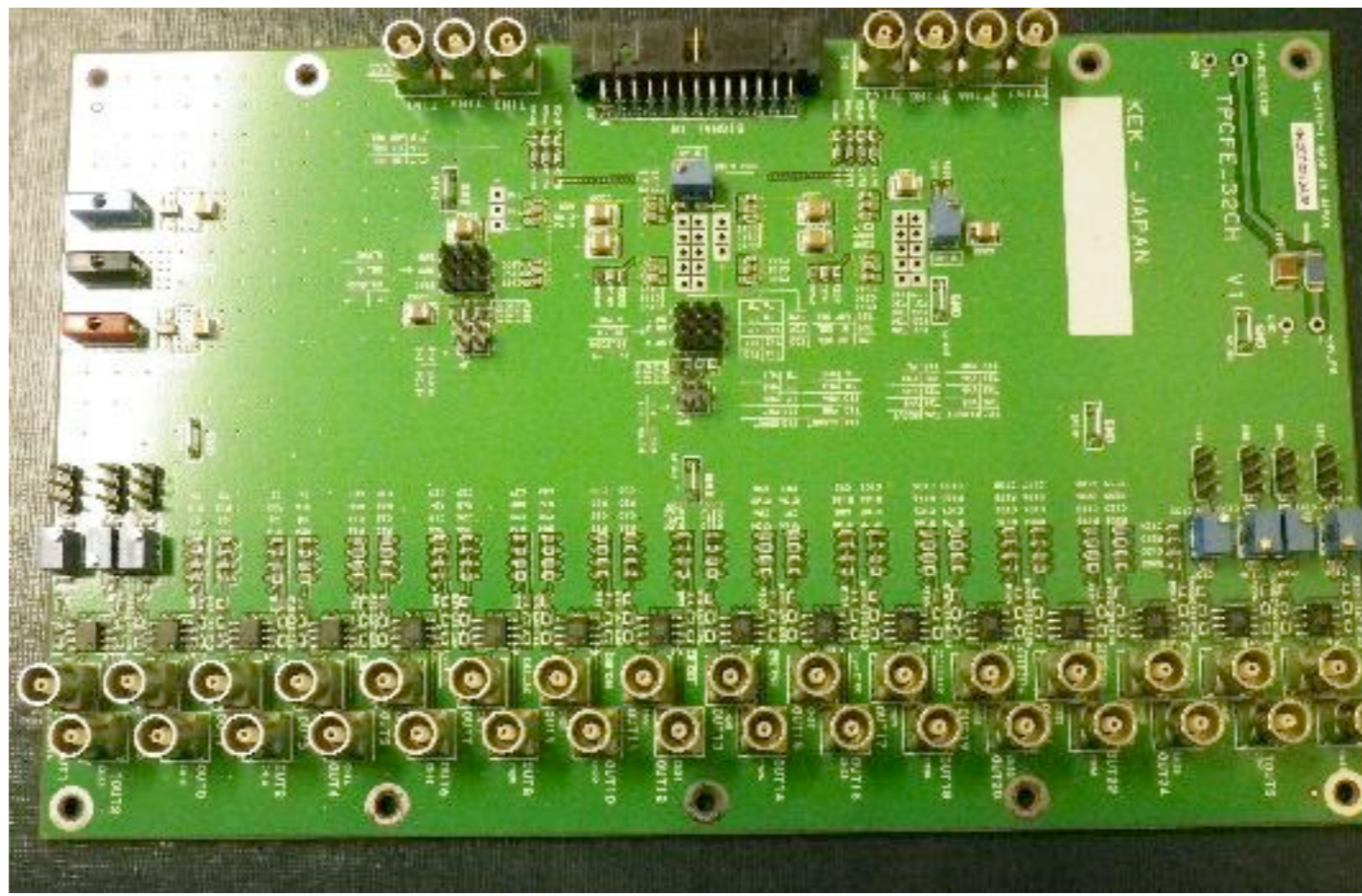
まとめ・展望

- ・低温におけるMOSFETの動作を評価し、低温動作するASICの設計を行った
- ・製作したASICは低消費電力(8.5mW/ch)であり、雑音レベルもLXe-TPCで運用できるレベルであった
- ・ASICを開発中のLXe-TPCのフロントエンド回路で運用する
- ・ベースラインのばらつきを解決し、より低雑音なASICにするべく回路パラメータの調整、構成の改善を行う(より消費電力も下げられたら！)



TPC-FE09
1 ch





まとめ

1. 第2実験：5cmドリフト, 1mmギャップ, メッシュ・グリッド, 16ch PADs
2. セラミックエンドプレートの強化試験：水圧で35気圧まで
3. シンチレーションシグナル (Xeガスと液体) によるPSD解析：電場依存性
4. 圧縮機吐出側にモレキュラーシーブ吸着筒増設で1.5L/分の液層循環
5. Xeガス中で電荷シグナル測定と解析：不純物の影響と純化
6. 液体Xe中での電荷シグナル：2回の『シグナル出現』と純化過程の評価
7. ASICチップ(TPCFE09 by Open-IT)：低温試験
横国大・高木がこの試験結果の発表を研究会や学会で行う
9. 液体Xe用のAPDの低温試験を予定 (横国大・名越)
10. 純化過程の評価とSAES Getter Monotorr の交換
11. 16個のPADからの電荷シグナルの測定：基礎データ
12. ASICチップ+エンドプレートによるシグナルの読み出しを試みる