

液体キセノングループ報告

KEKDTP重点レビュー、2012年1月4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

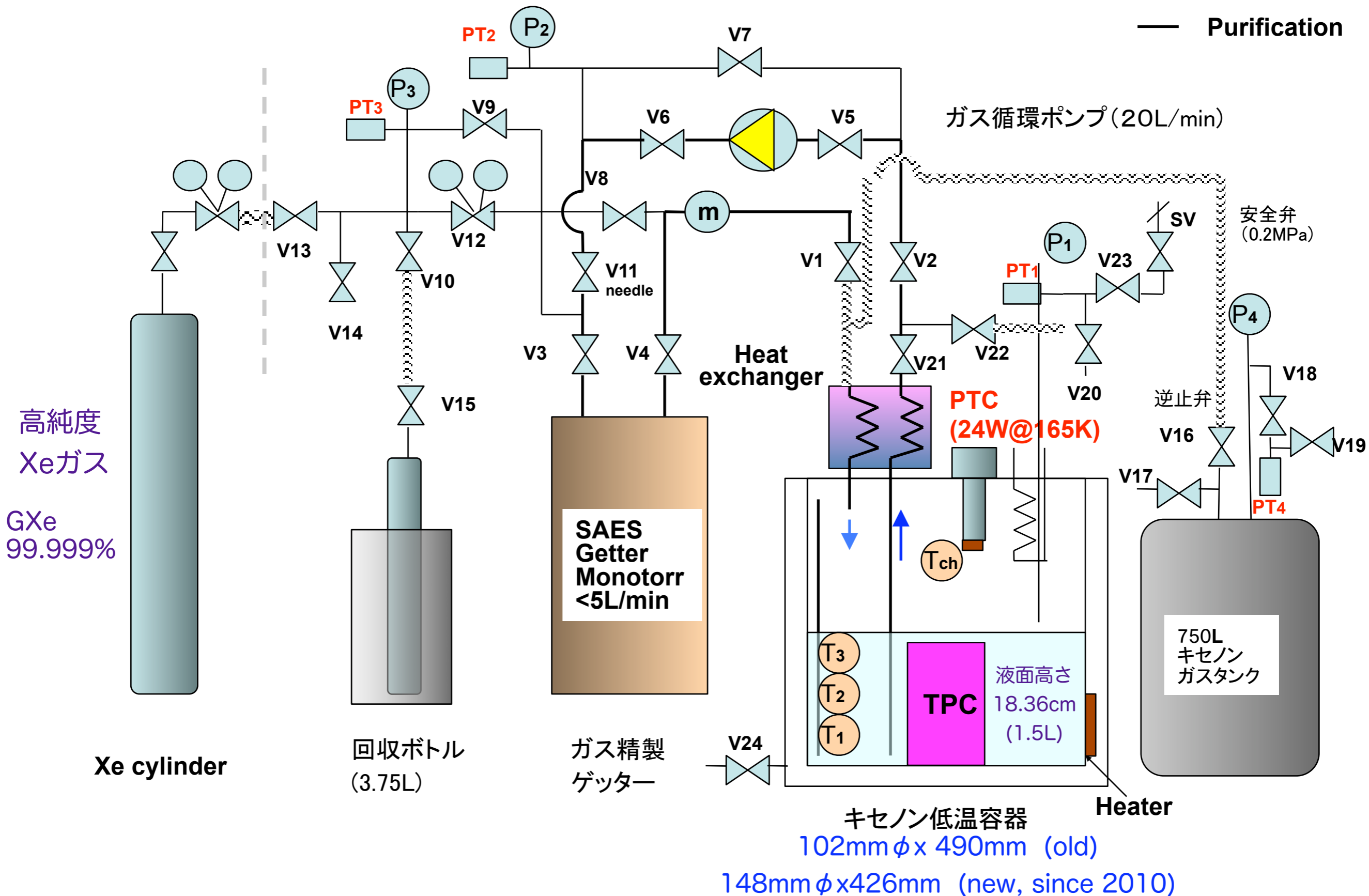
この直後より電荷シグナルが見えなくなる

12/ 6 - 7 日仏協力(TYL) 三原, 春山 Subatech訪問

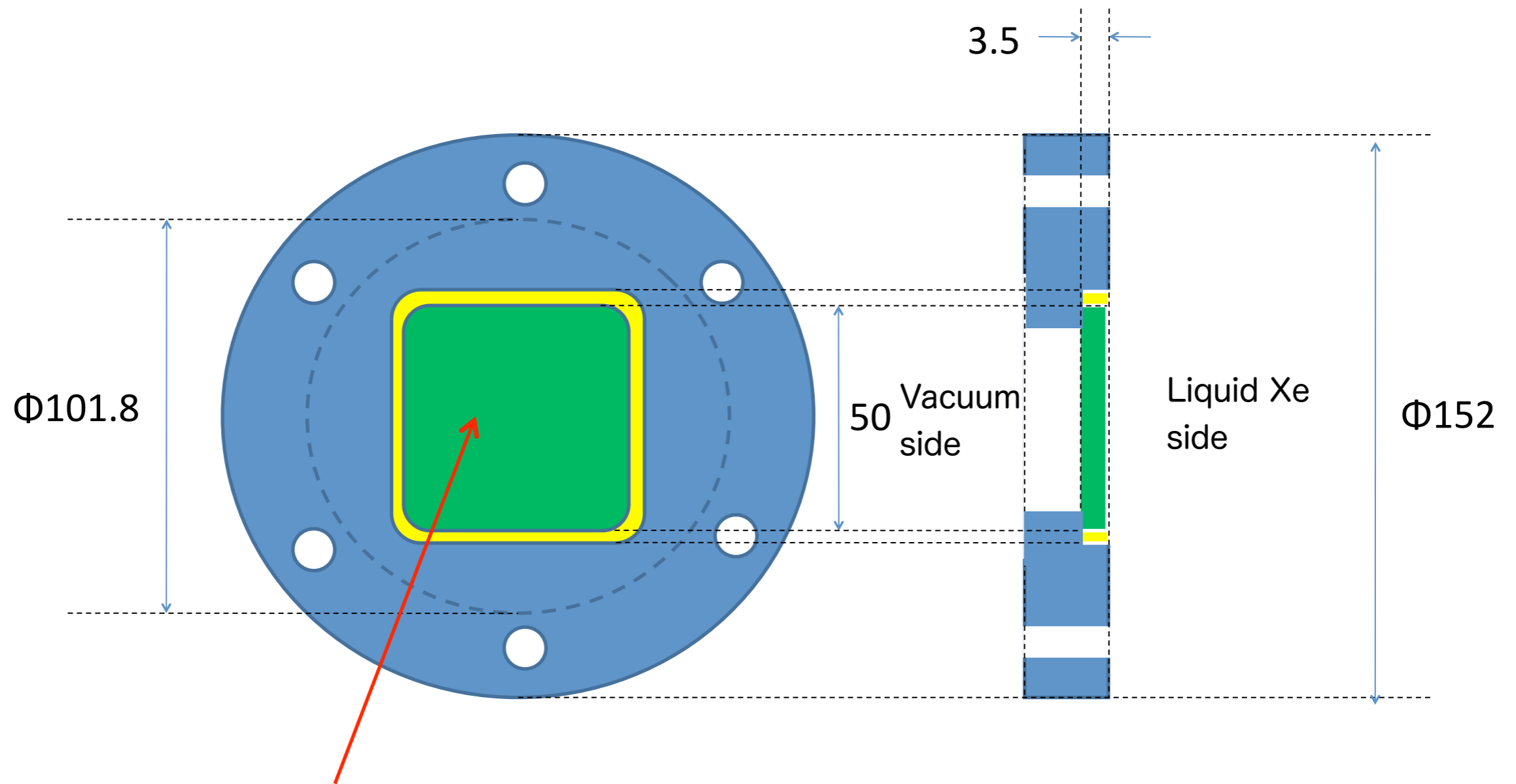
12/19-20 日仏協力(TYL) 田内 Subatech訪問

液化・純化システム

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

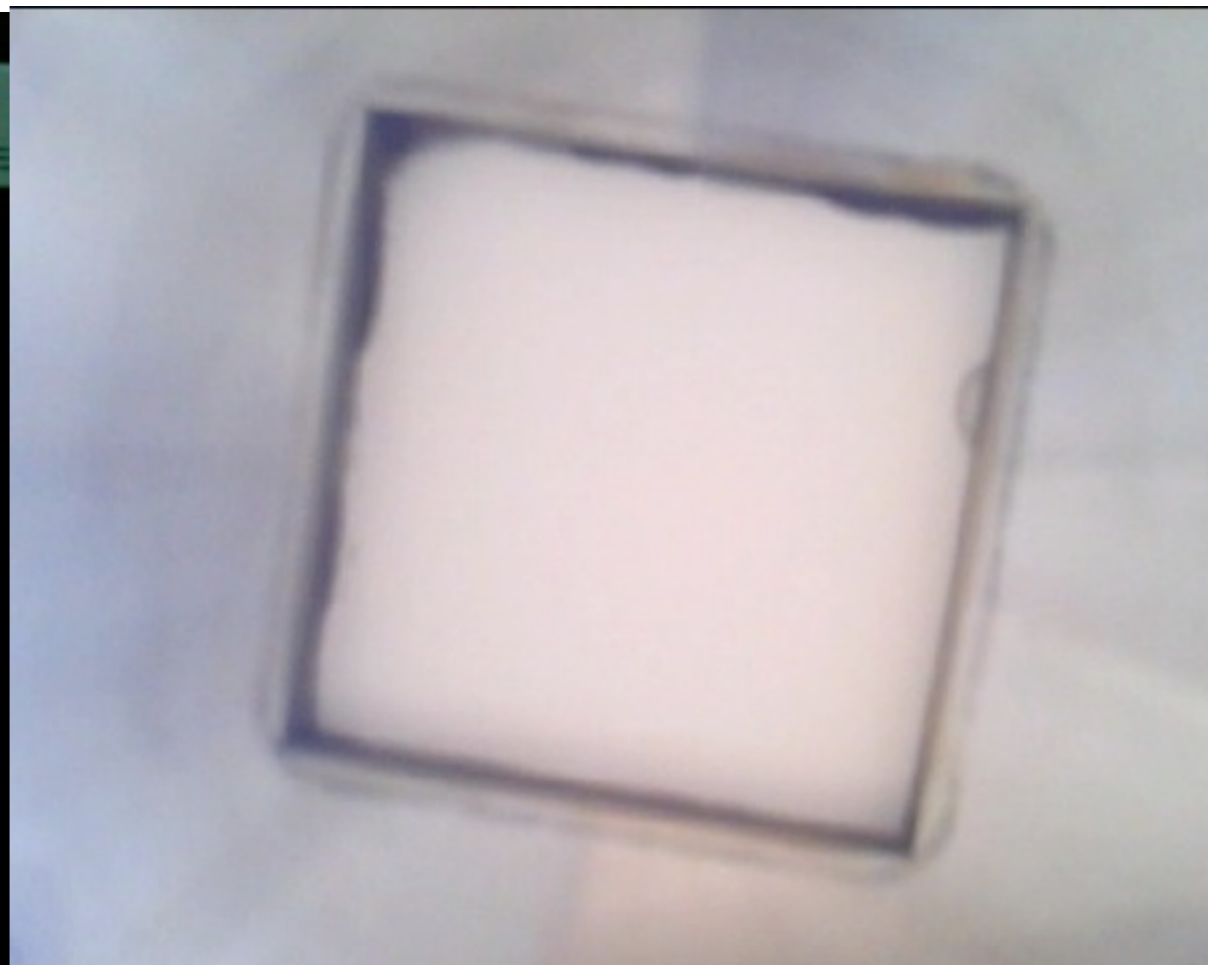
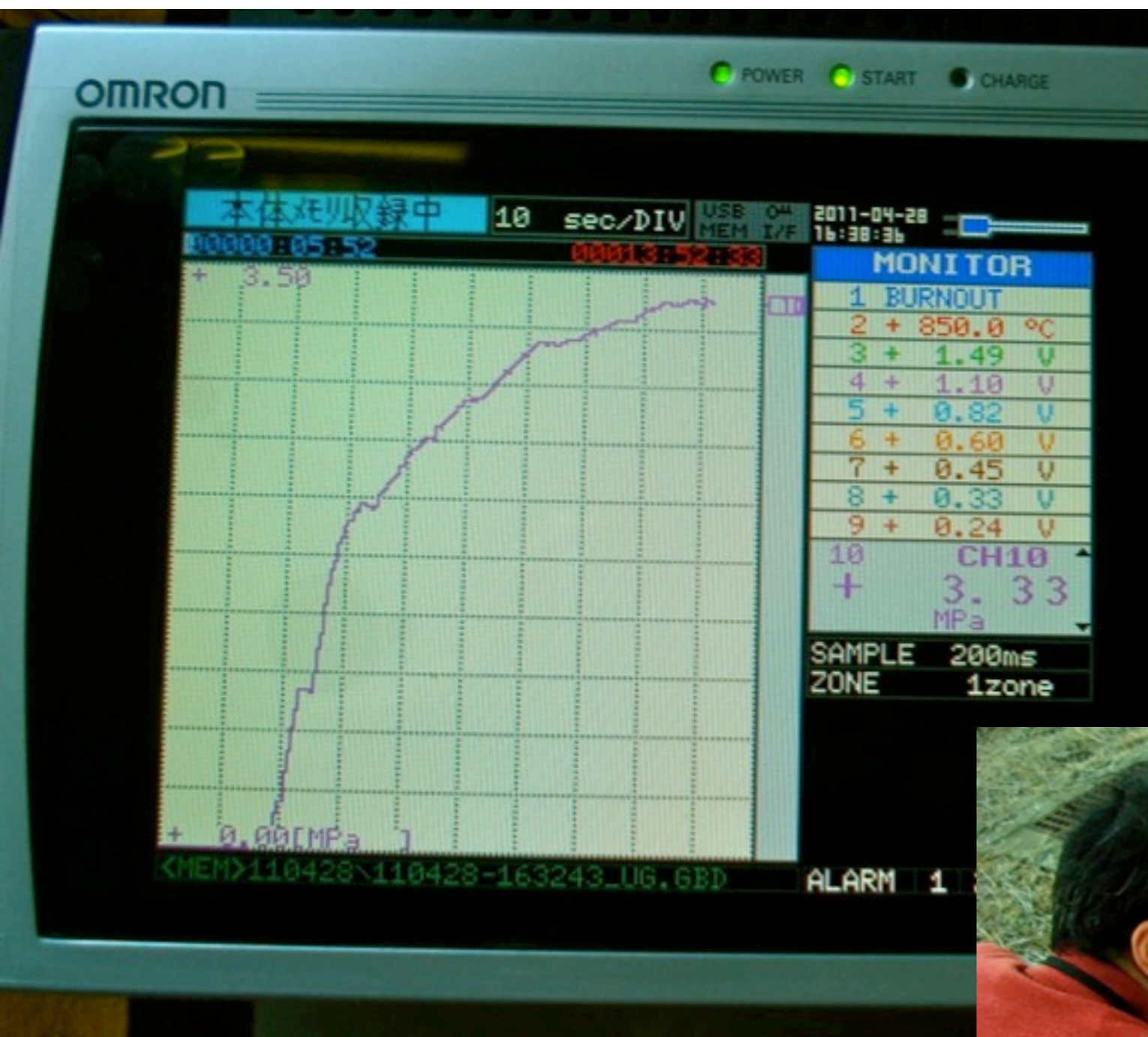


Pressure Capacity Test on the Ceramic End Plate (vacuum - liquid xenon window)



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

Lt3 (Pt100)

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

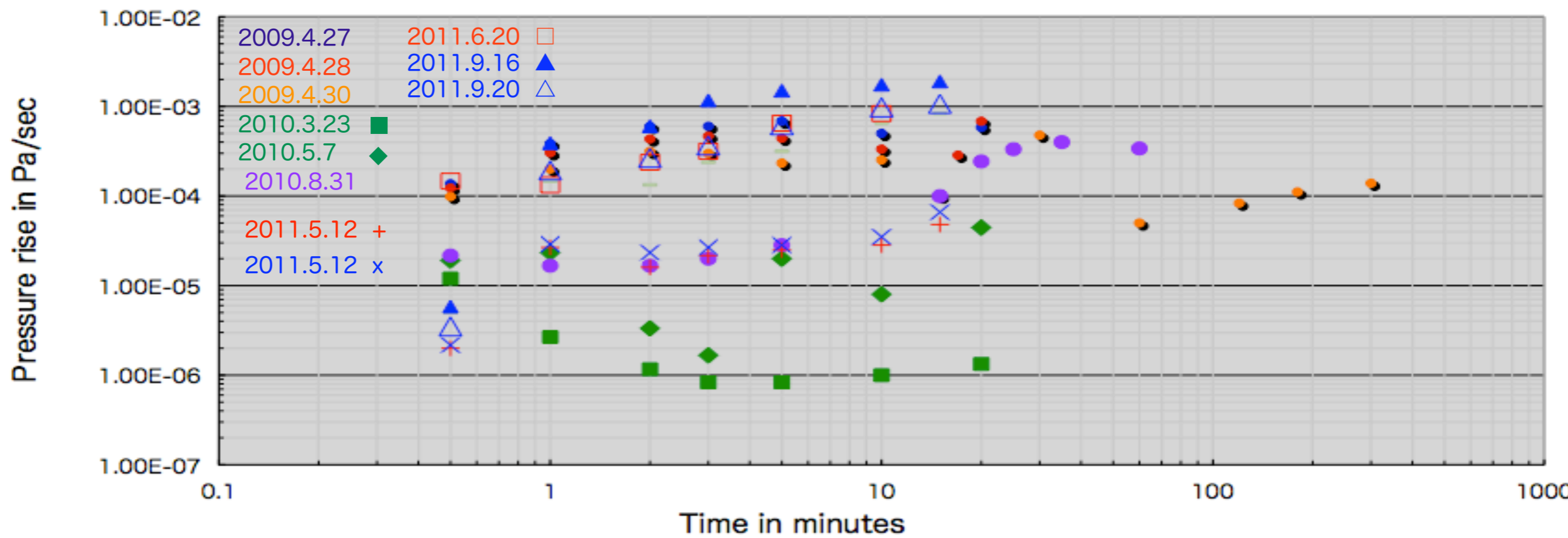
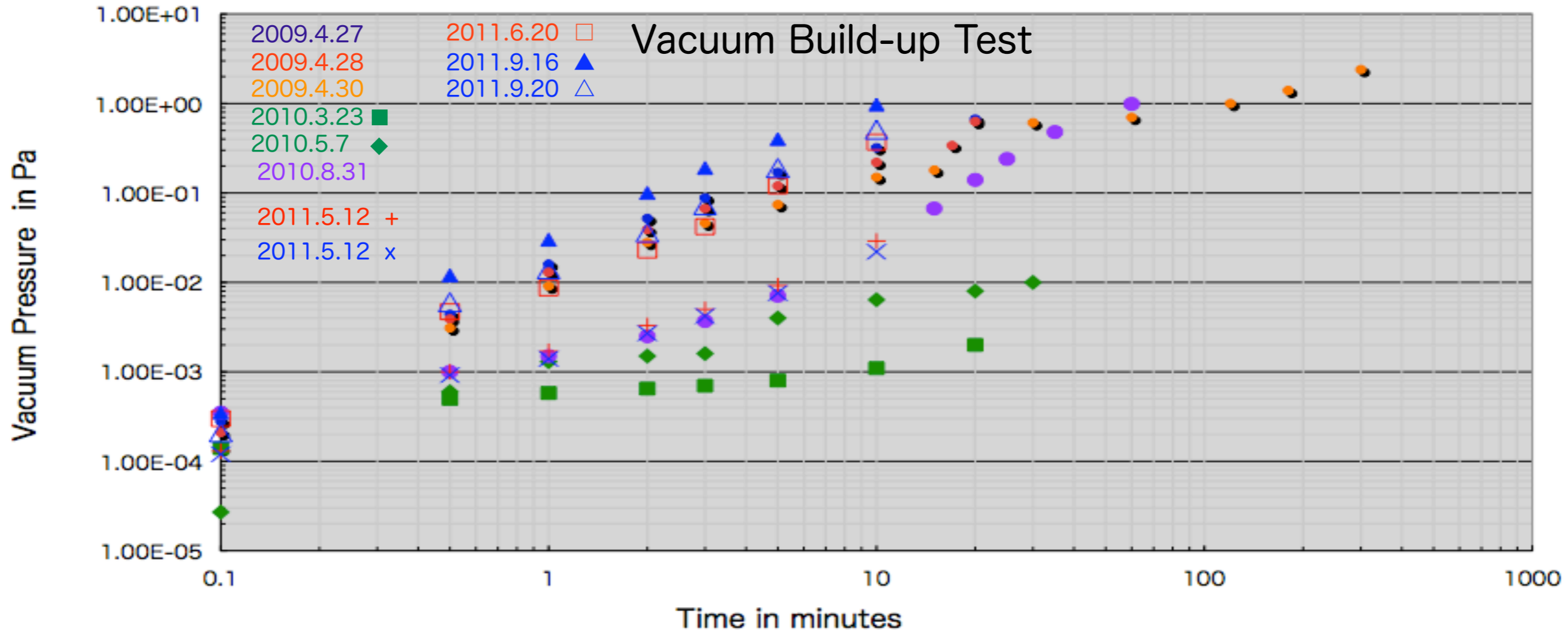
Lt2 (Pt100)

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

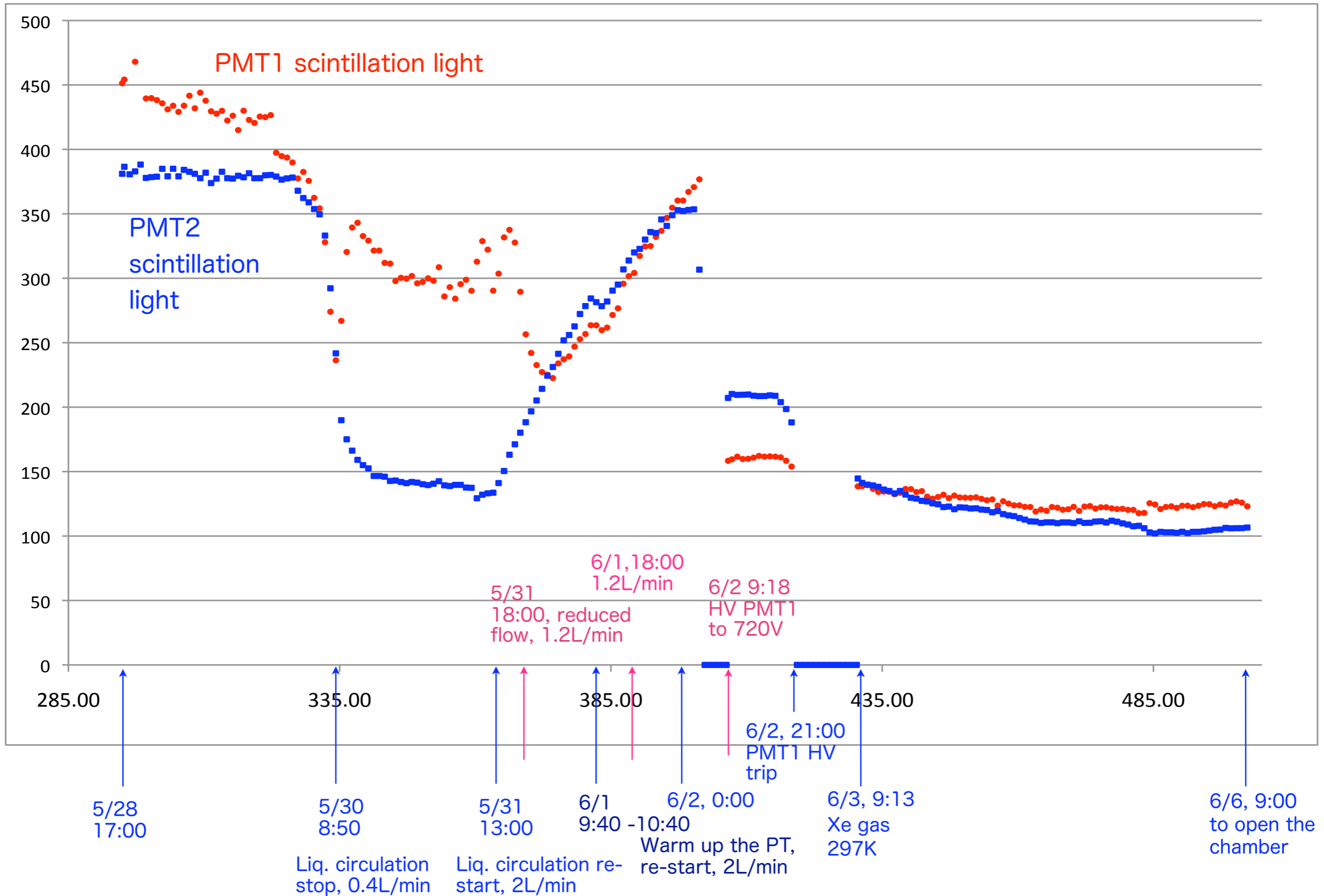
α -source: $\alpha 2$
 $^{241}\text{Am}, 200\text{Bq}$

Lt1 (Pt100)

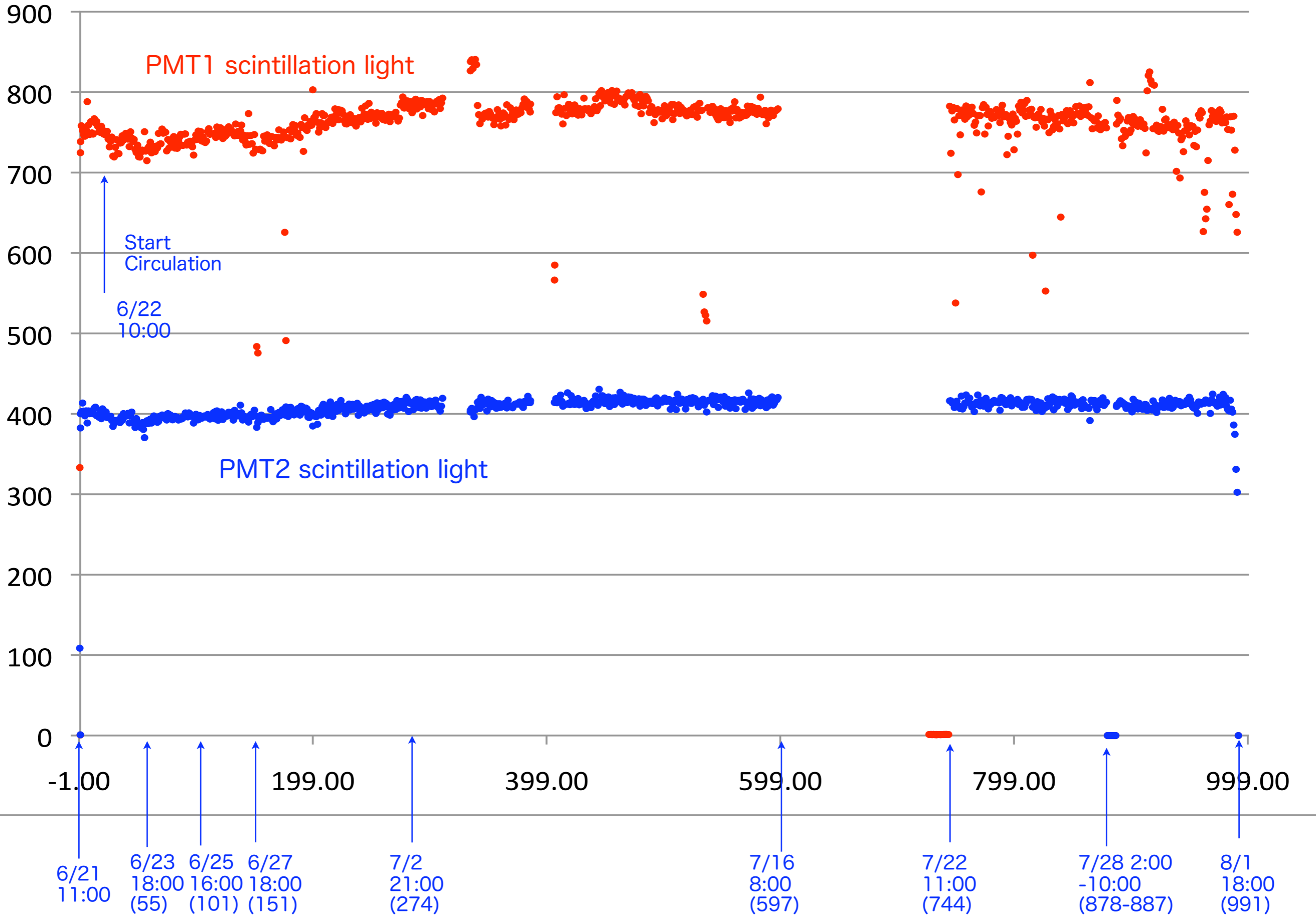
2011.4.15



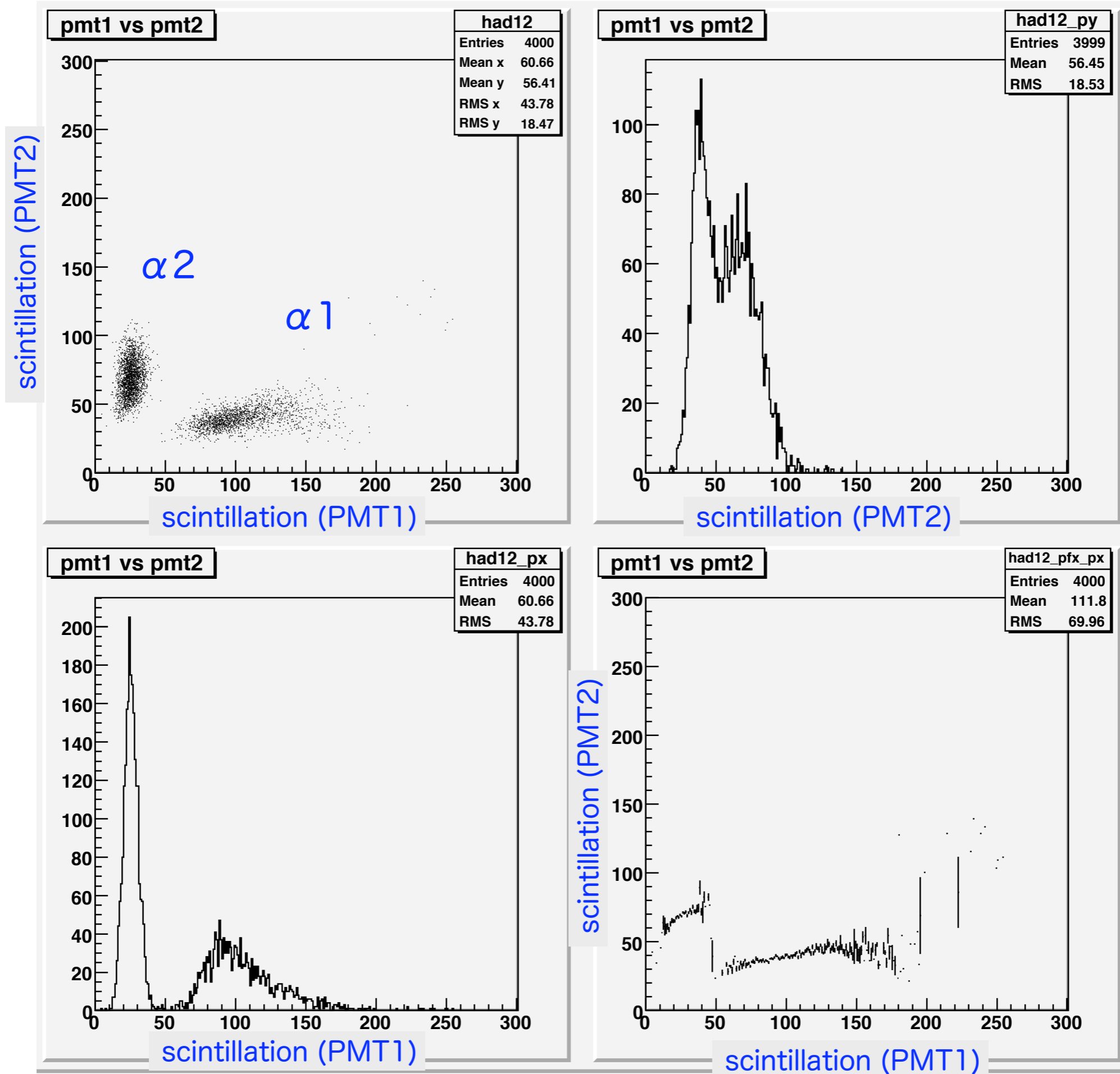
Purification of Liquid Xe, May 2011



Purification of Liquid Xe, June-July 2011



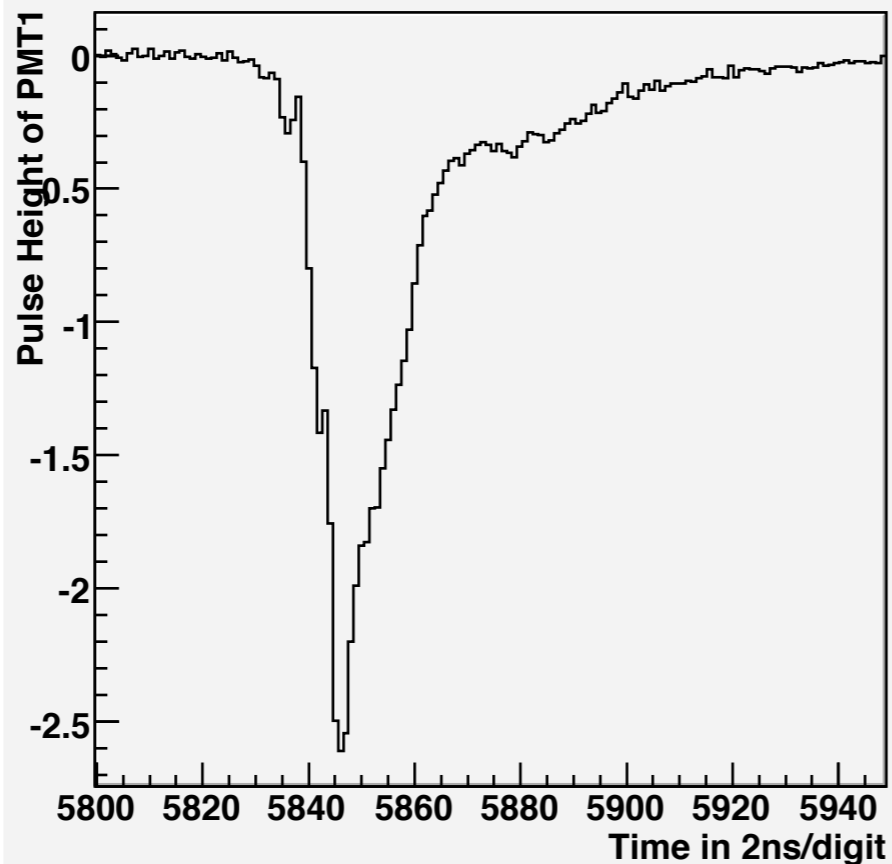
Scintillation lights in Xe Gas at 1.4atm, 4,000 events, Aug. 15, 2011



Xe Gas
1.4 atm

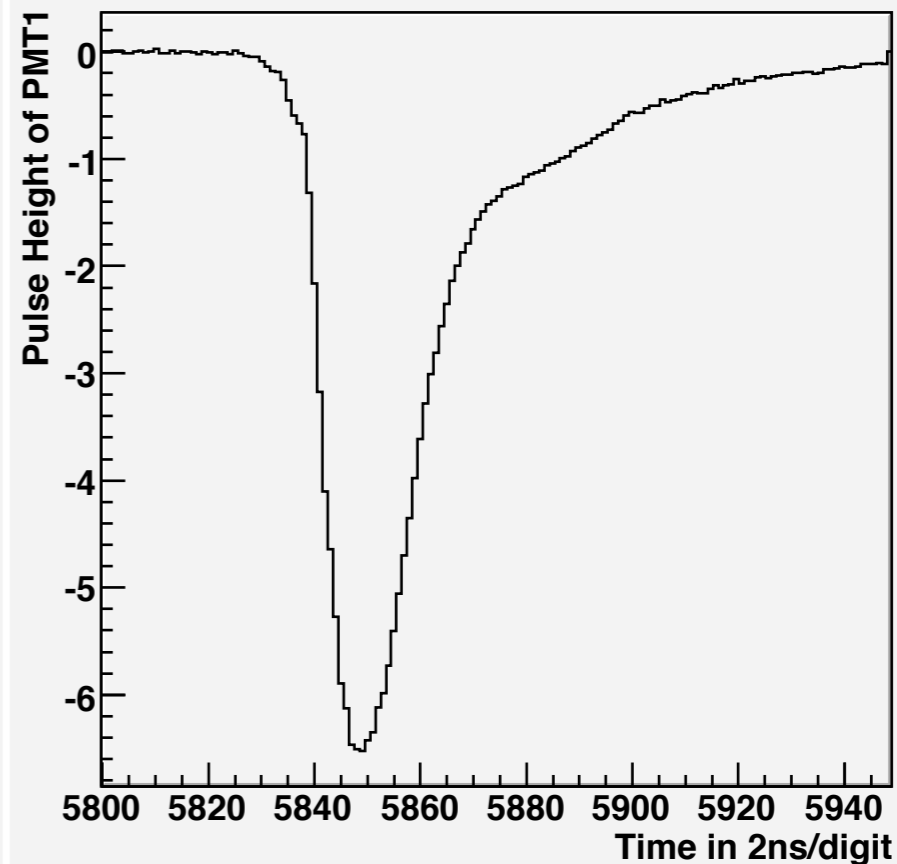
c1117-ch1-gamma

$\alpha 2$



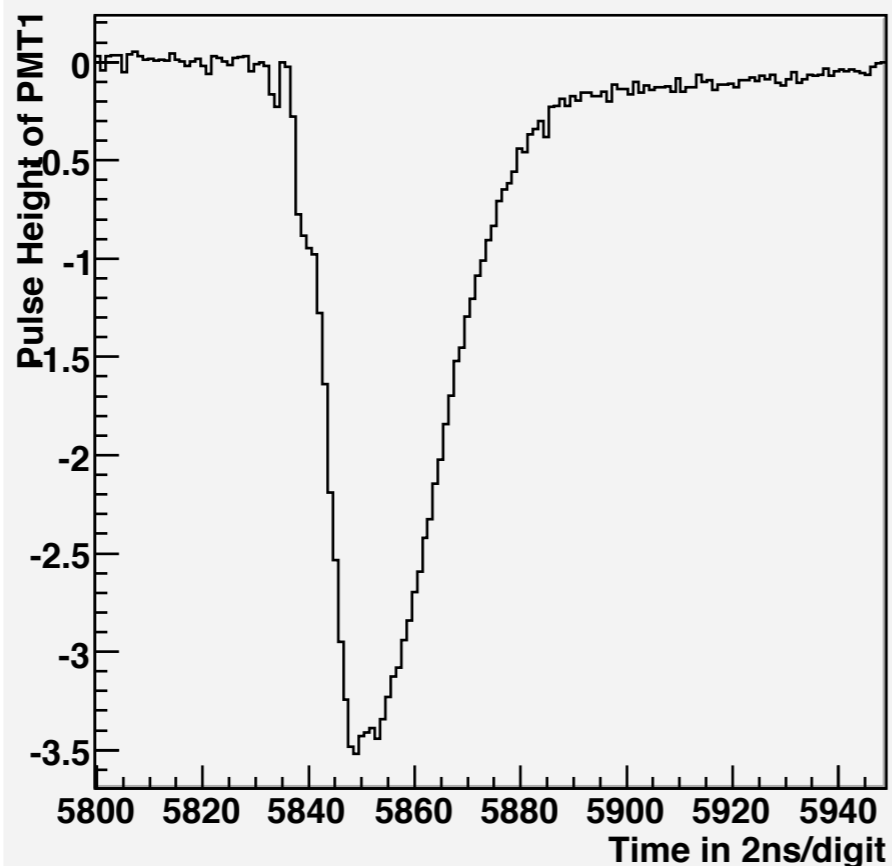
c1117-ch1-alpha

$\alpha 1$



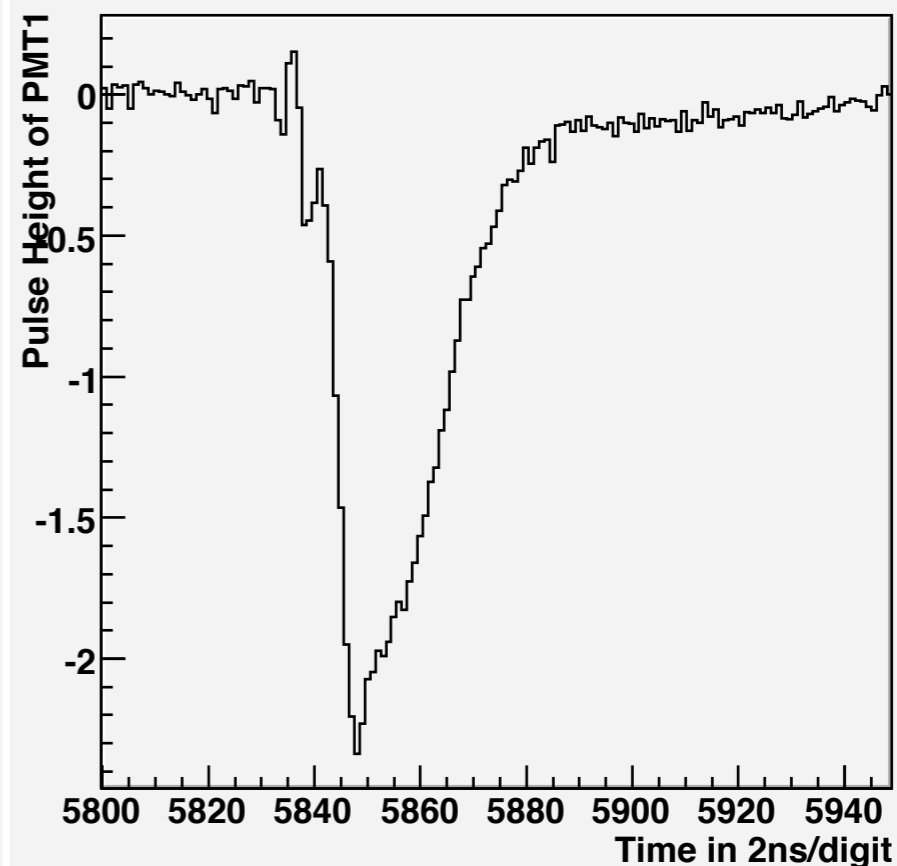
c1117-ch2-gamma

$\alpha 2$



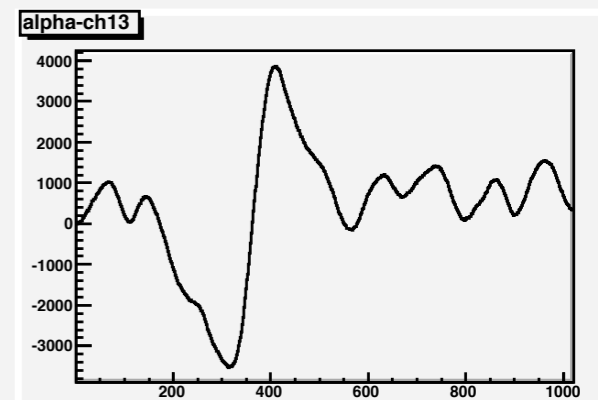
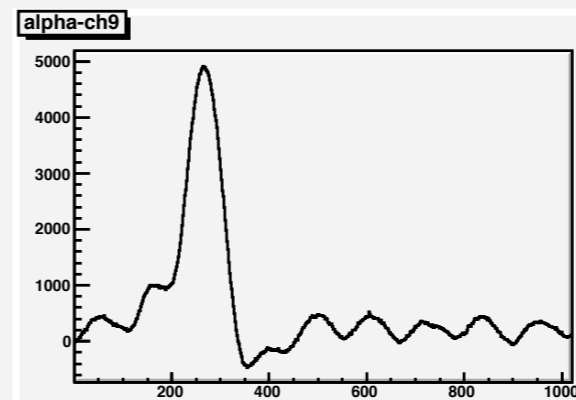
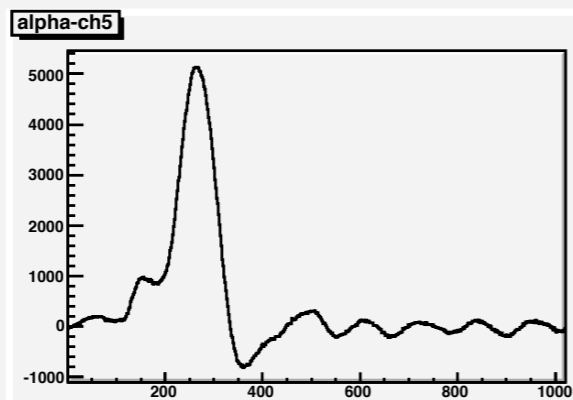
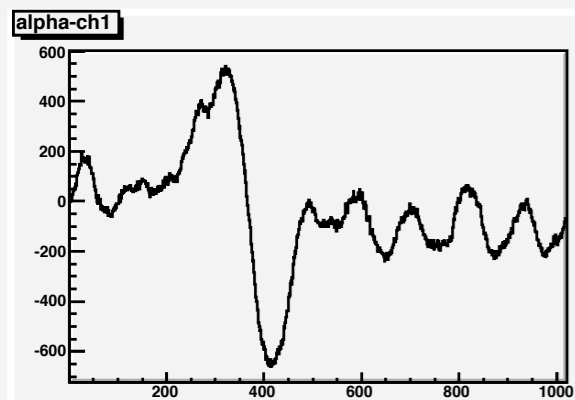
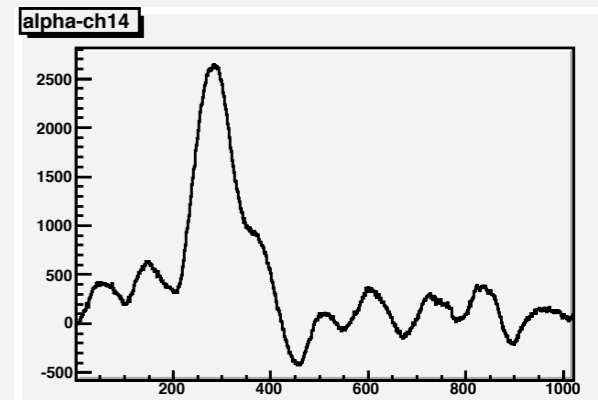
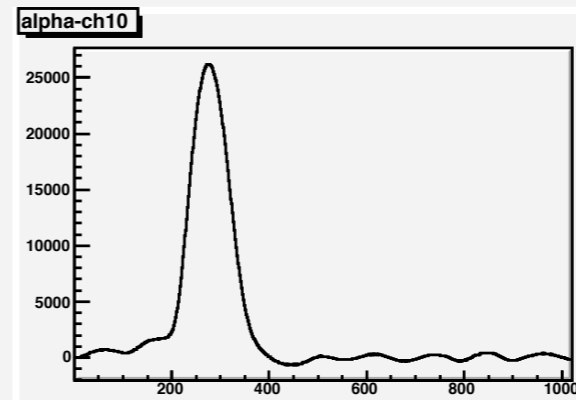
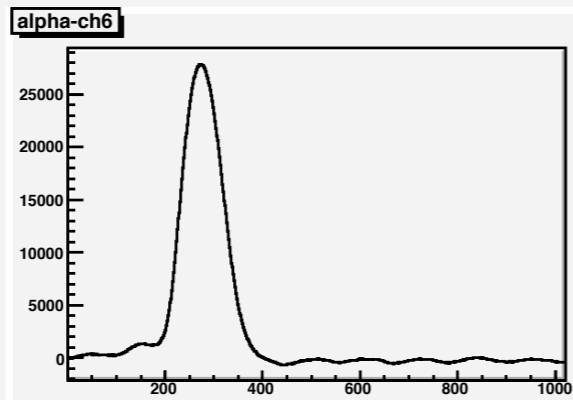
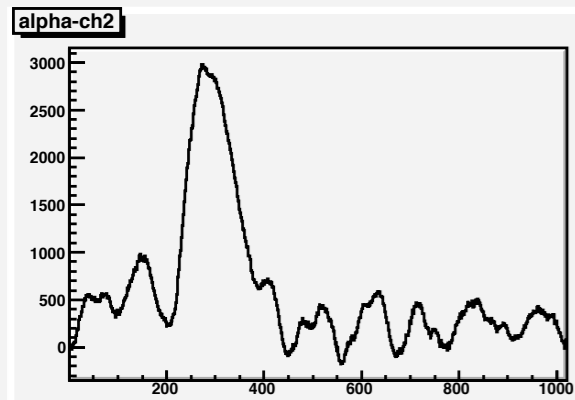
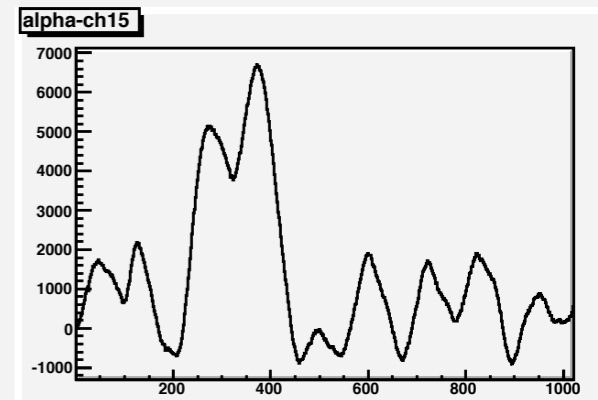
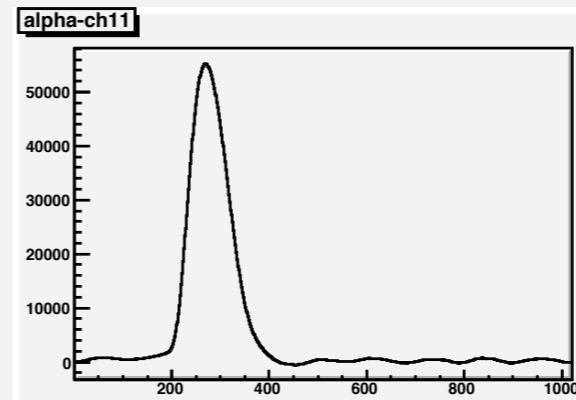
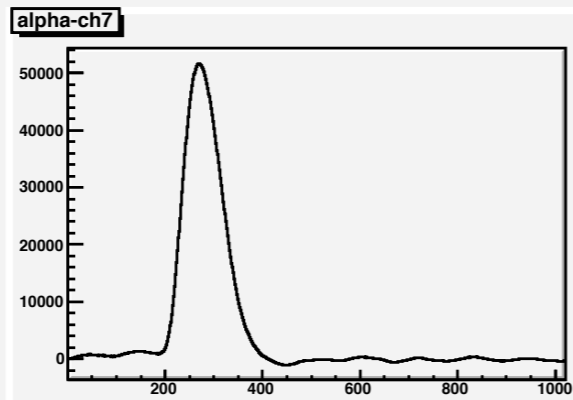
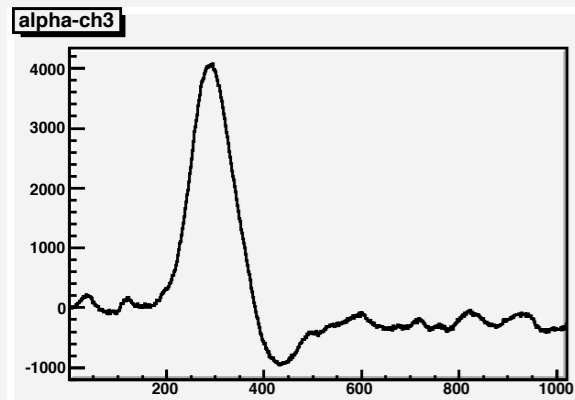
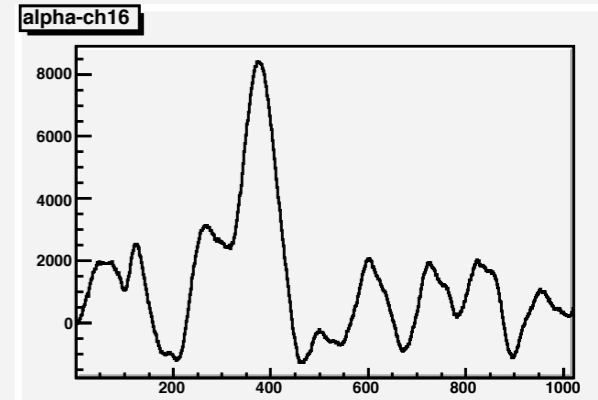
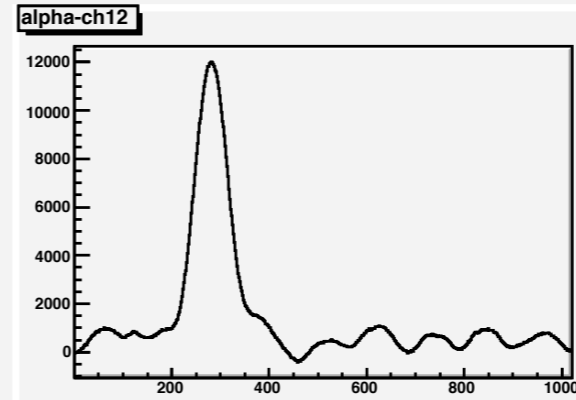
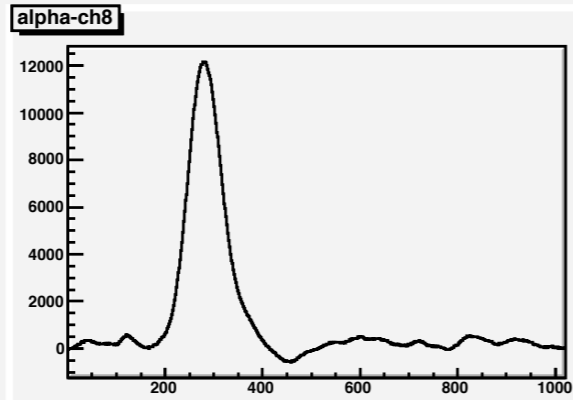
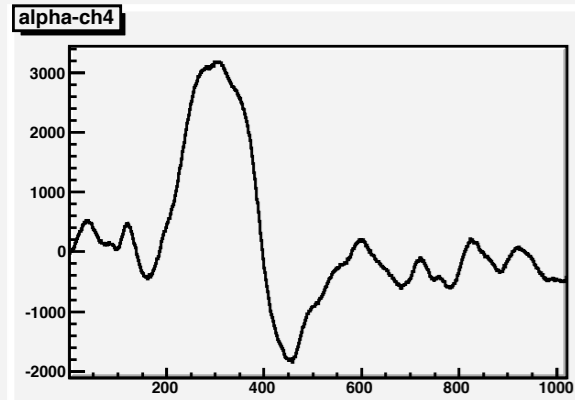
c1117-ch2-alpha

$\alpha 1$



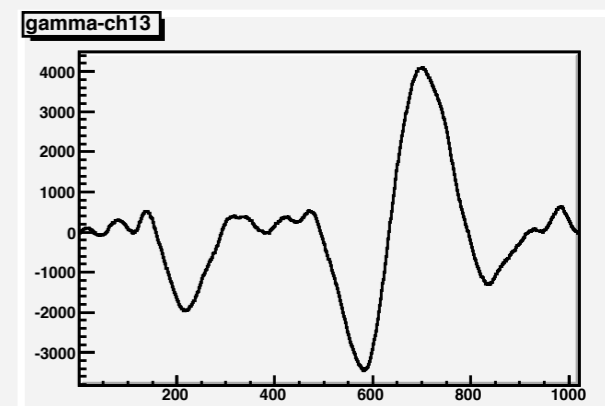
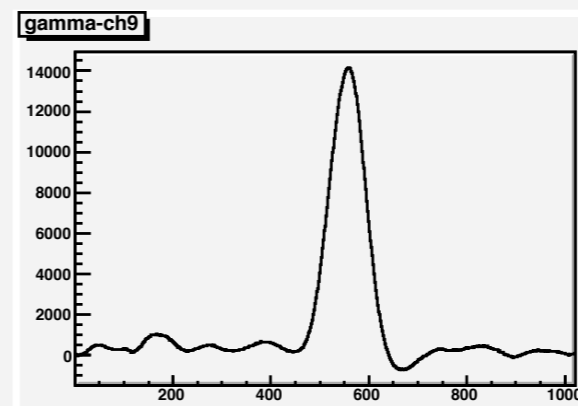
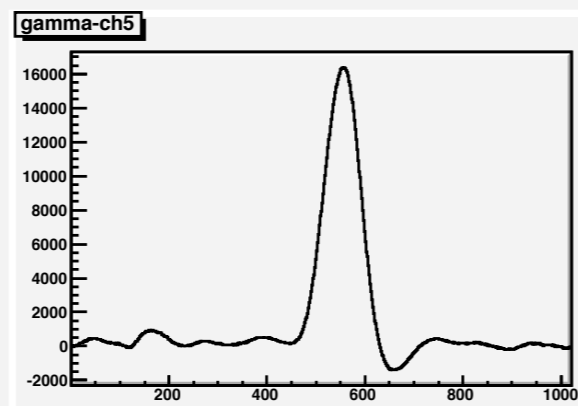
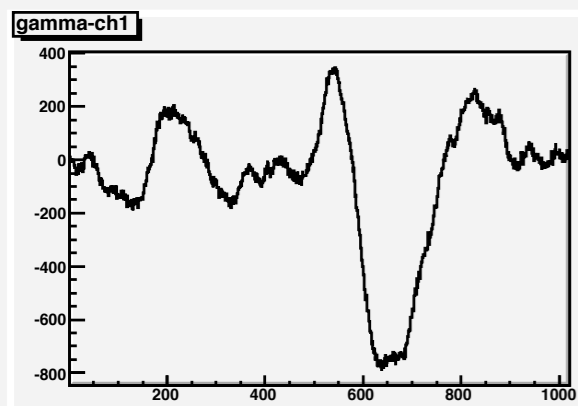
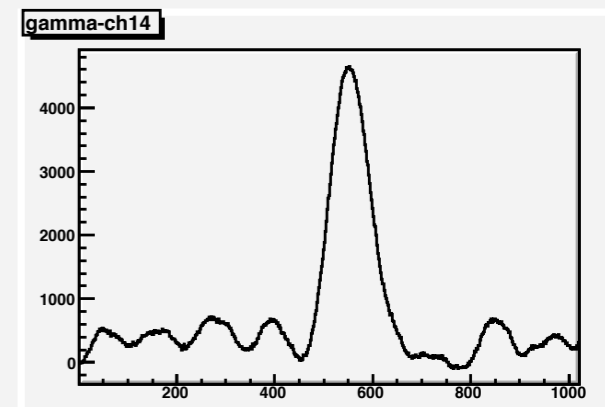
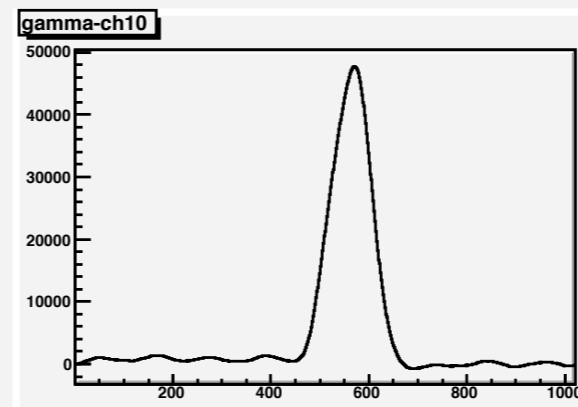
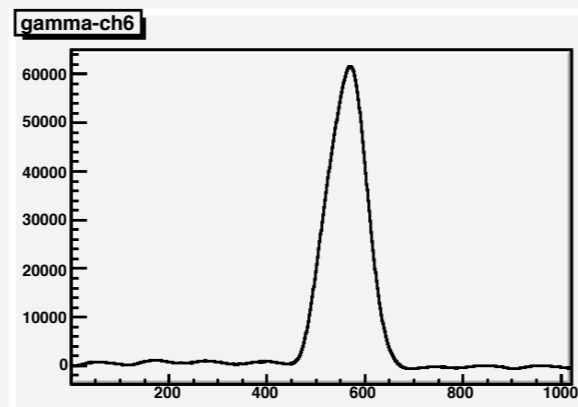
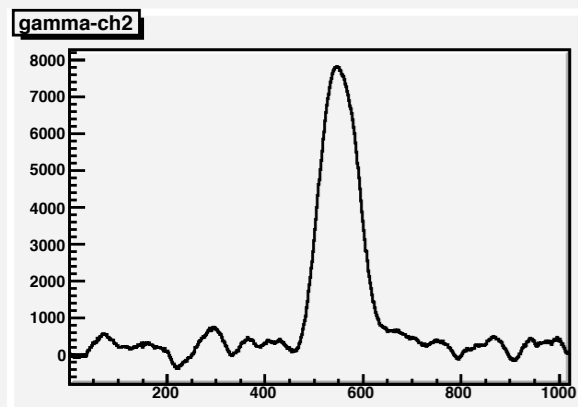
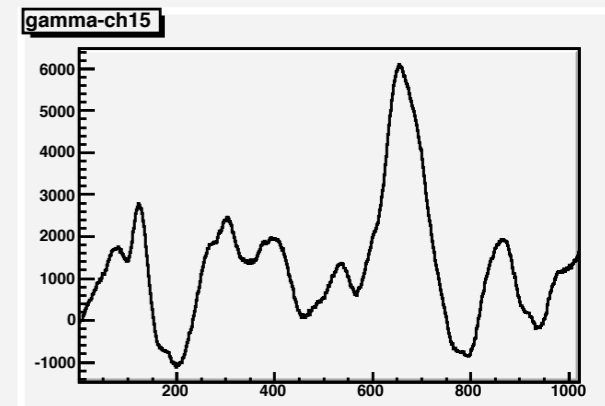
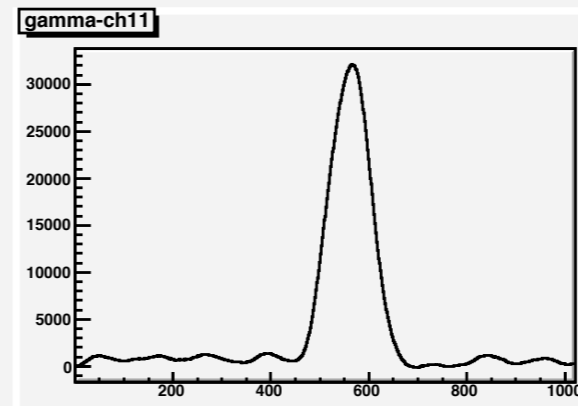
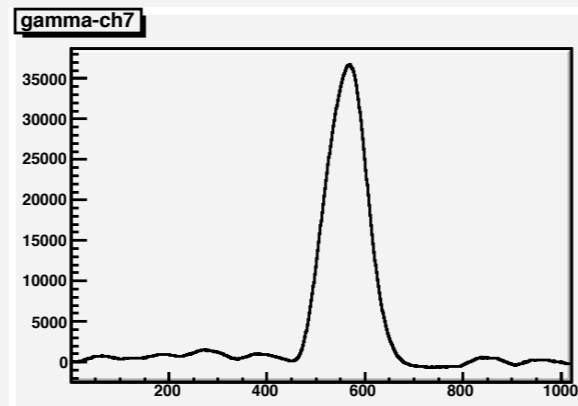
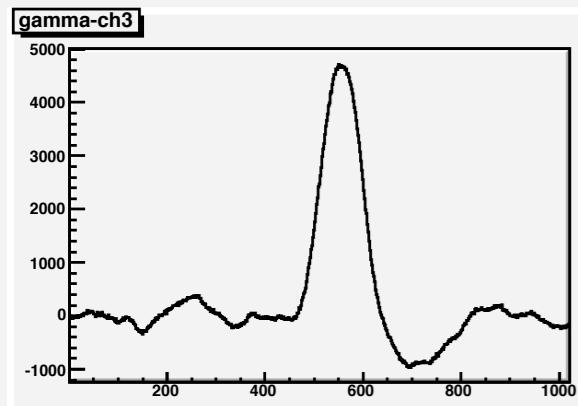
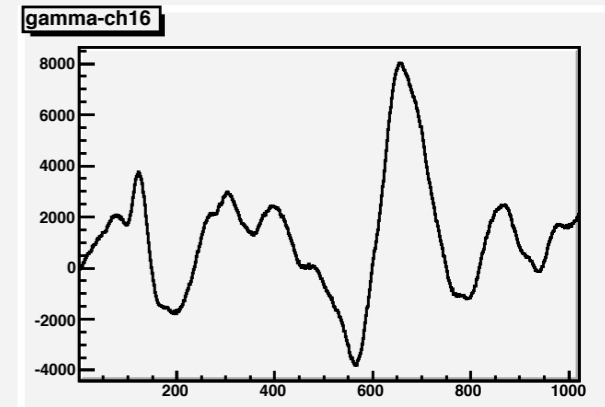
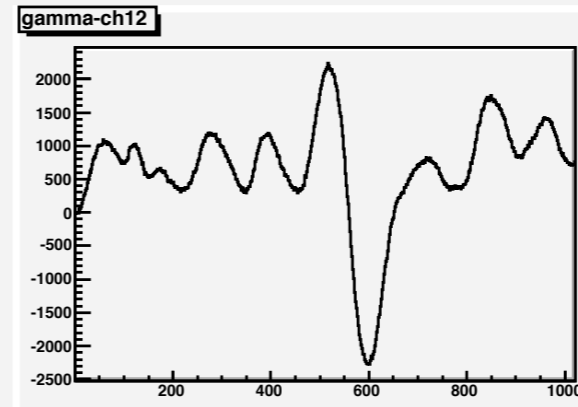
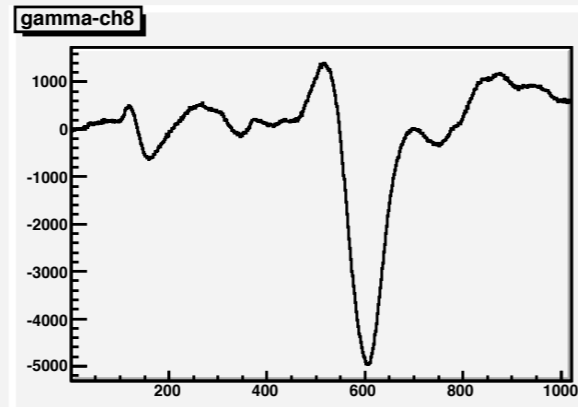
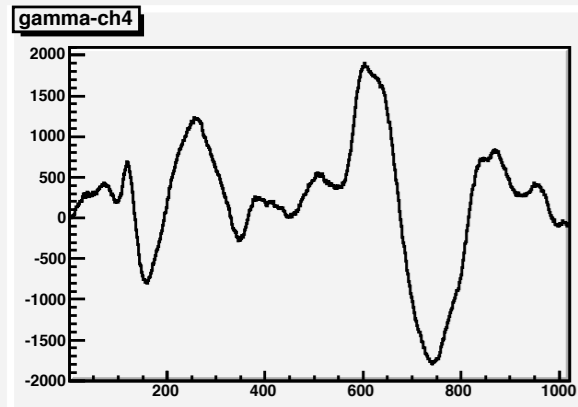
2011.8.15

charge ($\alpha 1$)



All PADs OK, 2011.8.15

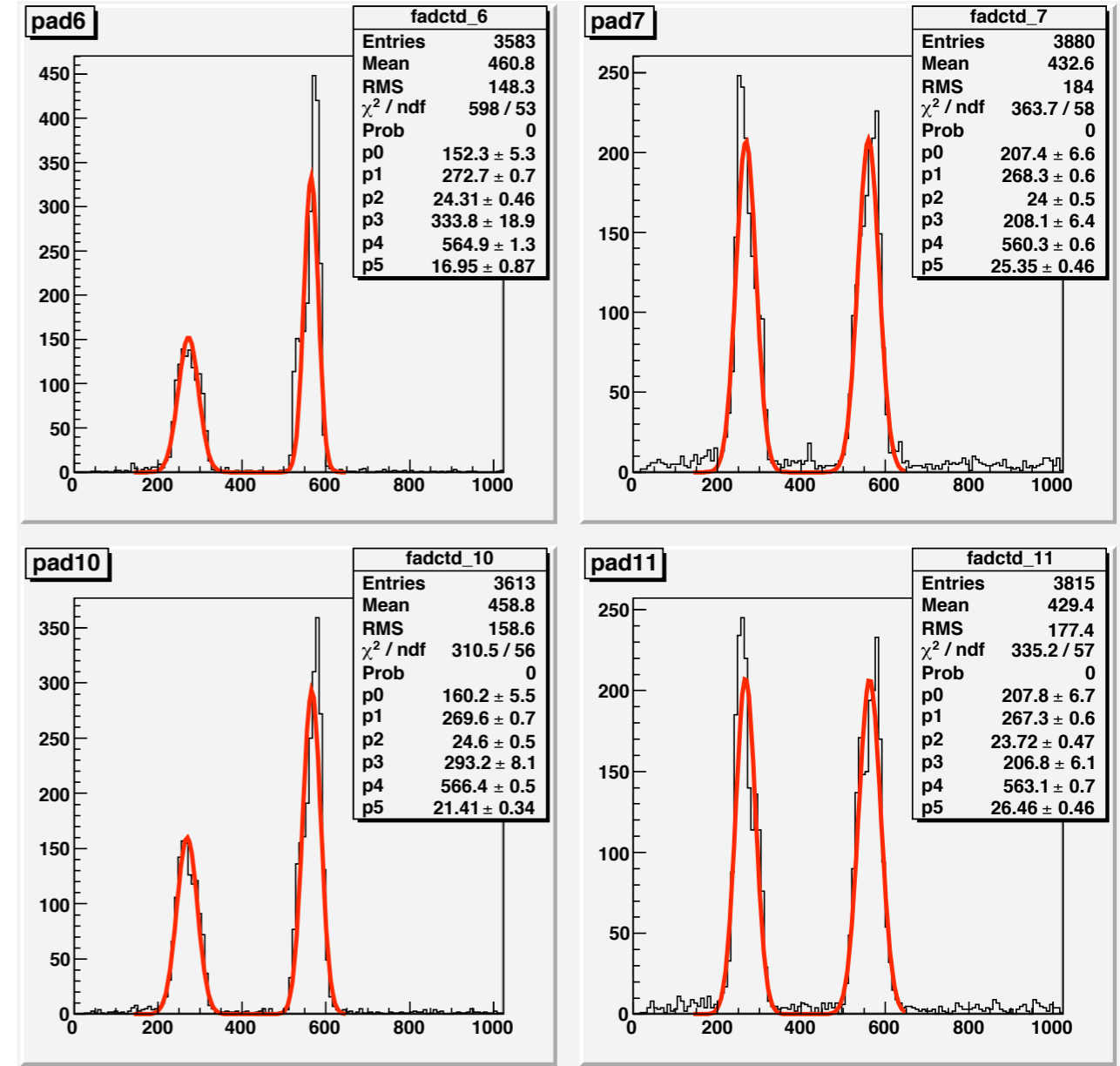
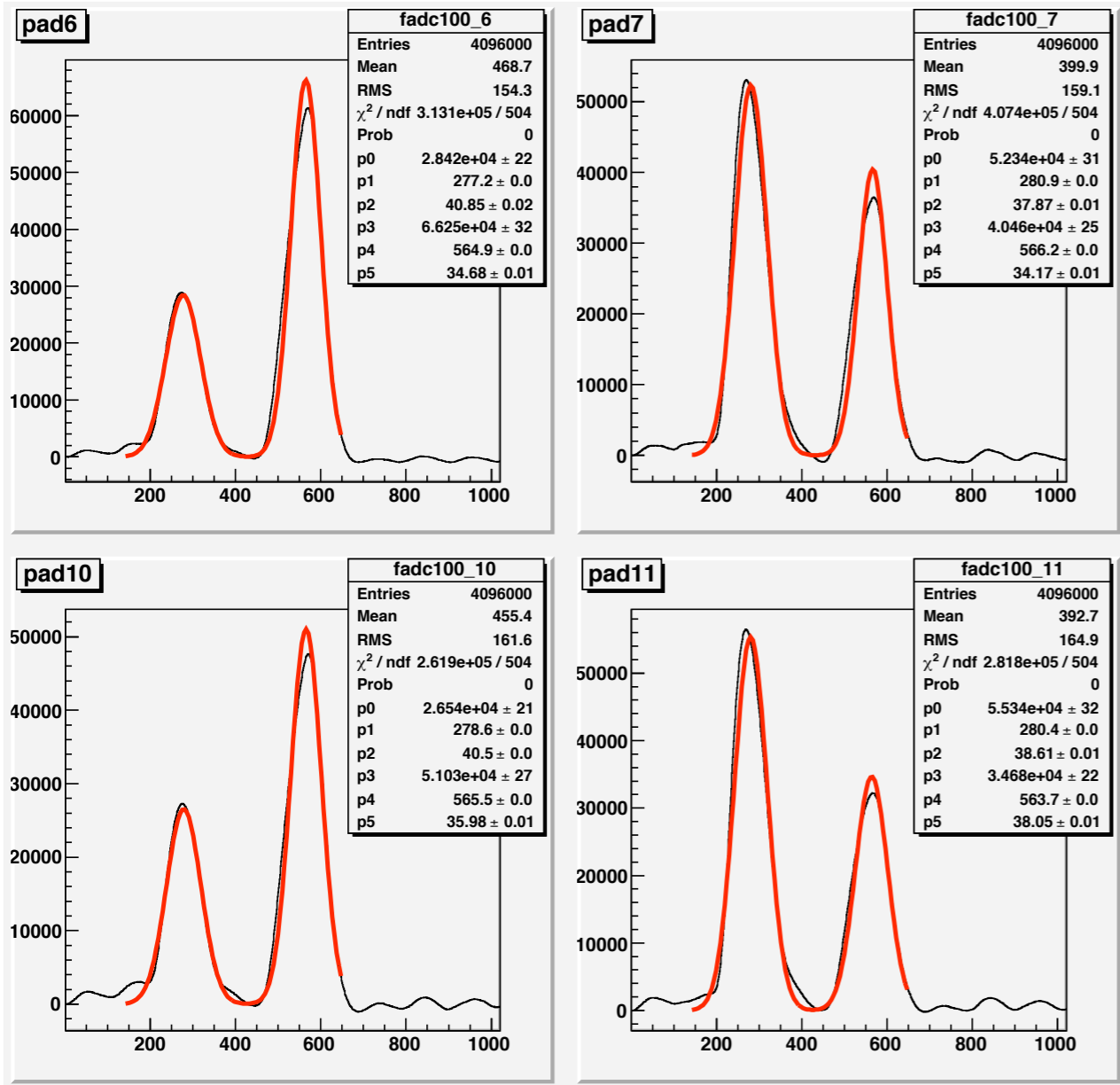
charge ($\alpha 2$)

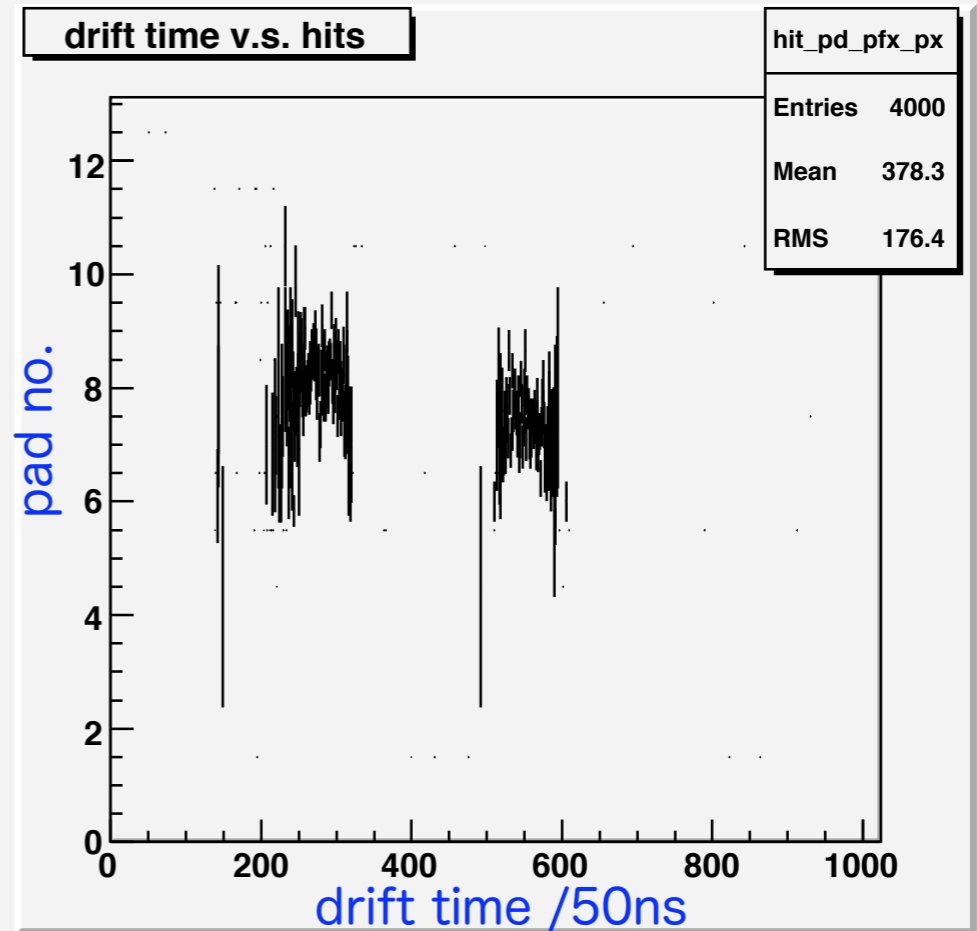
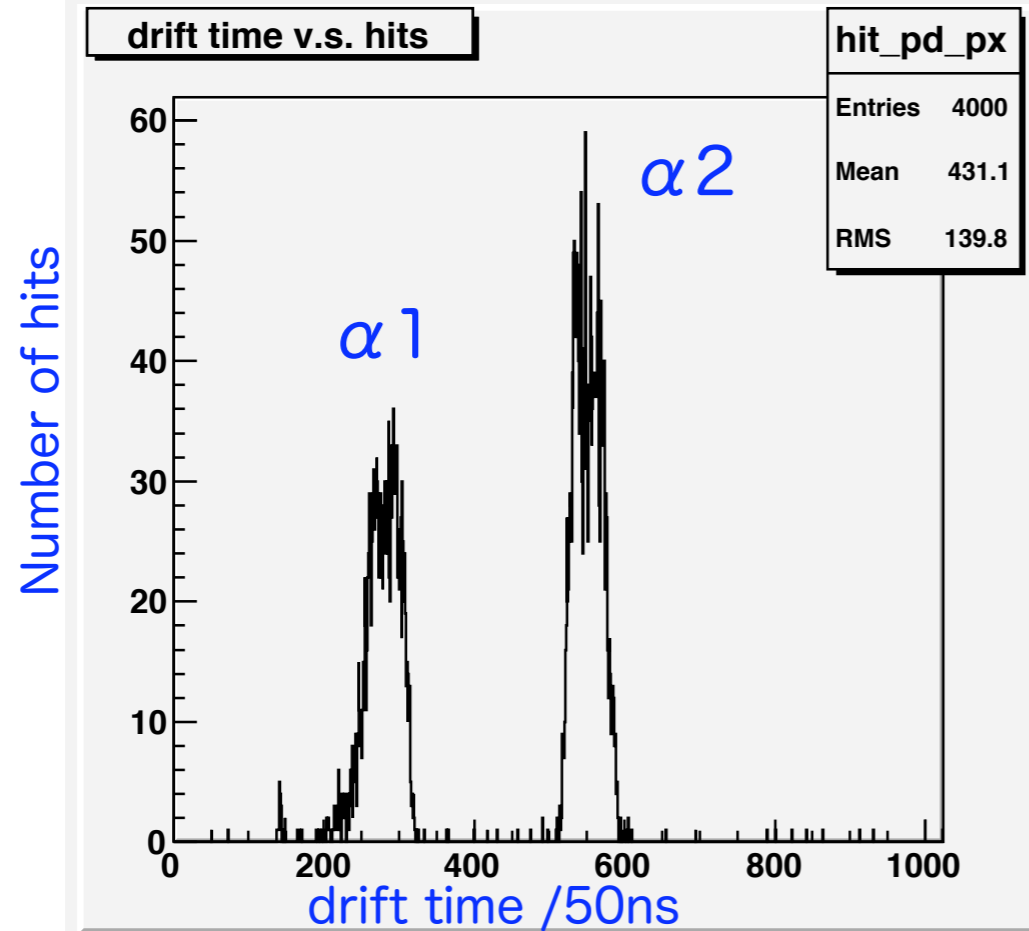
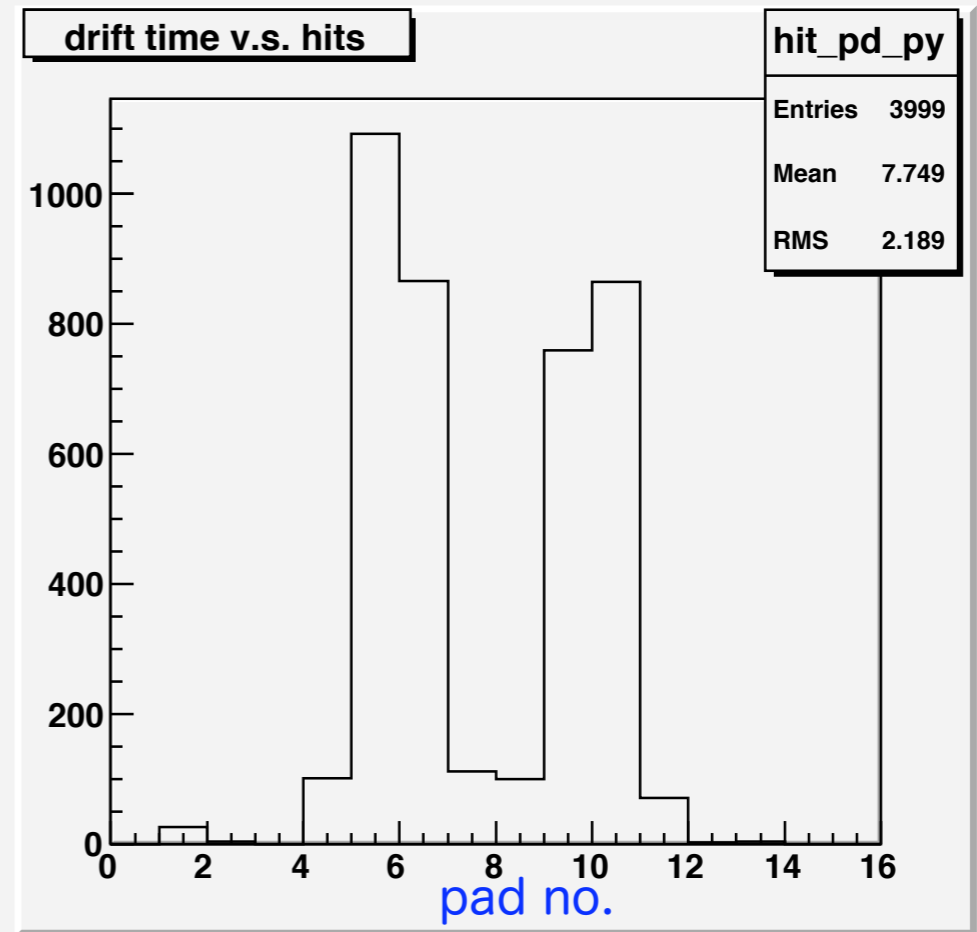
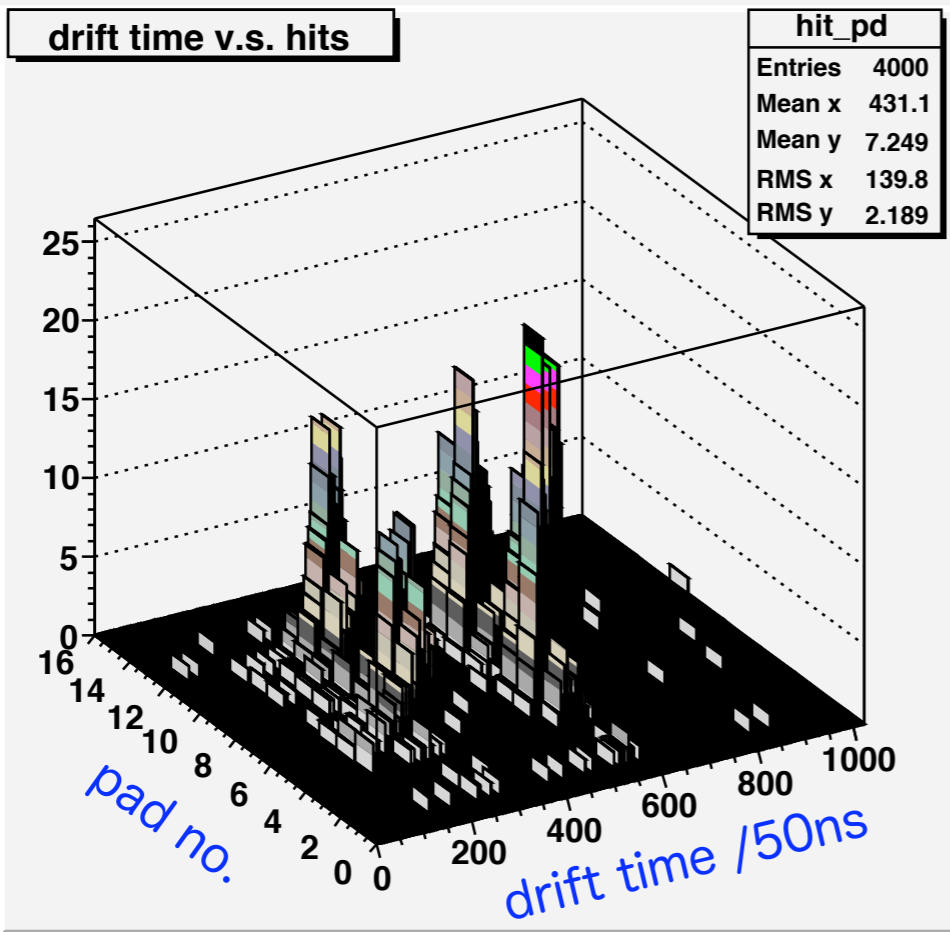


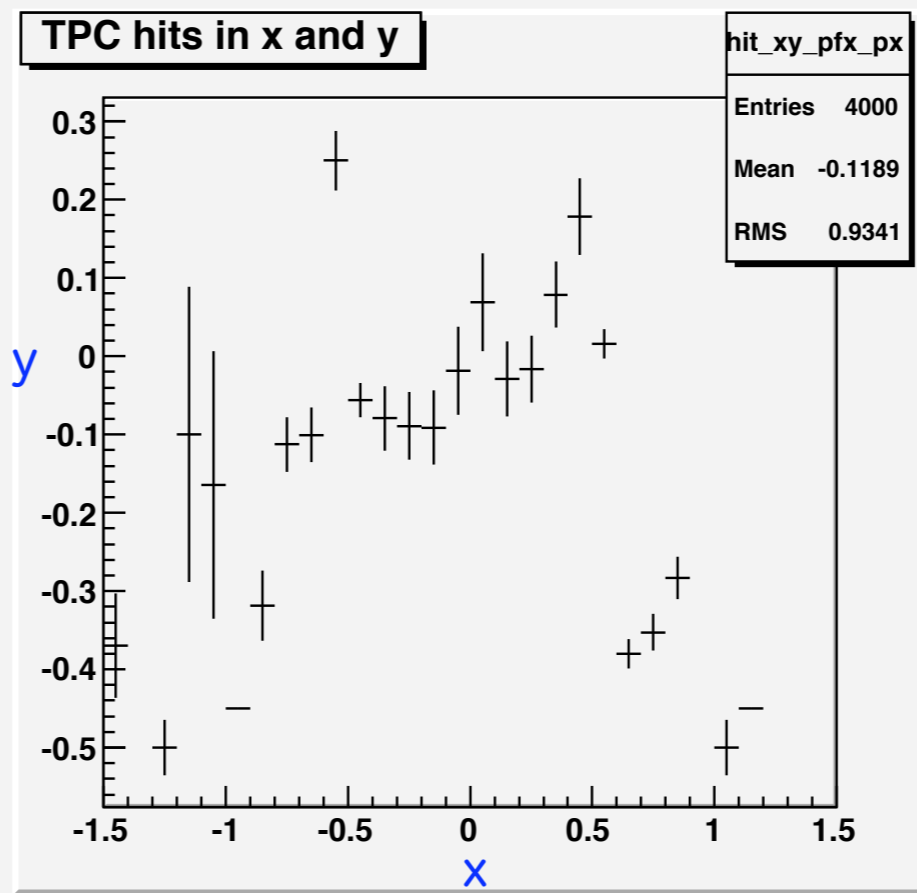
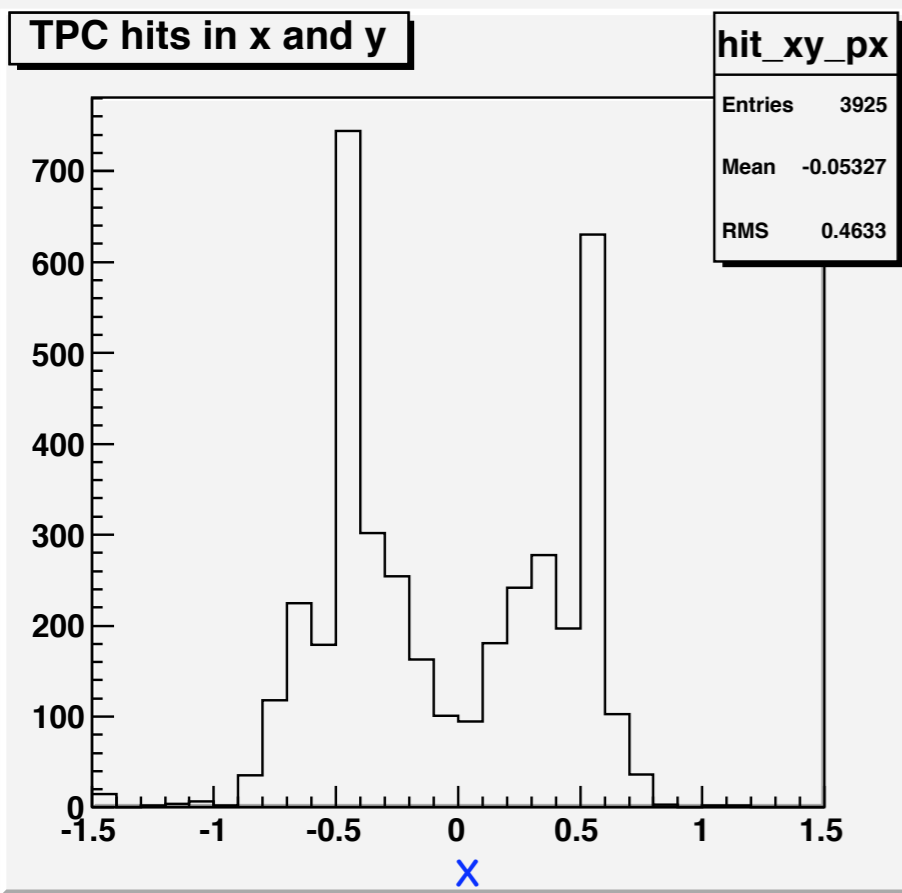
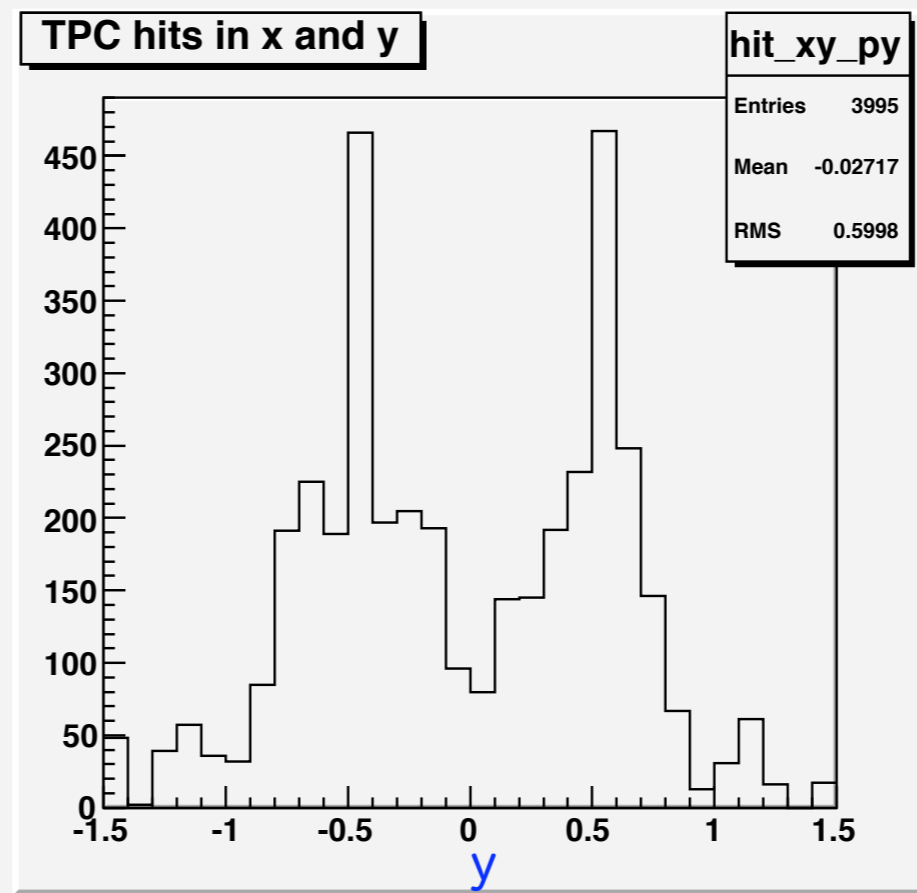
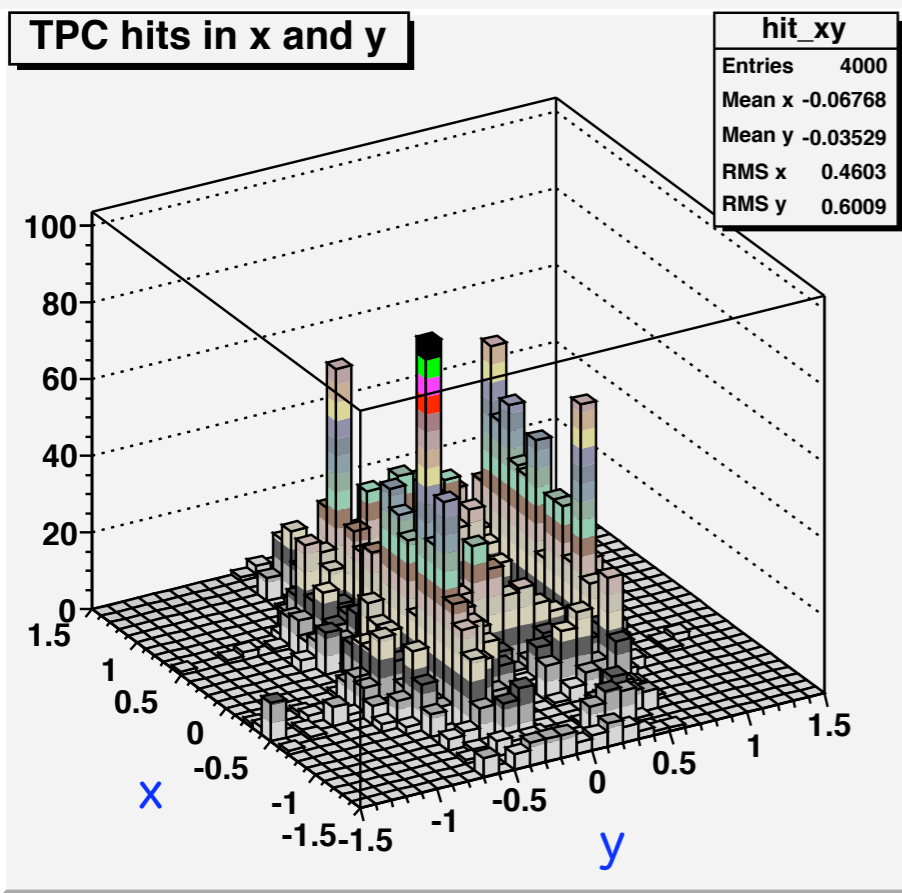
charge signals : drift time per 50ns

charges

hits







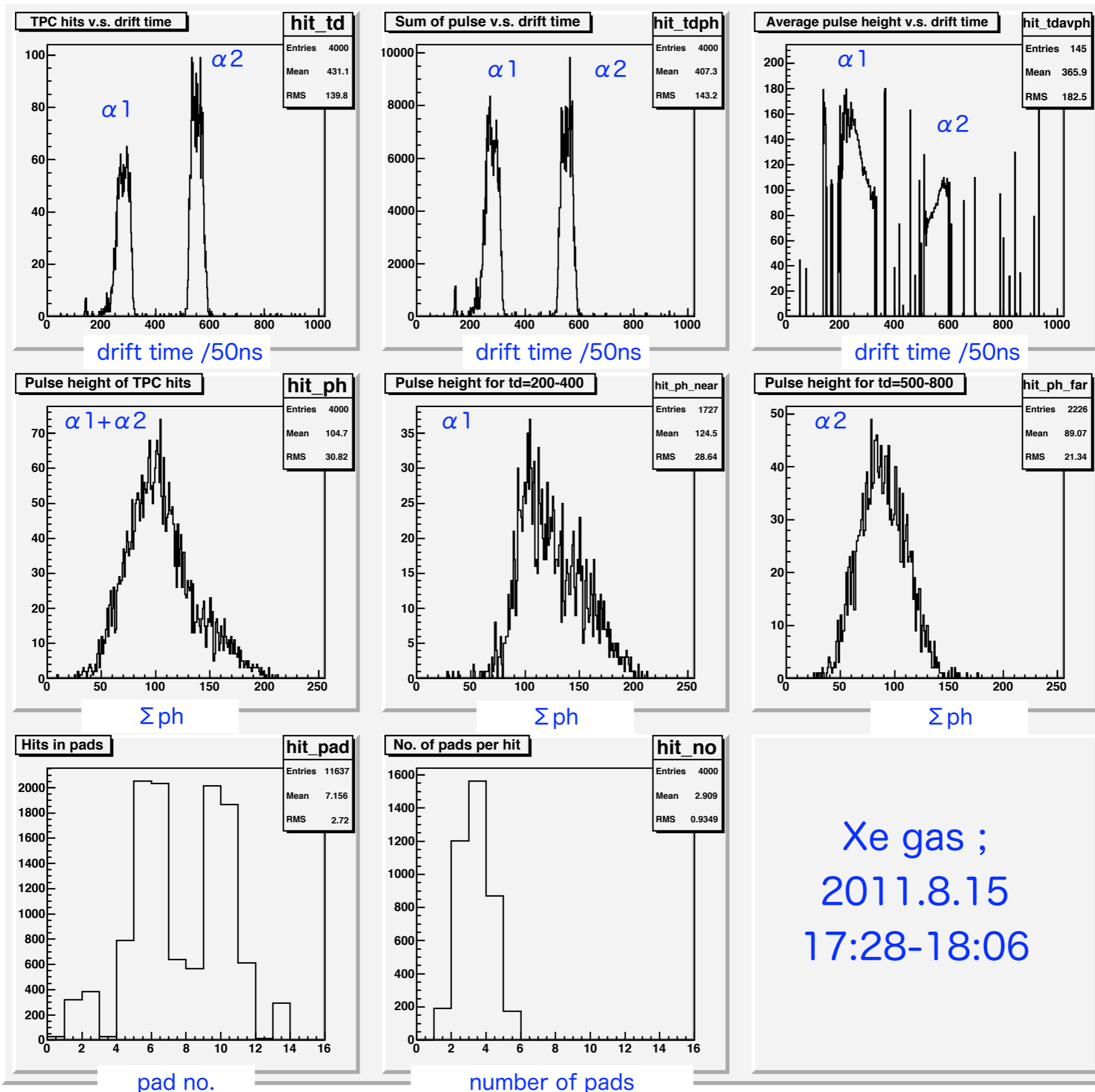
If; $\sqrt{(x_{\max} - x_i)^2 + (y_{\max} - y_i)^2} < D_{\max}$

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

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

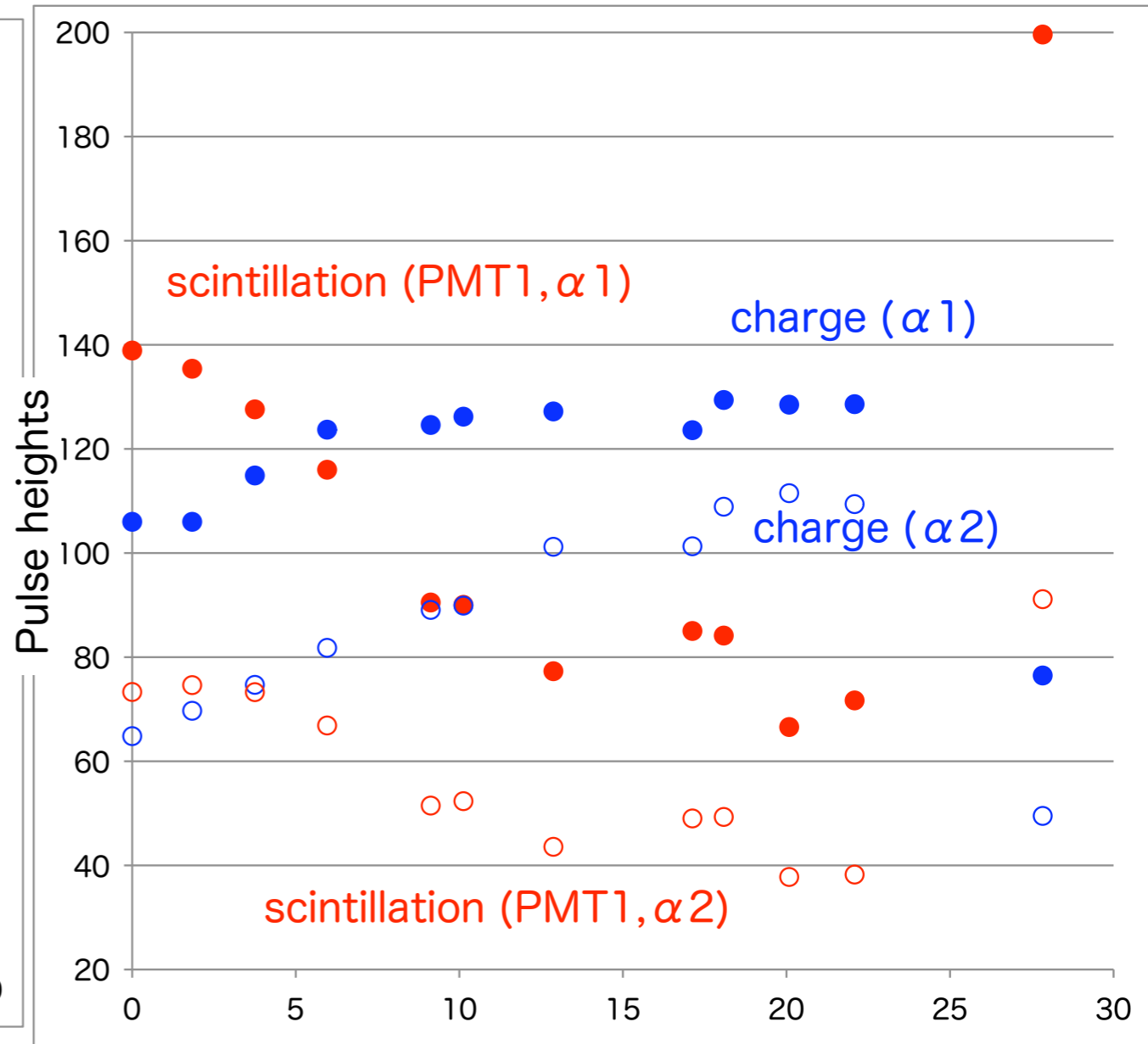
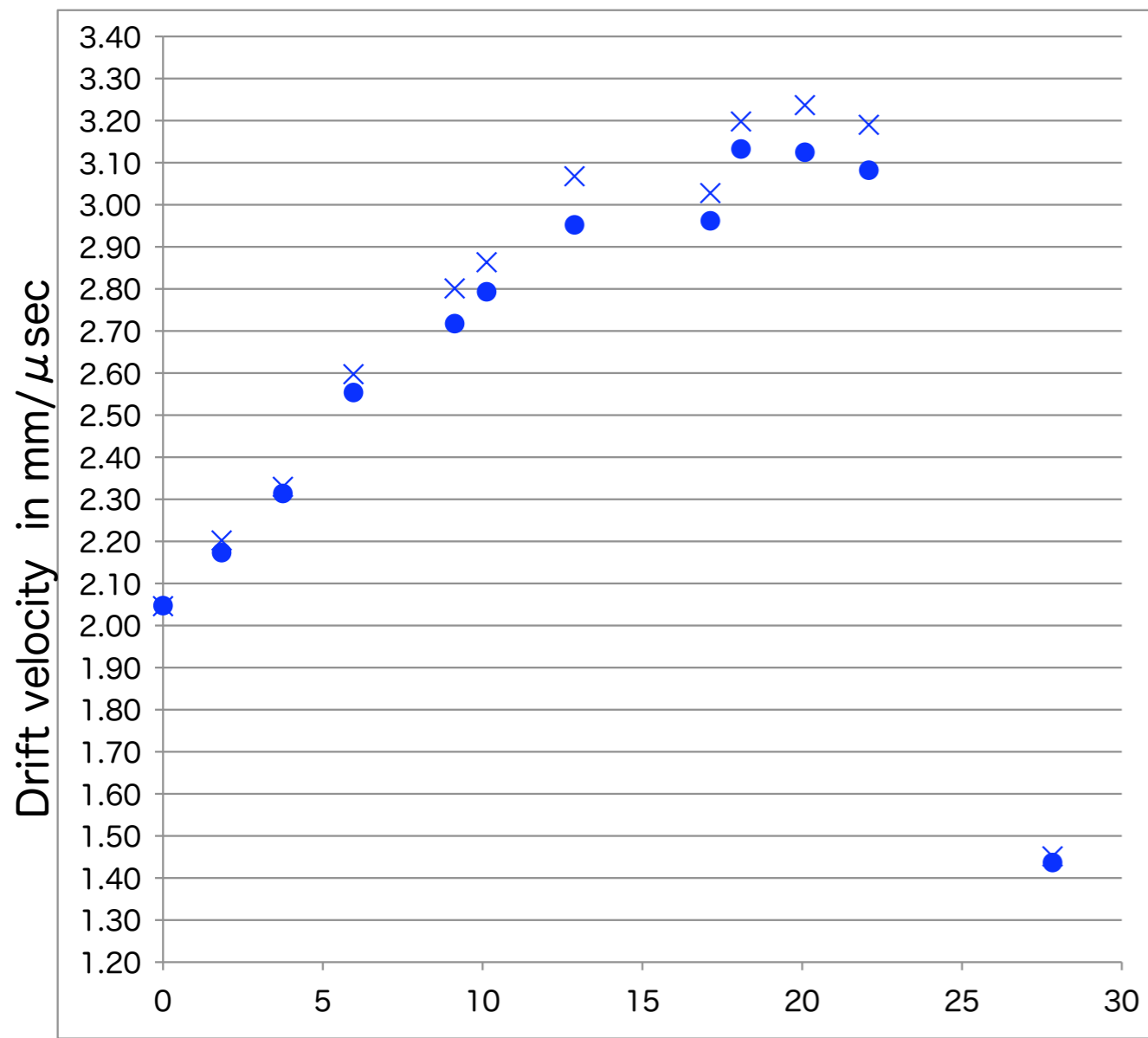
2011.8.15

2012年 1月 6日 金曜日



Xe gas ;
2011.8.15
17:28-18:06

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



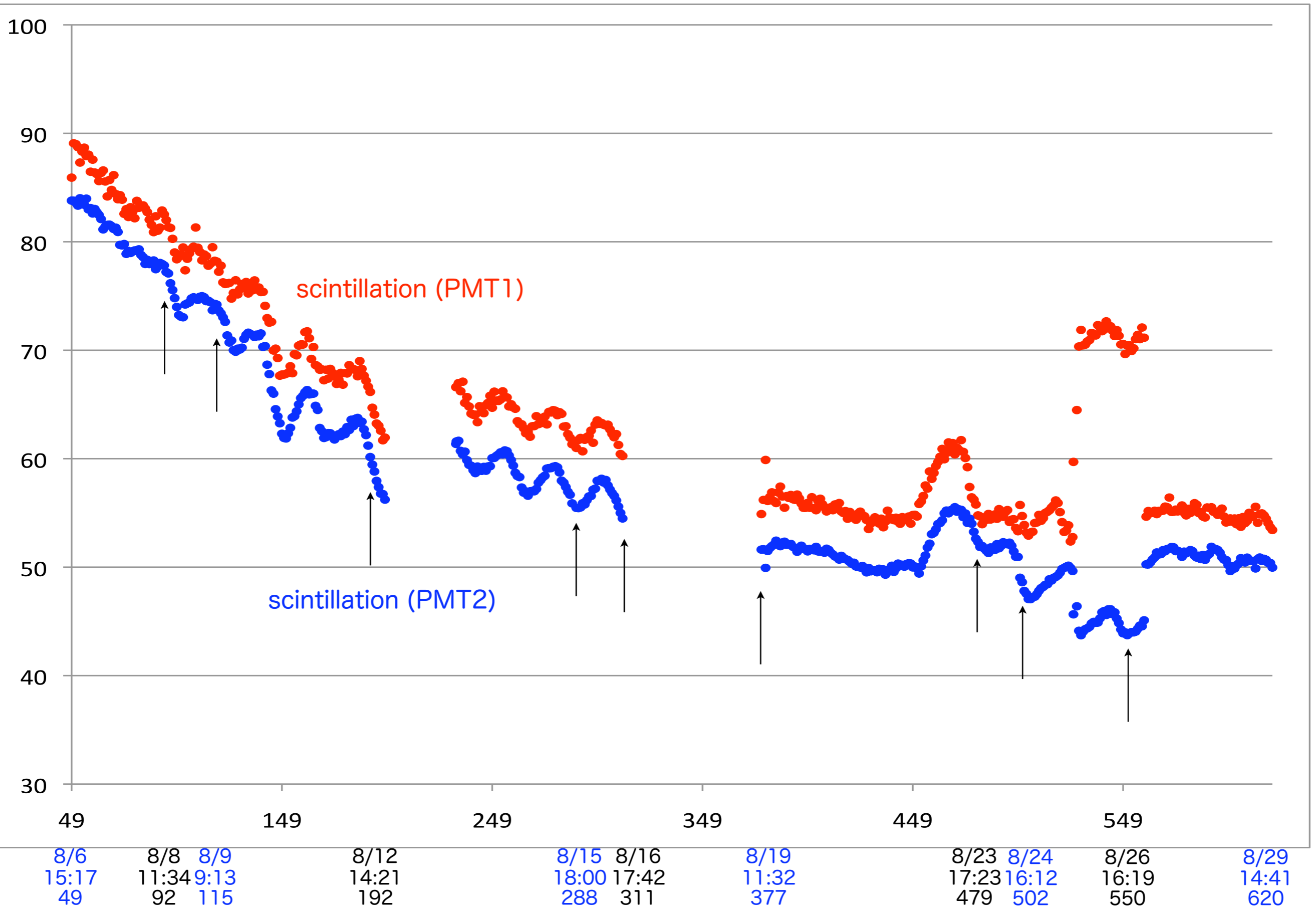
Days since 8/6, 15:17

8/31 13:30 - 9/1 purification

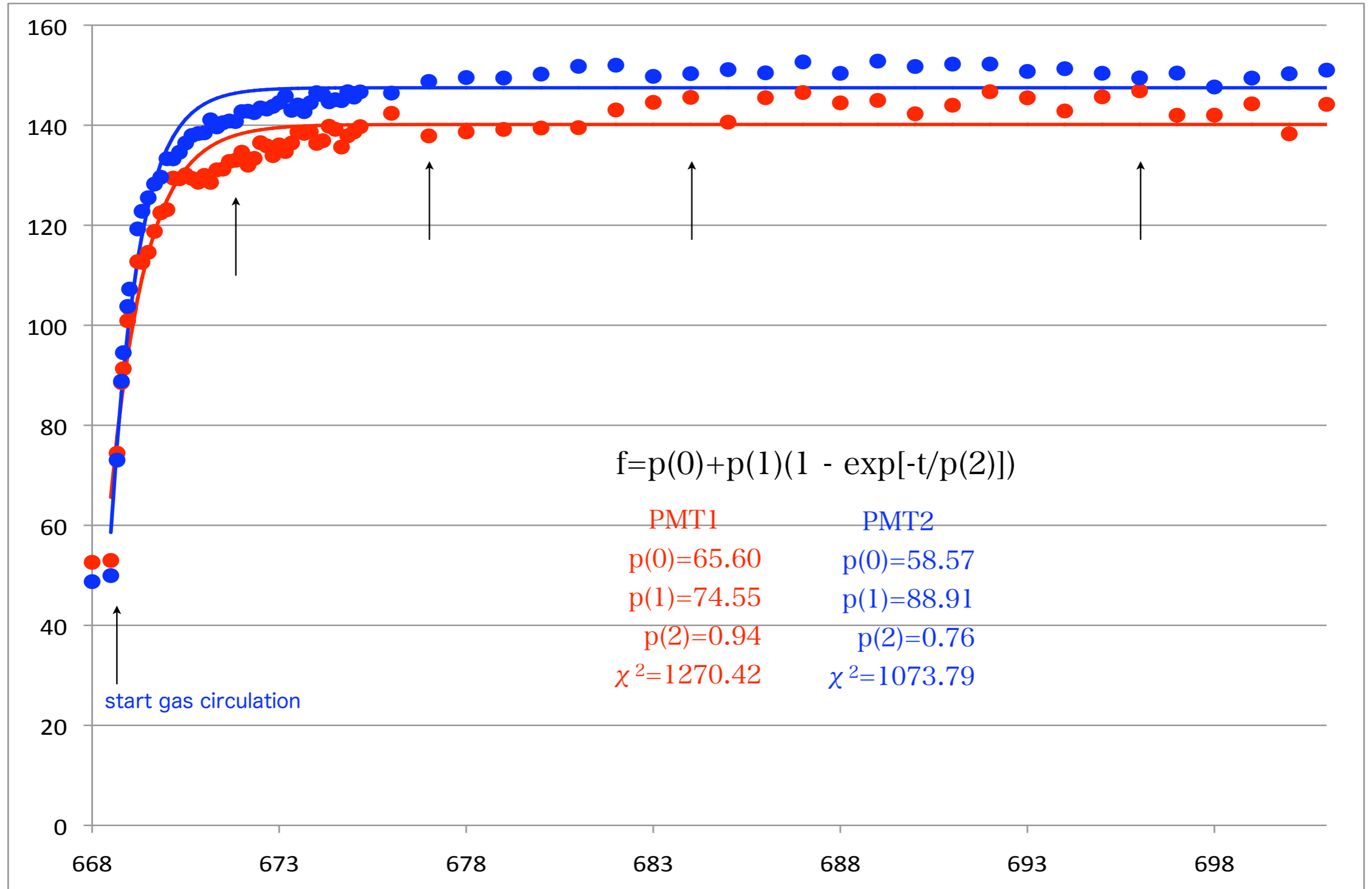
Days since 8/6, 15:17

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



8/31
13:30
668.5

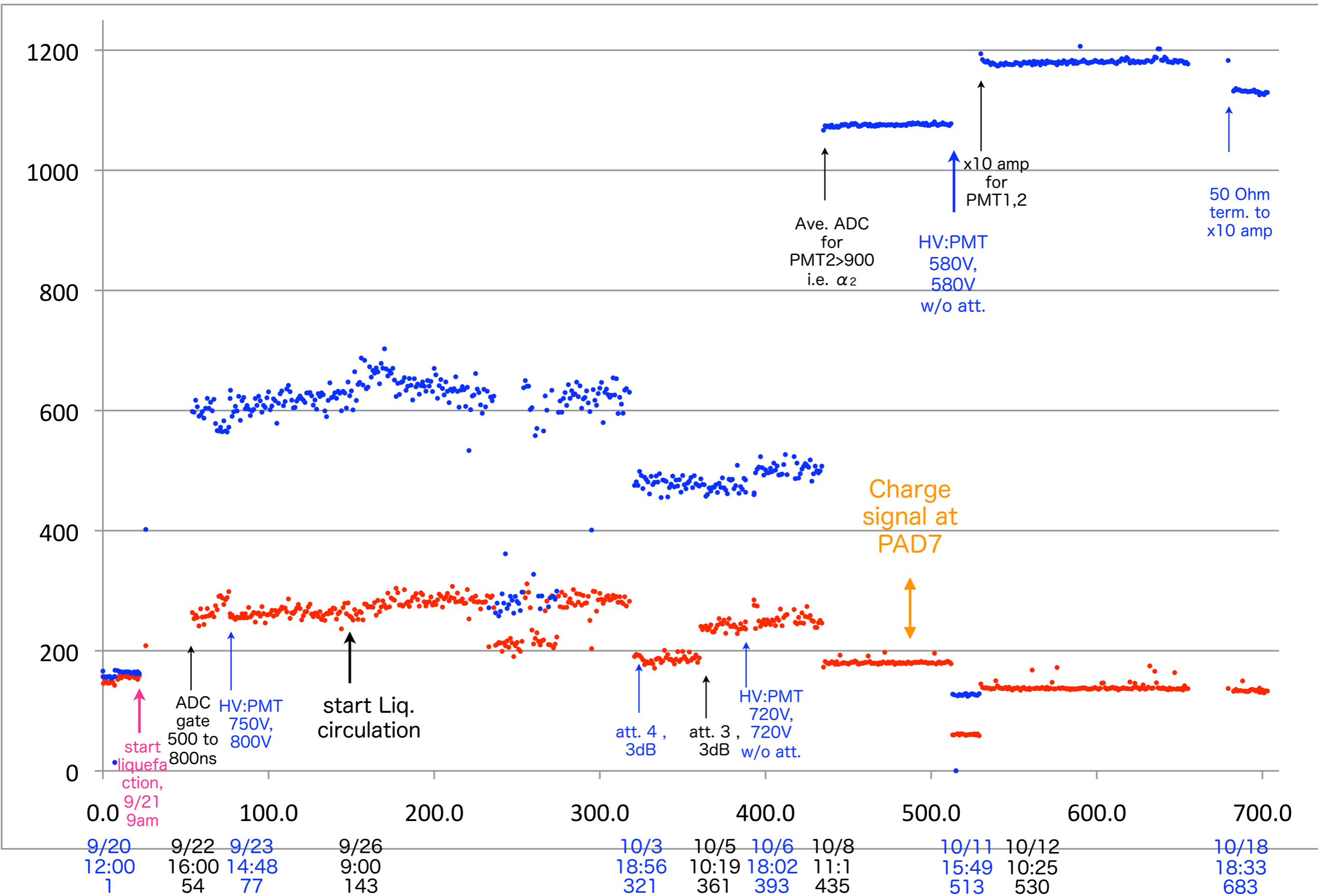
8/31
17:00
672

8/31
22:00
677

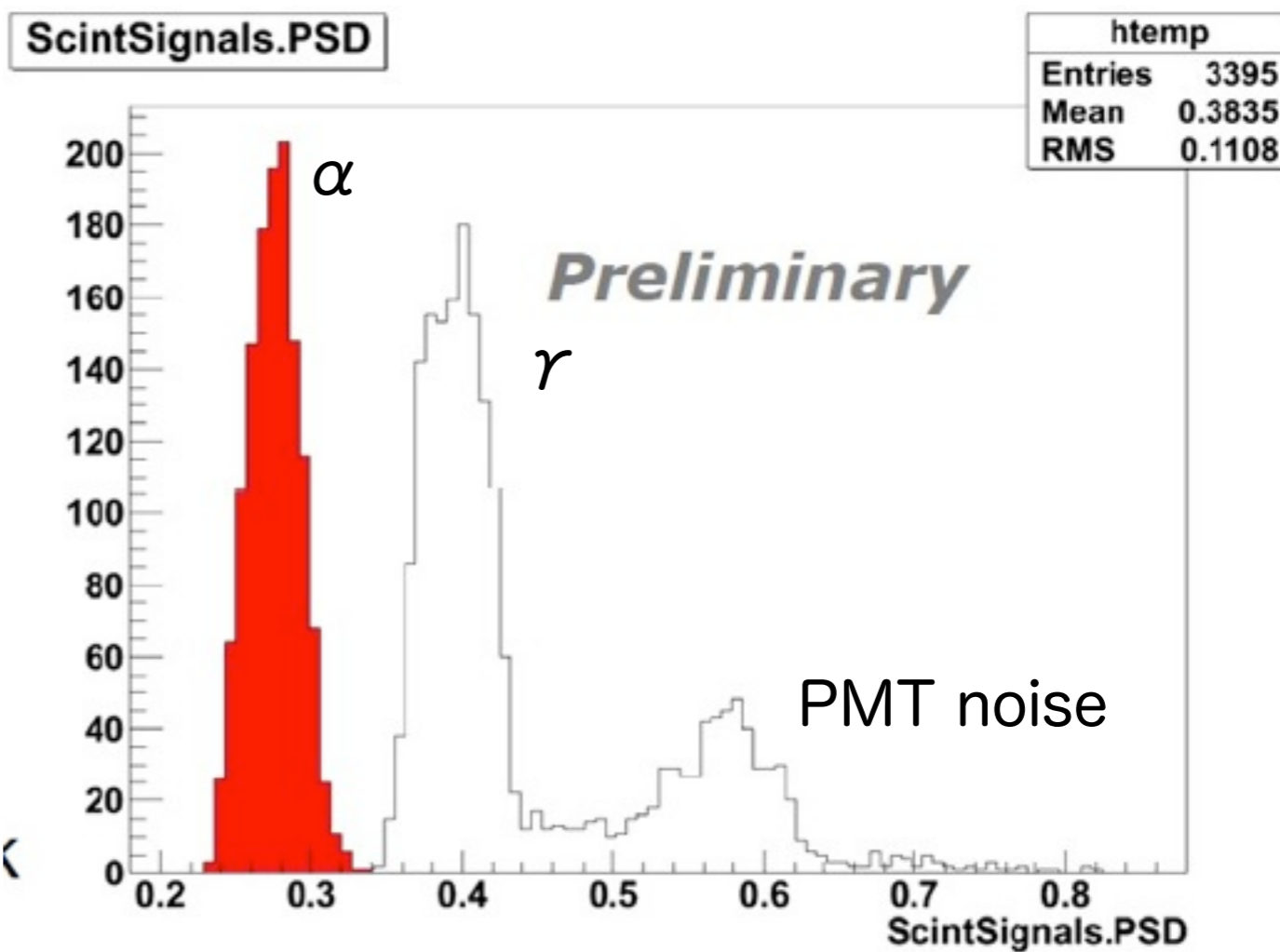
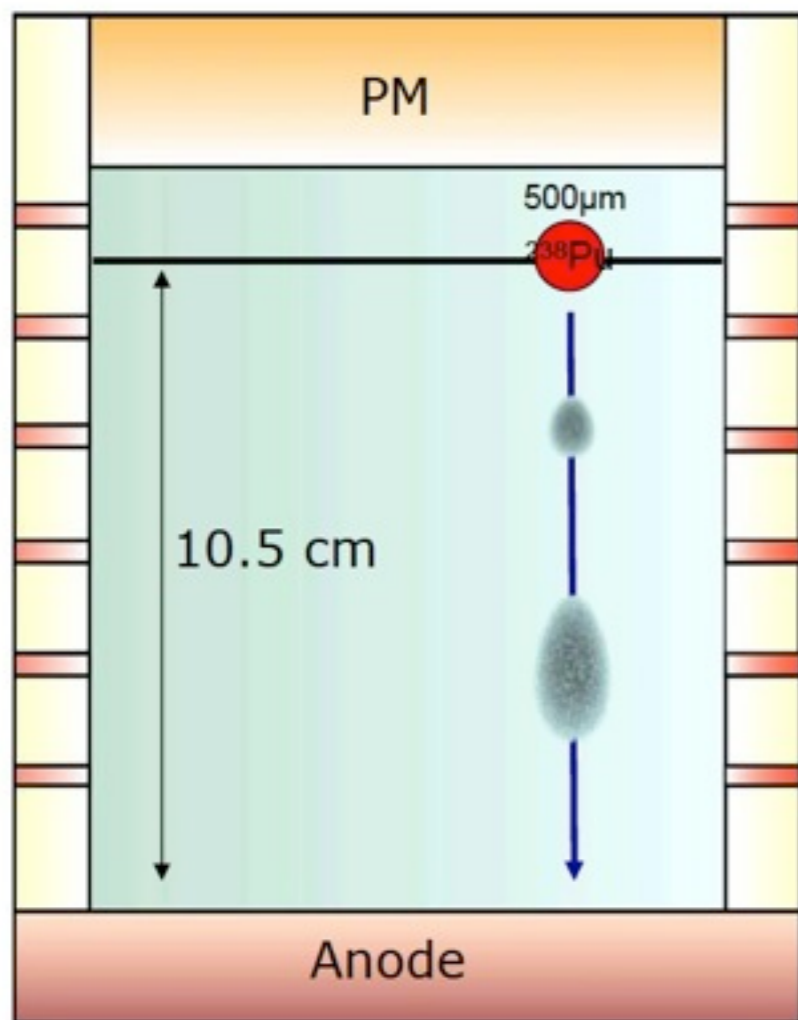
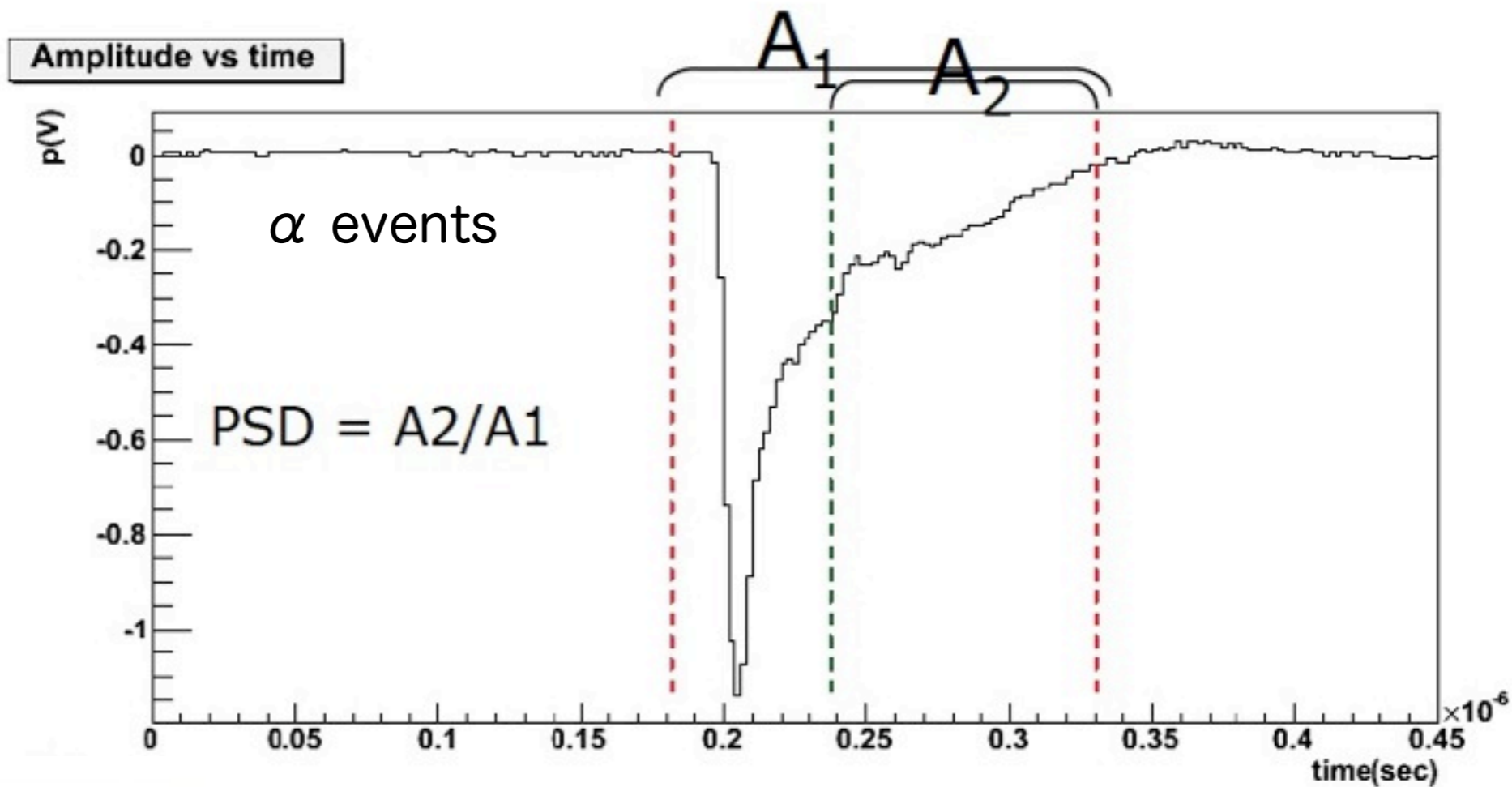
9/1
5:00
684

9/1
17:00
696

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



PSD Analysis by Nantes group

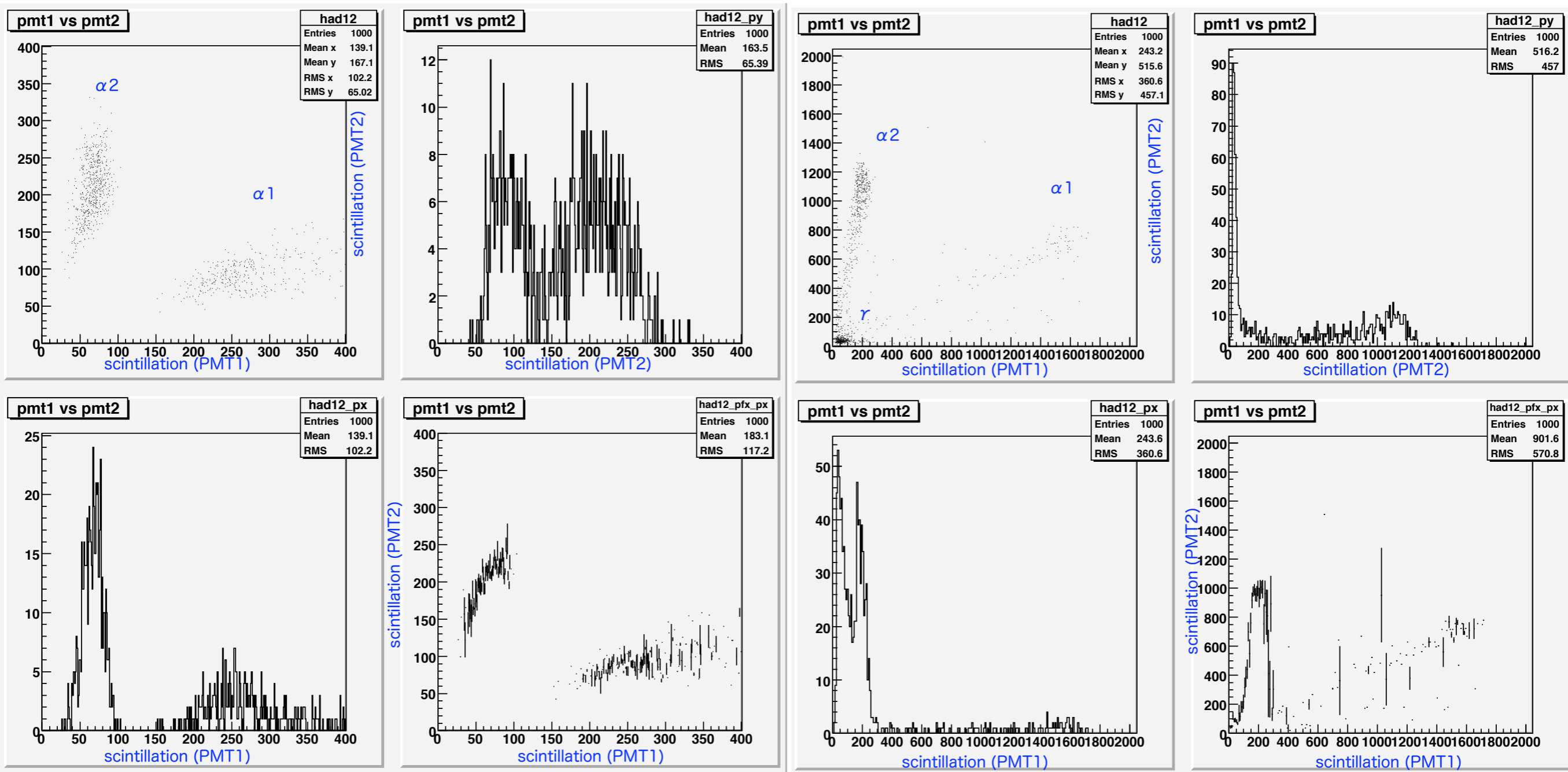


Xe Gas at 1.4 atm

2011.9.21.0801

Xe Liquid at 165K

2011.10.6.1832



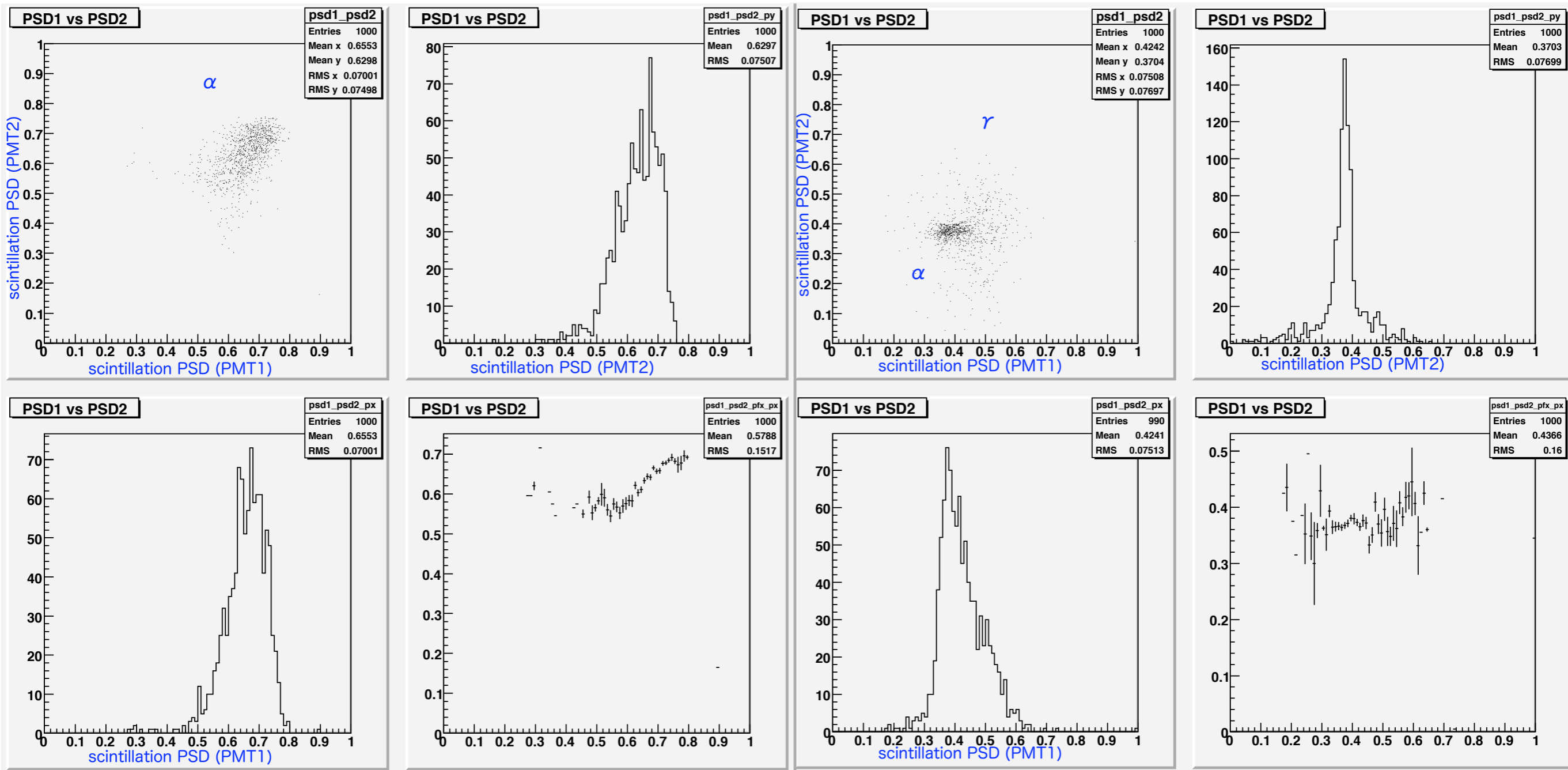
PMT1=PMT2=+720V, TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Xe Gas at 1.4 atm

2011.9.21.0801

Xe Liquid at 165K

2011.10.6.1832

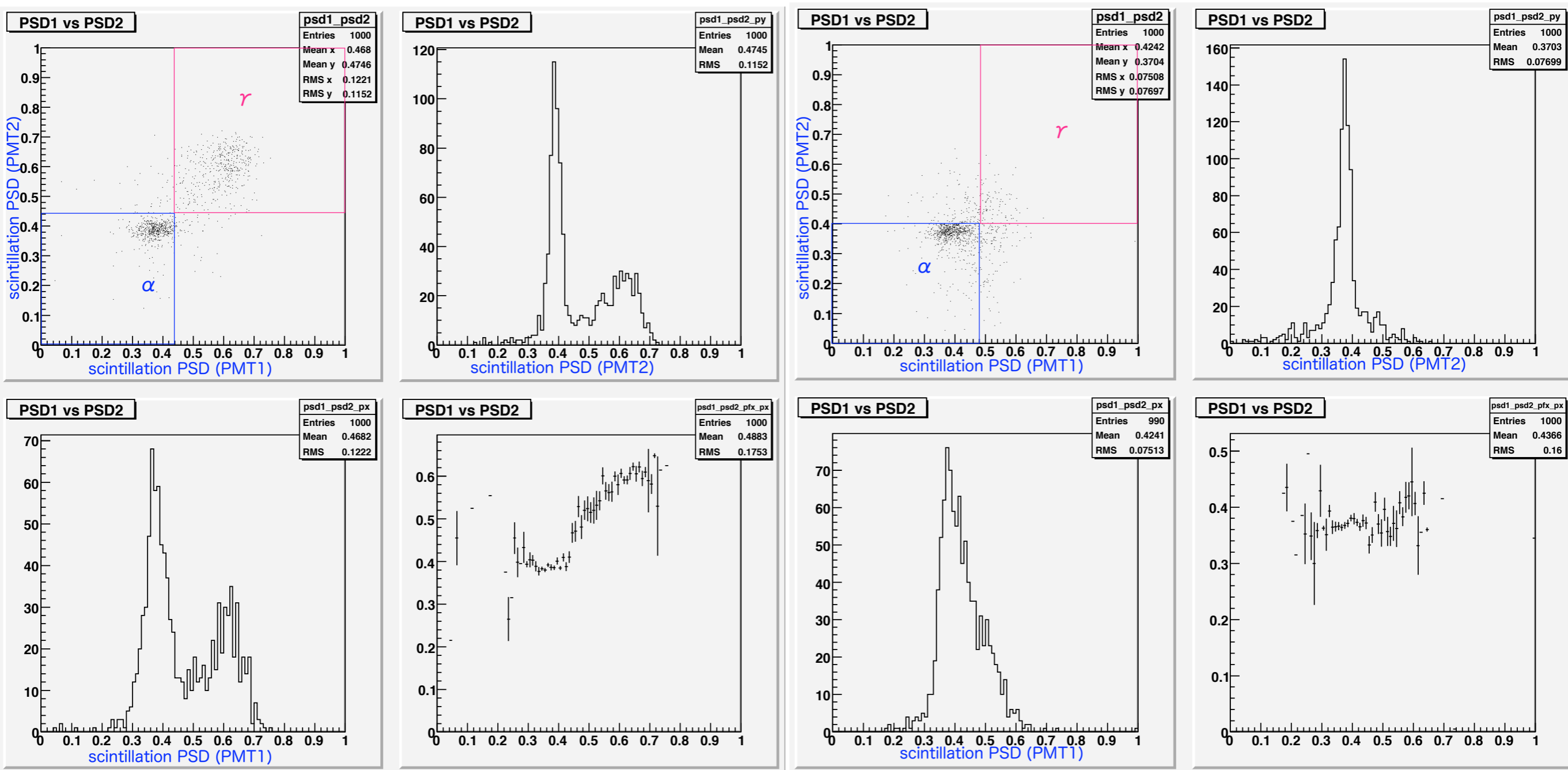


PMT1=PMT2=+720V, TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V

2011.10.6.1832



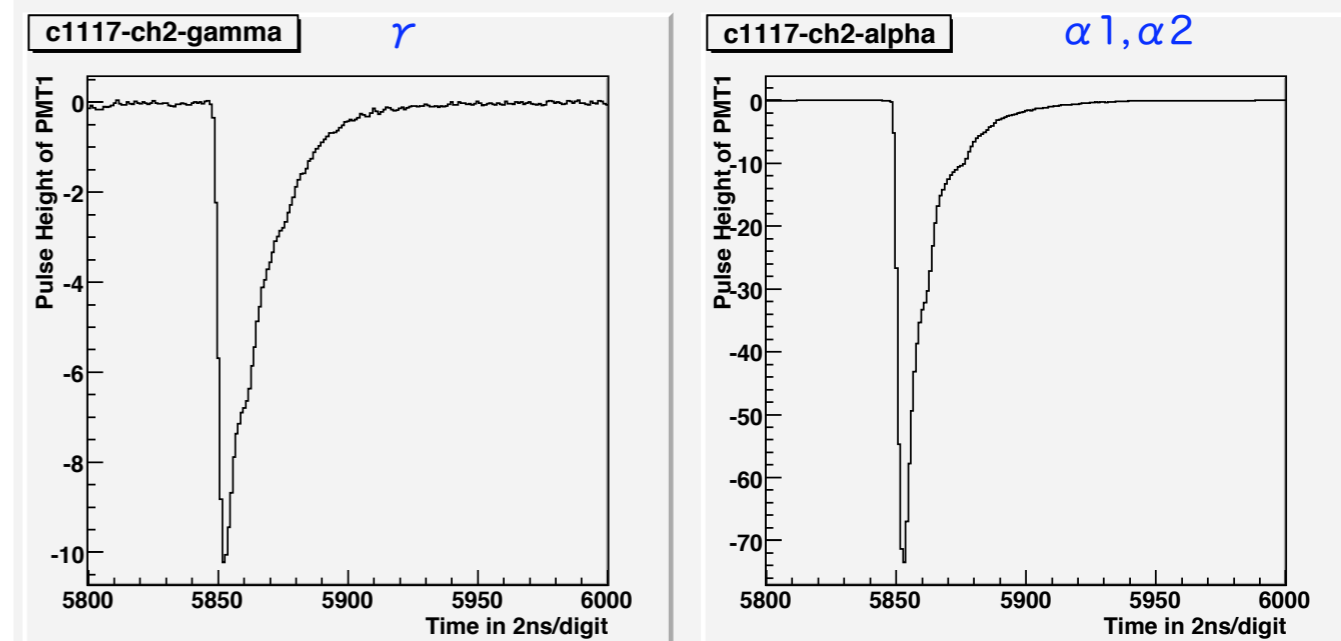
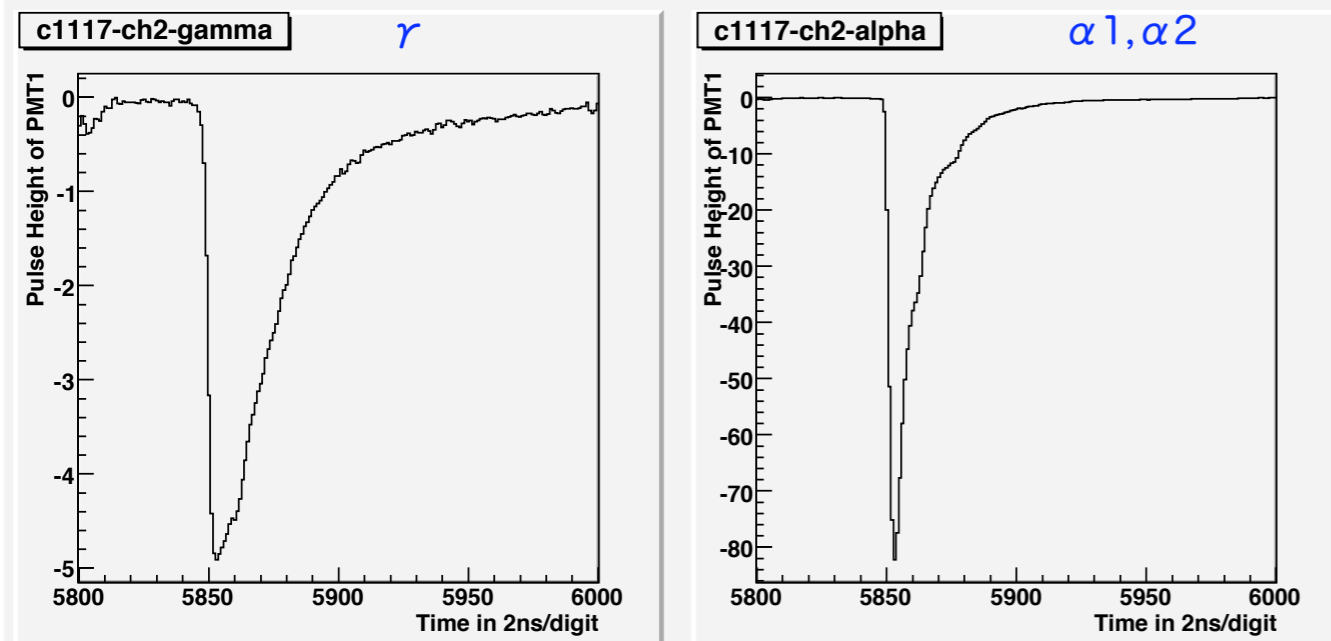
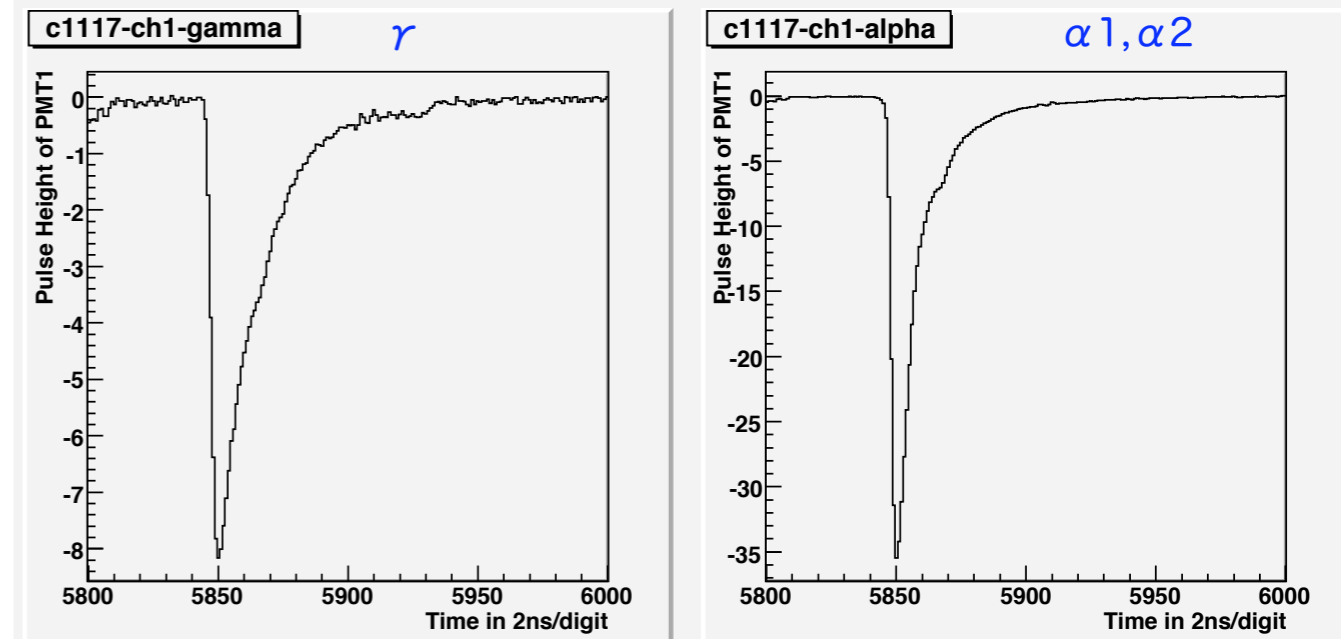
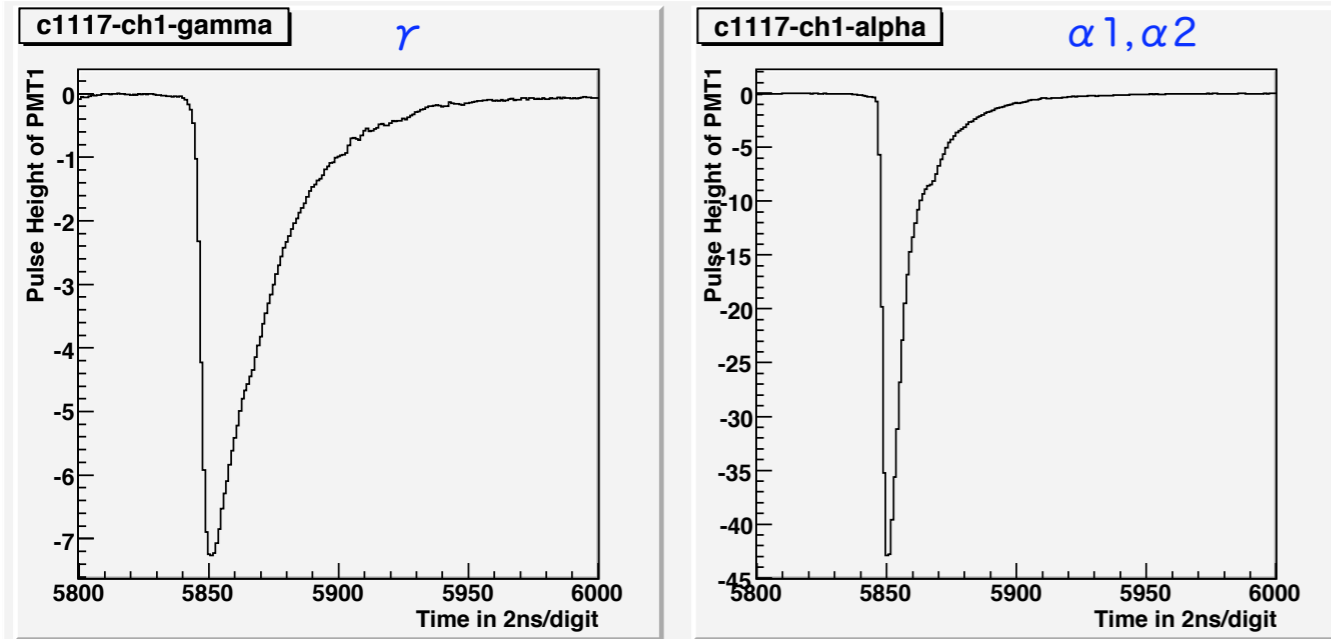
TPC cathode =0V, anode=0V

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

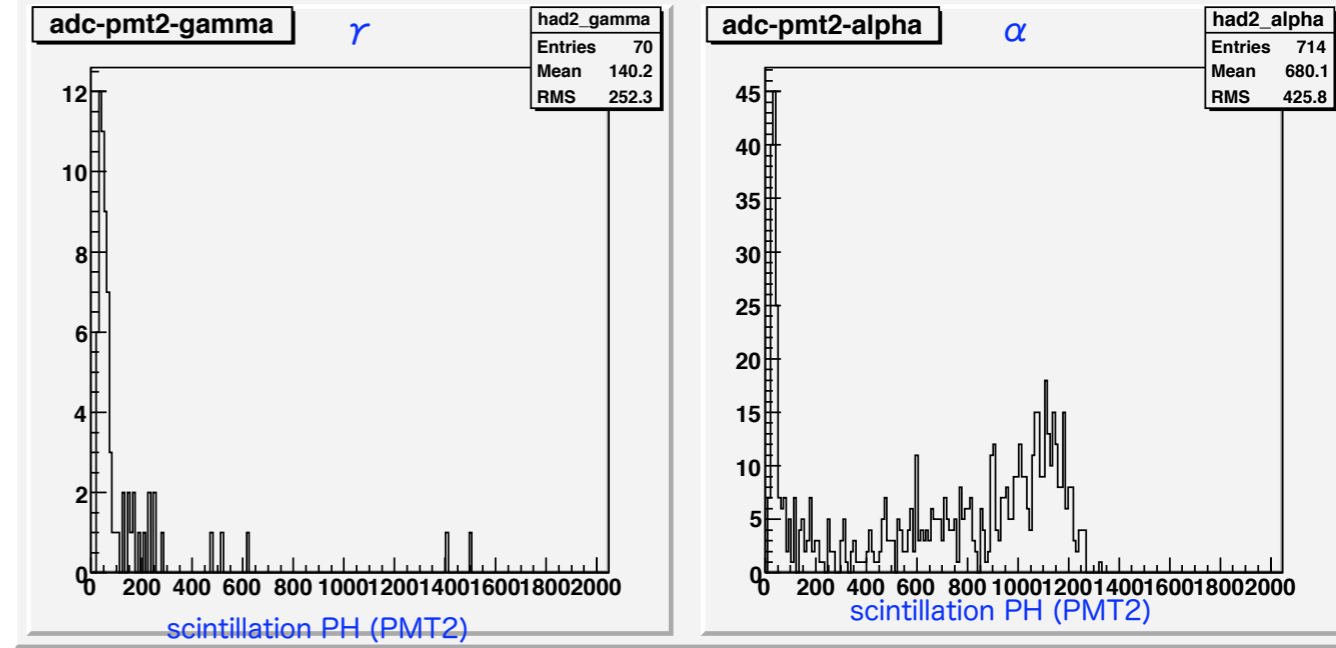
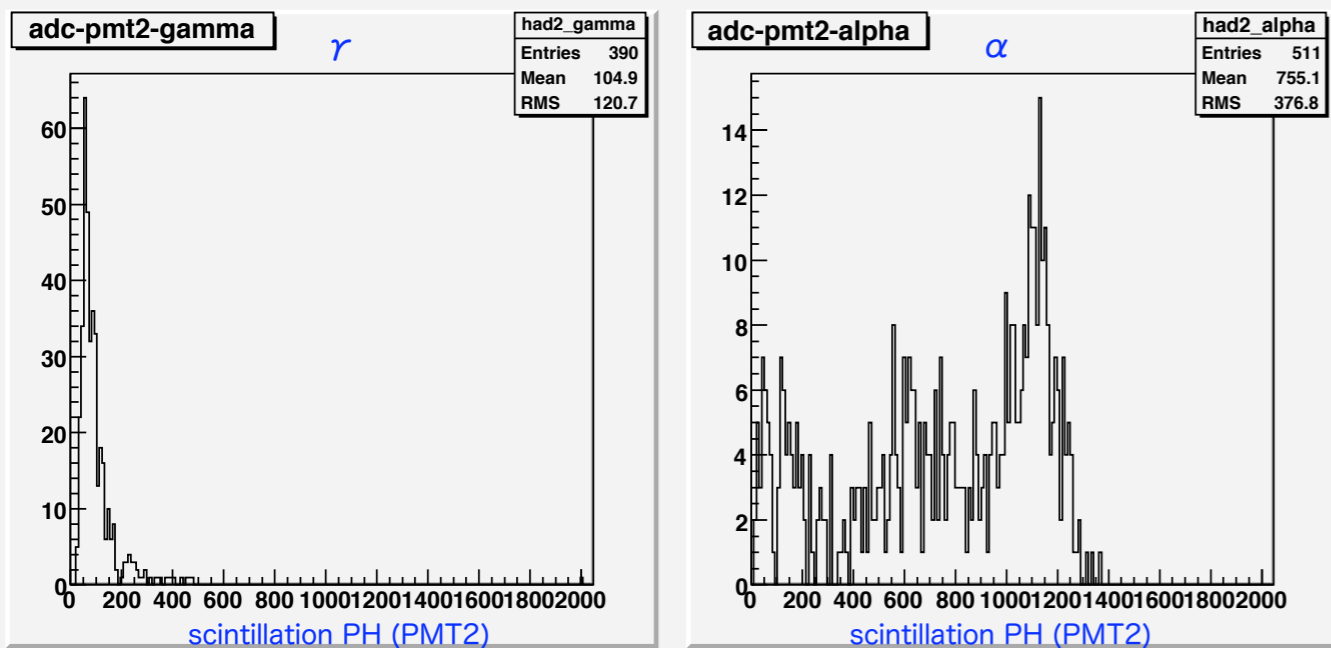
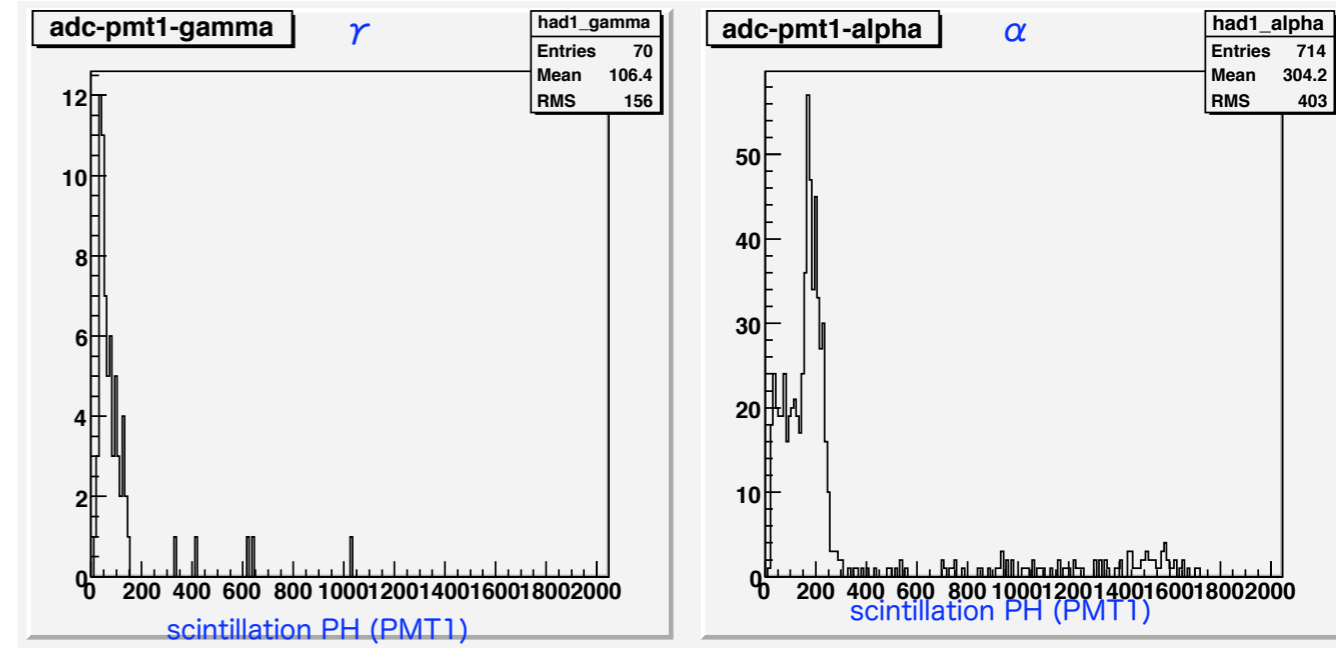
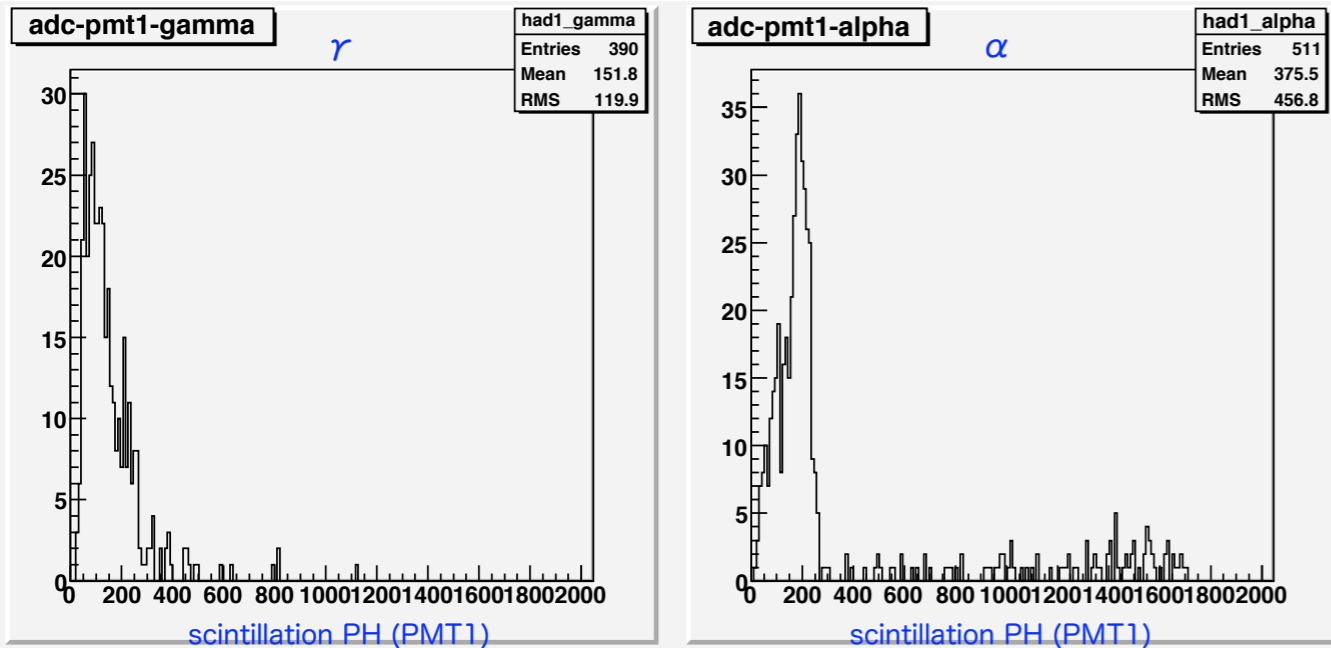
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V

2011.10.6.1808

2011.10.6.1832



TPC cathode =0V, anode=0V

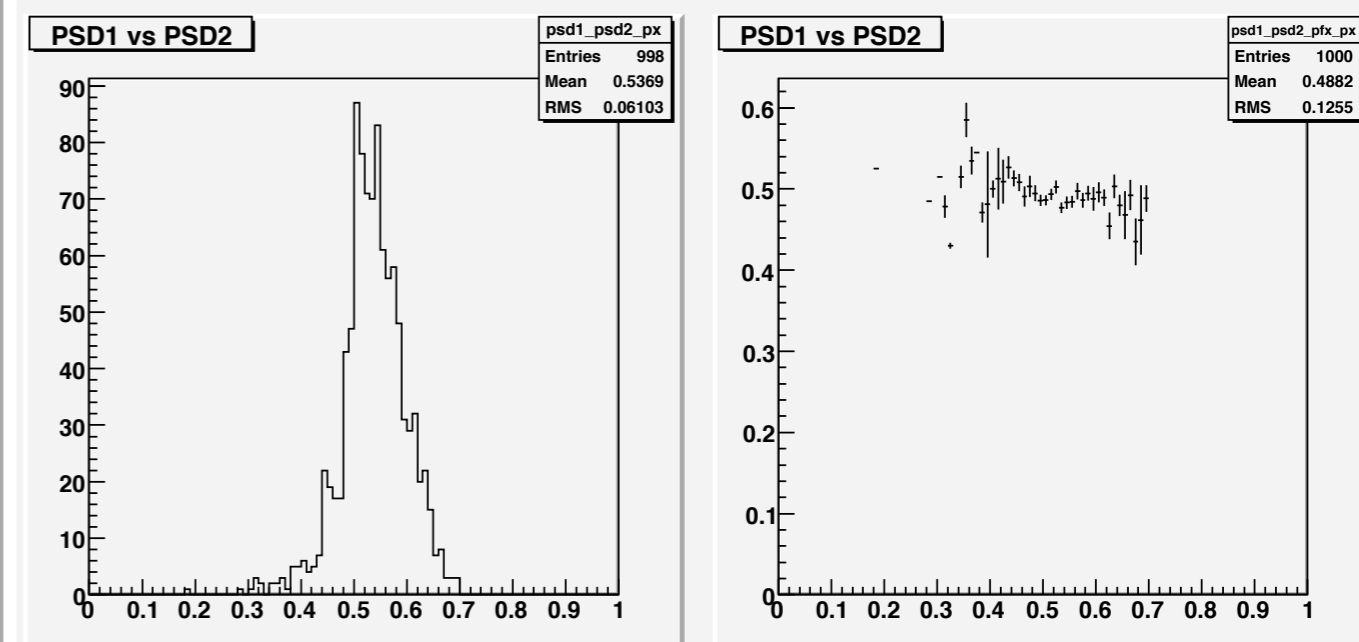
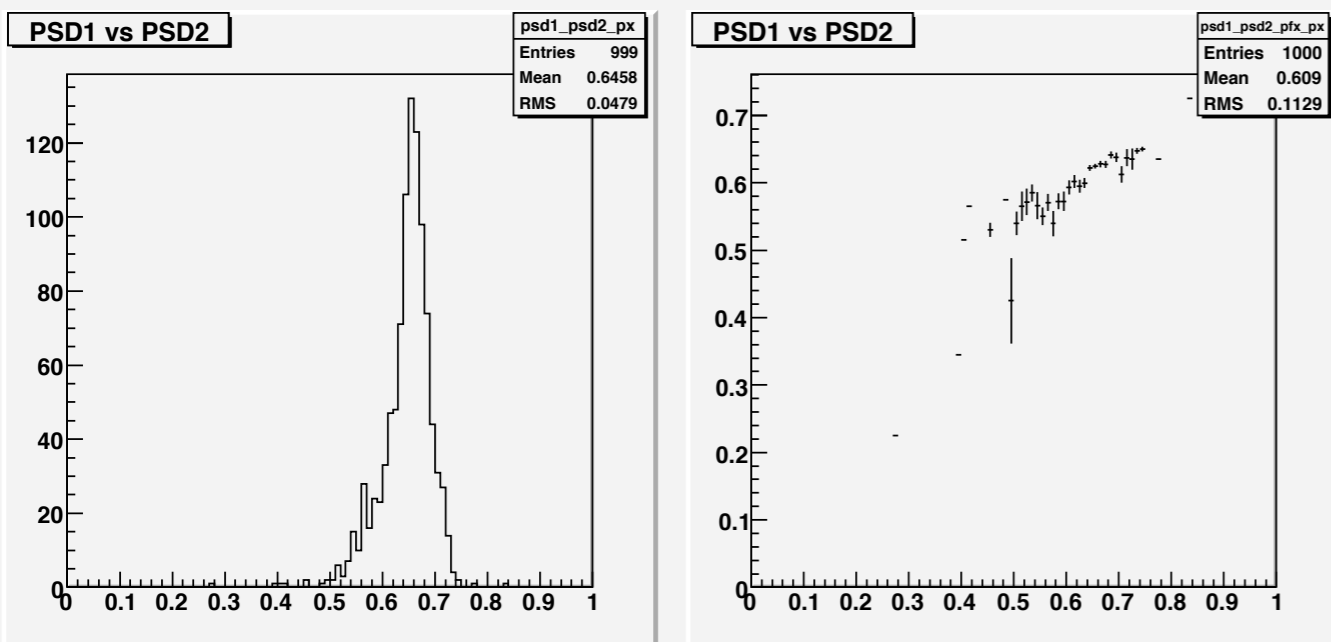
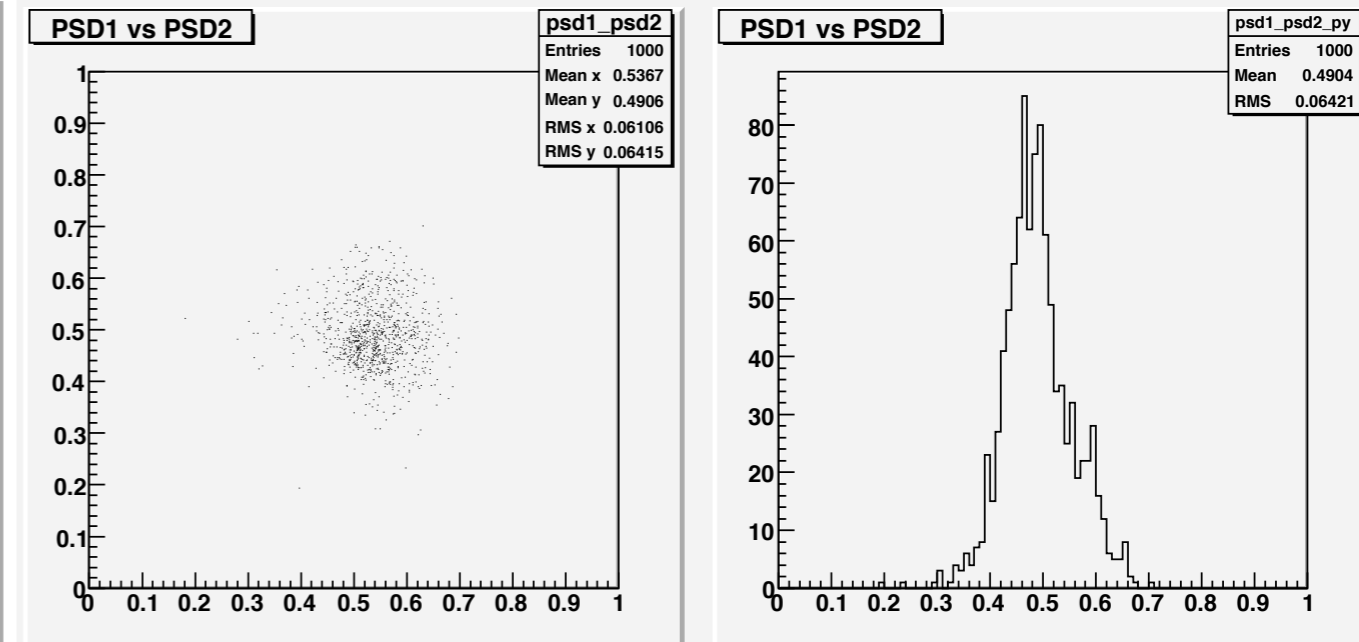
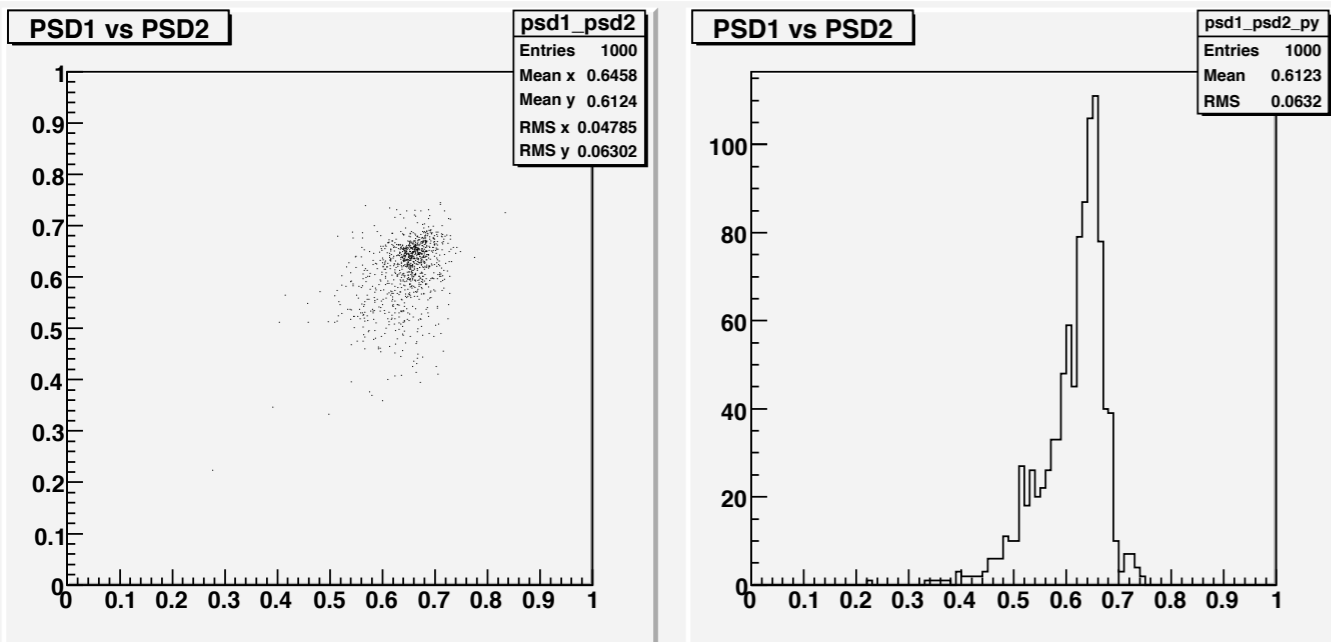
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Cosmic trigger :Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V,16dB

2011.10.8.1526

2011.10.8.1643



TPC cathode =0V, anode=+255V

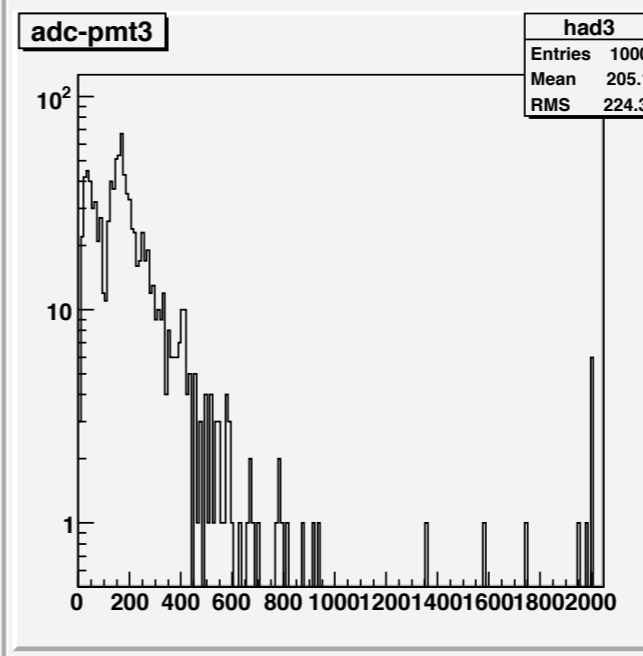
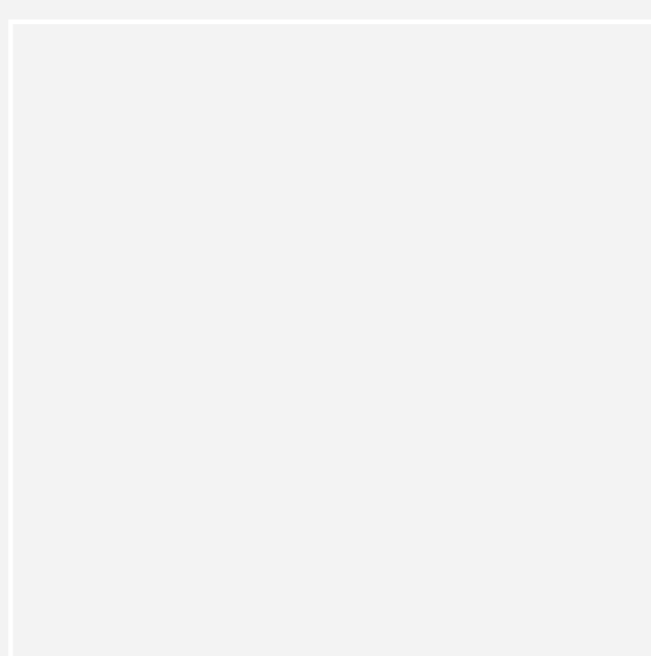
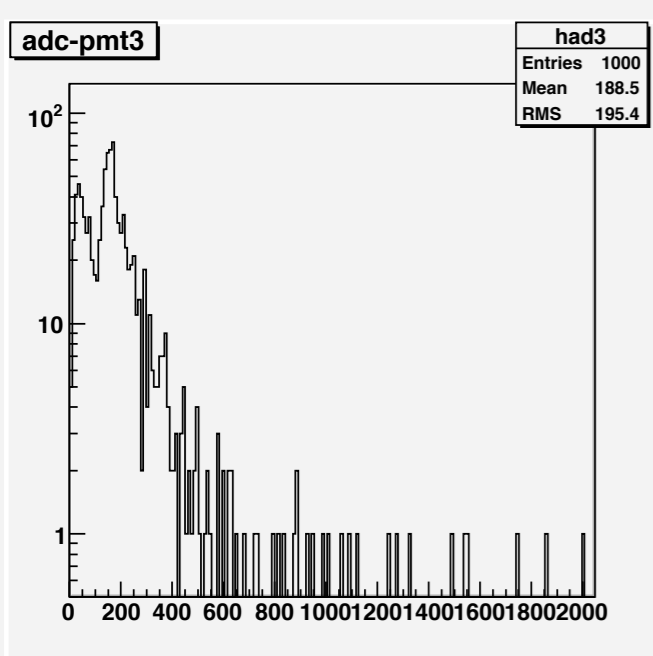
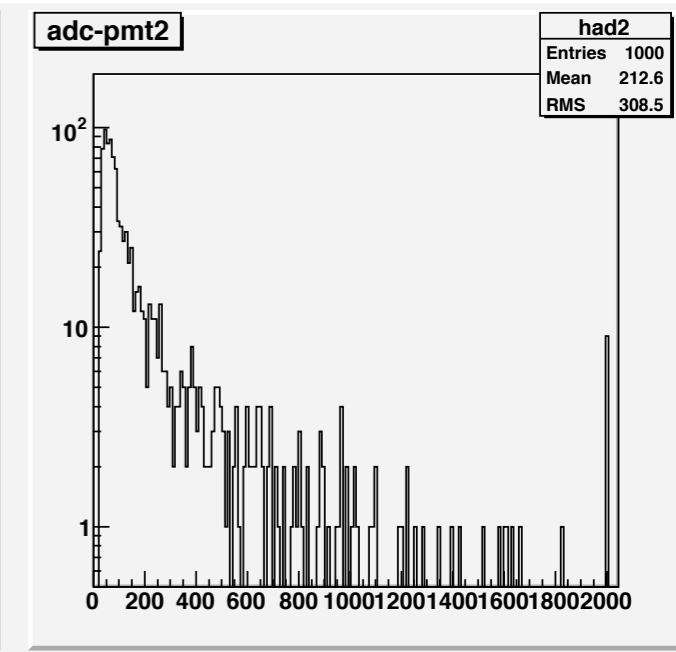
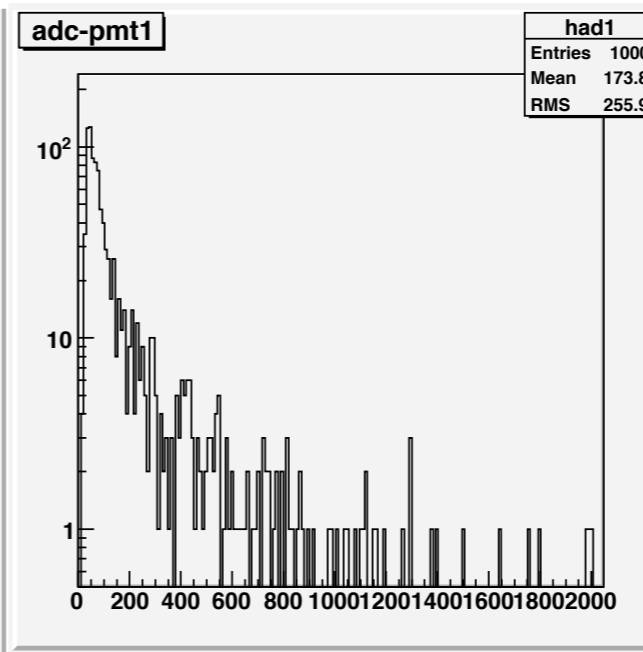
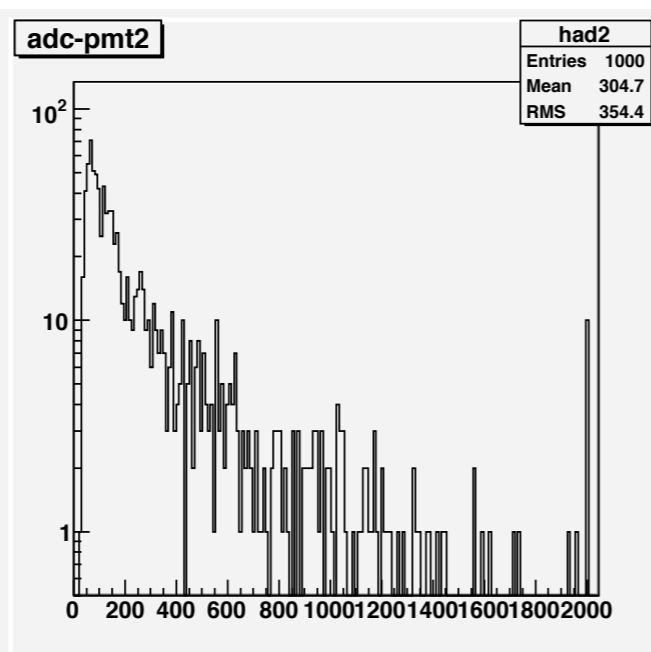
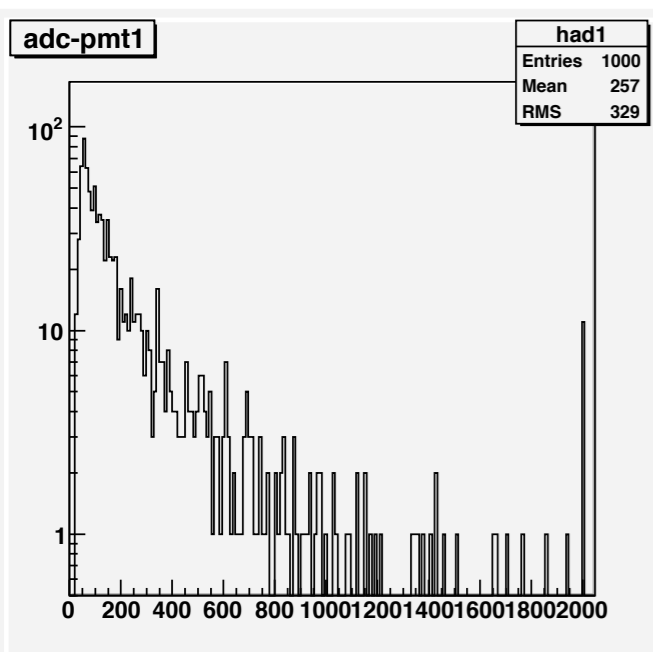
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Cosmic trigger :Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V,16dB

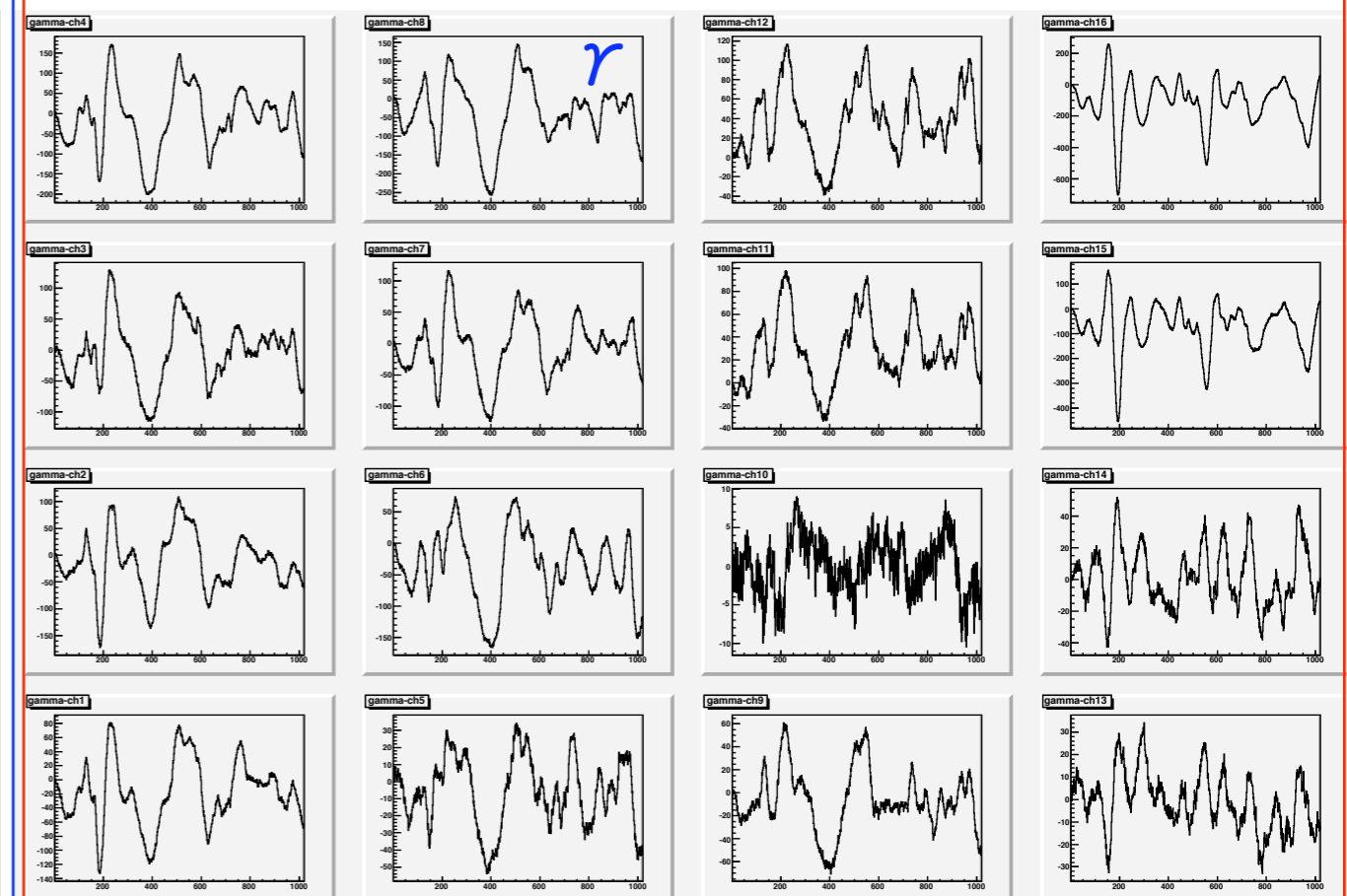
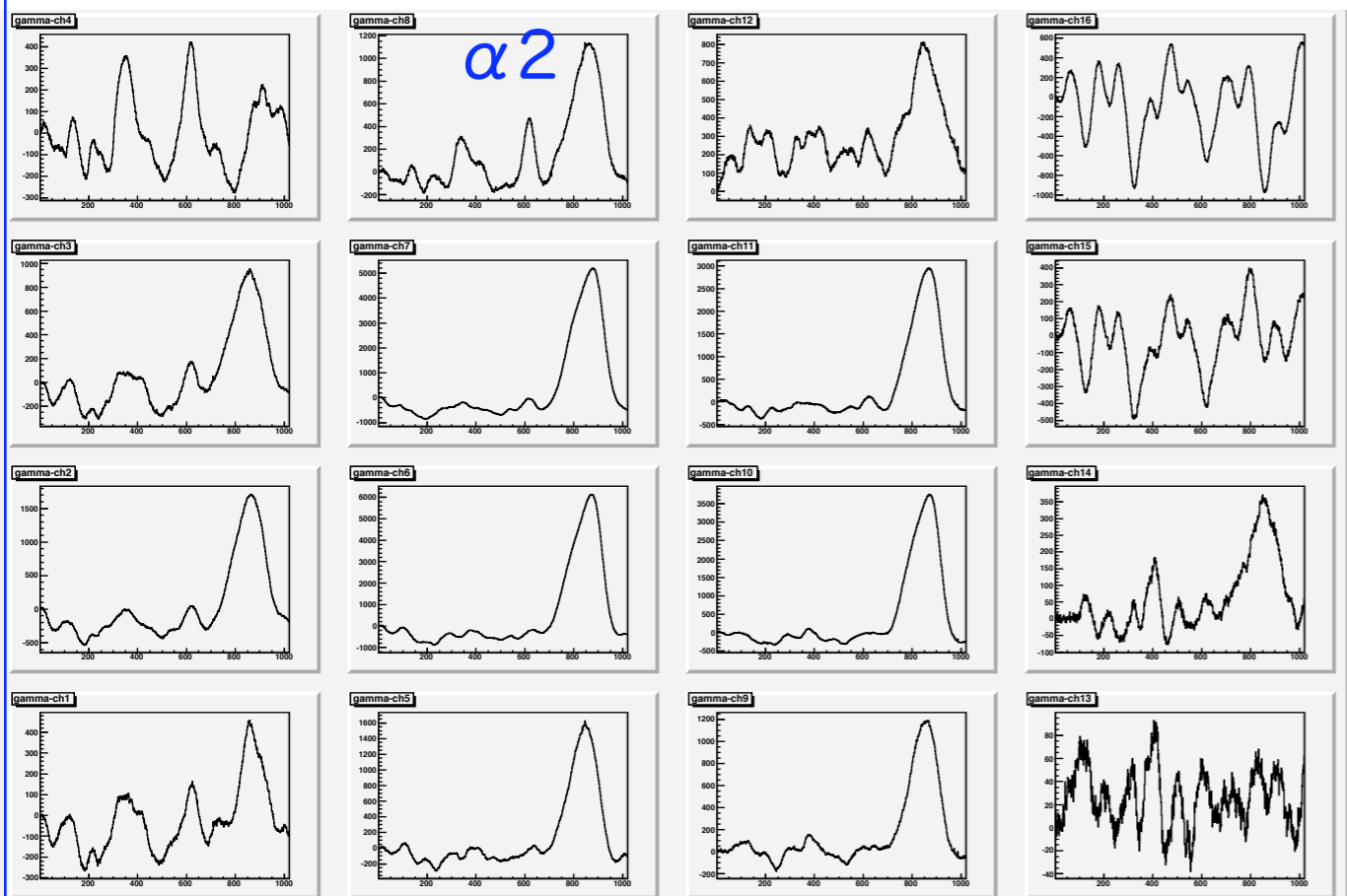
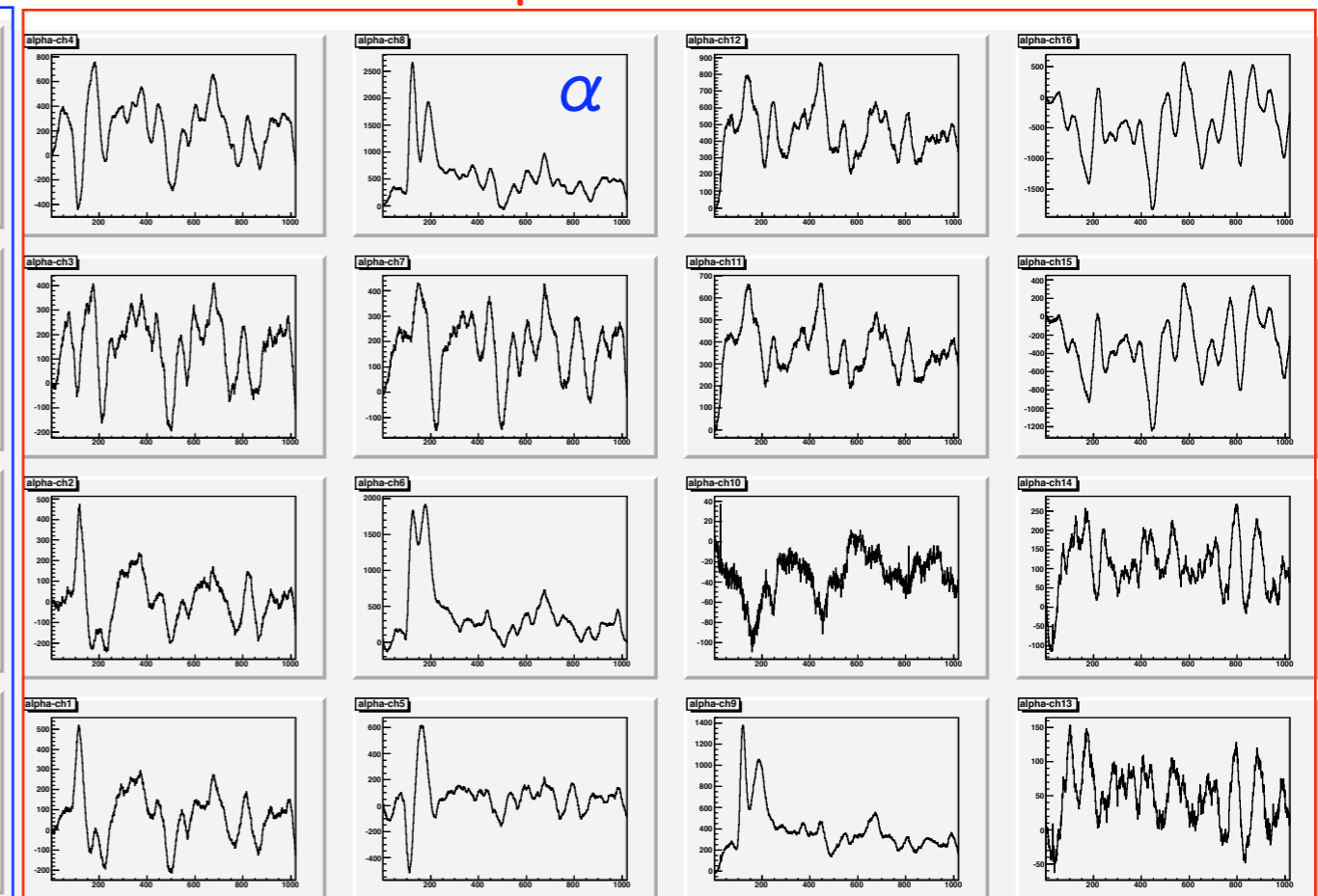
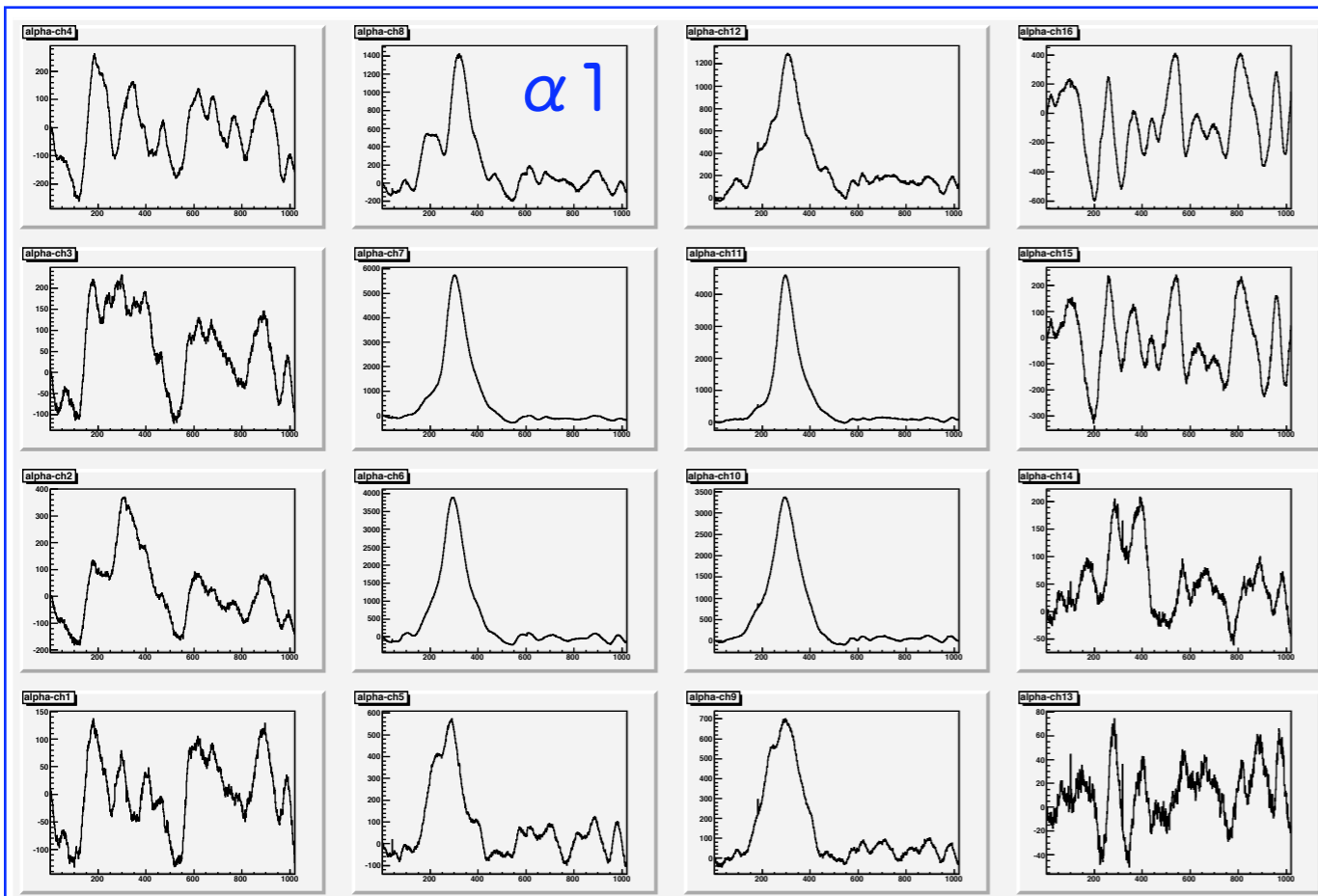
2011.10.8.1526

2011.10.8.1643



TPC cathode =0V, anode=+255V

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



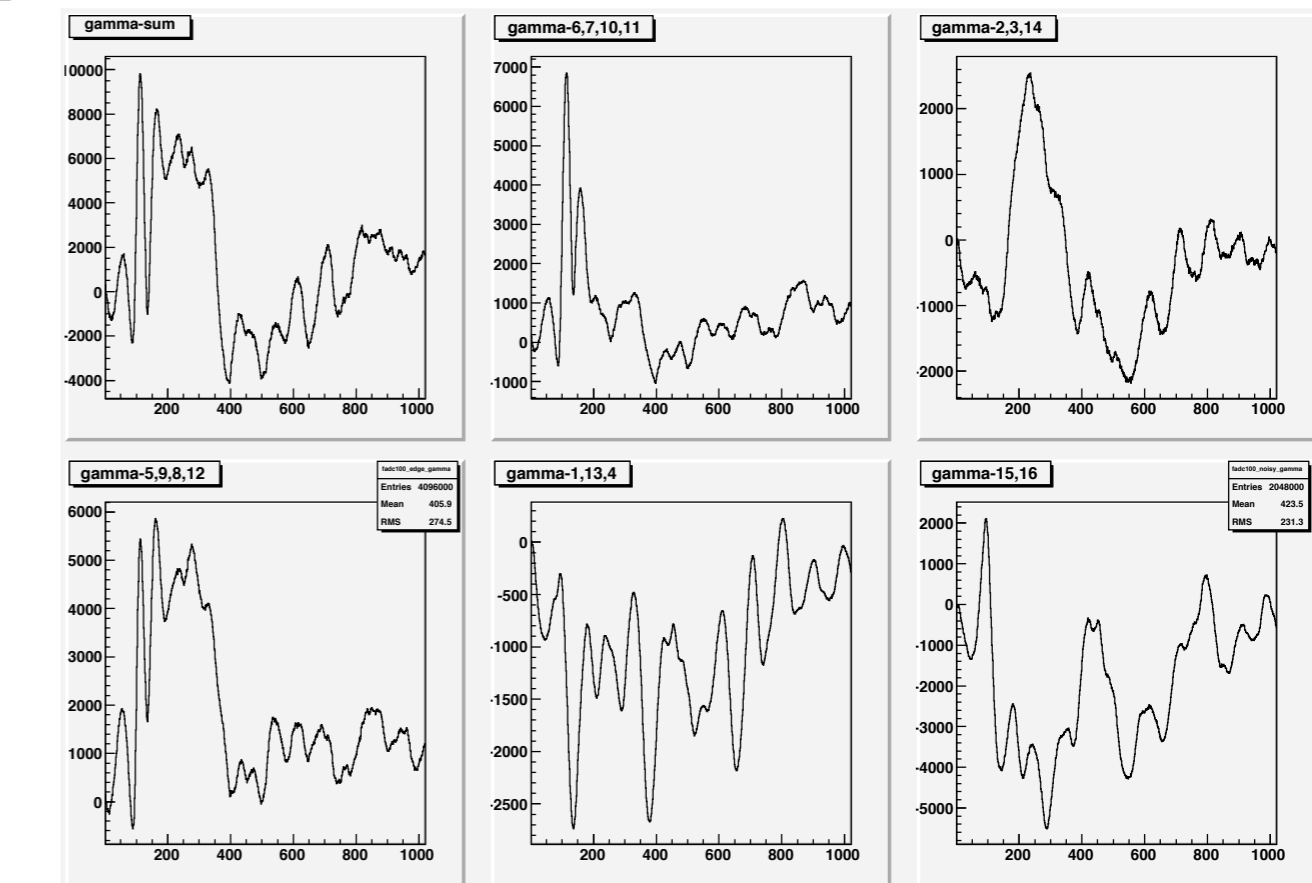
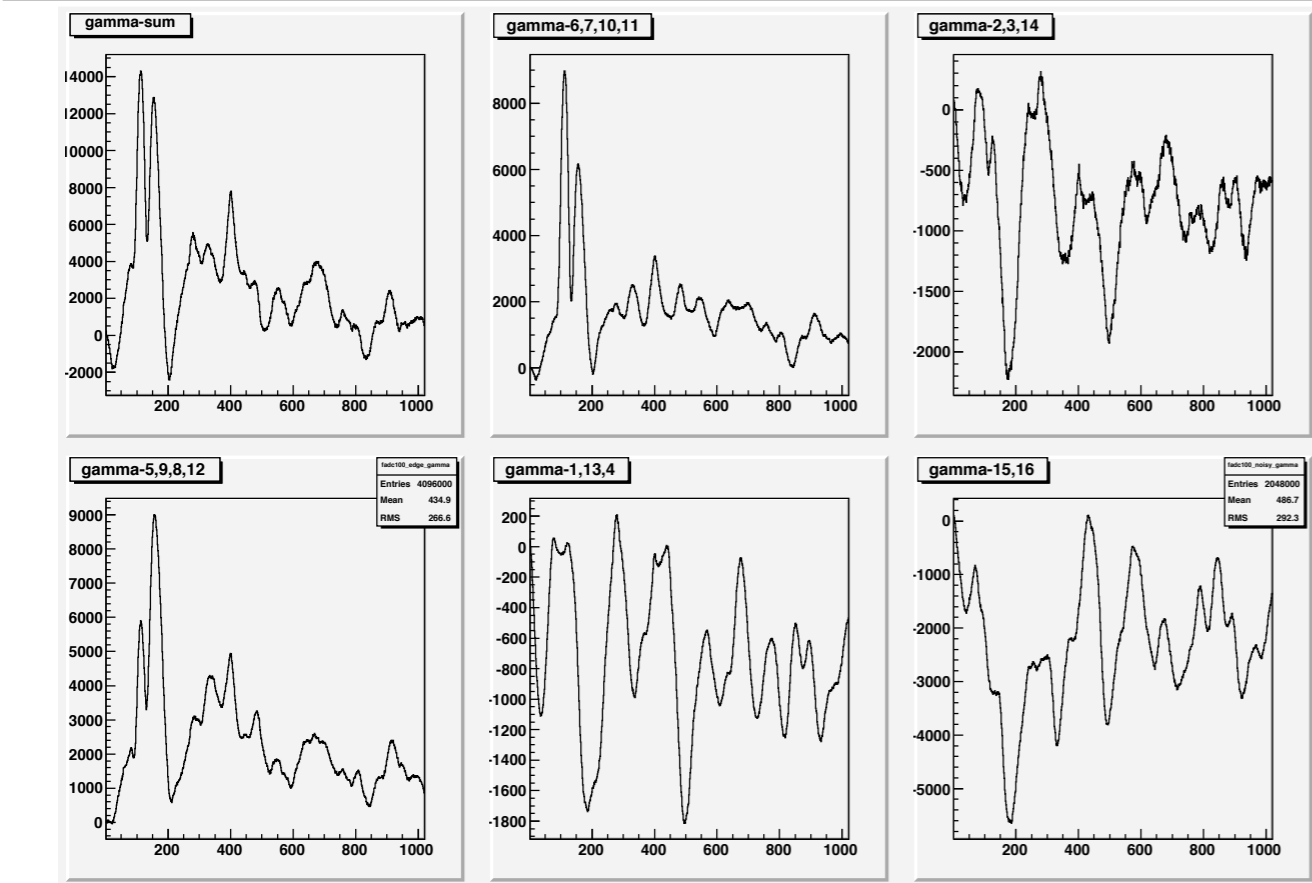
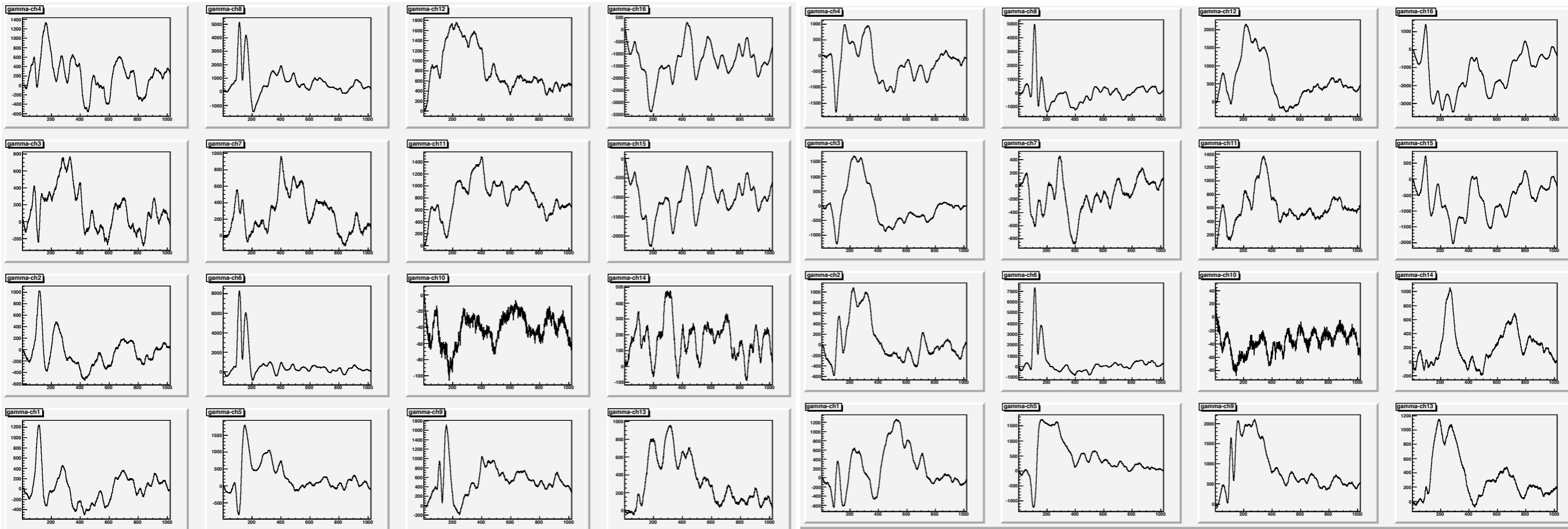
PMT1=PMT2=+720V, TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Cosmic trigger :Xe Liquid at 165K

PMT1=PMT2=+720V,16dB

2011.10.8.1526

2011.10.8.1643



TPC cathode =0V, anode=+255V

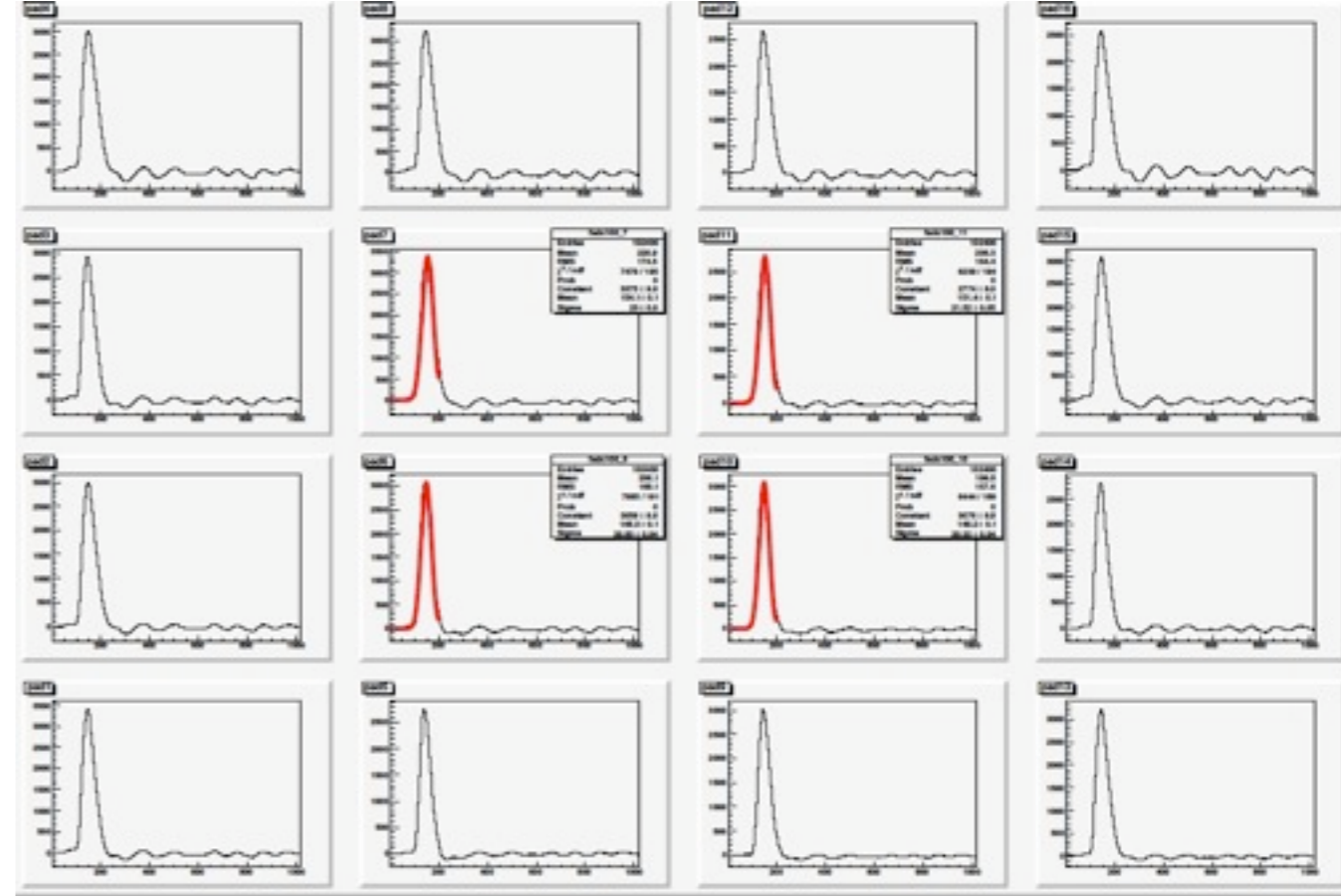
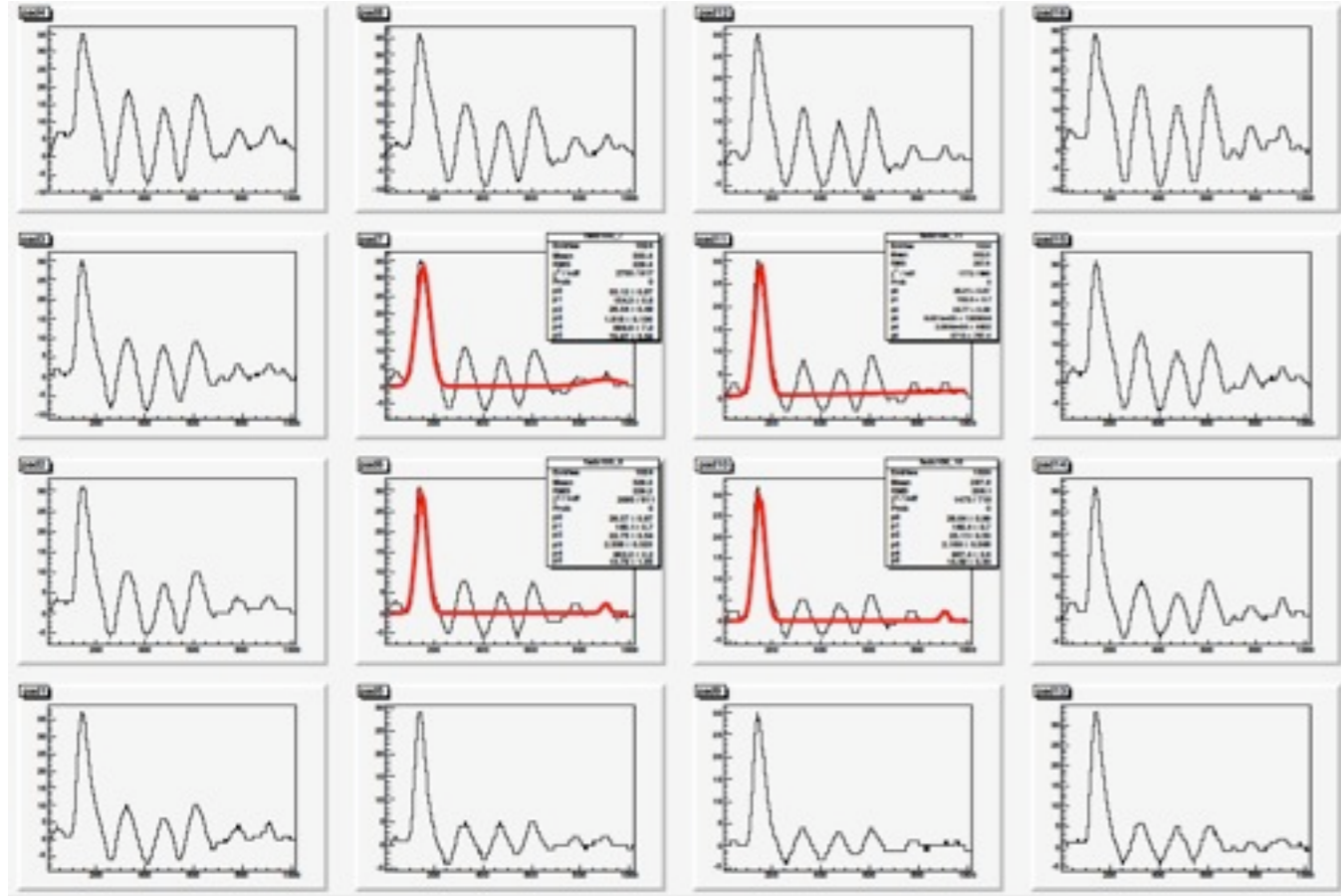
TPC cathode =-2.5kV, anode=+255V

Test Pulse

Air ; 2011.9.9 13:53

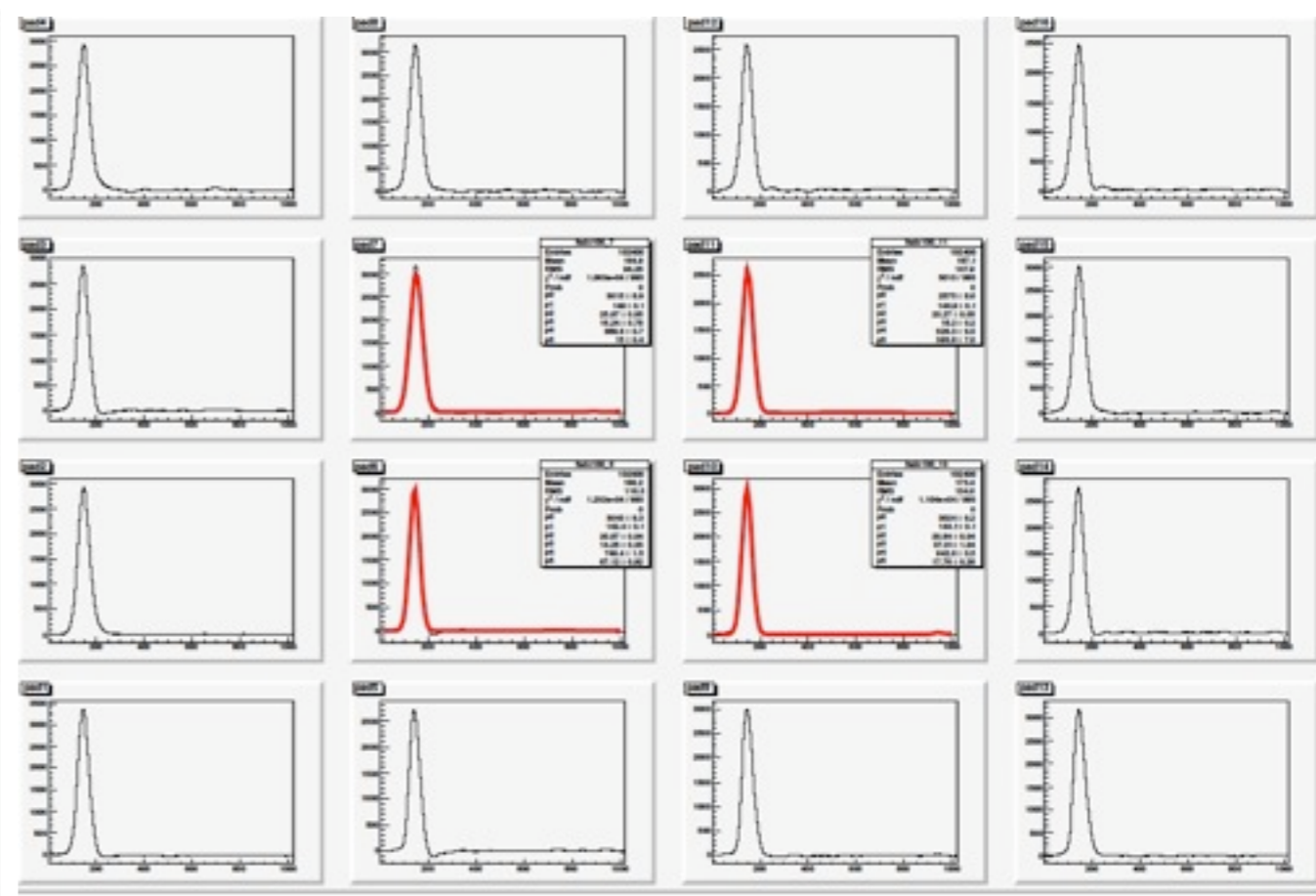
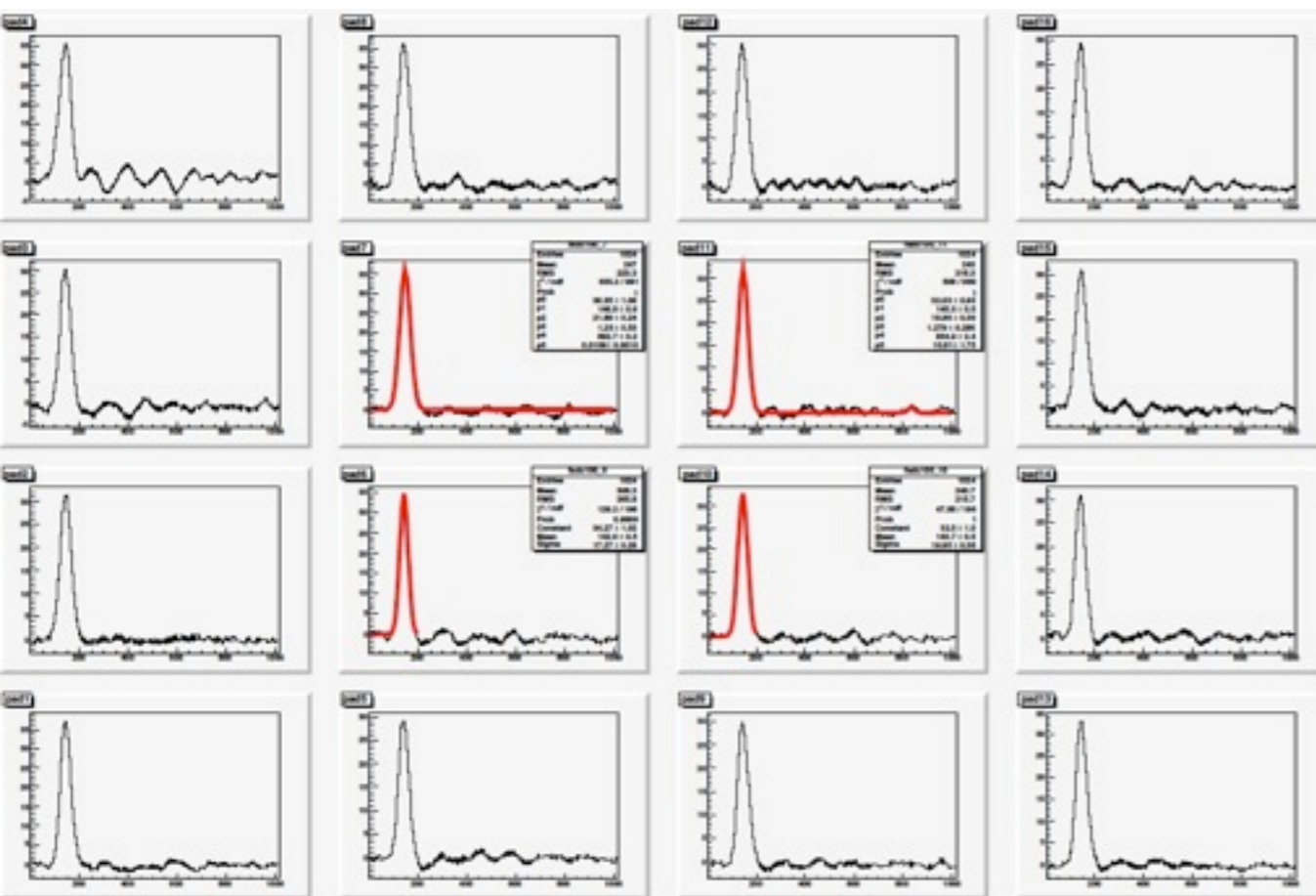
event no.=20 w/o correction

sum of 100 events w/o correction

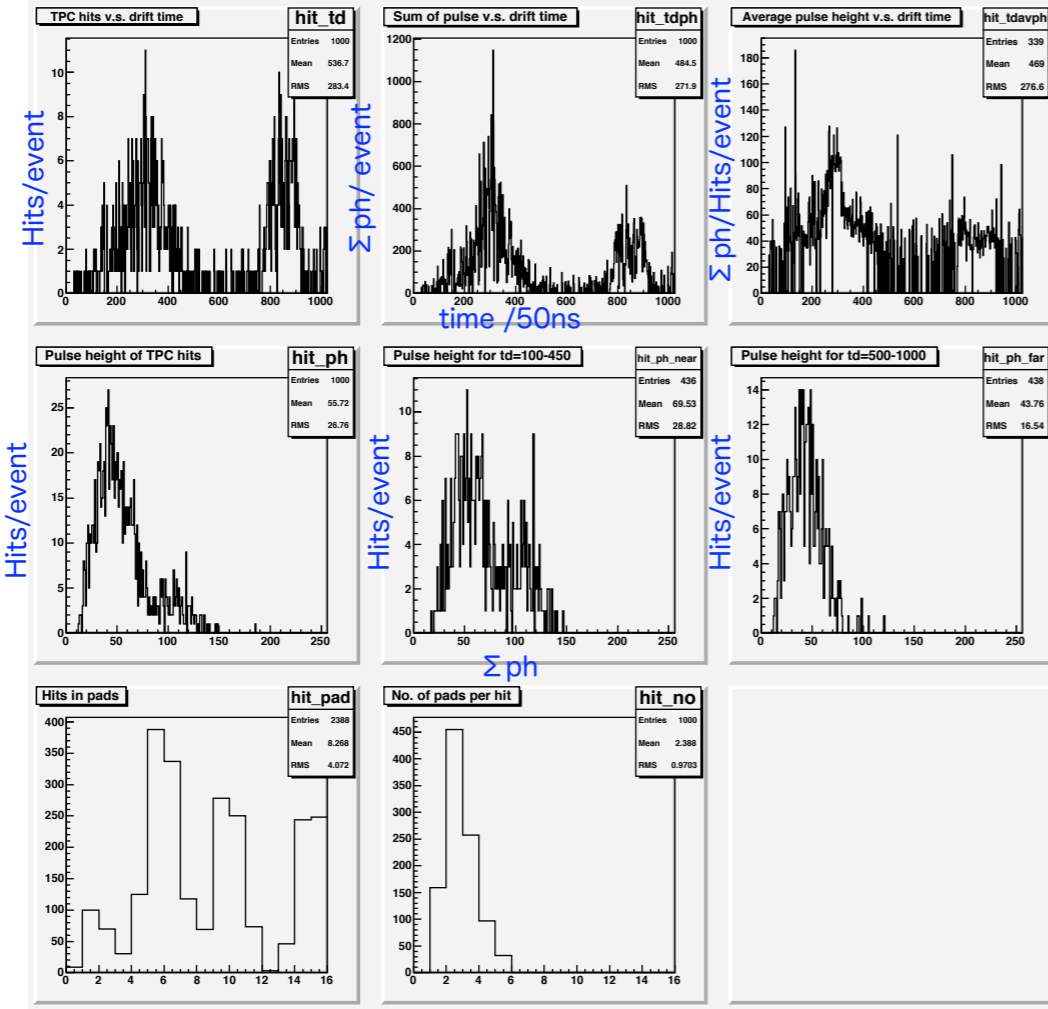


event no.=20 with correction

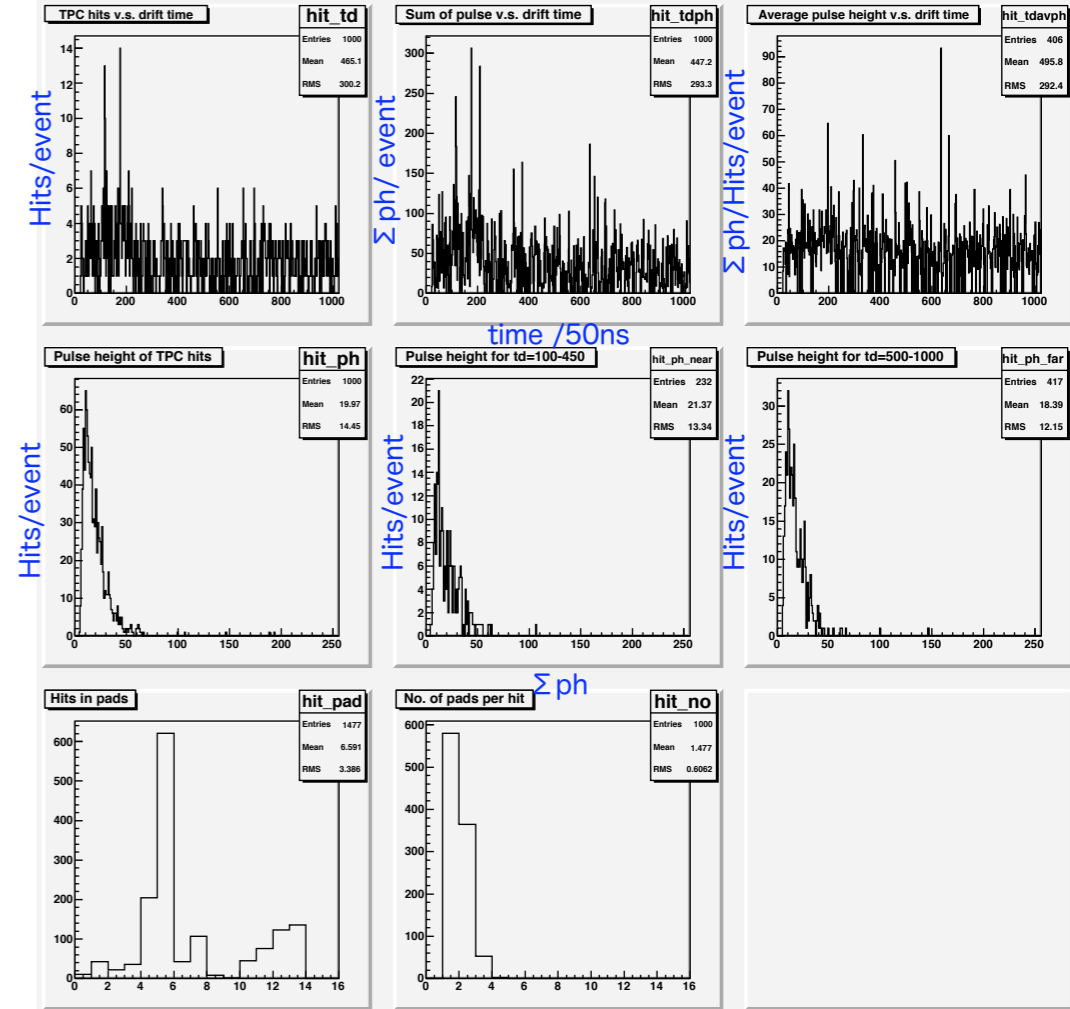
sum of 100 events with correction



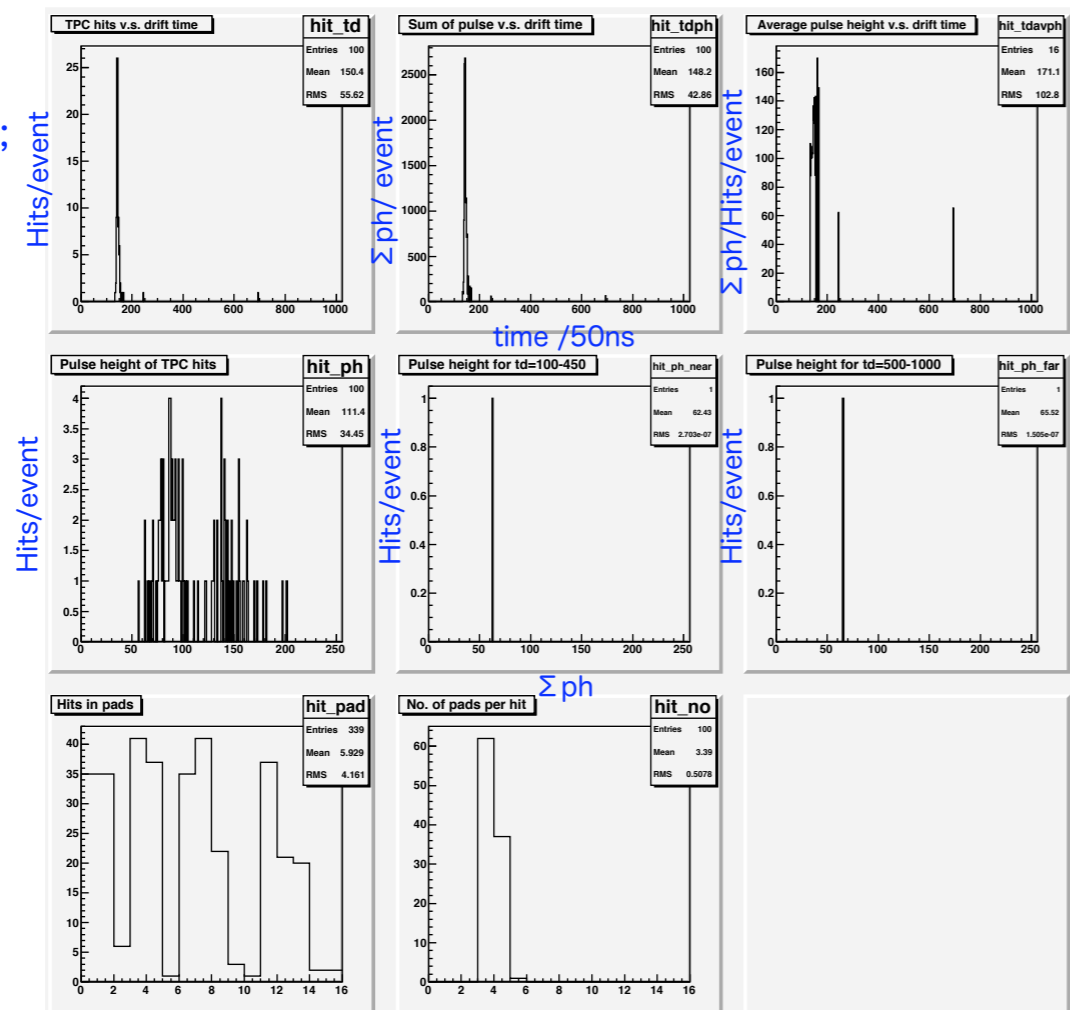
Xe gas ;
2011.9.20
11:22



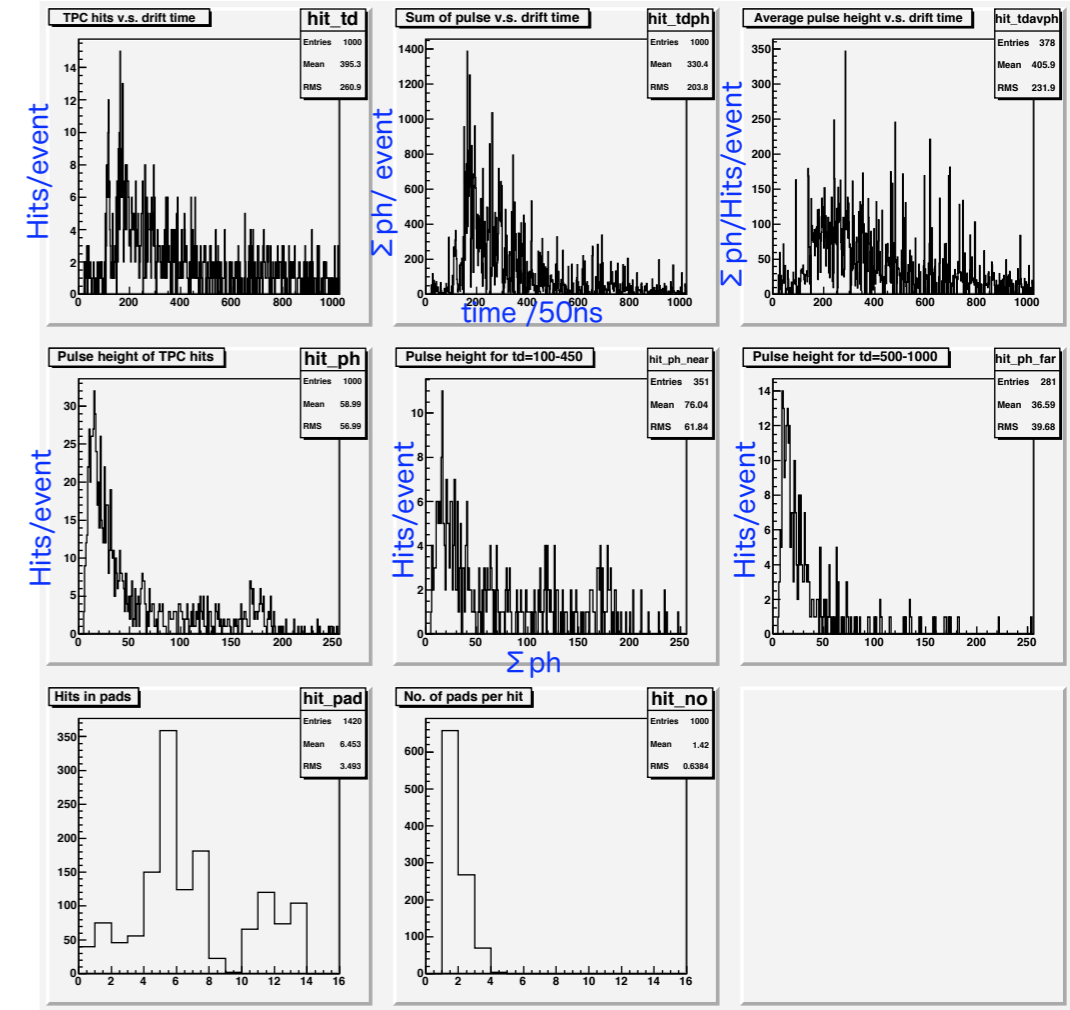
2-fold trig.
Xe liquid ;
2011.10.20
9:1



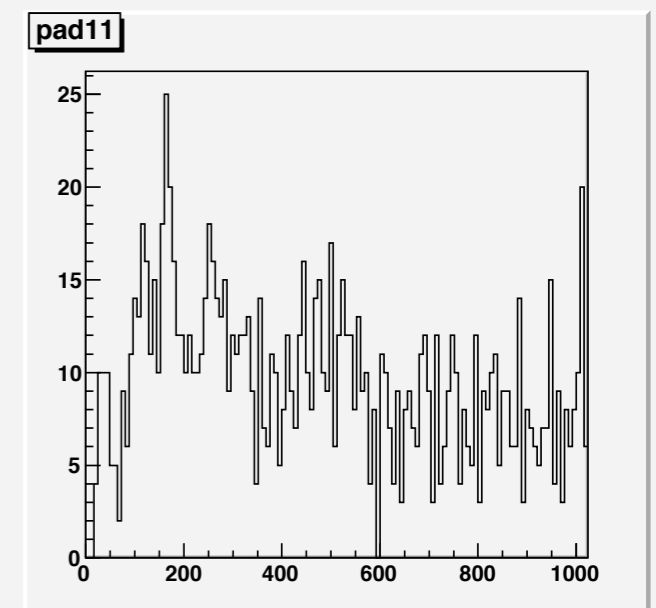
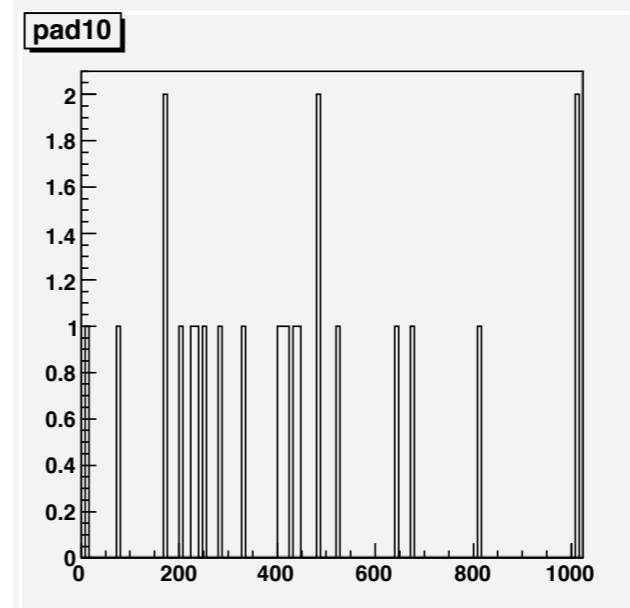
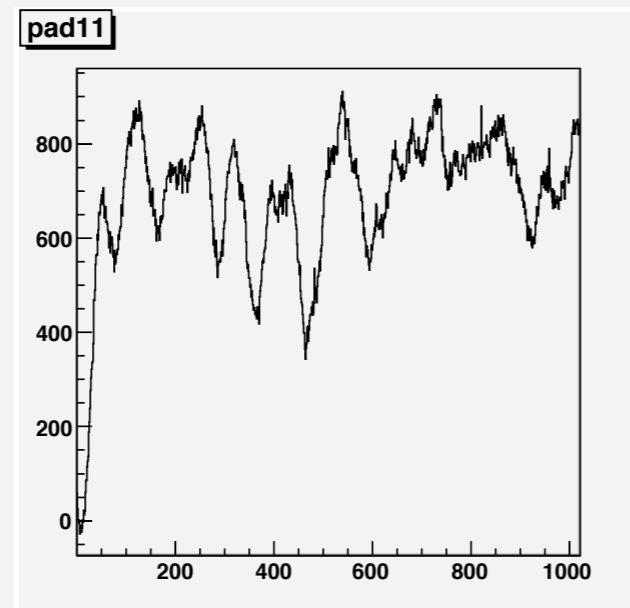
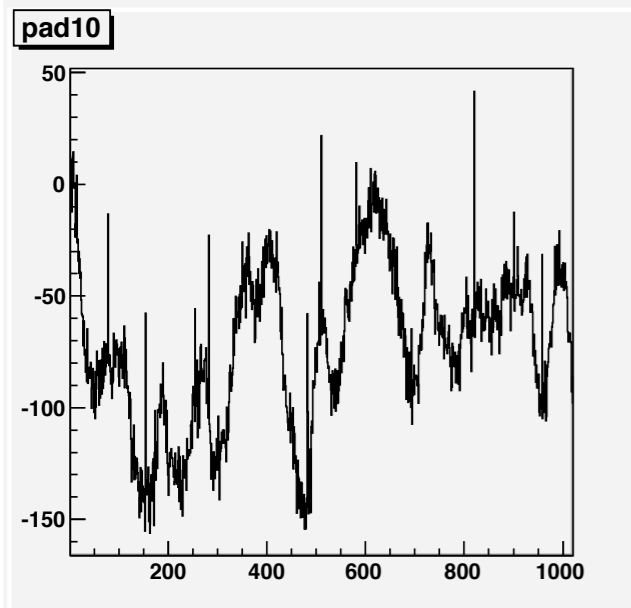
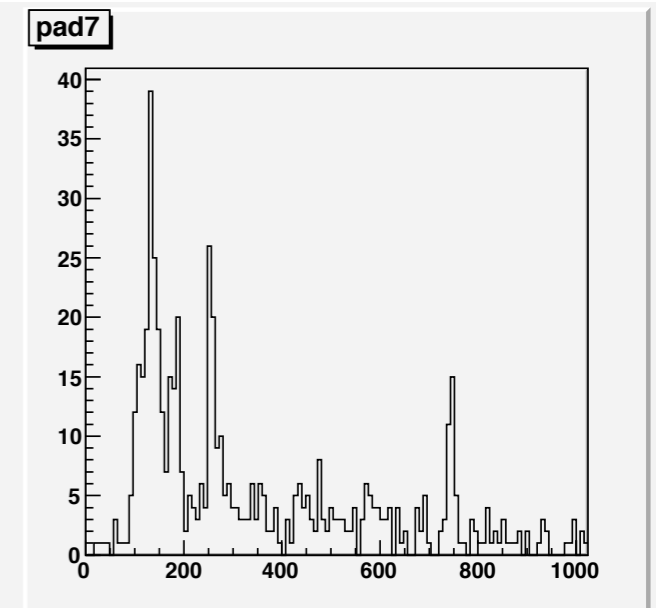
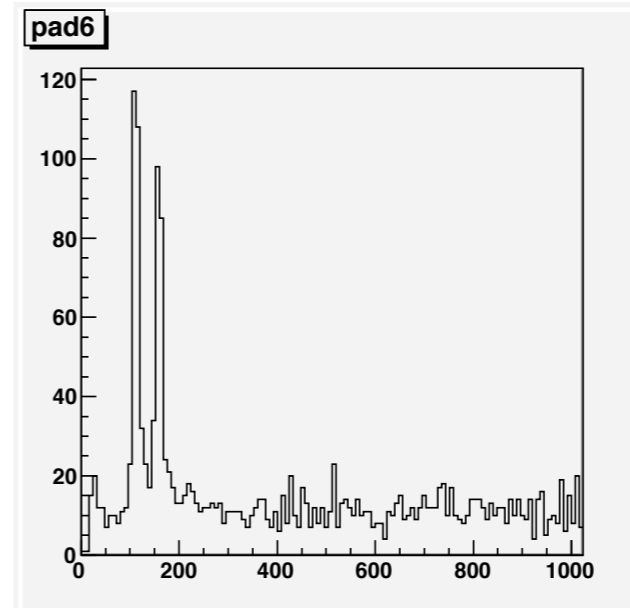
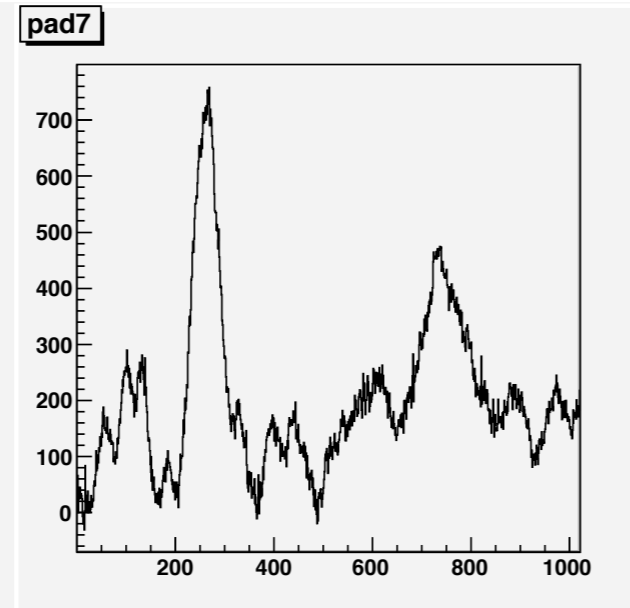
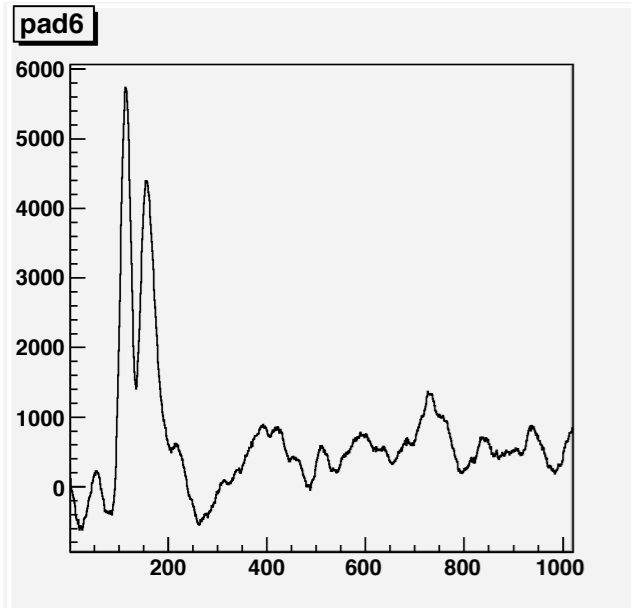
Test pulse ;
2011.9.9
13:53



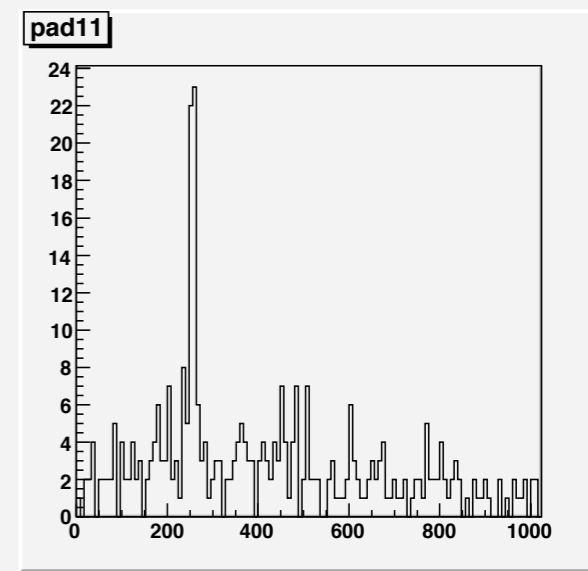
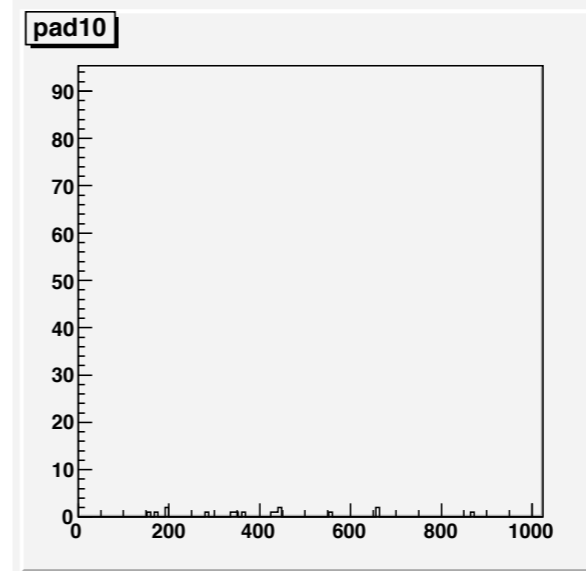
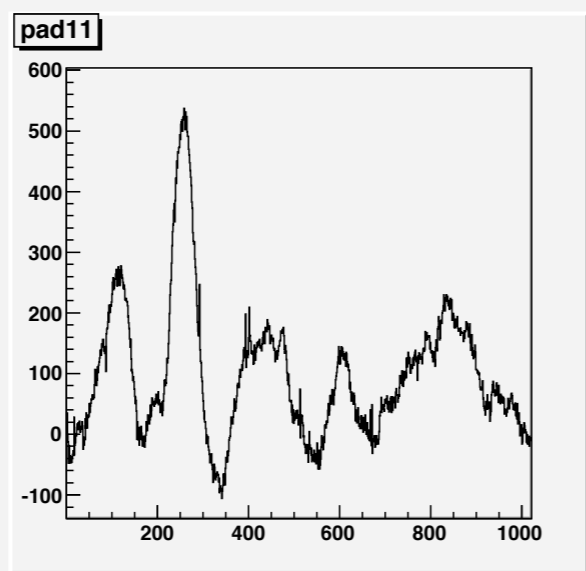
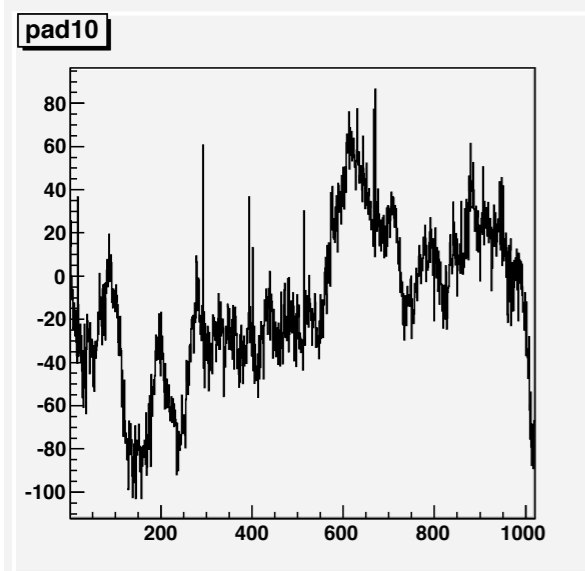
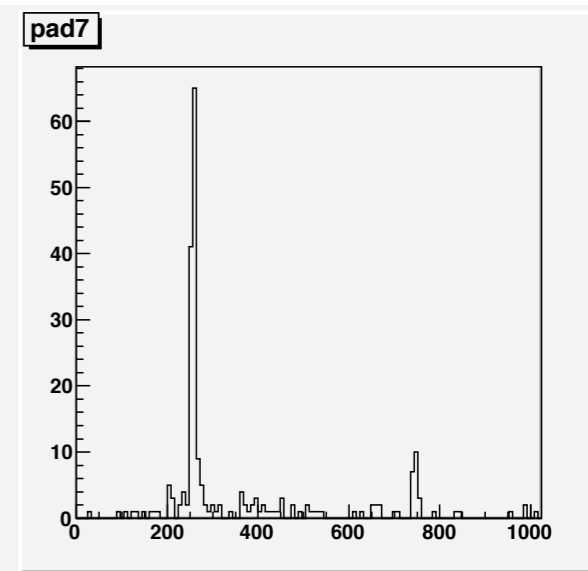
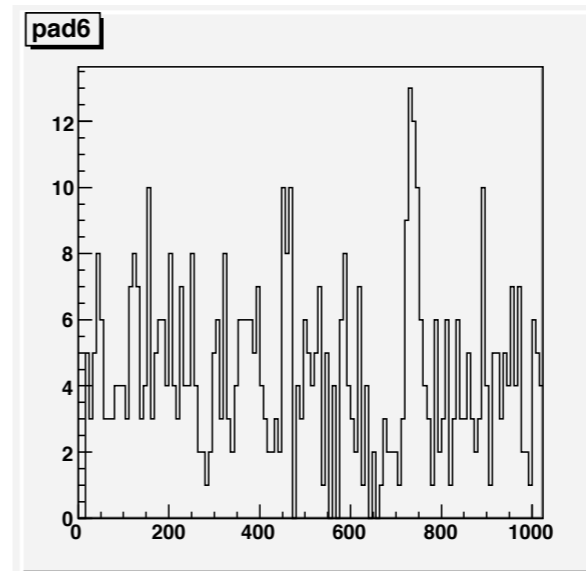
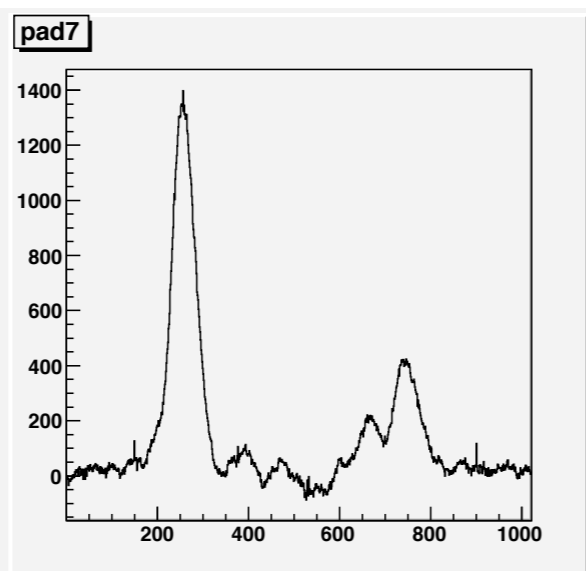
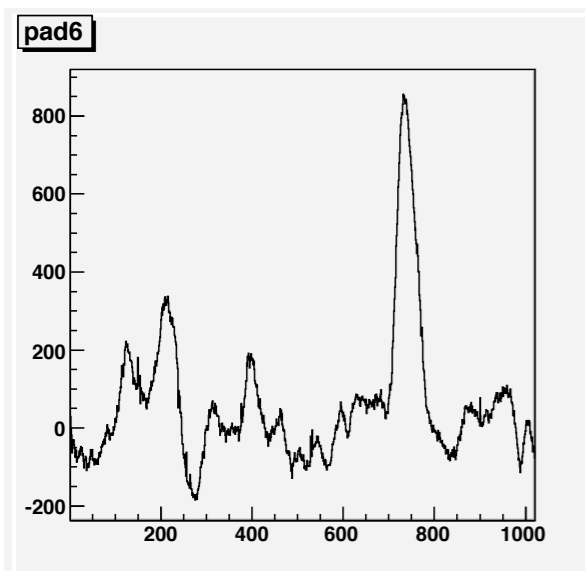
3-fold trig.
(cosmic)
Xe liquid ;
2011.10.20
7:38



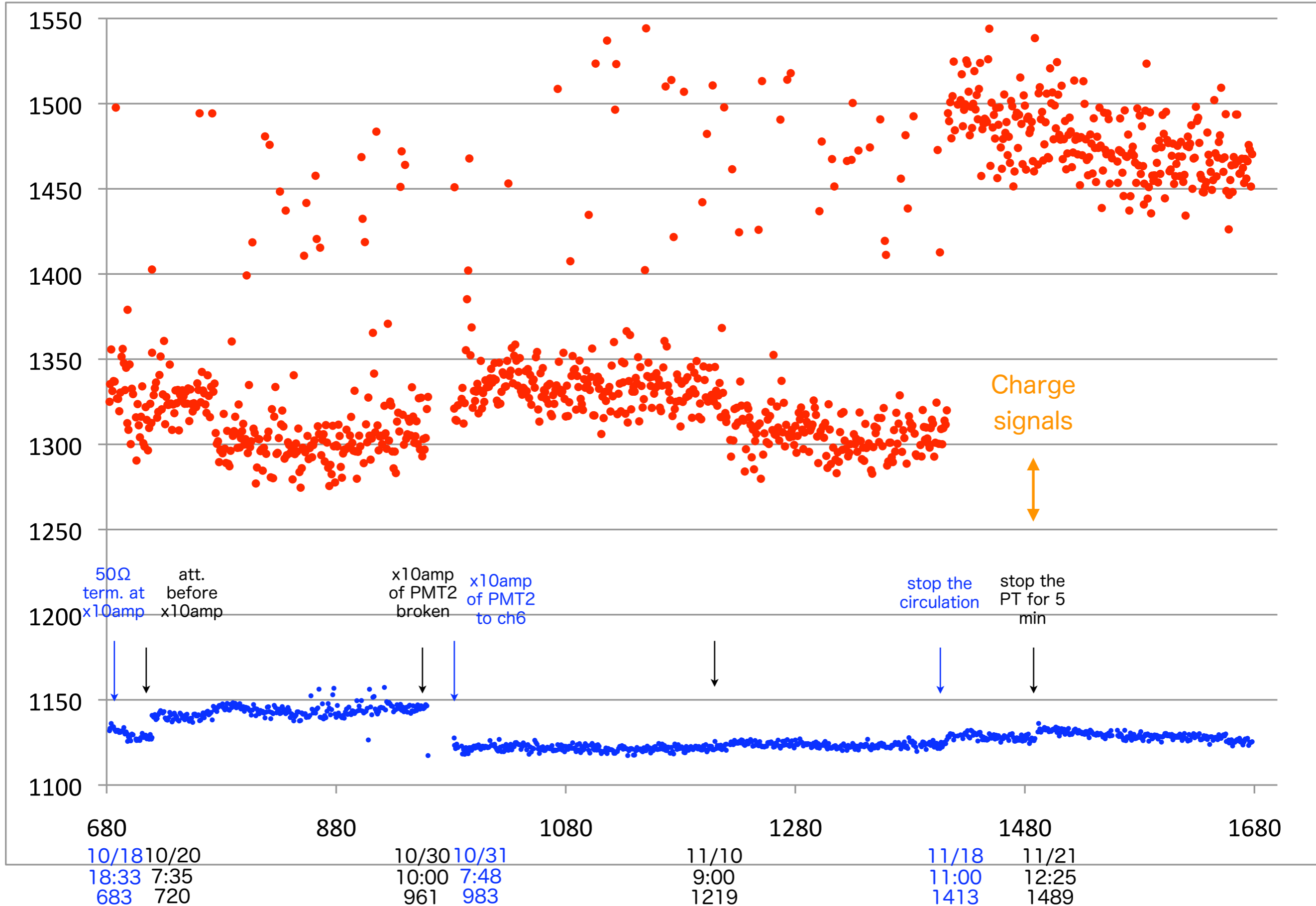
2011.10.11.10:40-11:06, 2-fold trigger



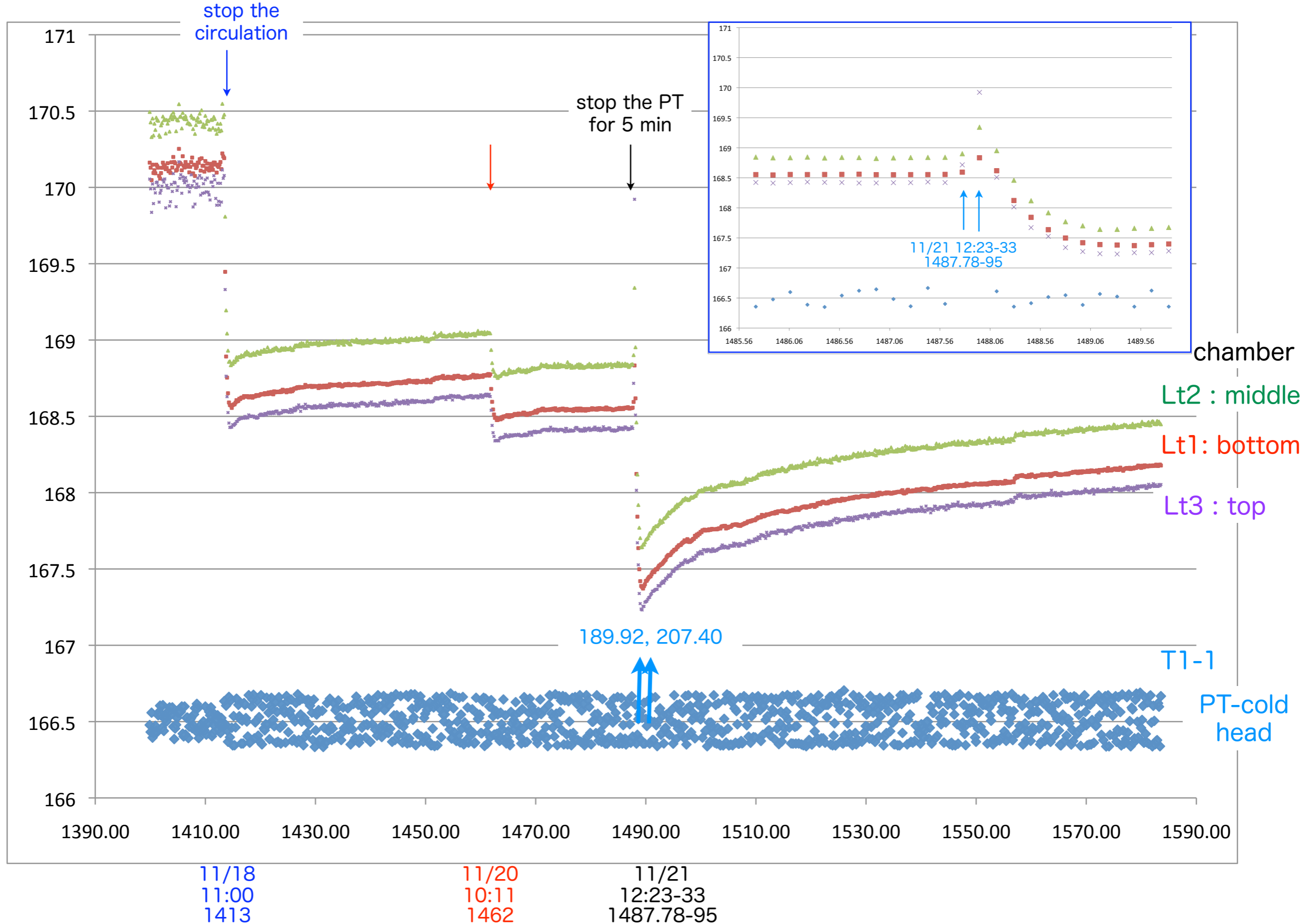
2011.11.21.12:22, 2-fold trigger 1,000 triggers



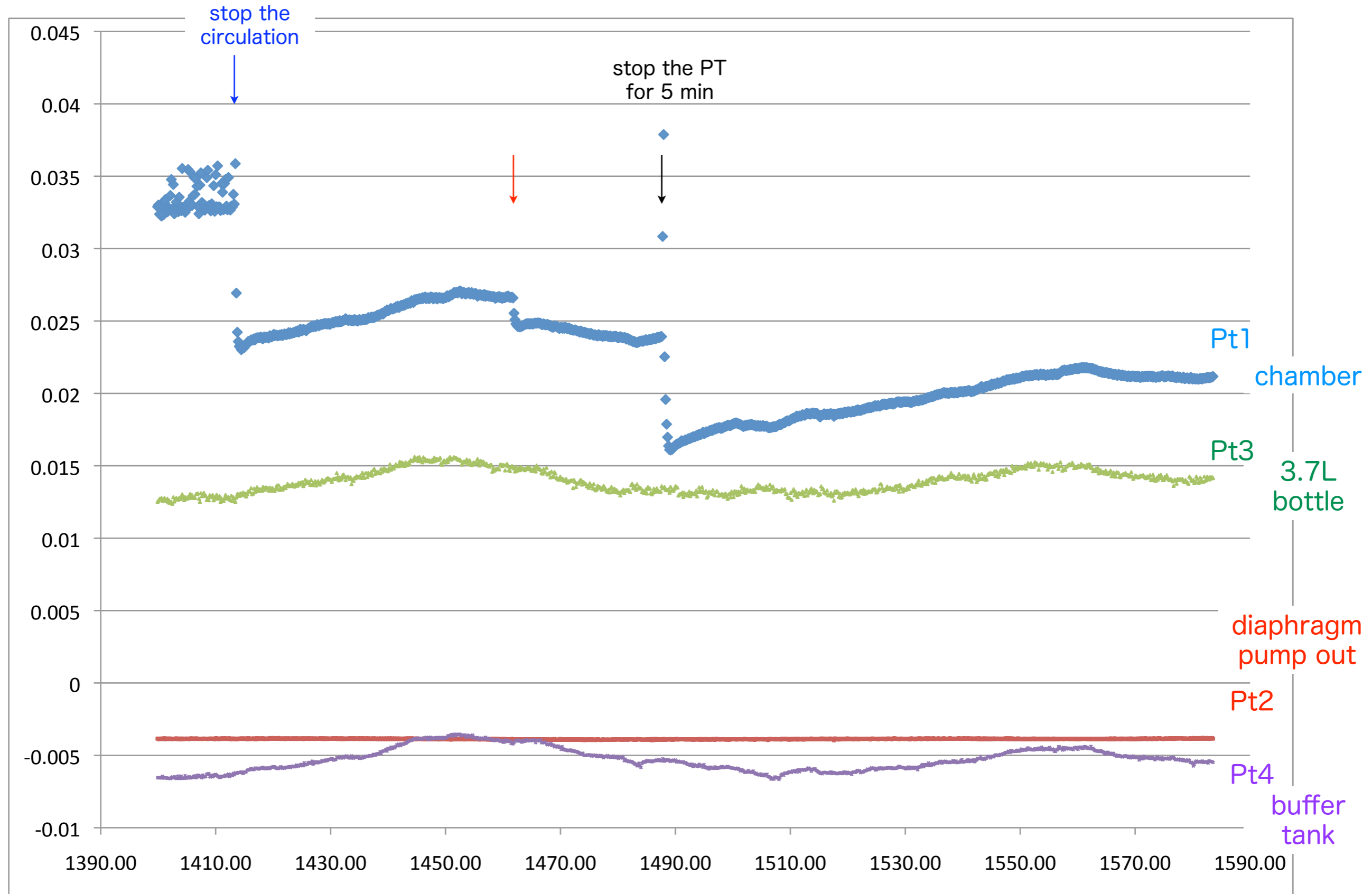
Scintillation lights in Liquid Xe, 18 Oct.-29 Nov., 2011



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



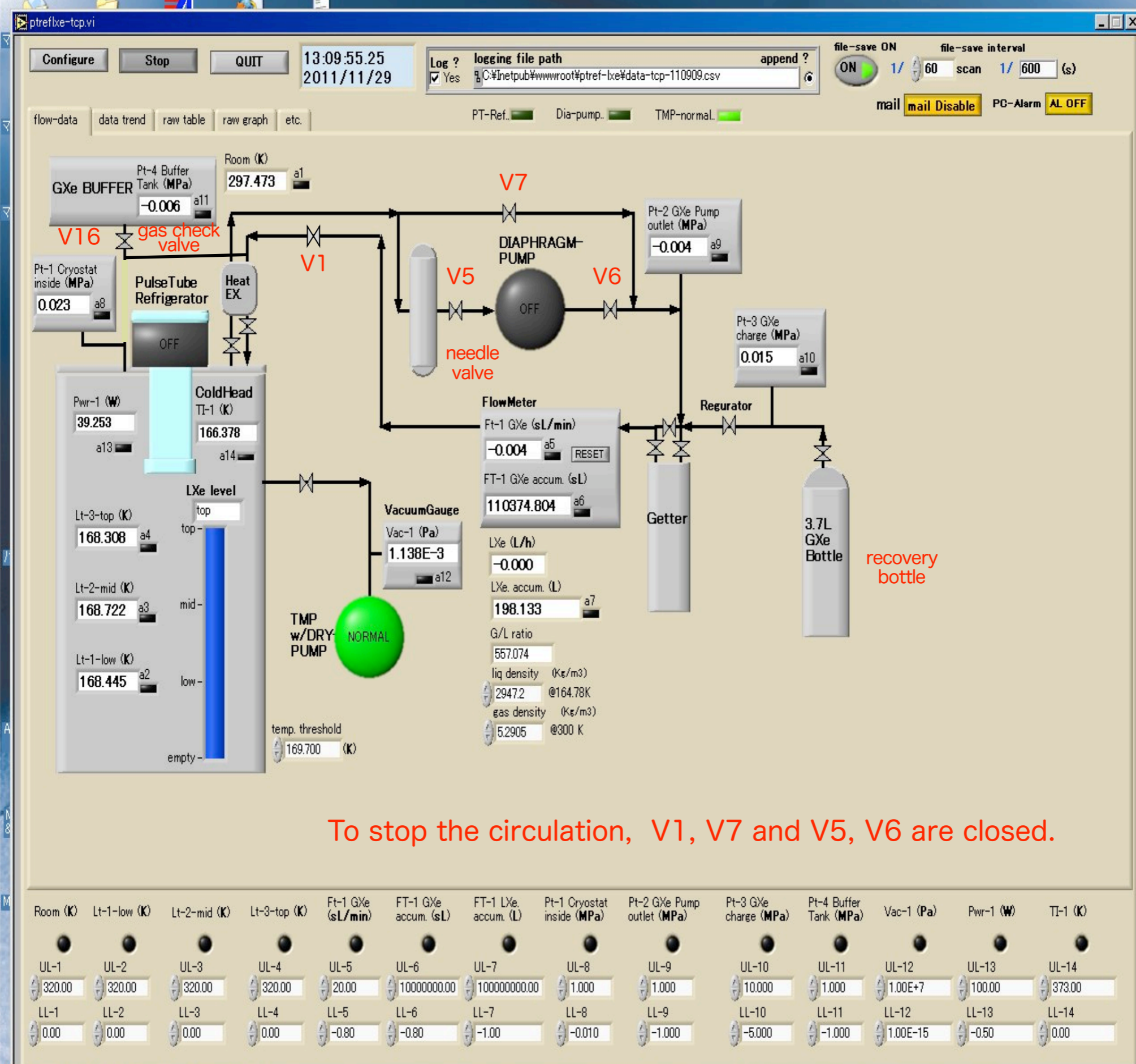
Pressure (MPa), per 10 min. 17 Nov.-25 Nov., 2011



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.

Room (K)	Lt-1-low (K)	Lt-2-mid (K)	Lt-3-top (K)	Ft-1 GXe (sL/min)	FT-1 GXe accum. (sL)	FT-1 LXe accum. (L)	Pt-1 Cryostat inside (MPa)	Pt-2 GXe Pump outlet (MPa)	Pt-3 GXe charge (MPa)	Pt-4 Buffer Tank (MPa)	Vac-1 (Pa)	Pwr-1 (W)	TI-1 (K)
UL-1	UL-2	UL-3	UL-4	UL-5	UL-6	UL-7	UL-8	UL-9	UL-10	UL-11	UL-12	UL-13	UL-14
320.00	320.00	320.00	320.00	20.00	10000000.00	100000000.00	1.000	1.000	10.000	1.000	1.00E+7	100.00	373.00
LL-1	LL-2	LL-3	LL-4	LL-5	LL-6	LL-7	LL-8	LL-9	LL-10	LL-11	LL-12	LL-13	LL-14
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.80	-0.80	-1.00	-0.010	-1.000	-5.000	-1.000	1.00E-15	-0.50	0.00

2011 12/28 試験：循環・PTR停止,加温,PTR再起動, PTR停止,自然加温, 逆止弁開放

10:20 Circulation STOP, PTR ON

281342 PTR ON

13:50 PTR OFF, i.e. compressor off

281350 PTR OFF 加温中, 190 to 244 (500 event) to 282K (1,000 event), charge signals

281359 PTR OFF 加温中, 290K , 途中で compressor ON (500 event) to 230K(1,000 event), charge signals

14:01 compressor ON

281407 PTR ON to 167.8K@CH, 170K@LXe, charge signals

281426 PTR ON 168.5-168.9K@LXe

281523 PTR ON 167.5-167.9K@LXe

15:35 compressor OFF

281537 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 177 to 192K@CH, charge signals

281544 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 244.4K@CH, 168.9-167.9K@LXe, charge signals

281556 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 234K@CH, charge signals

281607 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 251K@CH, 169-171K@LXe, charge signals

281621 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 267K@CH, 169.3-172K@LXe, charge signals

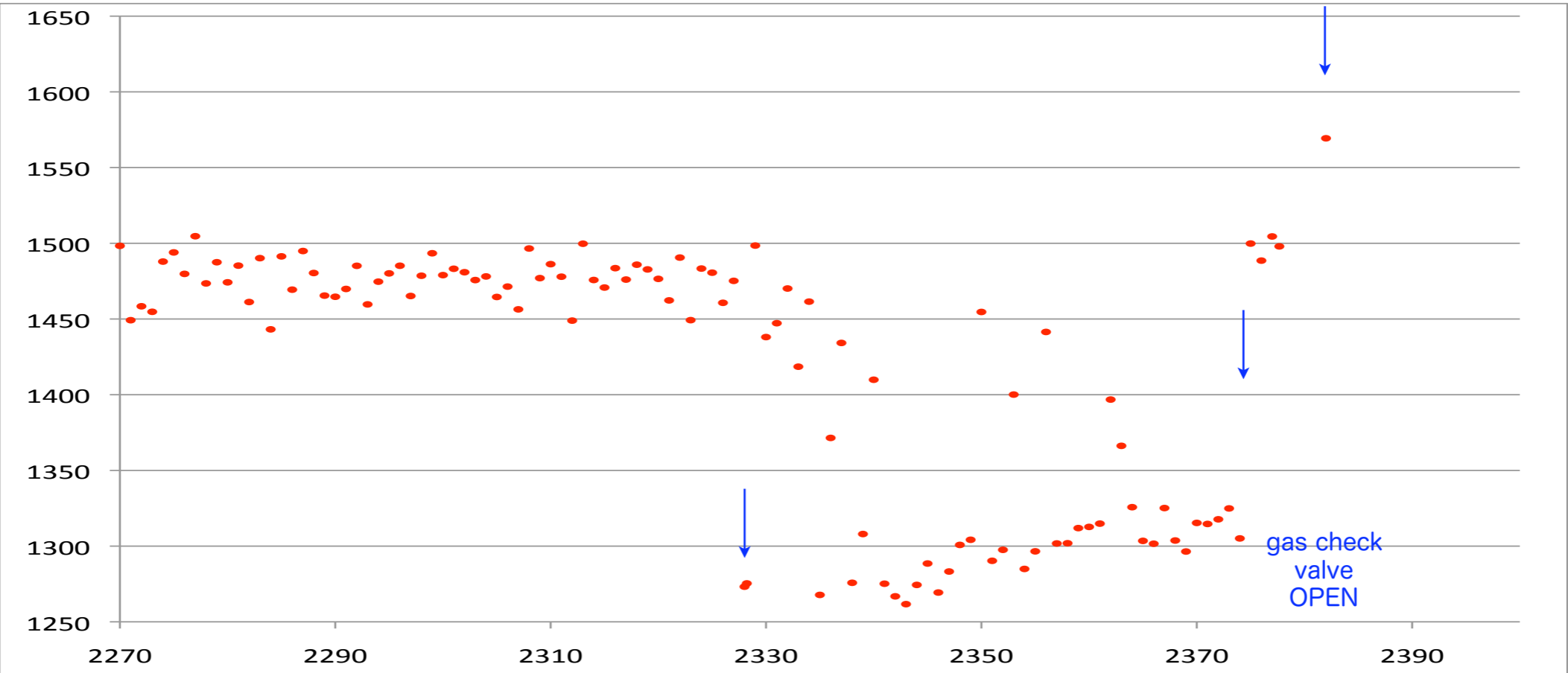
16:26 gas check valve OPEN

281629 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 逆止弁開放, 172 to 167K@LXe as shown above

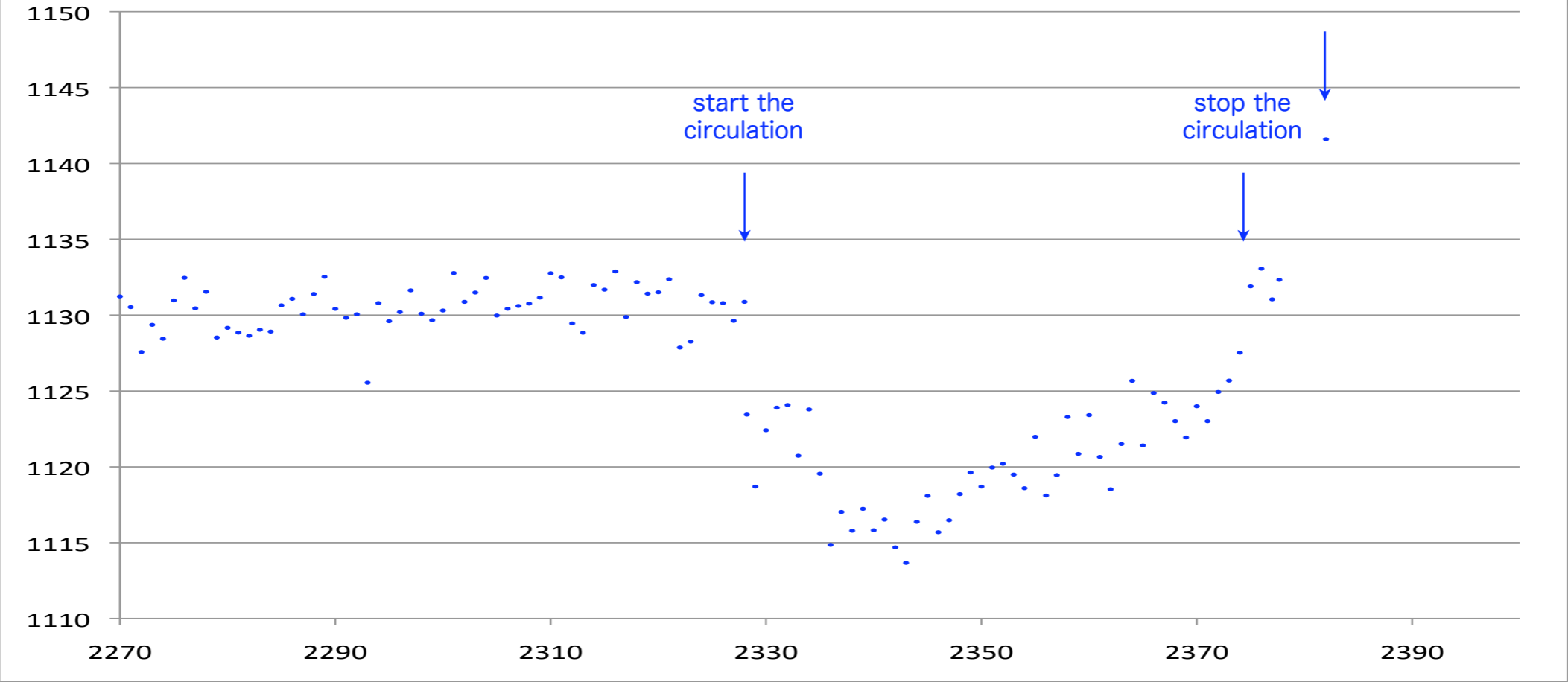
281634 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 逆止弁開放

281740 PTR OFF 自然加温, all fans OFF, 逆止弁開放 165.4-165.8K@LXe as shown above

PMT1($\alpha 2$), x 10



PMT2($\alpha 2$), x 10

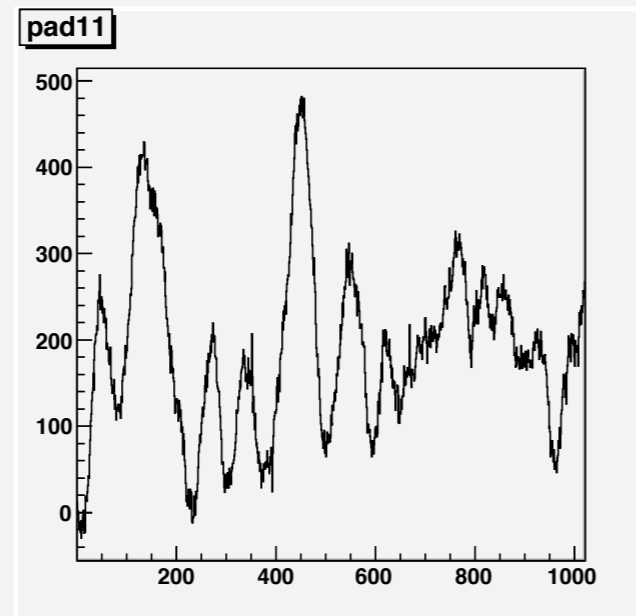
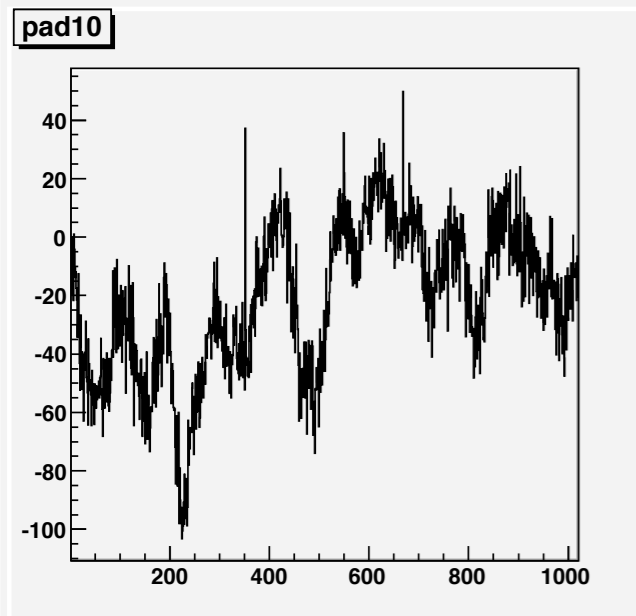
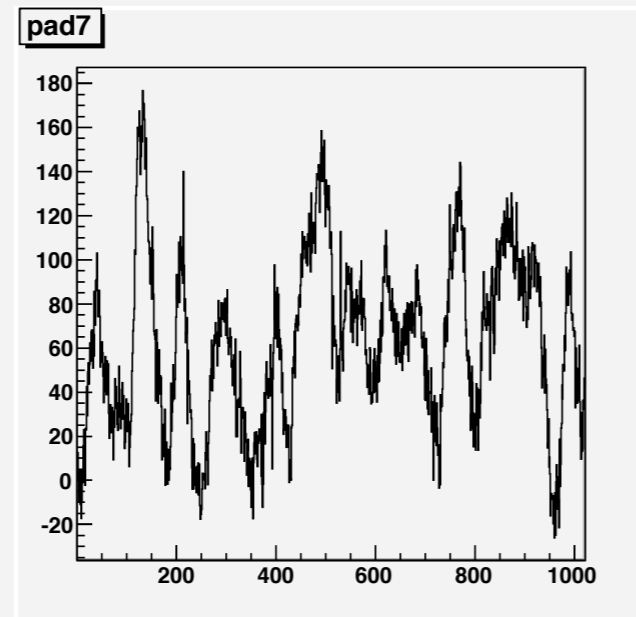
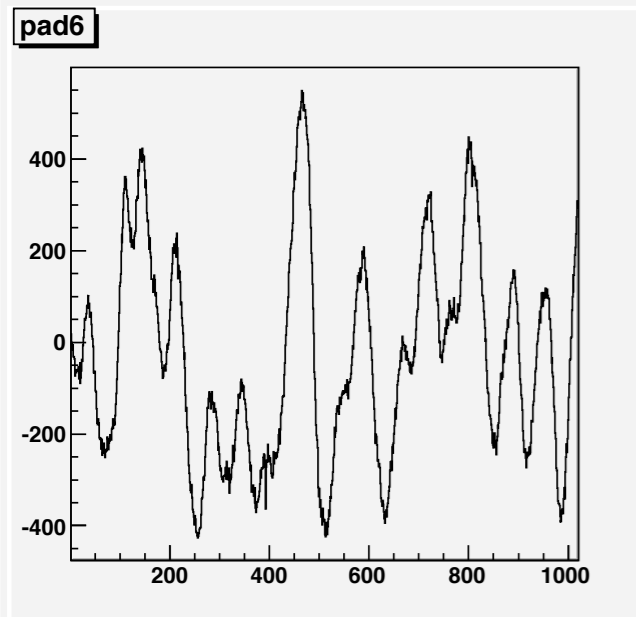


12/26
12:00
2328

12/28 12/28
10:20 18:00
2375 2382

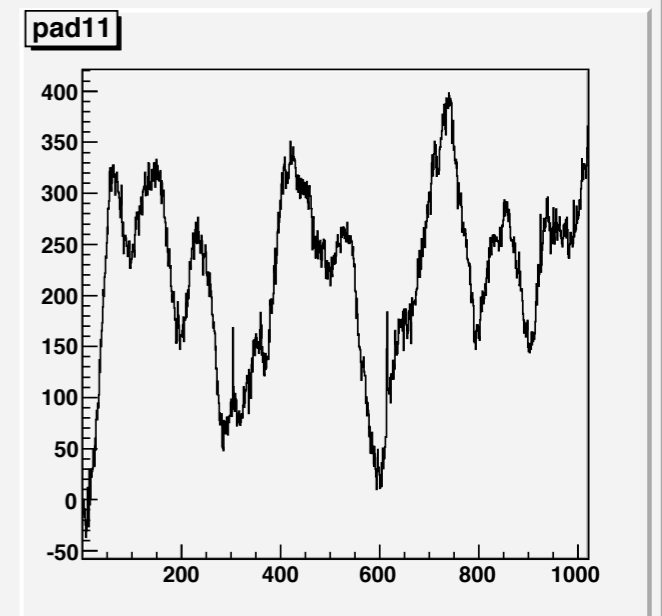
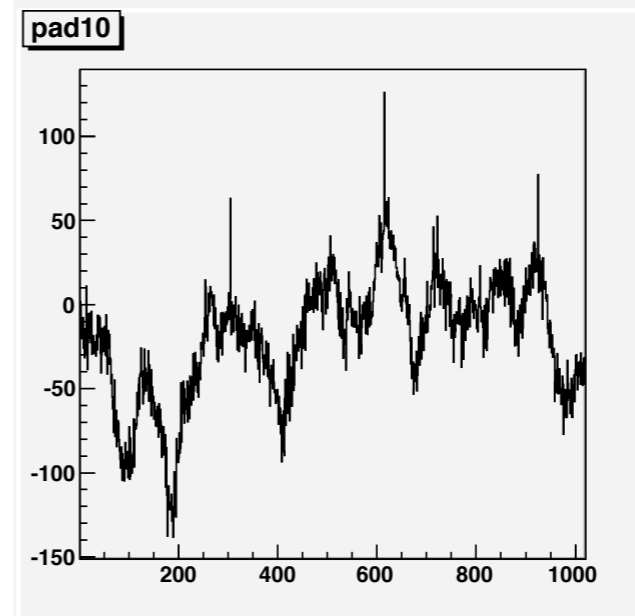
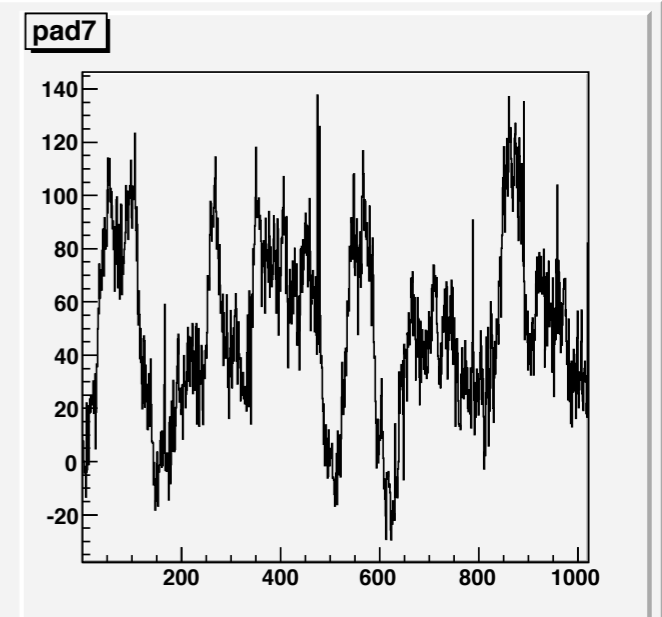
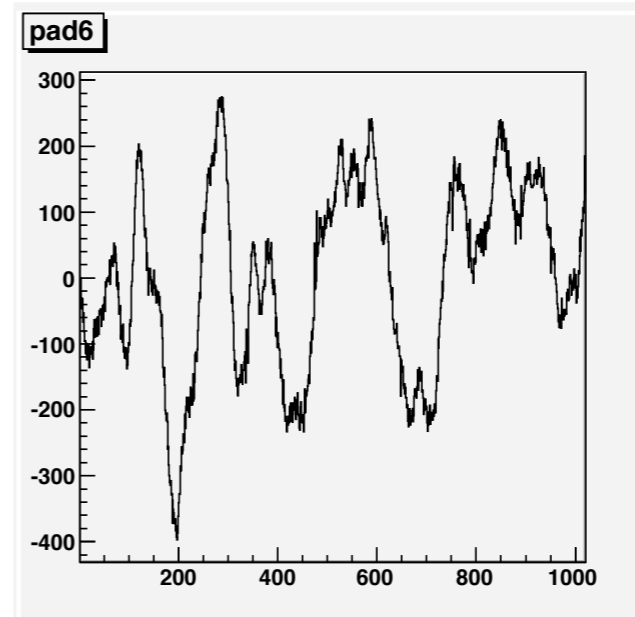
2011.12.28 13:42

1,000 triggers



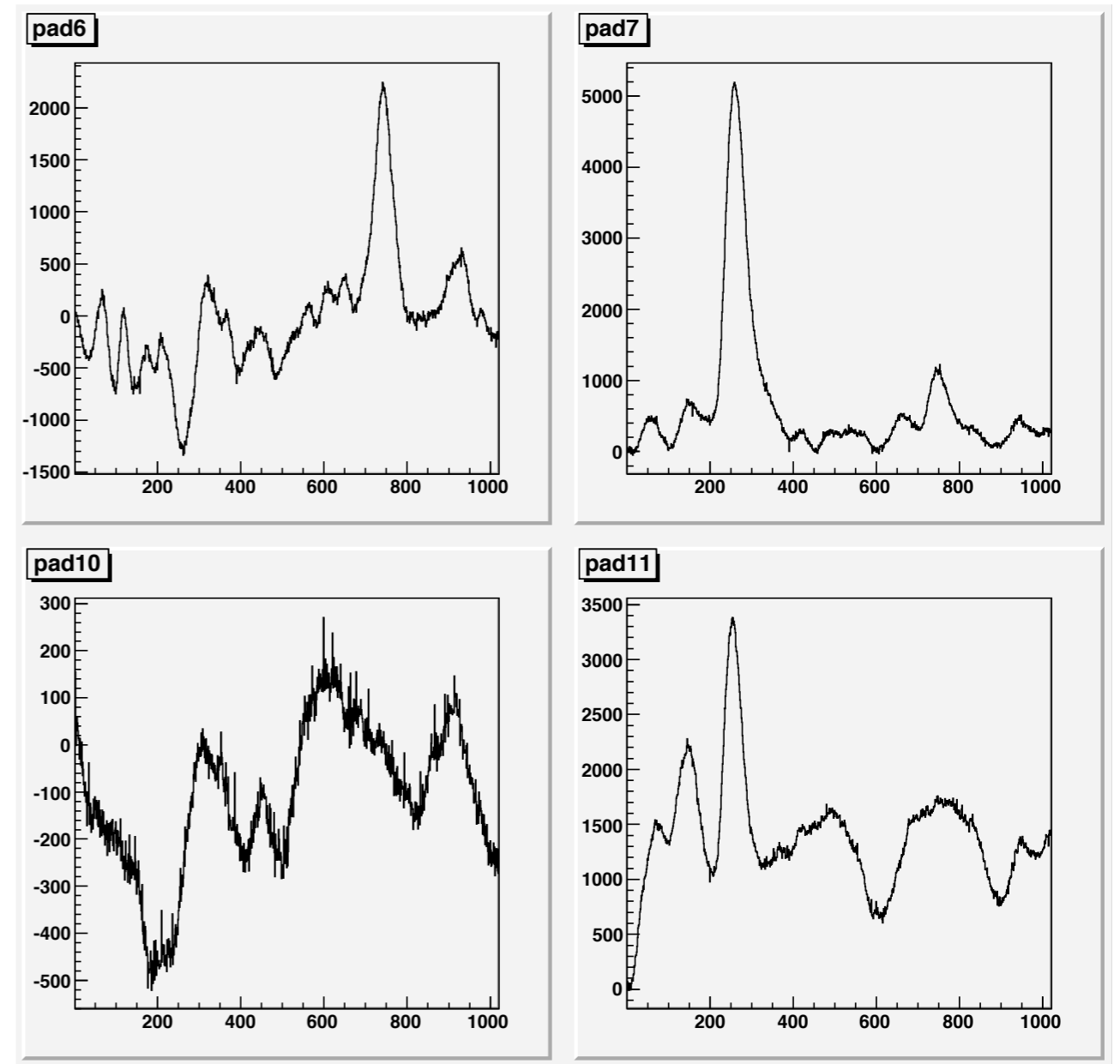
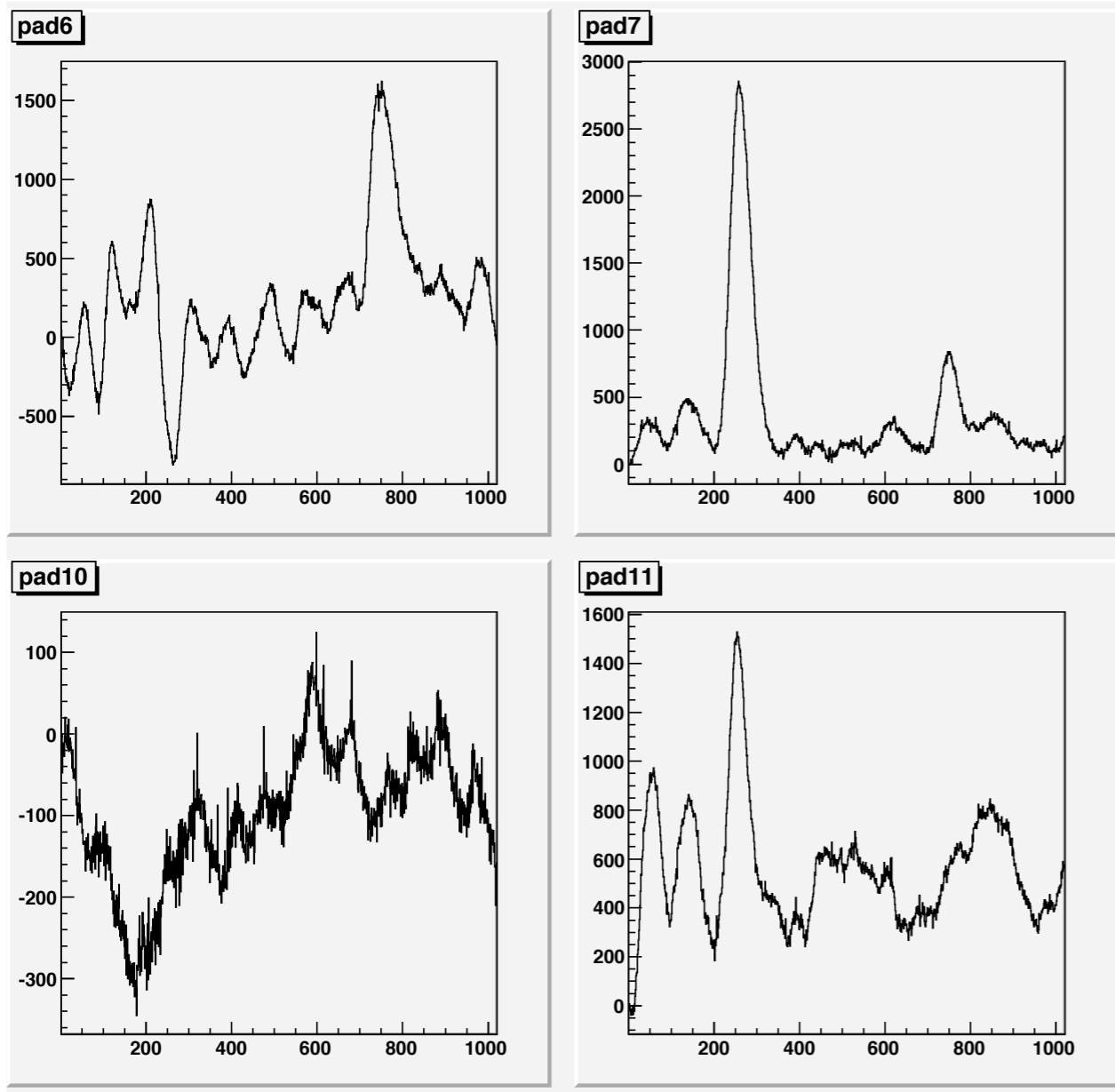
2011.12.28 16:29

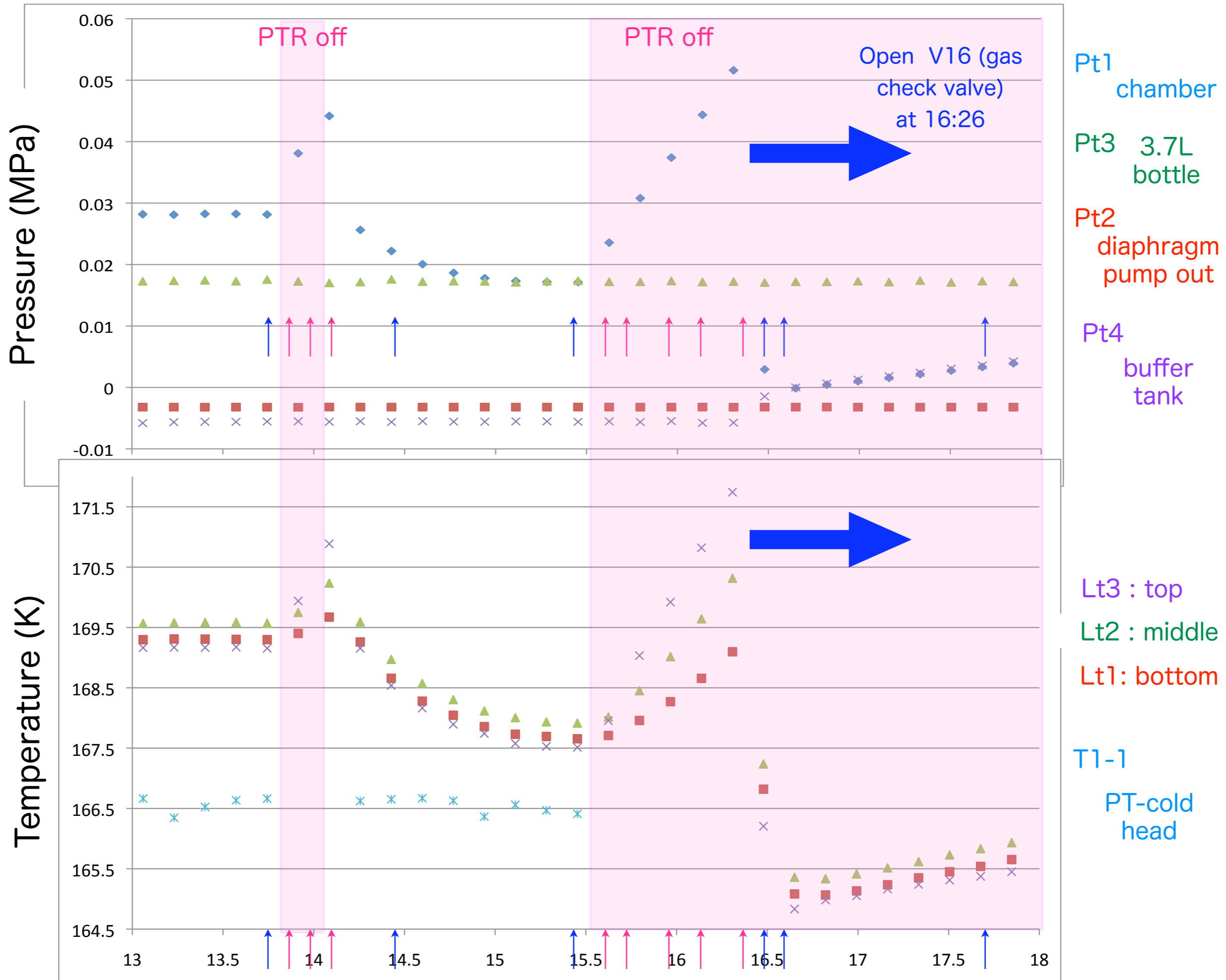
1,000 triggers

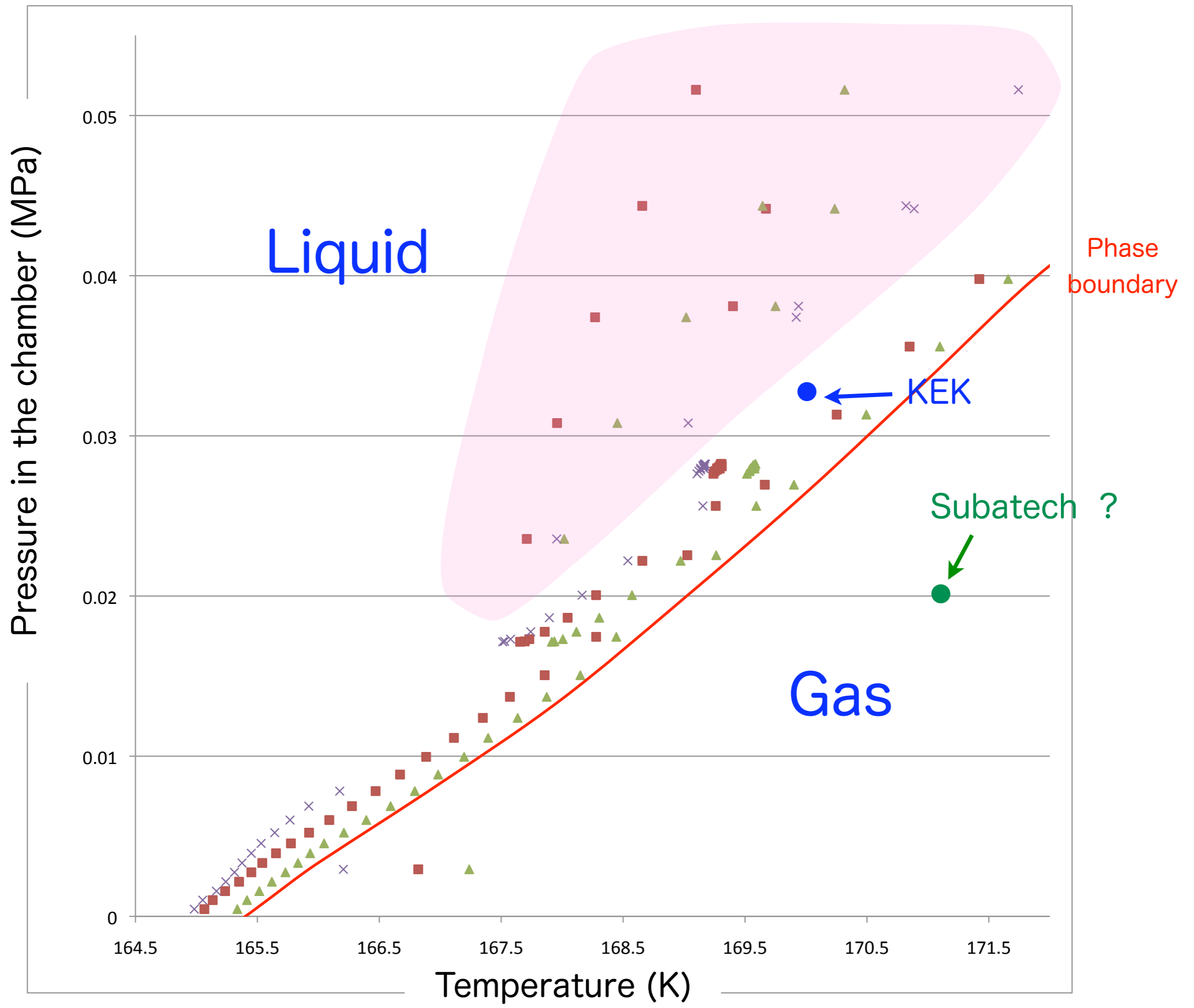


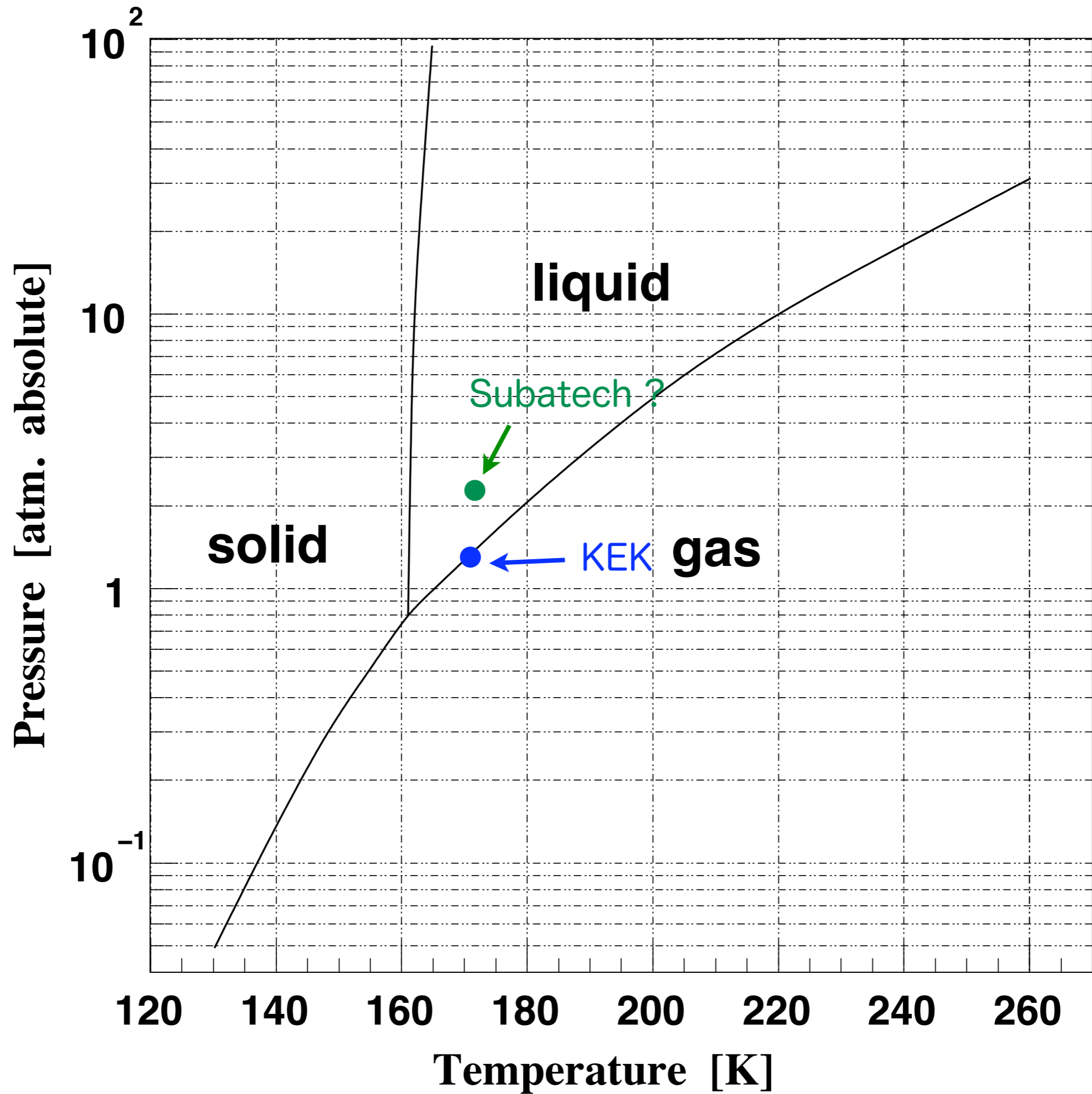
2011.12.28 13:50-14:07
3,000 triggers

2011.12.28 15:37-16:21
5,000 triggers









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

液体キセノンTPCに向けたASICの開発

発表：高木雄太（横国大）

○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, 真木晶弘, 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)

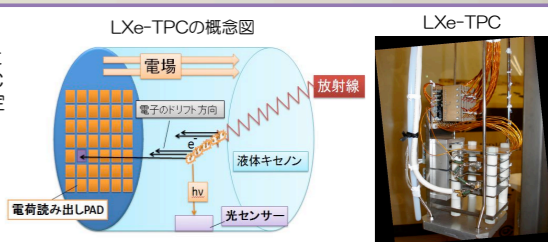
宇宙科学シンポジウム ポスター発表
2012年1月5~6日、宇宙科学研究所

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、液体のキセノンを用いたガンマ線・電子の3次元位置、時間及びエネルギーの高分解能TPC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)の開発を進めている。今回我々は、低温動作するASICの開発のため、はじめにASICの構成要素であるMOSFETの低温での動作を評価し、続いてASICを製作し評価した。今後の幅広い開発のため、放射線耐性を高めたELT(Edgeless Transistor) MOSの低温動作評価も並行して行った。製作したASICは、LXe-TPCだけでなく低温下や低消費電力が求められる場合において幅広く応用が可能である。

液体キセノンTPCとASICの必要性

LXe-TPCは検出媒体として液体キセノンを使用したタイムプロジェクションチェンバー(TPC)とシンチレーション検出器を組み合わせた放射線検出器。LXe-TPCは、従来のガスを使用していたTPCに比べ、密度の高い液体を用いているため、電荷を持たない粒子(例えばγ線、ダークマター)の測定にも有用である。将来的には医療用の撮像装置であるPET装置への応用も期待されている。



LXe-TPCは低温(165K付近)の液体キセノンでオペレーションを行いたい

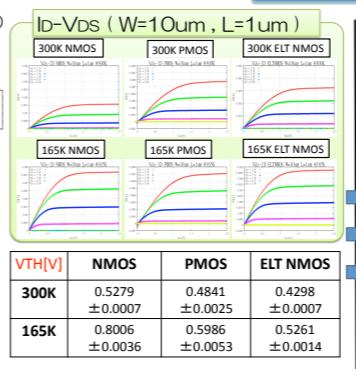
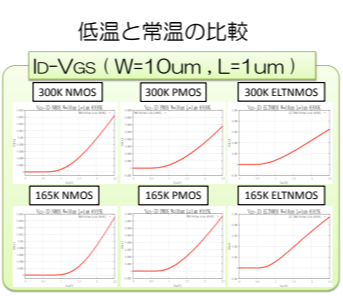
165Kで動作するフロントエンド回路が必要となり低温動作するASICの開発を開始

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

構成要素であるMOSFETの低温における動作確認

MOSFETの温度依存性 (I_D : ドレイン電流)
$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

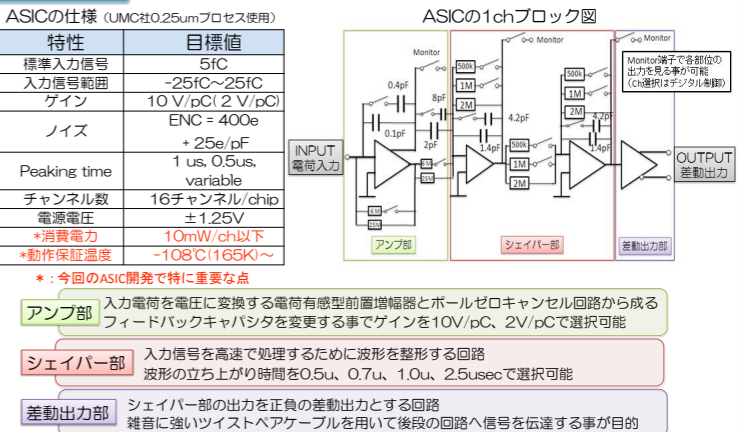
 μ_n : 電子の移動度 (温度依存性あり)
 V_{TH} : しきい値電圧 (温度依存性あり)



いずれのMOSFETも低温(165K)においては、 V_{TH} が増加する傾向が見え、常温のふるまいと同等である事が確認できた

ASICの開発

ASICの設計

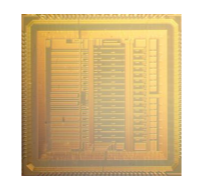


- アンプ部** 入力電荷を電圧に変換する電荷有感型前置増幅器とボルゼロキャンセル回路から成るフィードバックキャパシタを変更する事でゲインを10V/pC、2V/pCで選択可能
- シェイパー部** 入力信号を高速で処理するために波形を整形する回路。波形の立ち上がり時間を0.5u、0.7u、1.0u、2.5uで選択可能
- 差動出力部** シェイパー部の出力を正負の差動出力とする回路。雑音に強いツイストペアケーブルを用いて後段の回路へ信号を伝達する事が目的

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

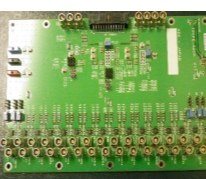
ASICの評価

製作したASIC



1チップあたり16ch
チップサイズ: 4mm x 4mm
冷却用真空槽

ASICテスト基板

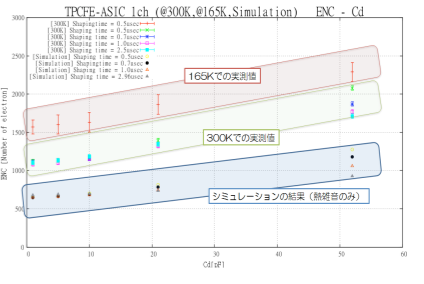


実験系



300KでのASICの動作 165KでASICの動作を確認

入力換算雑音(ENC)の評価

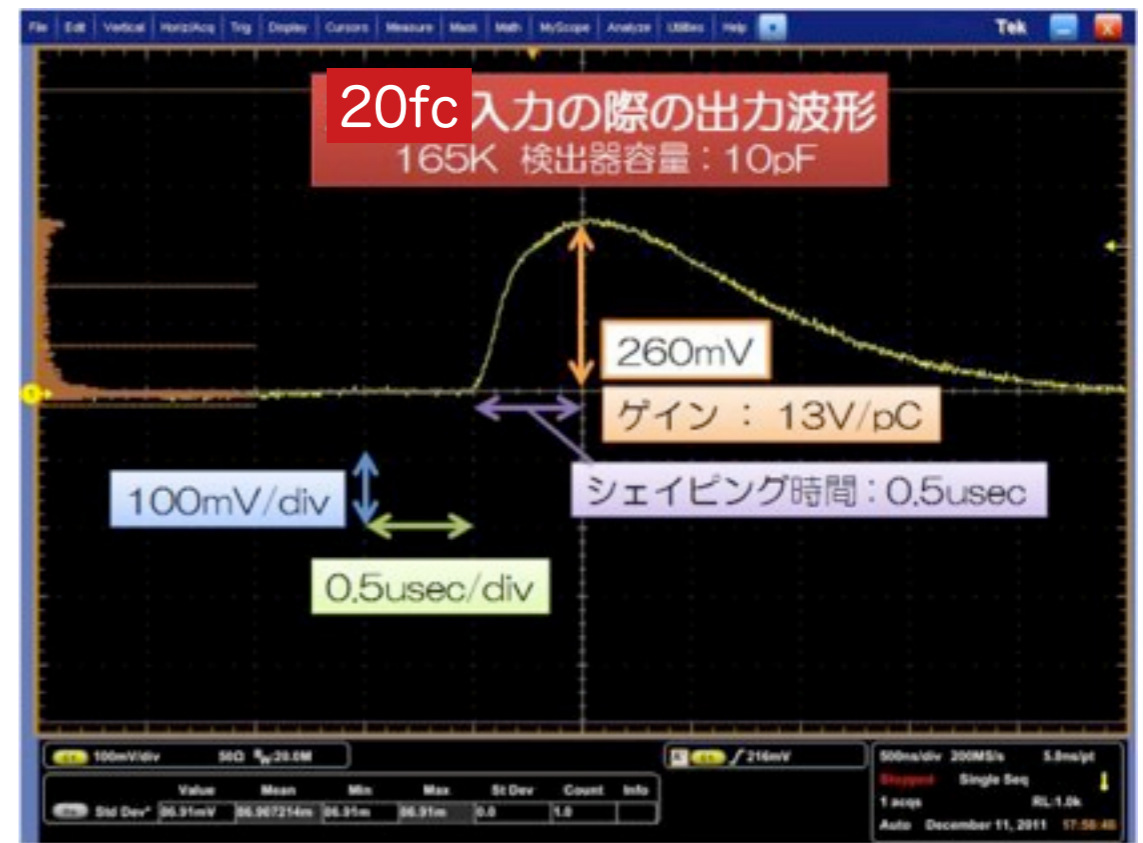
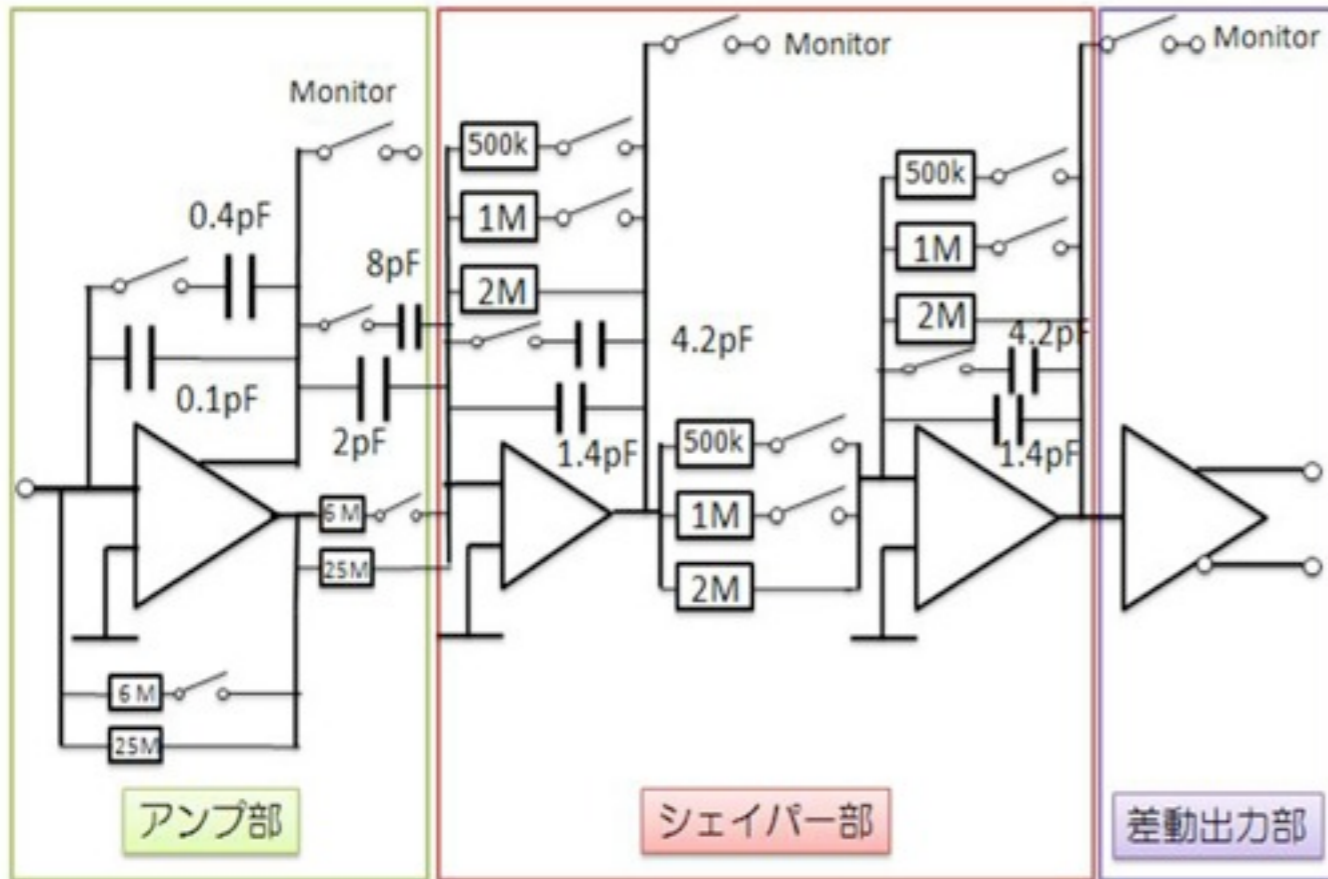


- 5fC入力の際に165KにおけるS/Nは25dBであり、LXe-TPCにおいて十分に信号検出可能 → 低温下ではより外来雑音を低減することが可能でS/Nを30dB(300KにおけるS/N)以上にできる。更にトランジスタパラメータの調整でS/Nを向上させることができる
- 消費電力は165Kにおいて8.5mW/chであり、低消費電力なASICを製作できた
- 低温におけるch毎のベースラインのばらつき(-150mV~600mV)がある

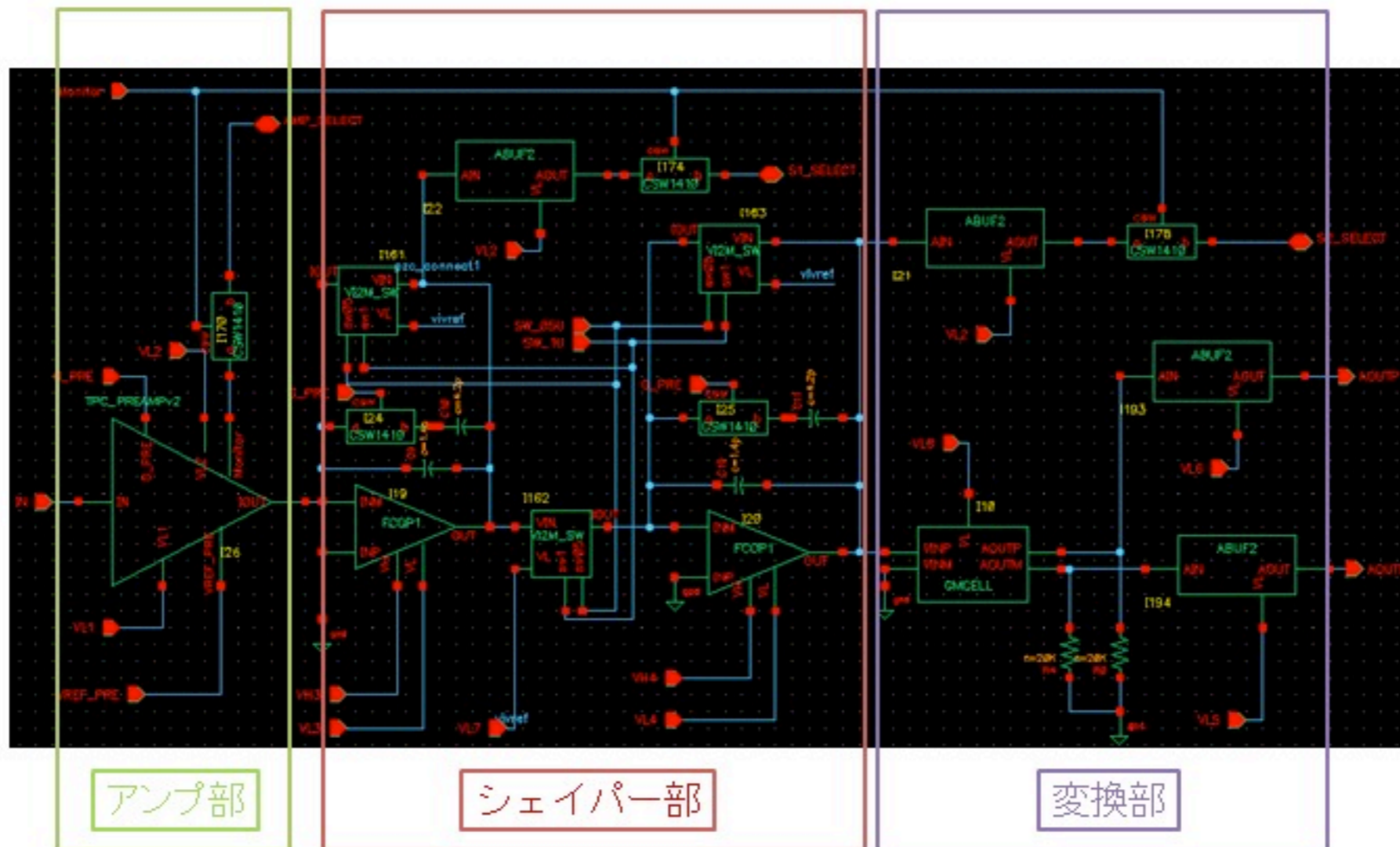
低温(165K)で動作する事を確認し、LXe-TPCで使用できるASICの見込みがたった今後、ベースラインのばらつきを改善すべく回路の最適化を行う

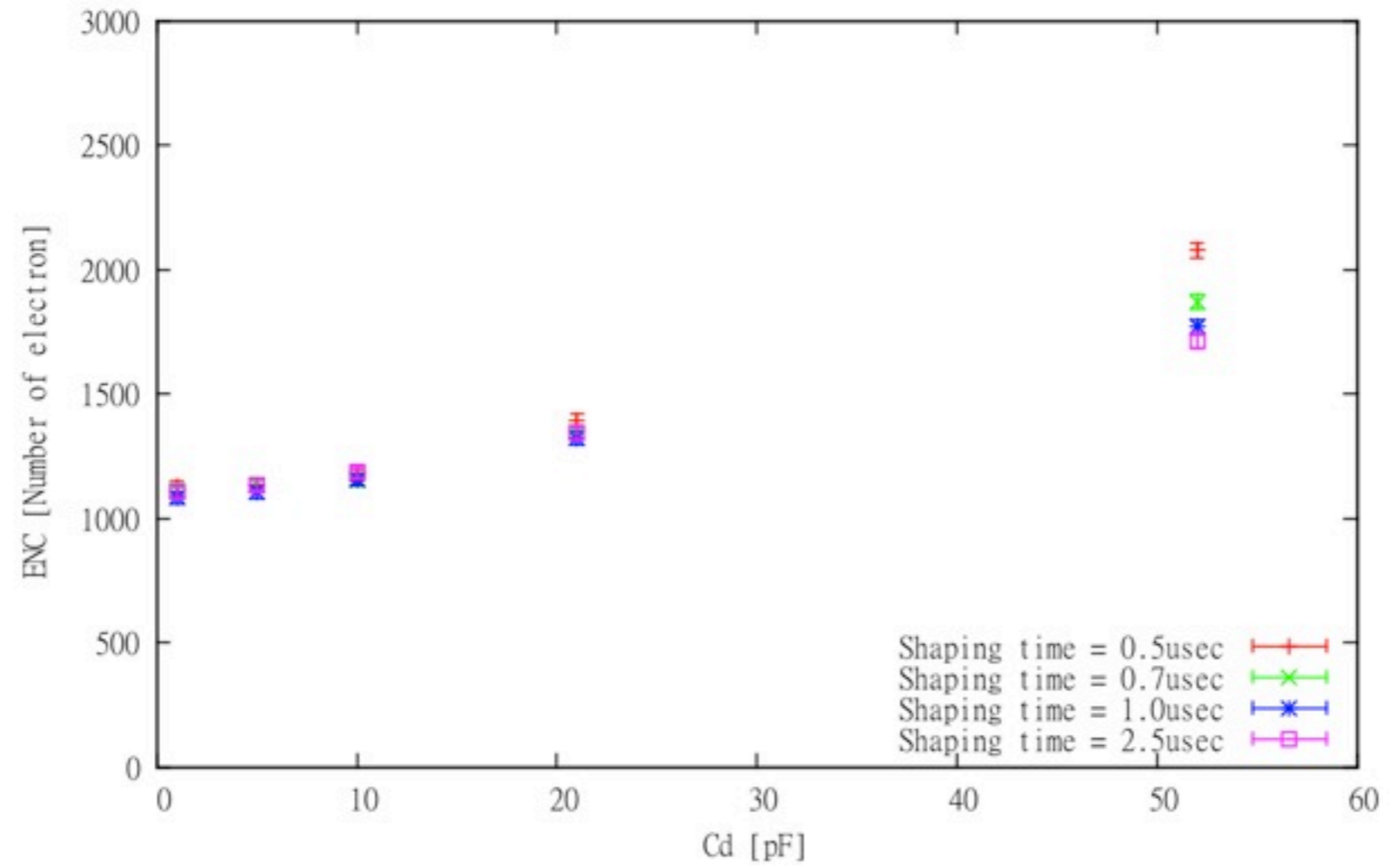
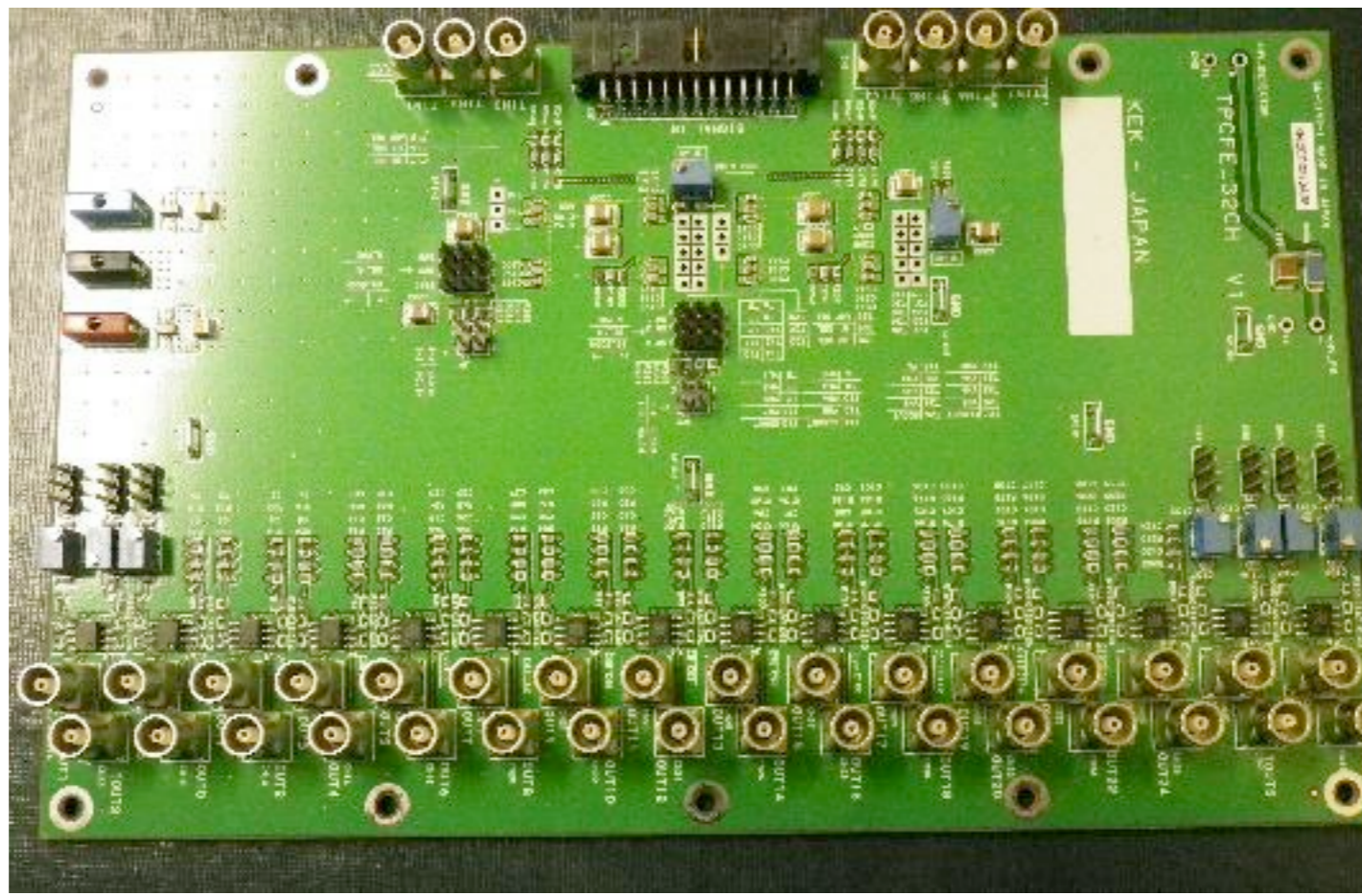
- 低温におけるMOSFETの動作を評価し、低温動作するASICの設計を行った
- 製作したASICは低消費電力(8.5mW/ch)であり、雑音レベルもLXe-TPCで使用できるレベルであった
- 今後、回路を最適化し、ベースラインのばらつきを改善してLXe-TPCのフロントエンド回路で使用する
- 他にも様々な素粒子原子核・宇宙等の実験に応用するべくASICの改良を行う予定

まとめ・展望



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