

液体キセノングループ報告

KEKDTP重点レビュー、2010年7月20日、KEK
田内利明

KEK：冷凍・純化システム、PMTシステム、TPC、テスト

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、TPC/PETシミュレーション、テスト

杉山 晃、東貴俊 (D4)

東大：TPCテスト

森俊則、藤井祐樹 (M2)、千葉哲平 (M1)

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

中村正吾、高木雄太 (M1)

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)、柴沼英道 (埼玉県立大)

これまでの研究内容

2007年4月 KEL測定器開発室へ提案

2007年4月 - プロトタイプ試験準備

2008年2月 新実験室完成・引越

2008年4月30日 冷凍機システムの完成

2008年5月7日 容器に液体キセノンを満たした
(TPCは設置せず、液化課程の試験)

2008年5月22日 最初のシンチレーション光の観測

2009年2月25日 最初の宇宙線による電荷シグナルの観測
(純化・循環開始後11日目)

2009年3月31日 最初の α 線による電荷シグナルの観測
(純化・循環開始後45日目, 1cmドリフト)

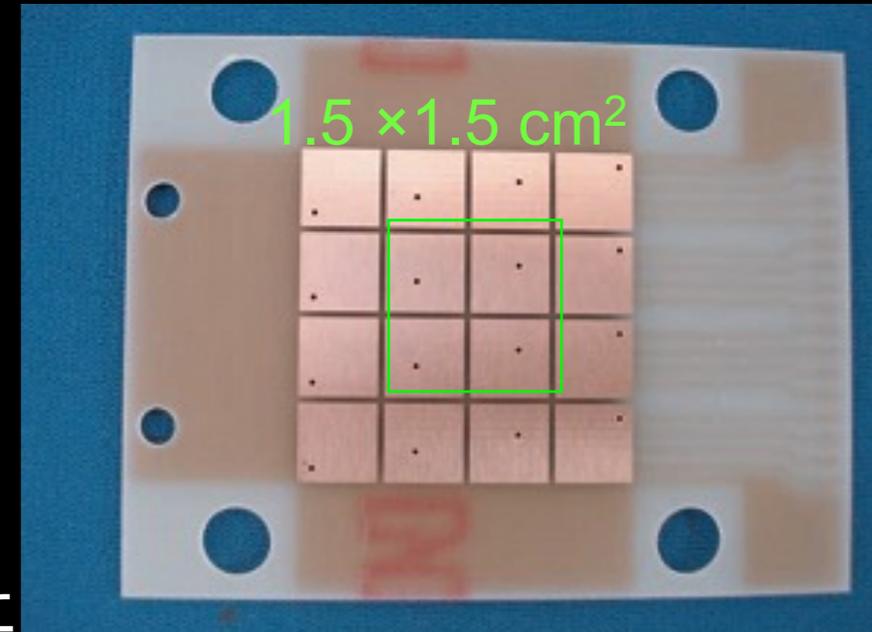
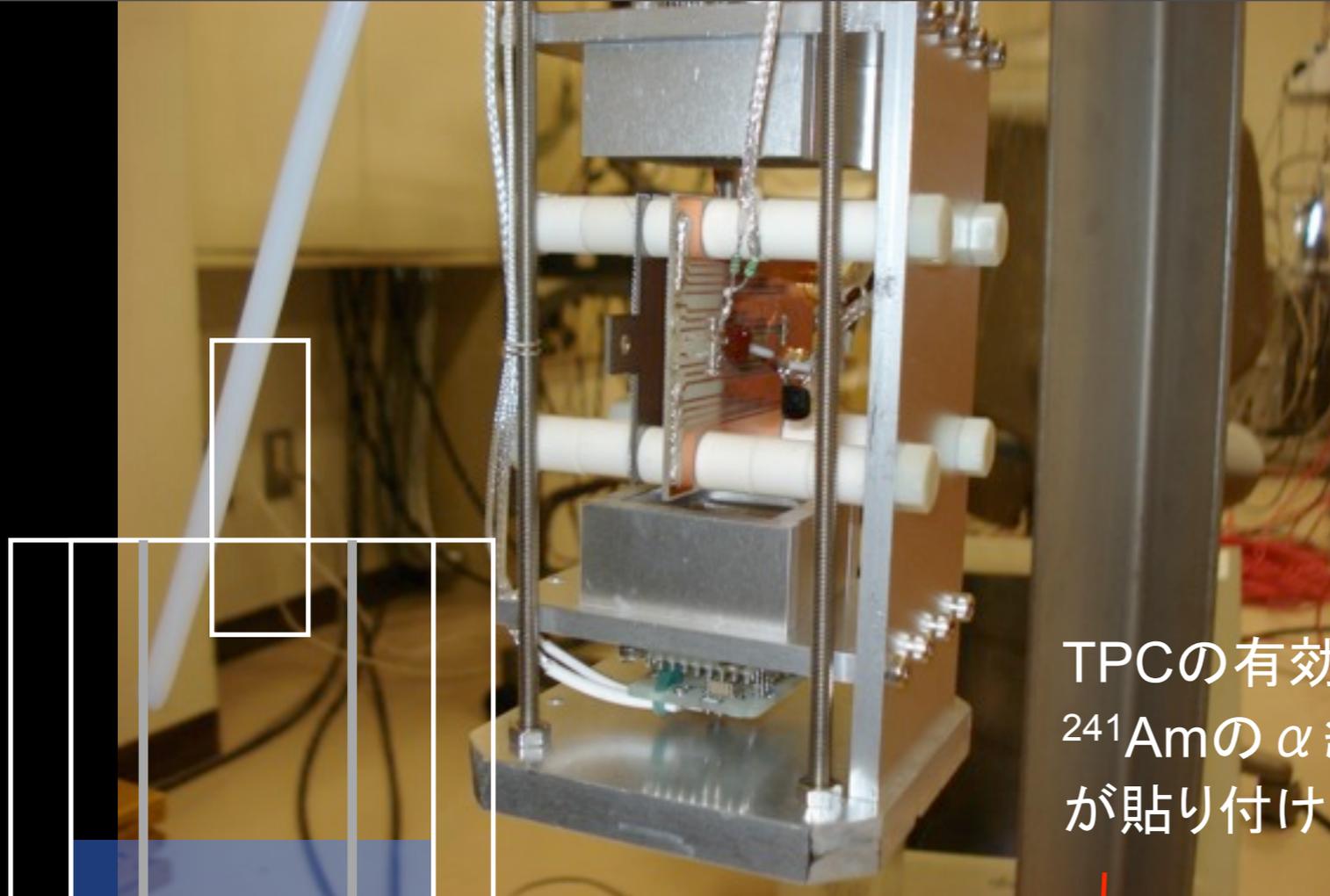
2009年4月24日 4ch PADs, 1cmドリフトTPC試験開始

2009年度 第一実験経過

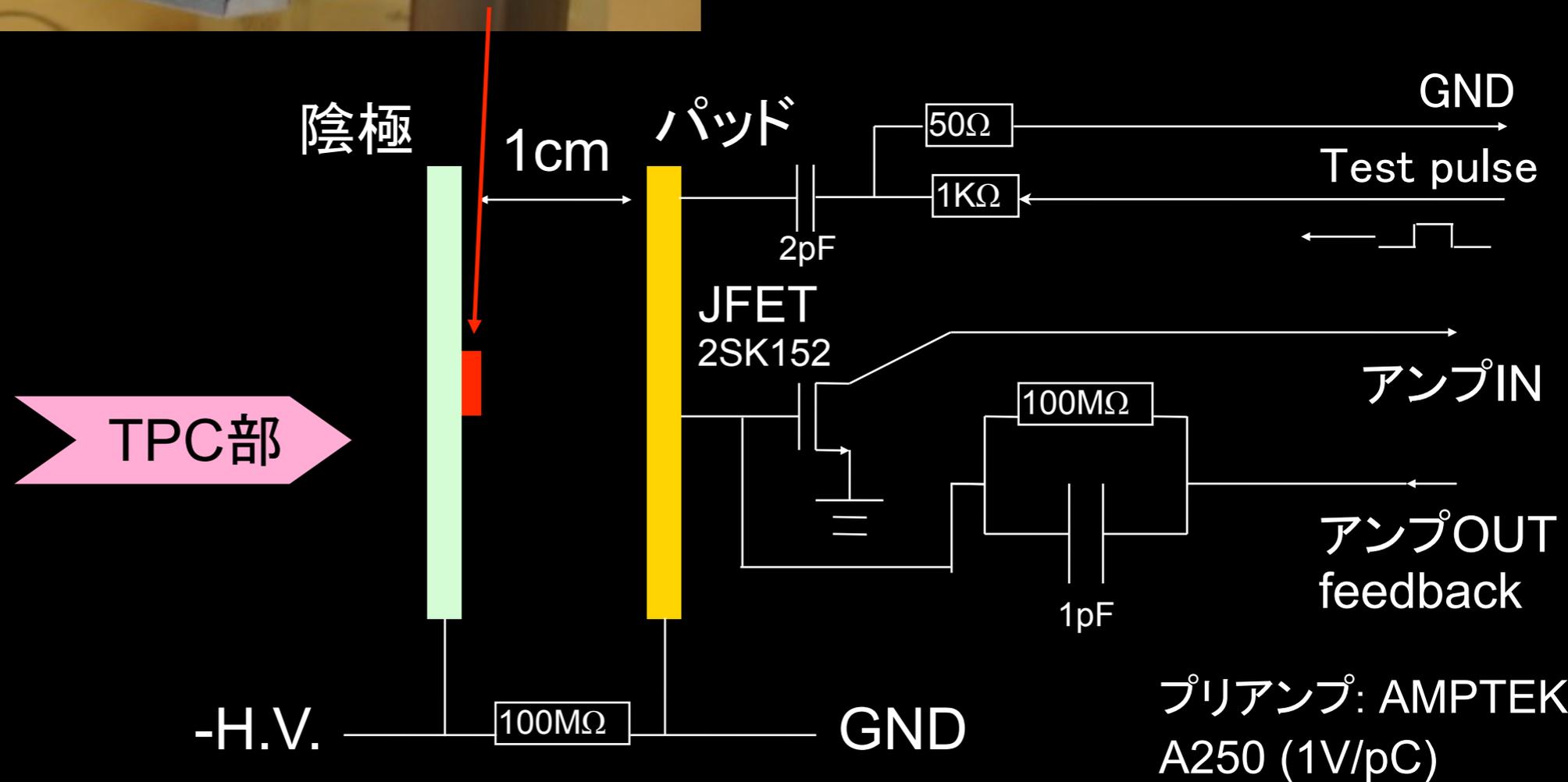
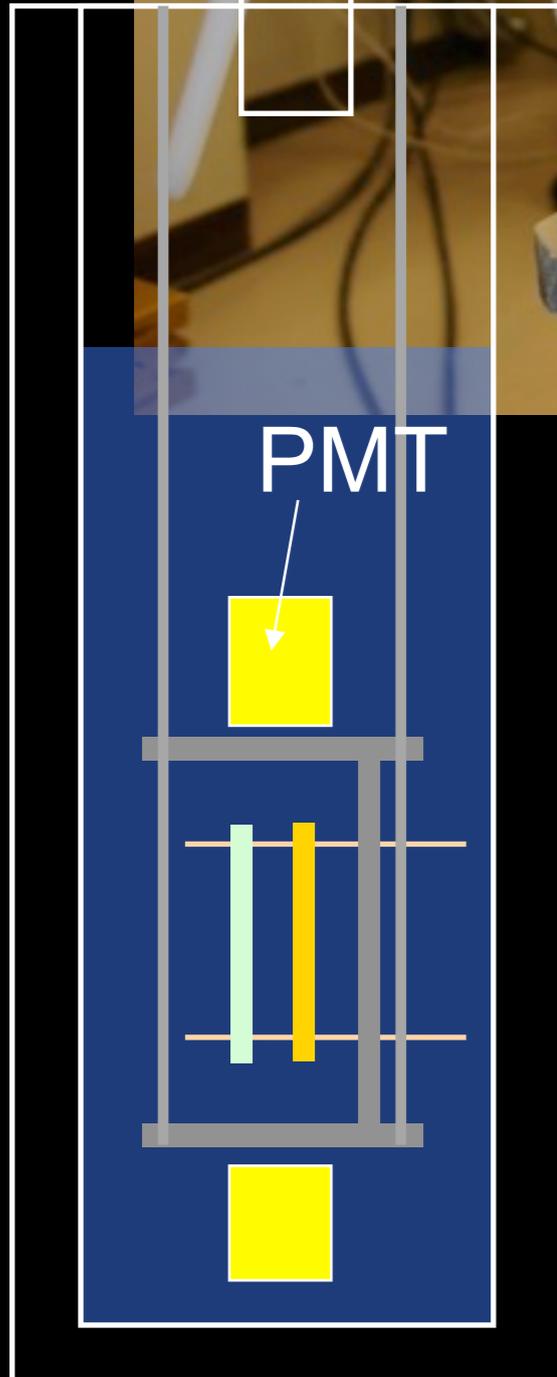
- 4/24 15:04 チェンバーの真空引きを開始
- 4/27 -30 真空ビルドアップ試験を3回行う; 到達真空度 1.4×10^{-4} Pa
- 5/2 12:15 4ℓ /分のXeガス循環速度で『ガス位相』の循環開始
- 5/10 16:52 最初の宇宙線による電荷シグナルの観測 (8日後)
- 5/20 17:40 1ℓ /分のXeガス循環速度で『液体位相』の循環へ変更
- 5/22 14:44 最初のα線による電荷シグナルの観測 (20mV)(20日後)
- 6/29 17:15 α線による電荷シグナルの大きさ=100mV w/o LPF
- 6/25 -7/9 電荷とシンチレーションシグナルのTPC電場依存性を測定
- 7/23 - 31 4chのプリアンプ(A250)を用意
- 8/14 -17 宇宙線トリガーで測定, トリガー頻度=約 1 / 分
- 9/10 藤井 (東大M1) 物理学会発表
東 (佐賀大D3) ASIC-FEチップR&D 物理学会発表

(精製循環開始からの日数)

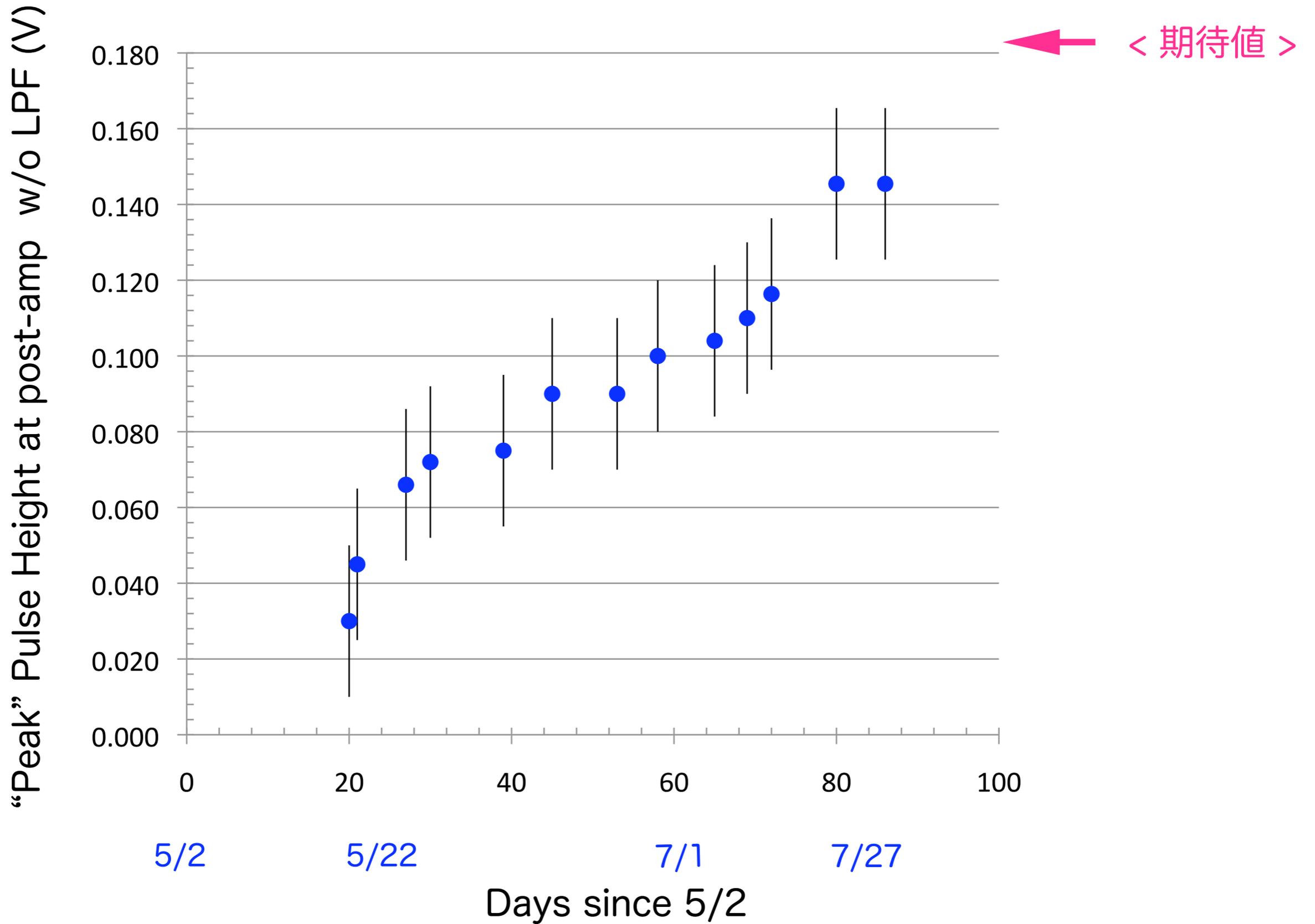
第1実験の装置



TPCの有効体積中に²⁴¹Amの α 線源(約200Bq)が貼り付けられている

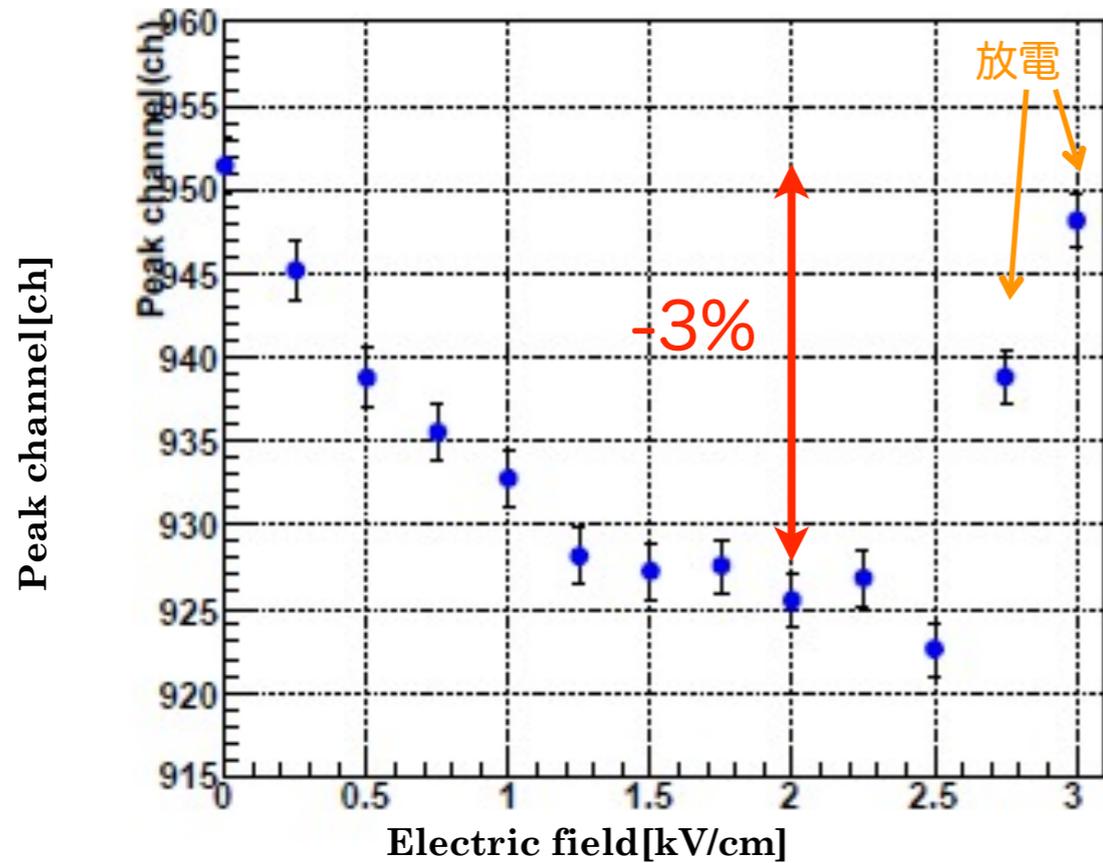


α 線シグナル (ch1, x80)



note - pulse height : w/o : w LPF = 1.5 : 1

シンチレーション光



α線による電場依存性の測定

注：不純物による減衰効果とドリフト時間の電場依存性も含まれる

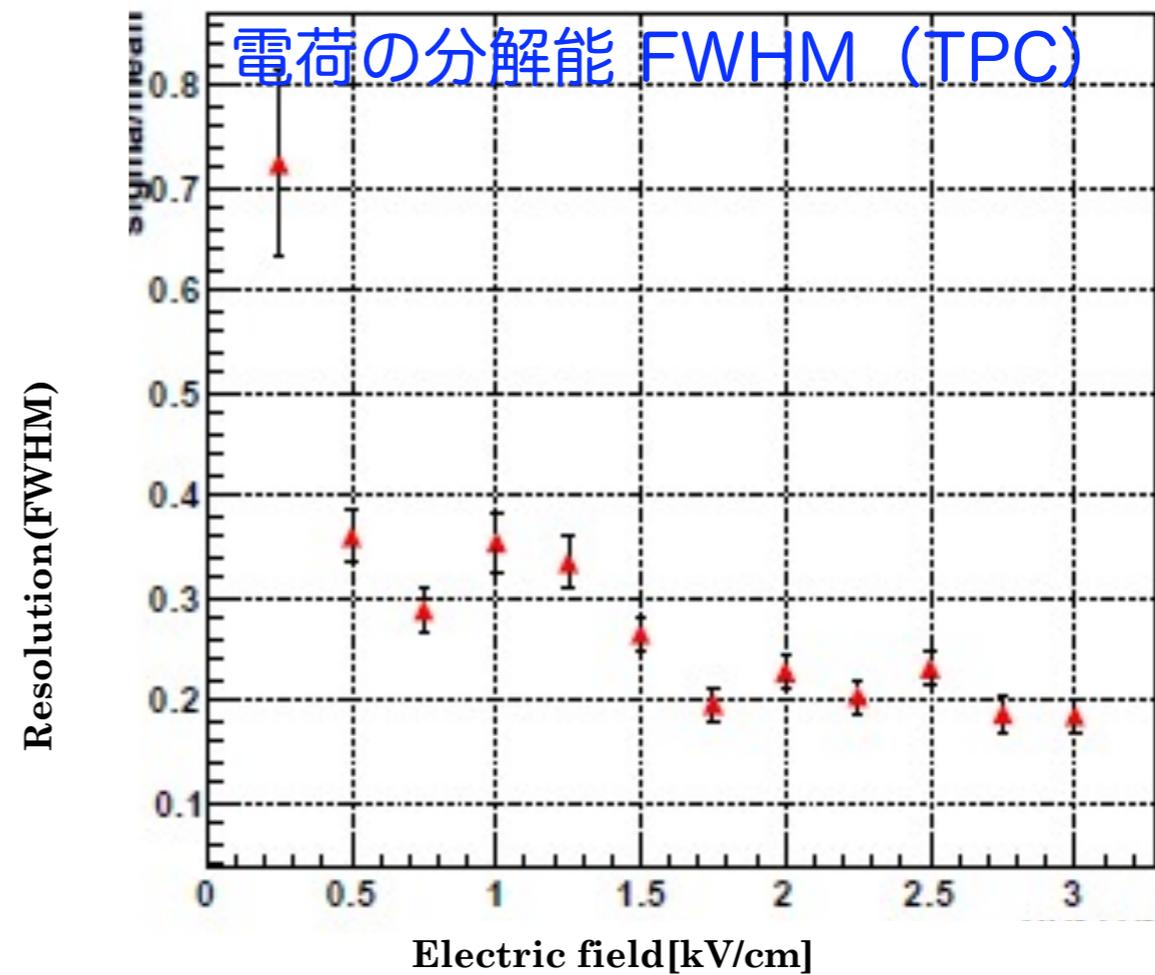
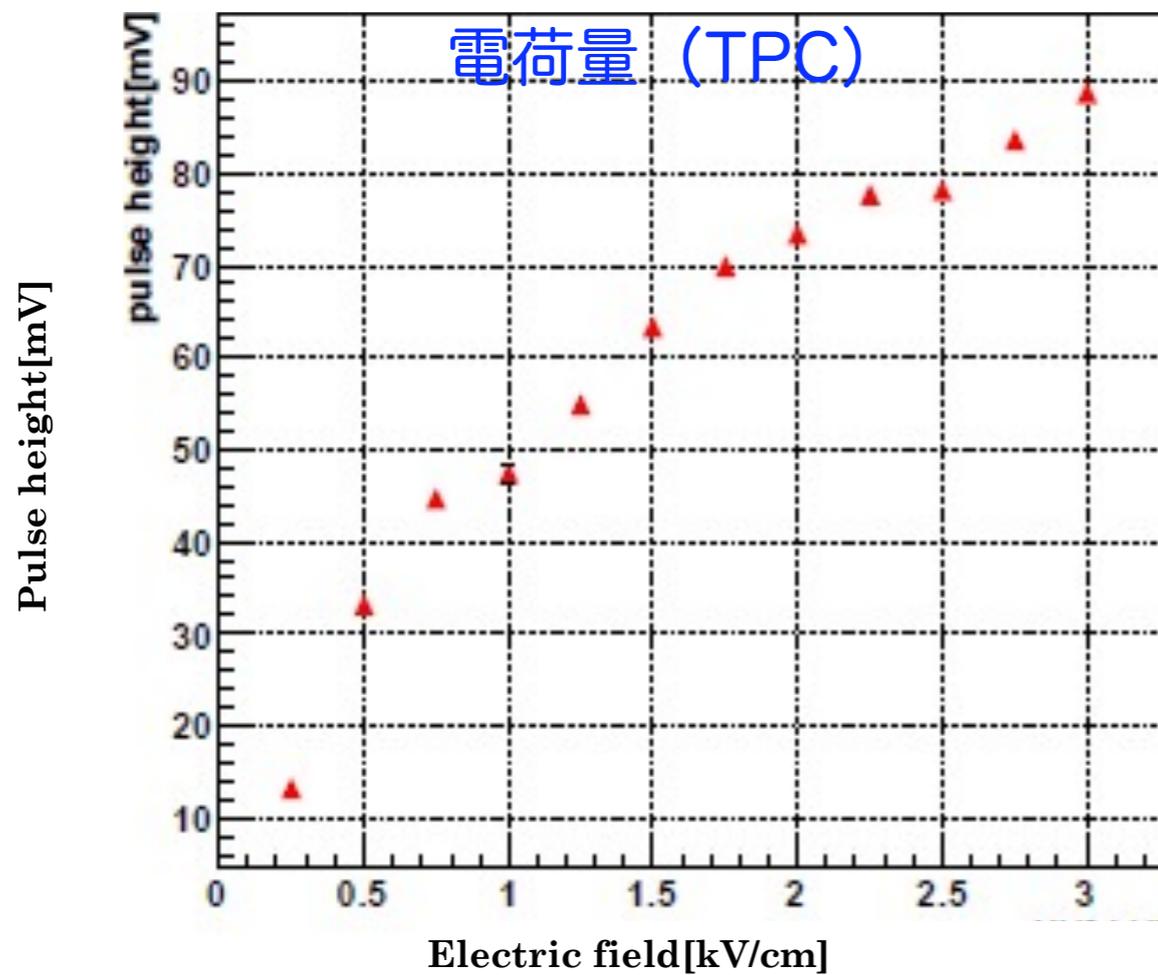
電場 = - 2kV / 1kV

シンチレーション光 -3% / -2%

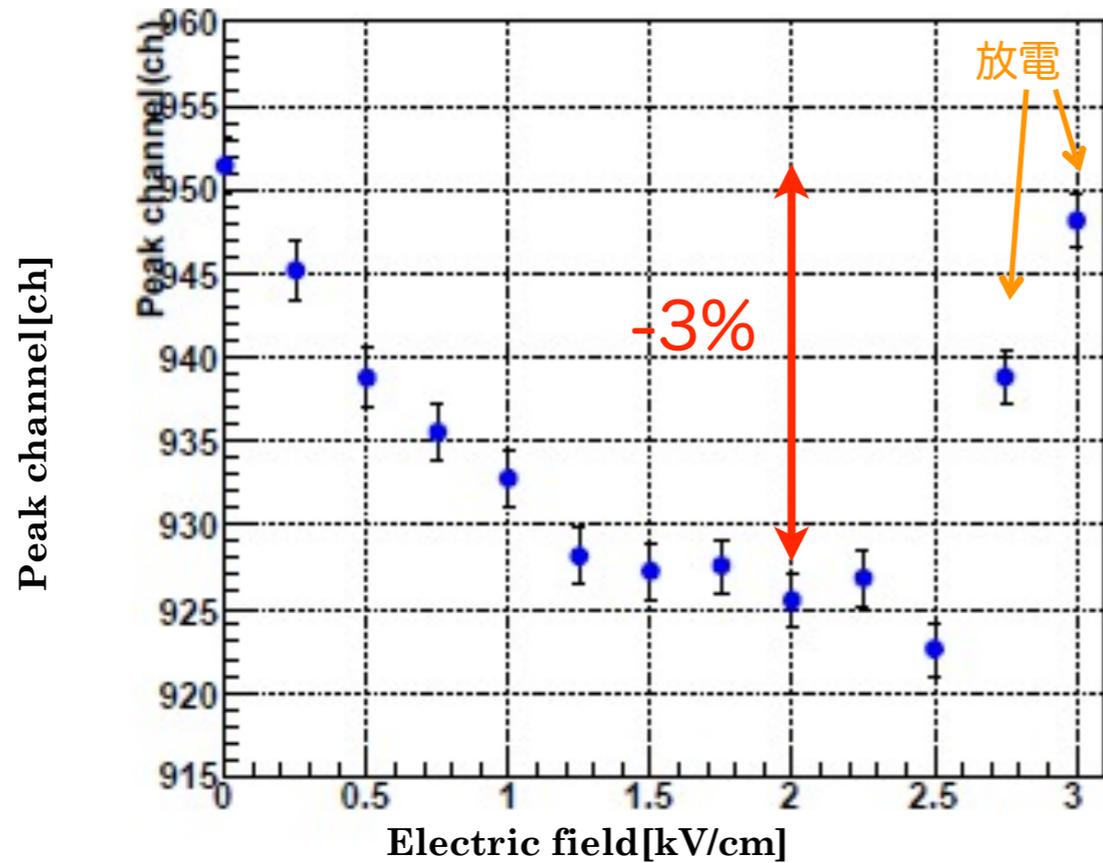
電荷量 73mV / 46mV = 1.6

電荷量分解能 FWHM 0.22 / 0.35 = 0.6

HV vs resolution



シンチレーション光



α線による電場依存性の測定

注：不純物による減衰効果とドリフト時間の電場依存性も含まれる

電場 = - 2kV / 1kV

シンチレーション光 -3% / -2%

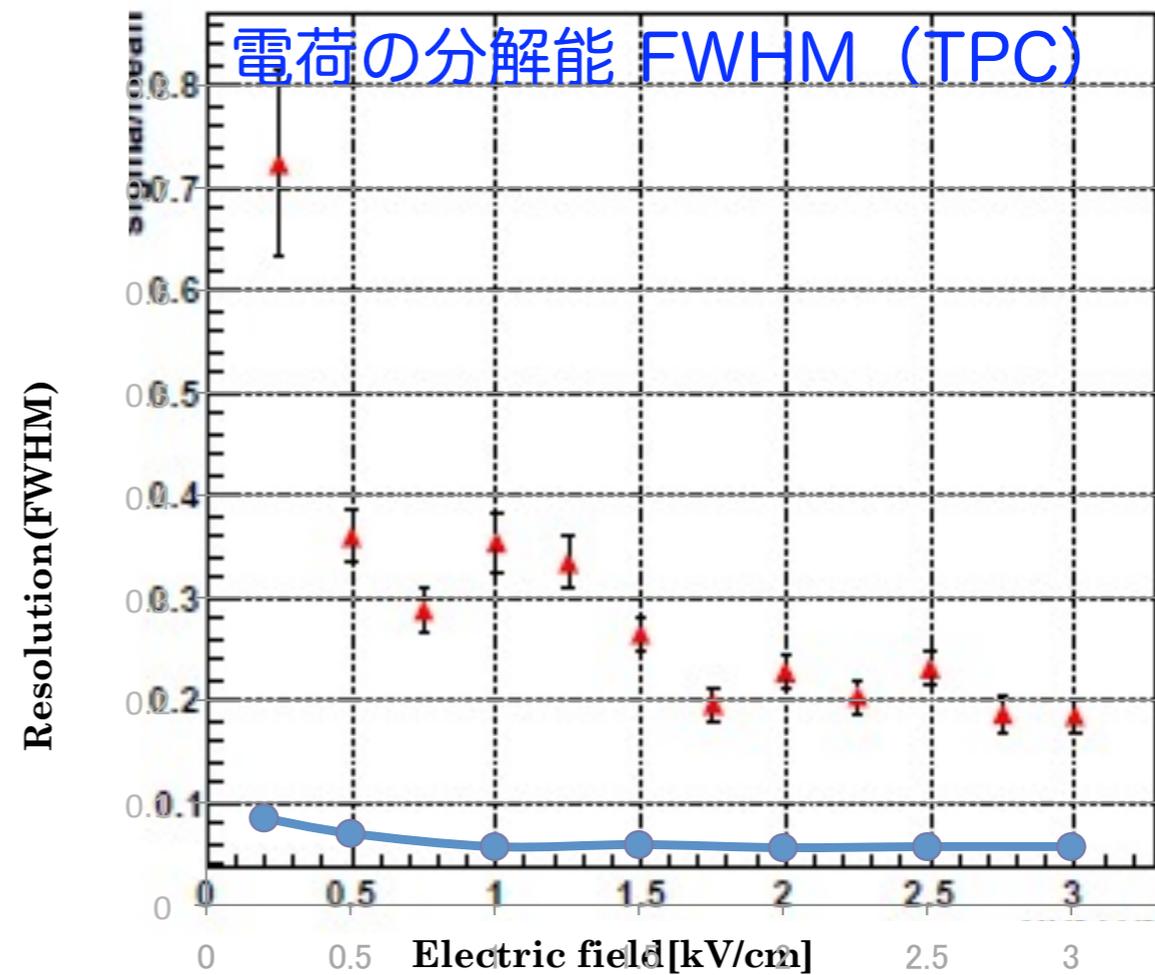
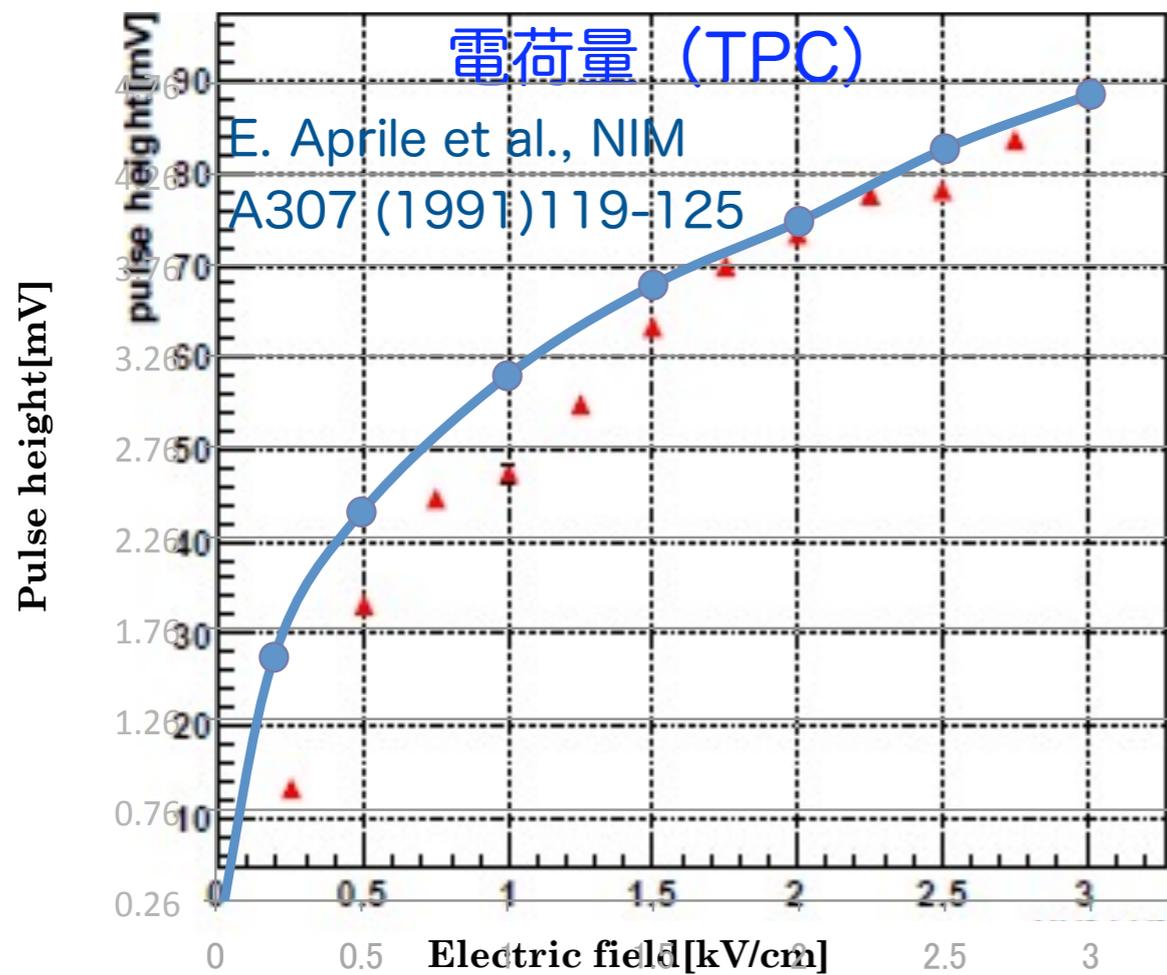
電荷量 73mV / 46mV = 1.6

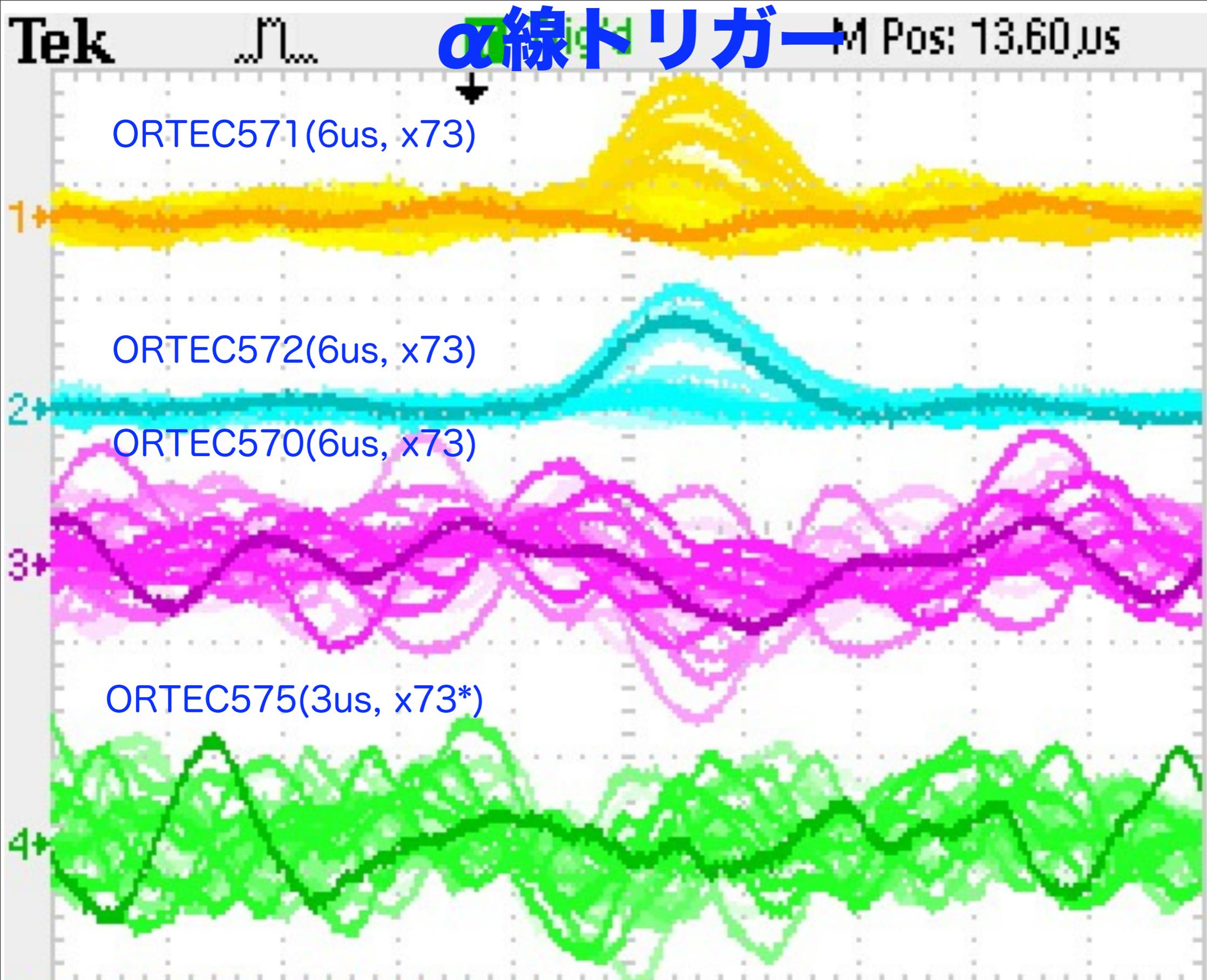
1.27

電荷量分解能 FWHM 0.22 / 0.35 = 0.6

0.056/0.057 = ~1

HV vs resolution





DISPLAY

表示形式

ライン

表示時間

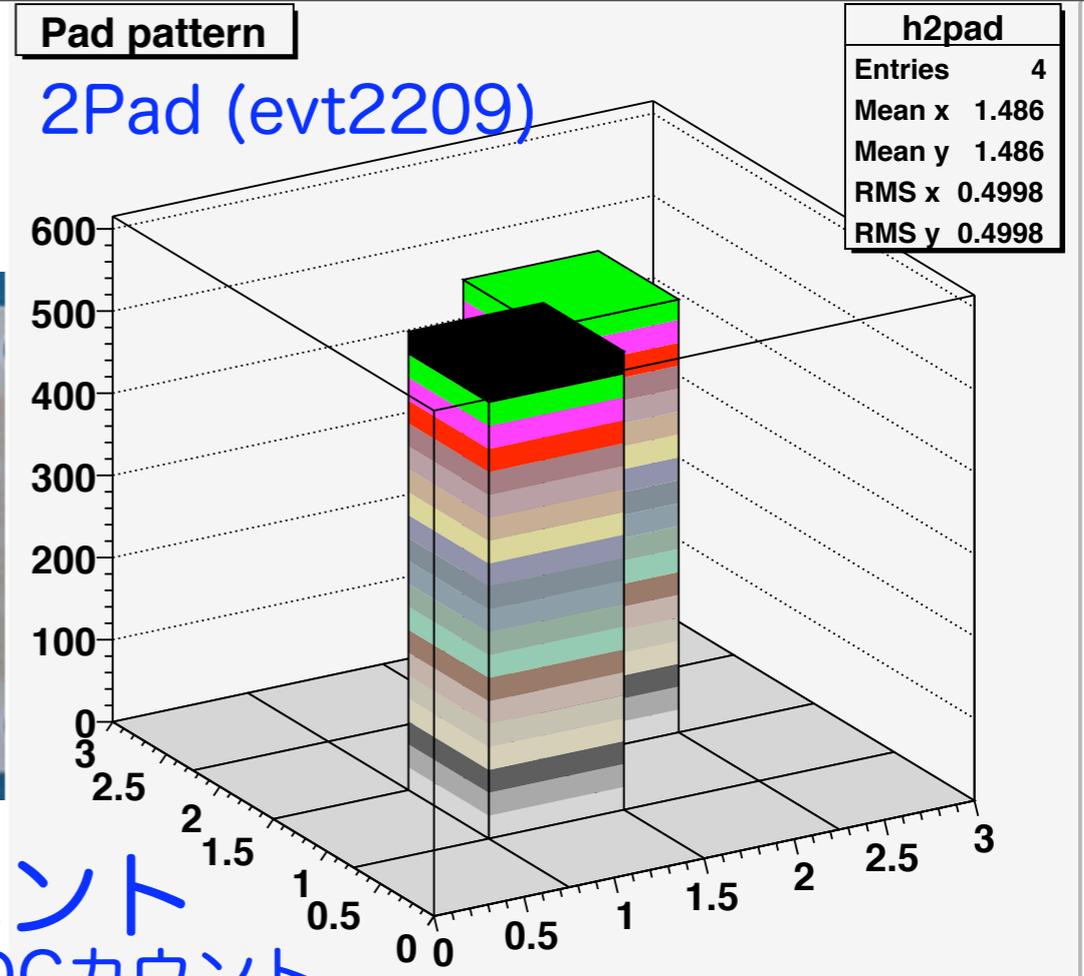
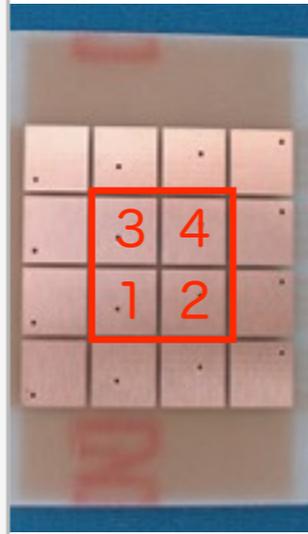
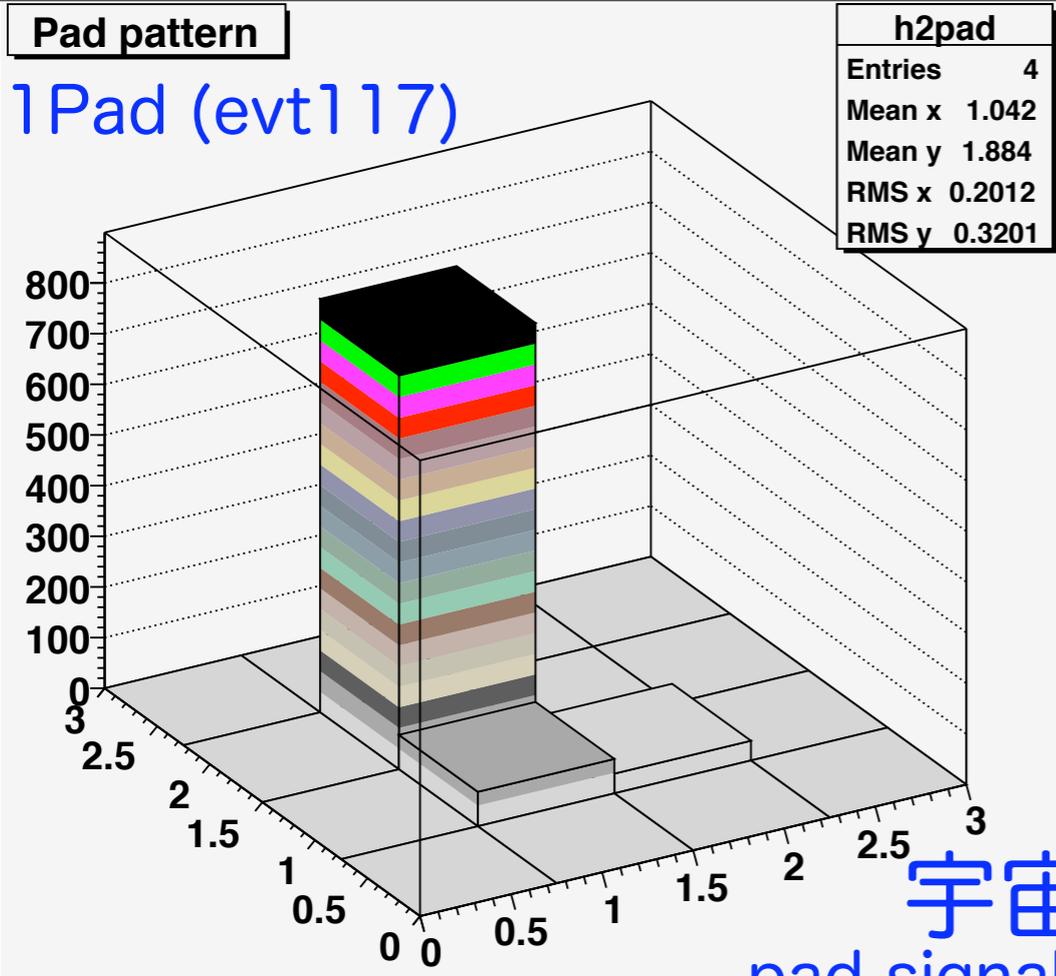
1秒

軸設定

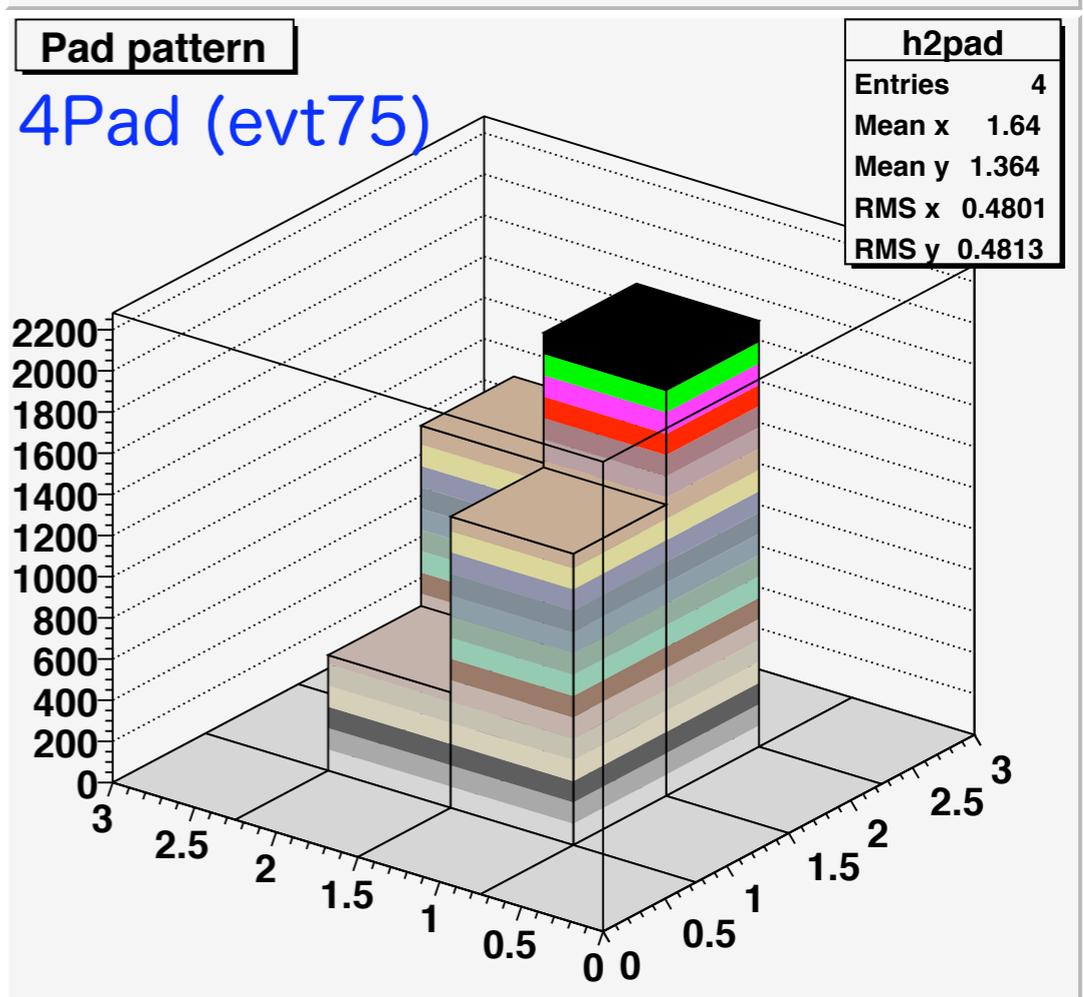
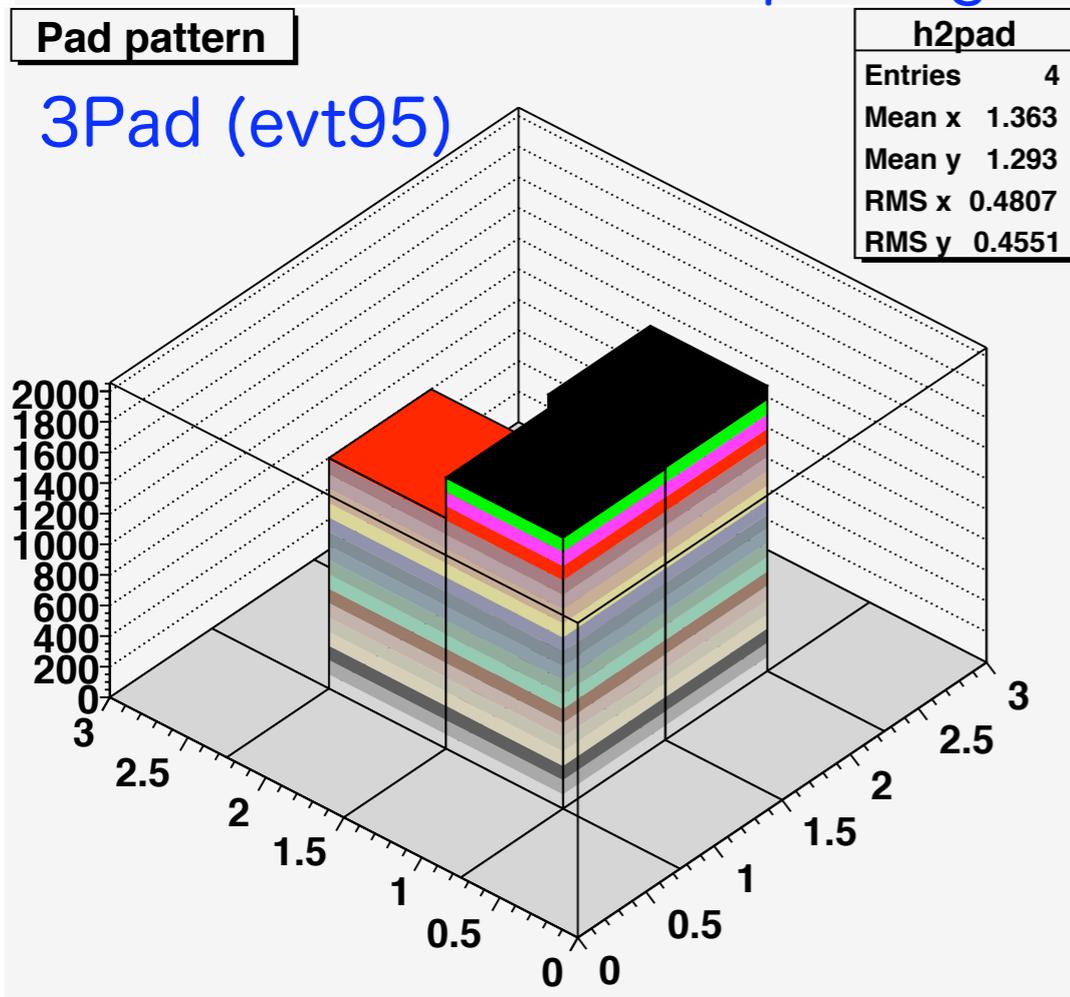
YT

明暗

56%



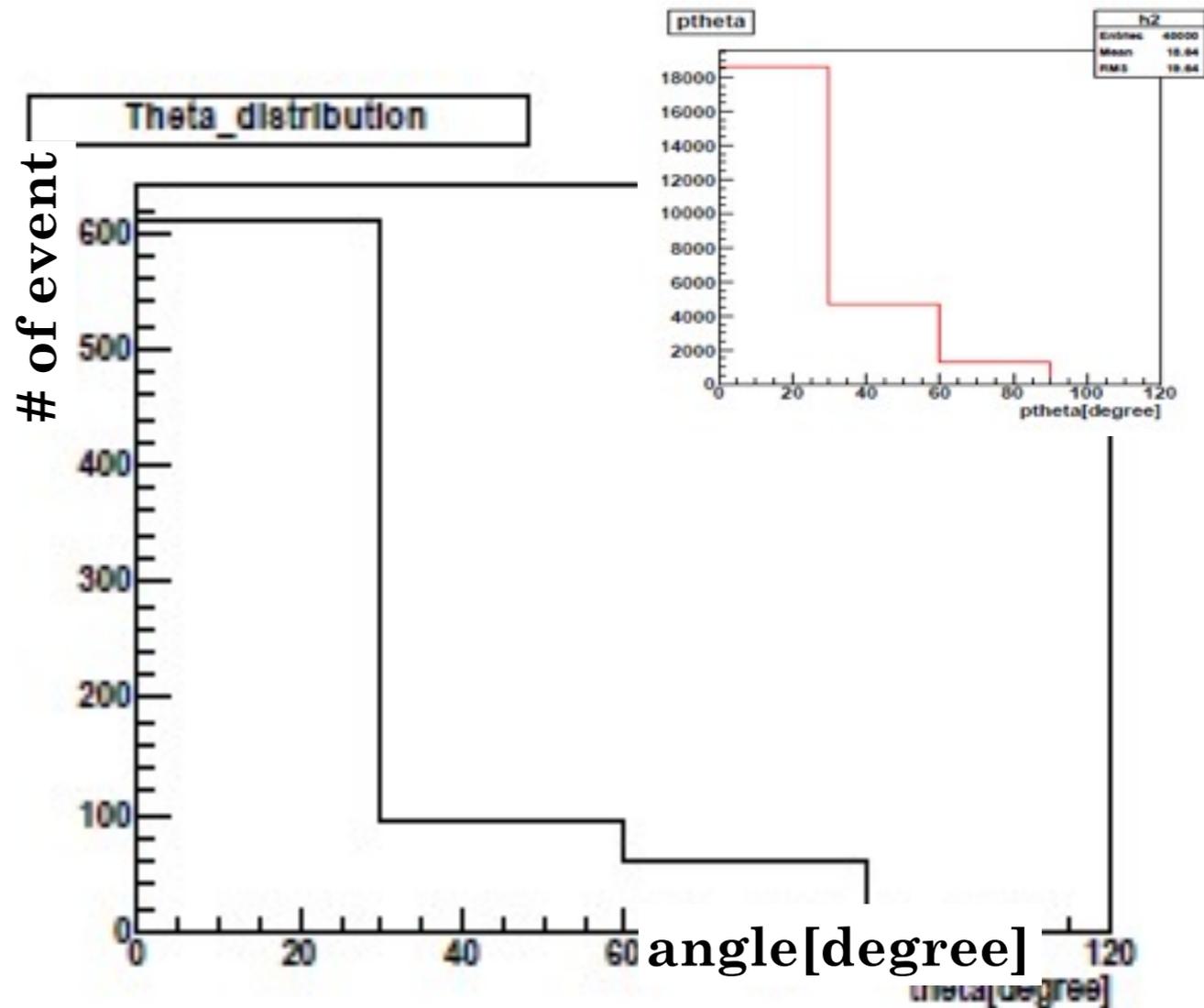
宇宙線イベント
pad signal > 100 ADCカウント



ZENITH ANGLE DISTRIBUTION OF CRM

○ 結果

- 右図の天頂角分布が得られた
- 宇宙線ミュオンは天頂角で $\cos^2 \theta$ に従うことが知られている
 - ▶ パッド上で角度を求めているので、 $\cos^2 \theta$ の分布を経面に射影した分布と比較する
 - ▶ 赤い線のヒストグラムが $\cos^2 \theta$ を平面に射影したときの分布(monte carlo)
 - ▶ 不完全ではあるが理論と近い傾向が見られる
- ちゃんと議論するには壁や天井の効果も考慮して比較する必要があるが、今回の目的からはそれ



役割分担

すべてに必ずスタッフが加わるべき

- 全体総括 田内
- 解析 佐伯
 - データ解析とシミュレーション
- TPCハードウェア 三原
 - パッド、メッシュ、ケーブル、洗浄の準備
 - セットアップ
- エレクトロニクス 田中
 - プリアンプ、シェーパー
 - WFD
 - セットアップ
- 各種試験 三原(田内)
 - PMT試験
 - 電荷信号収集中の各種試験
 - シフトするのは容易ではなさそう
- 純化装置、クライオジェニクス 春山
- DAQ(ソフトウェア) 田中
 - 現有CAMACで16チャンネル位のDAQができるように整備
 - オシロスコープによる波形読み込み
- 調査/検討 田内、真木、佐伯
 - エンドプレート
 - カプトンフィードスルー

第2実験

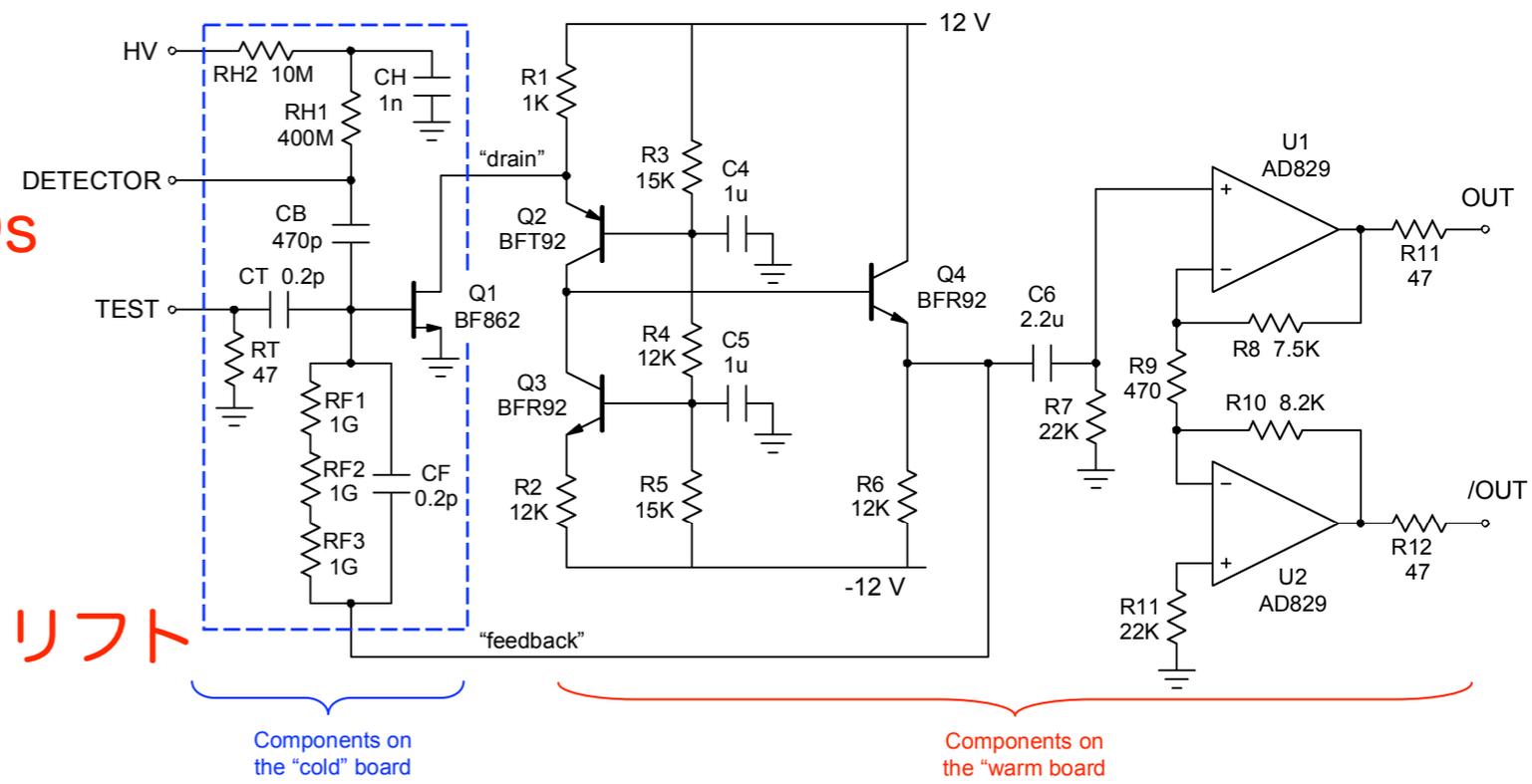
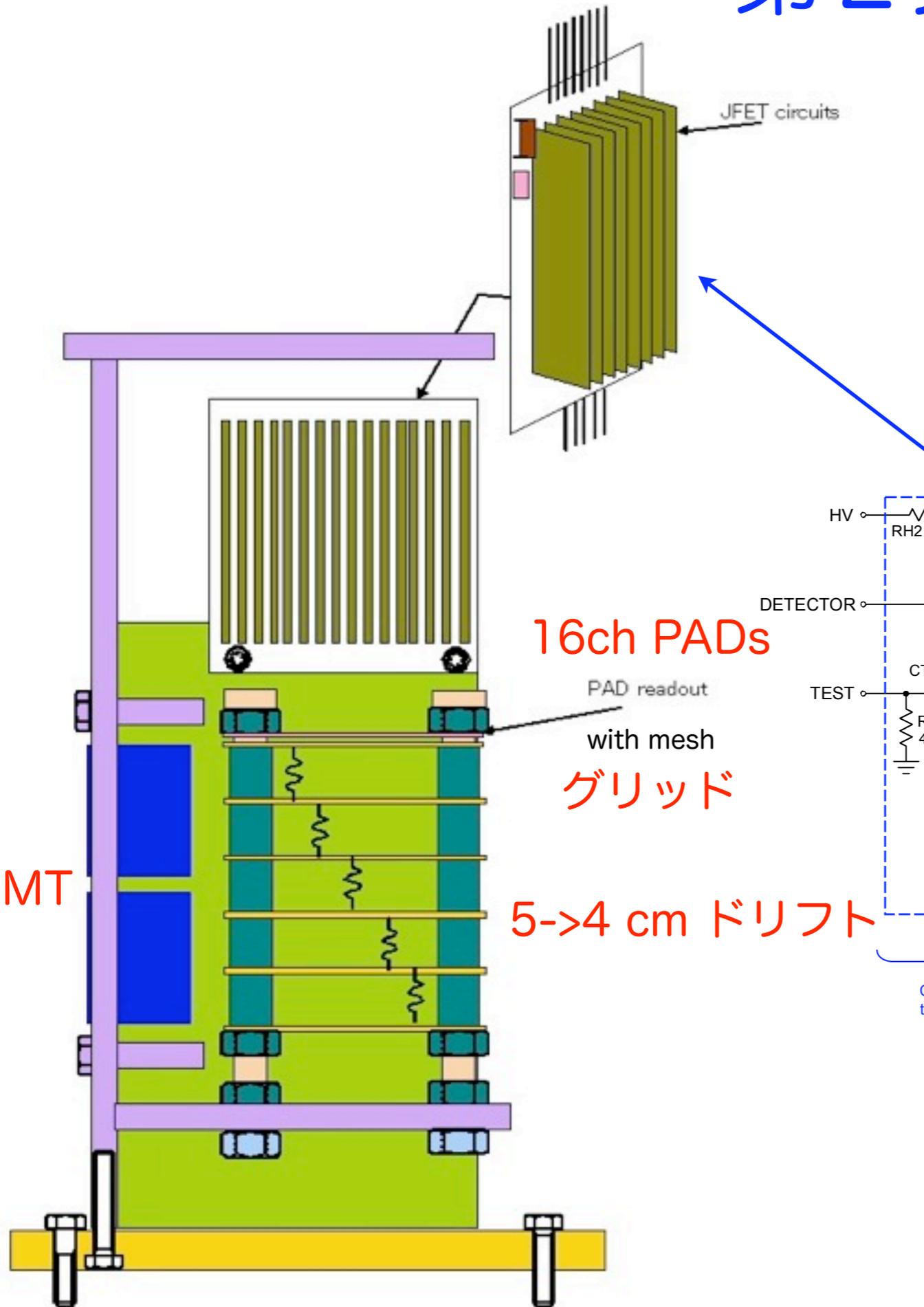


Fig. 3. Simplified schematic diagram of the charge sensitive preamplifier.

“A Cold Low Noise Preamplifier for Use in Liquid Xenon”, A. Pullia et al.

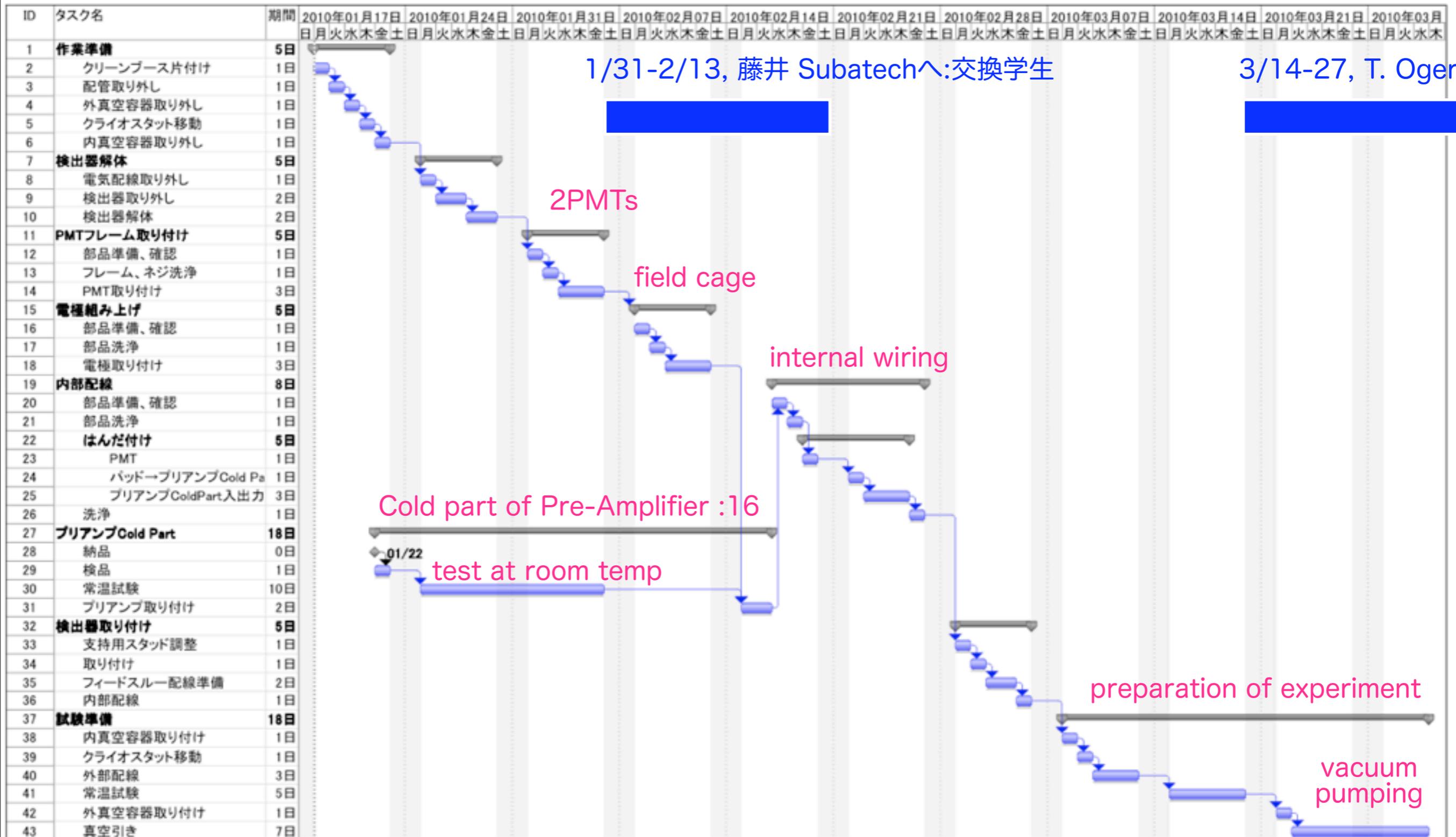
第2実験 : 4cm drift with grid(mesh) & 16 pad readout

2010年

1月

2月

3月

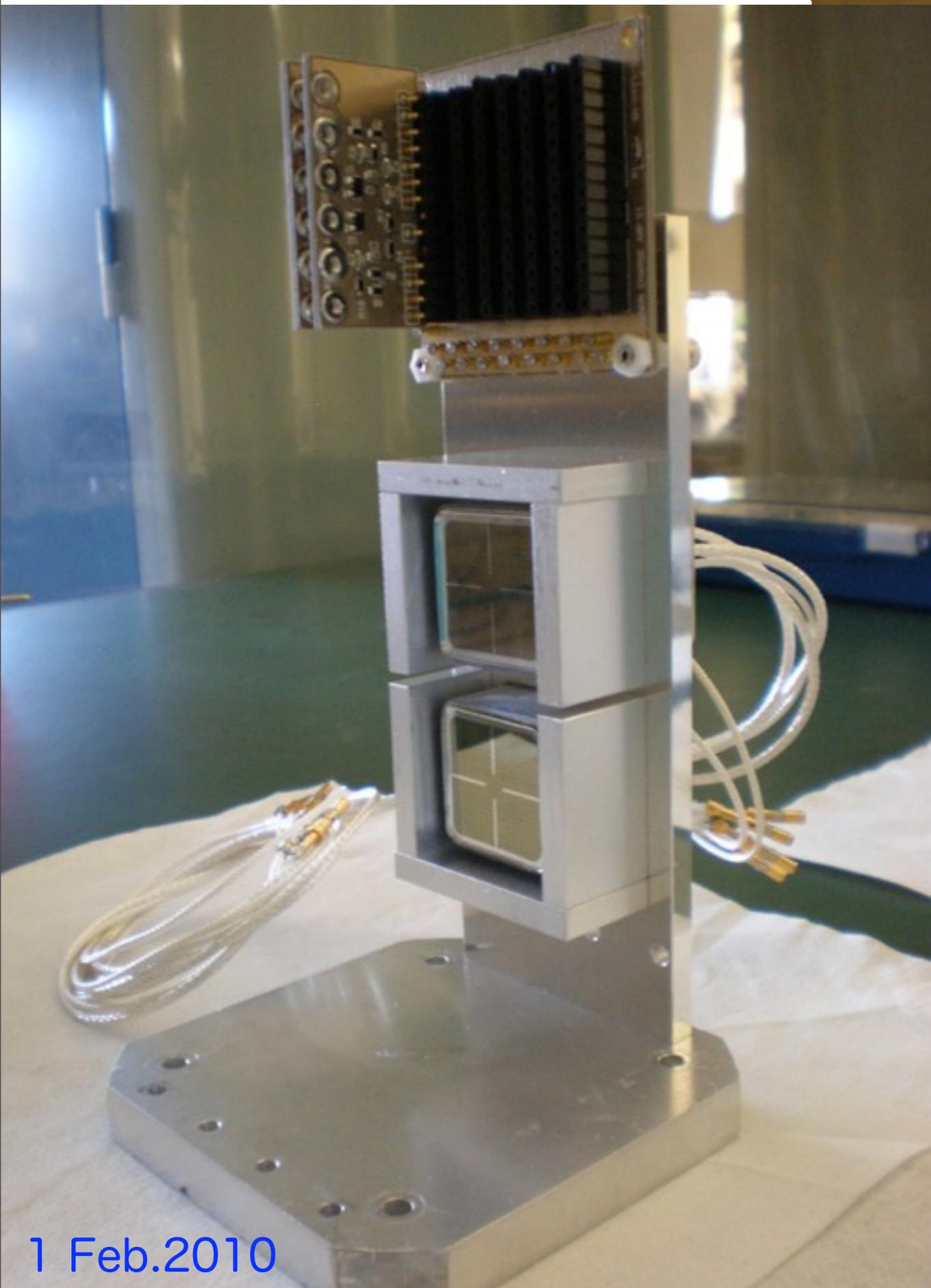


3月18日 (木) 真空引き開始, 3月20日 (土) ゲッターポンプON, 3月23日 (火) 液化開始, 3月25日 純化循環開始

3月29日 (月) 放電のため、すべてのBF862(JFET)のGate-Source間ショート => すべて交換

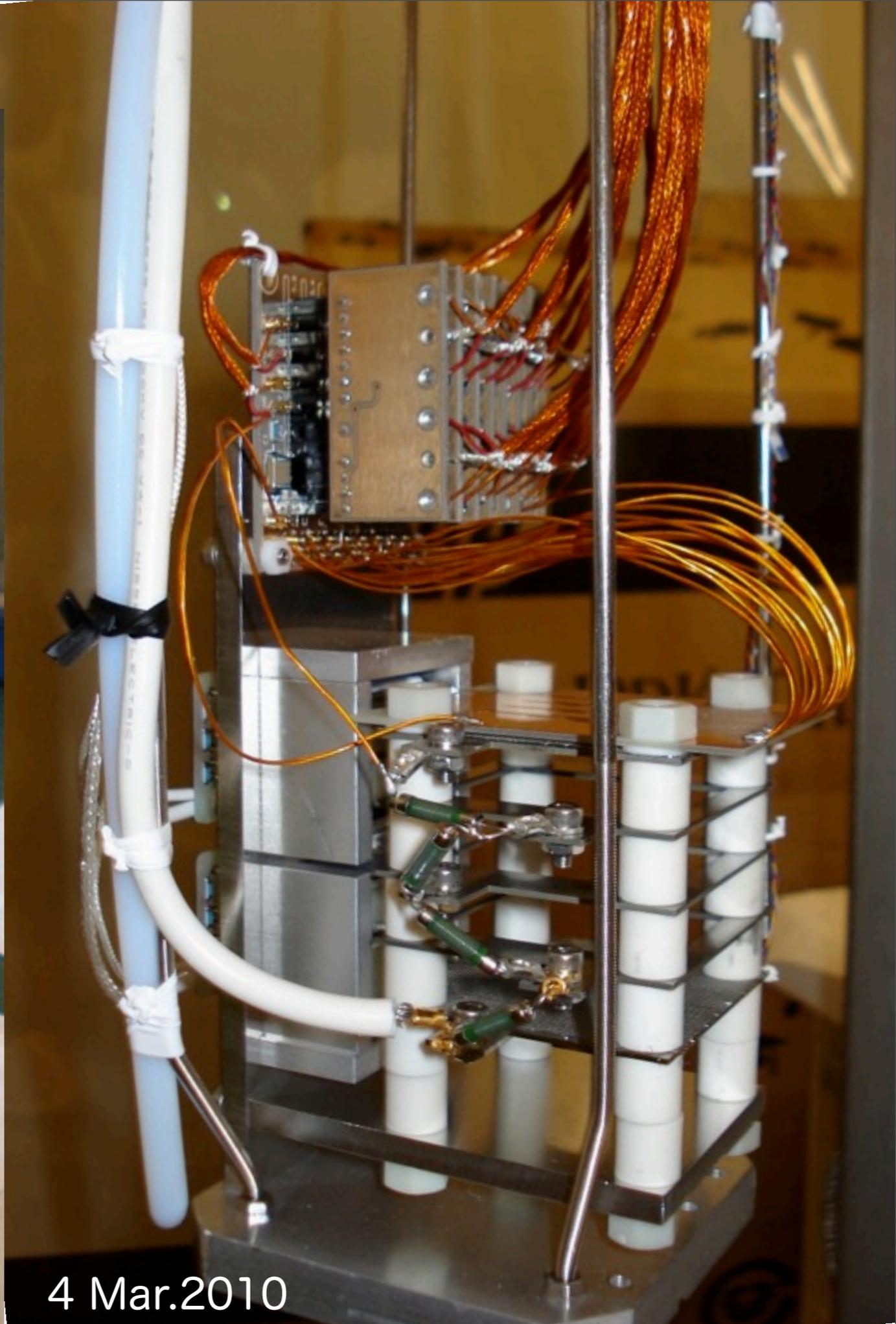
4月28日 (水) 真空引き開始, 5月12日(水) 液相循環精製開始, 6月18日(金) 冷凍機停止:温度制御故障

6月23日 (水) Xeガス (1気圧) でエレクトロニクスチェック @ 液体Xe中電荷シグナル未検出のため



1 Feb.2010

2010年 7月 20日 火曜日



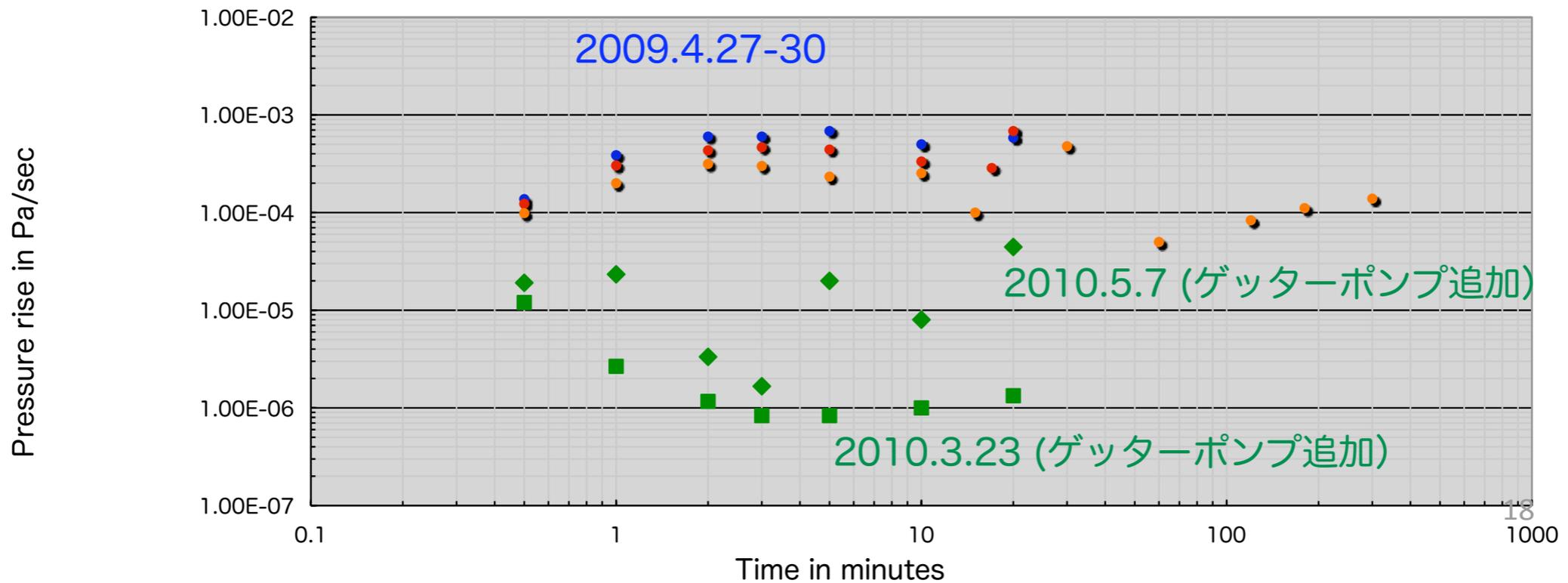
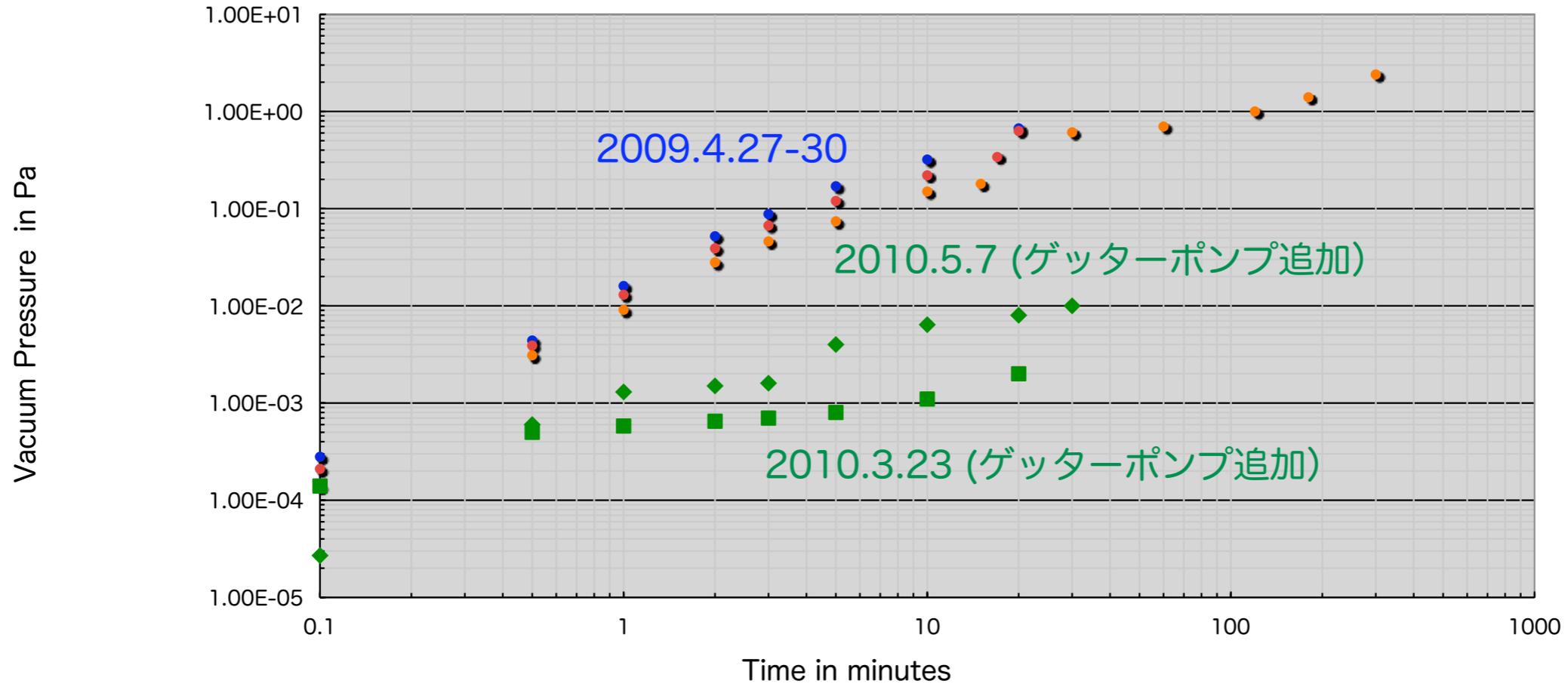
4 Mar.2010



Getter Pump
(CapaciTorr D400-2)

真空 Build Up 試験

"Less than 1 Pa overnight", 道家先生のゴールデン則



GND(grid)

+HV(anode)

γ 線源

$^{137}\text{Cs}, 7.34\text{KBq}$

α 線源

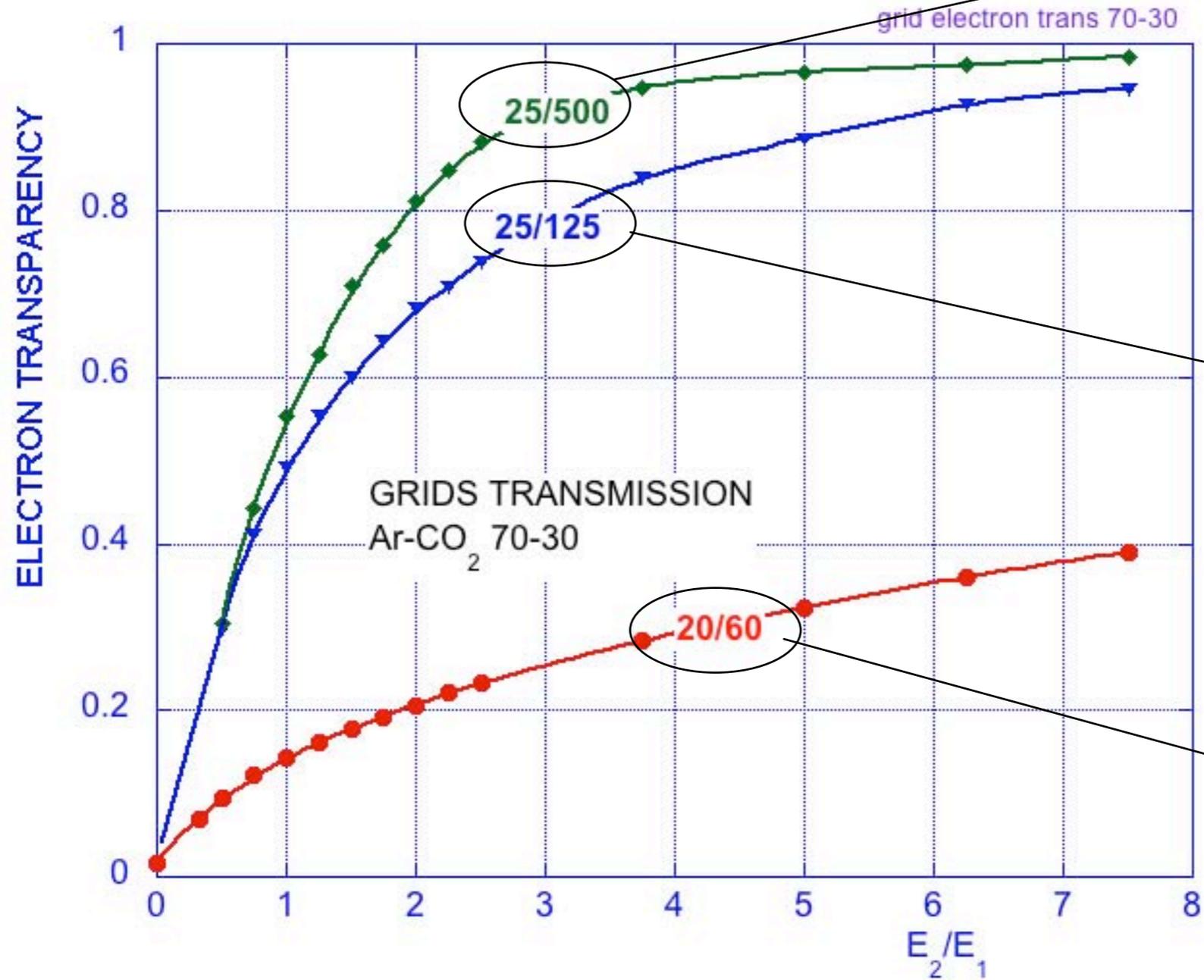
$^{241}\text{Am}, 200\text{Bq}$

27 April 2010

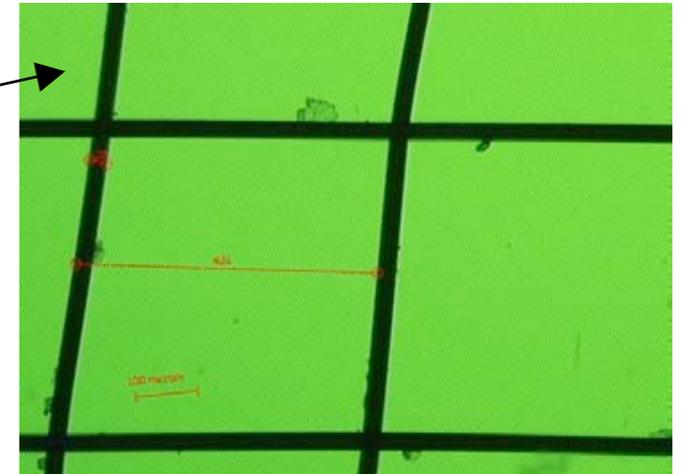
50 Mesh with 0.1 mm diameter SUS wires and 0.41 mm spacing



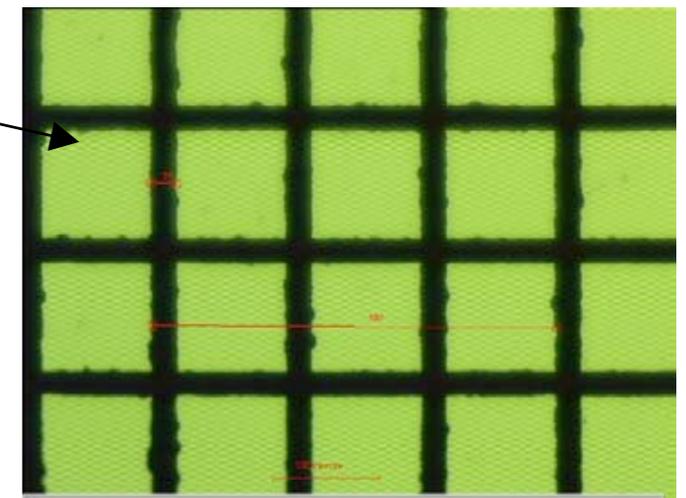
MESH TRANSPARENCY



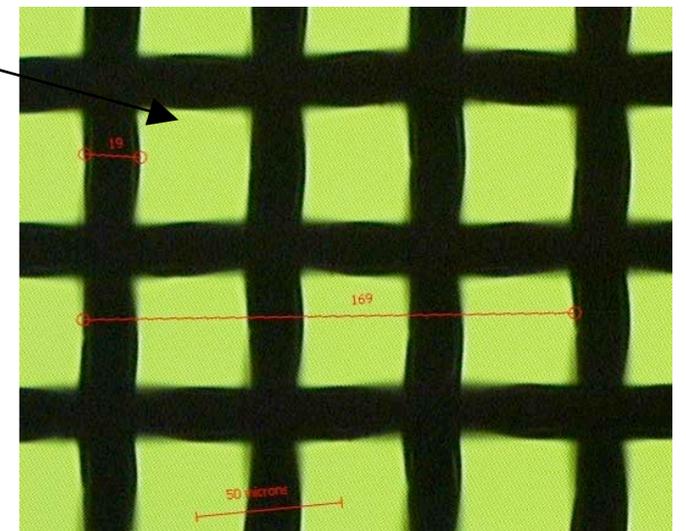
THIN 90.3%



MIDDLE 64%

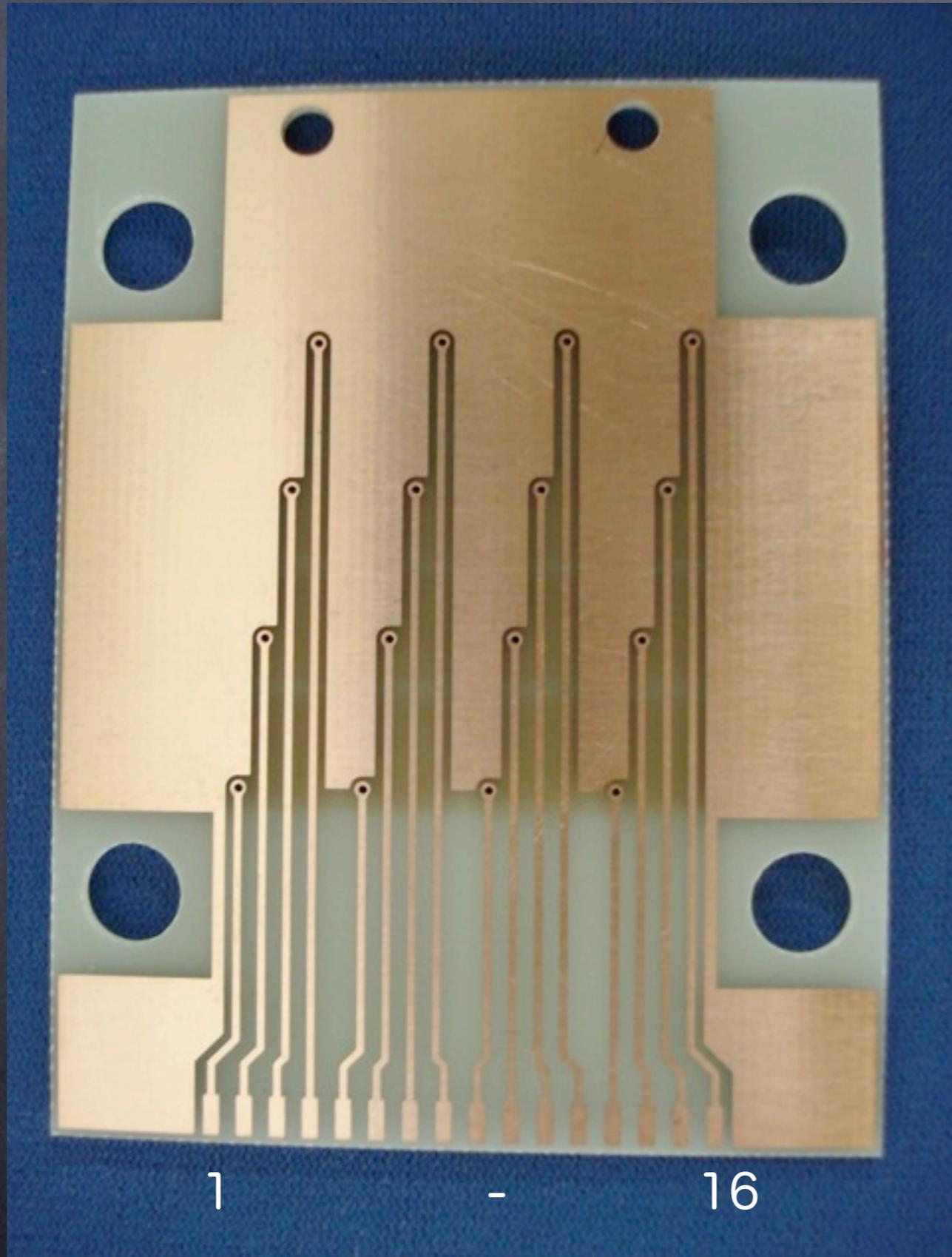


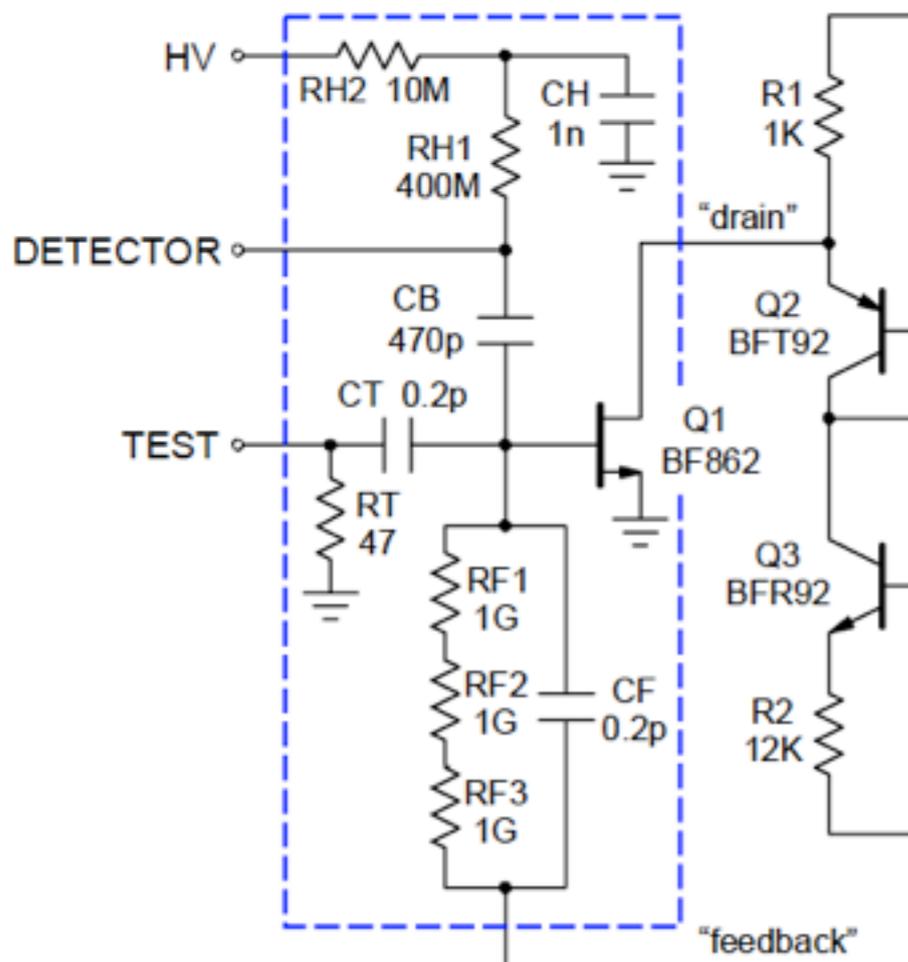
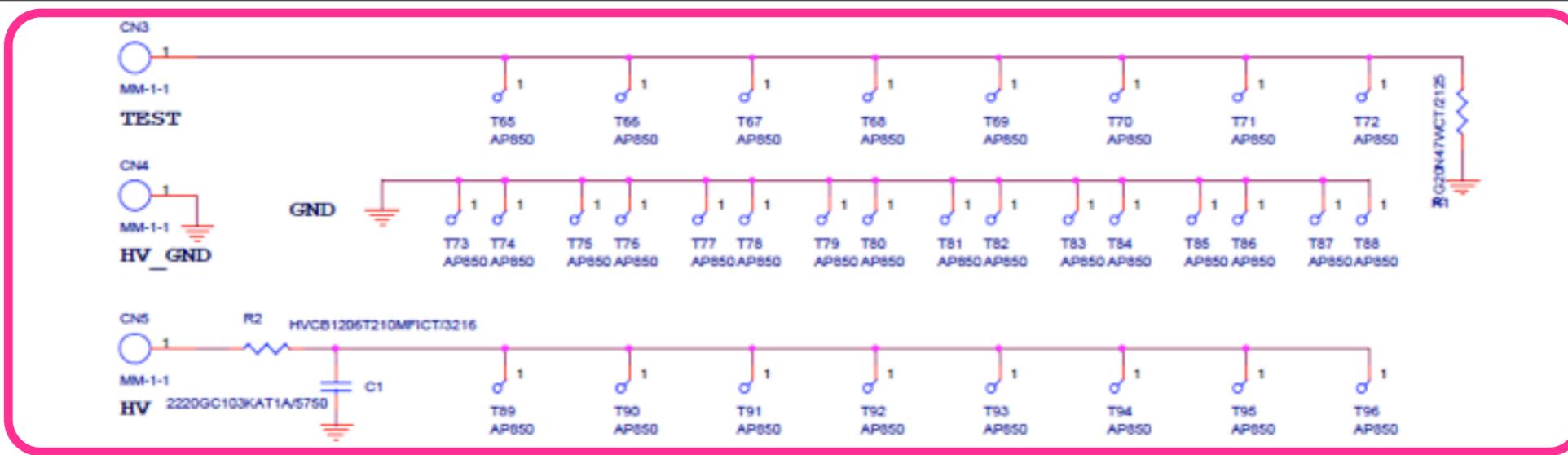
THICK 44.4%



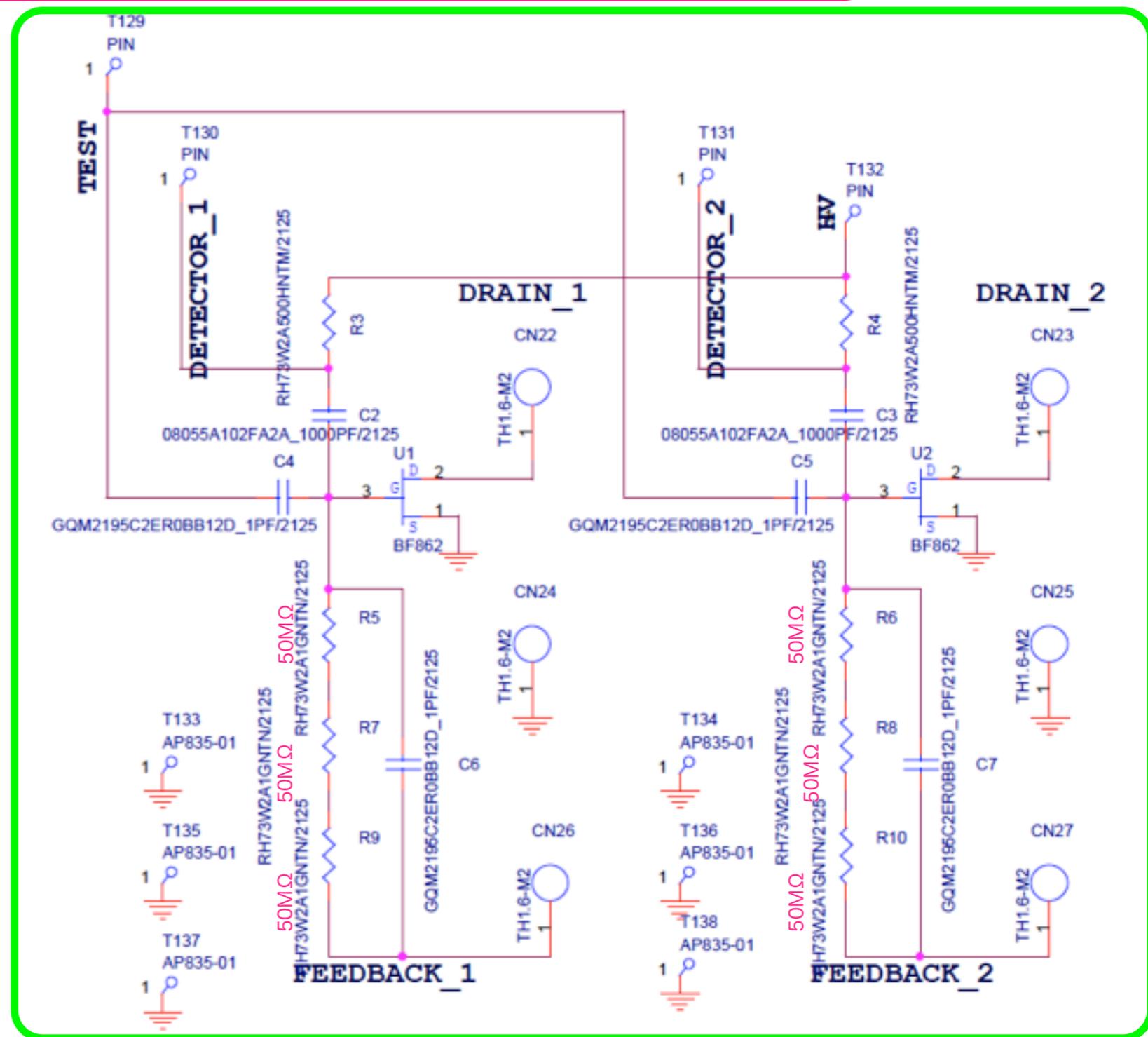
HIGH FIELD RATIO REQUIRED FOR GOOD TRANSMISSION!

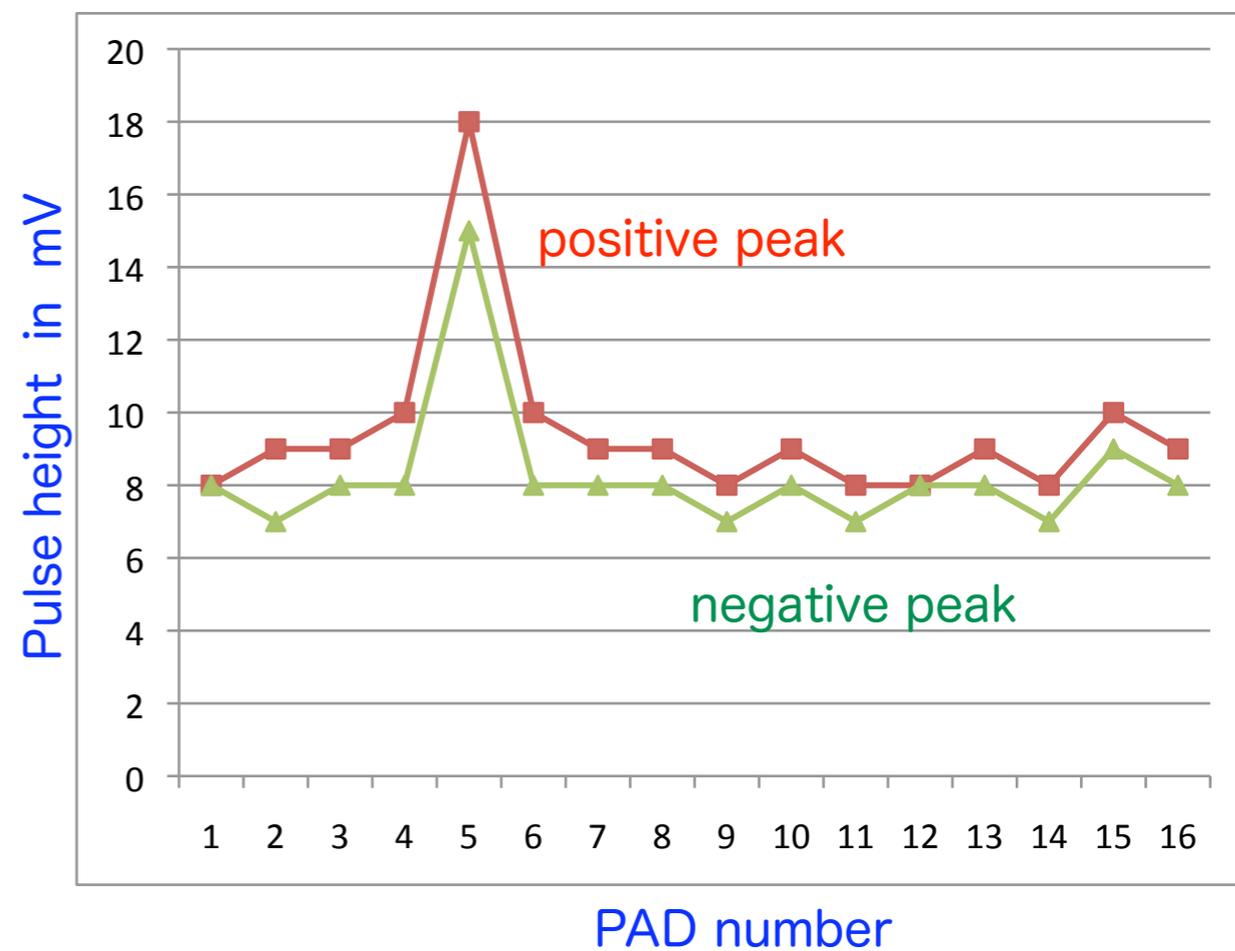
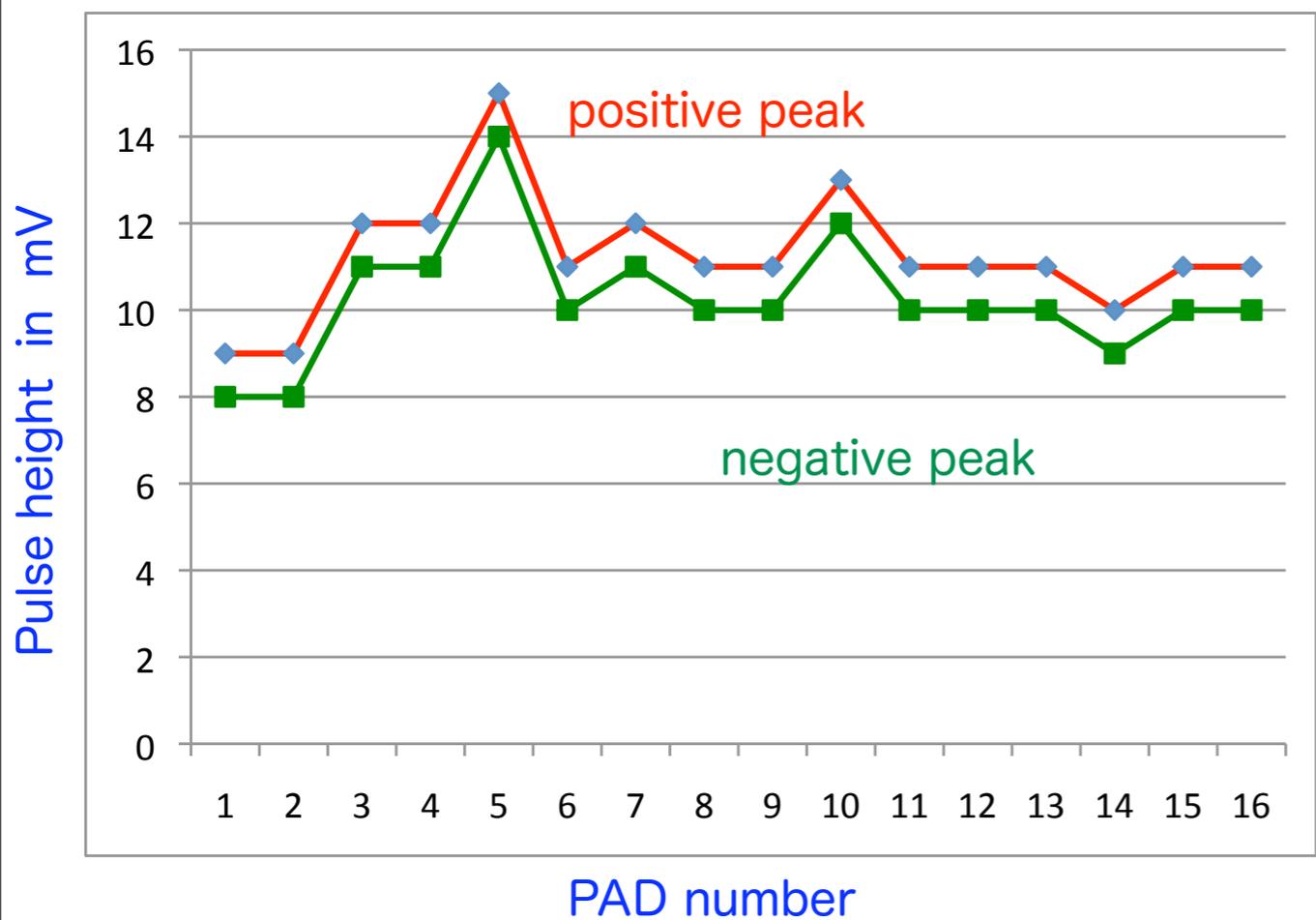
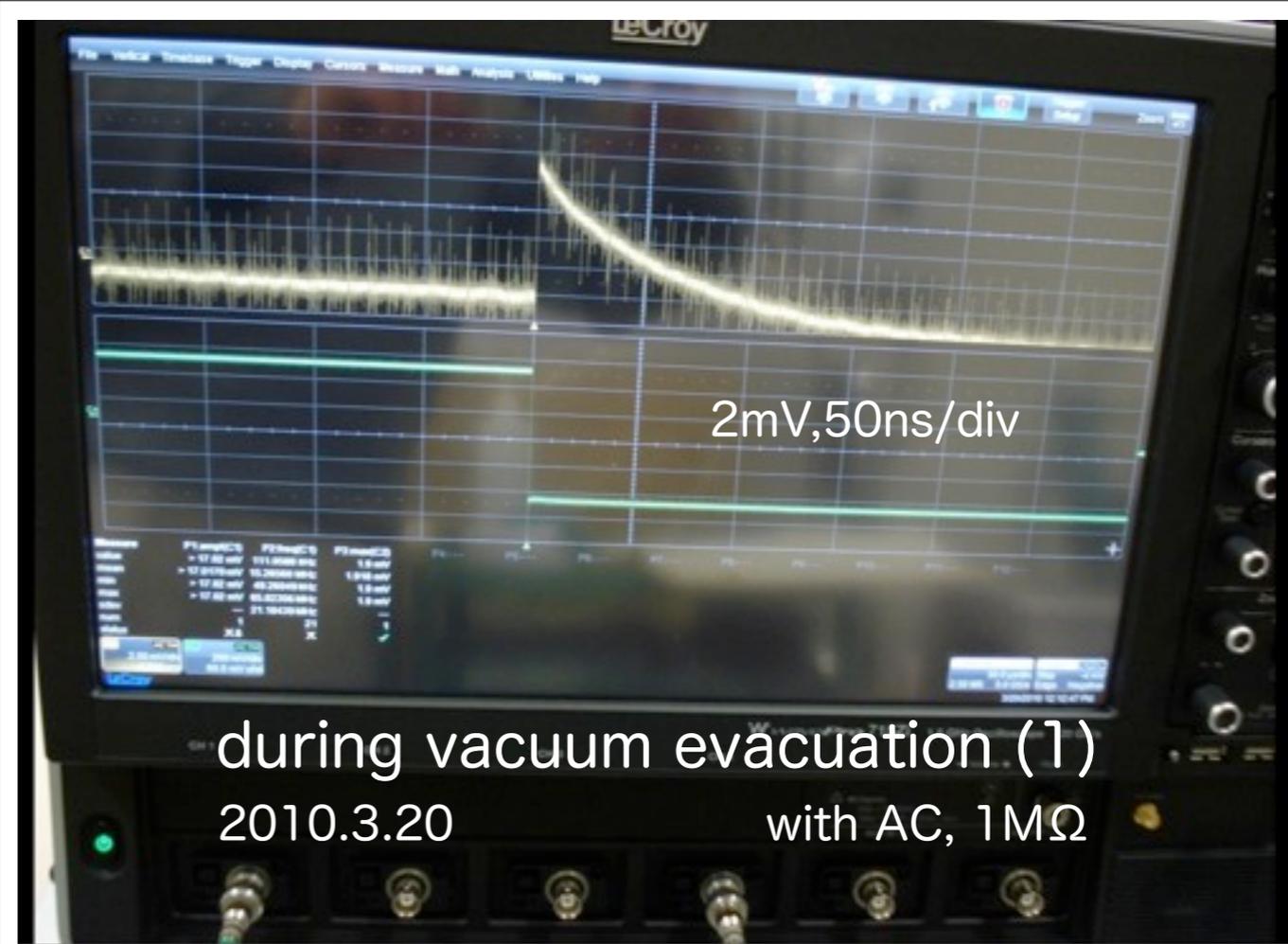
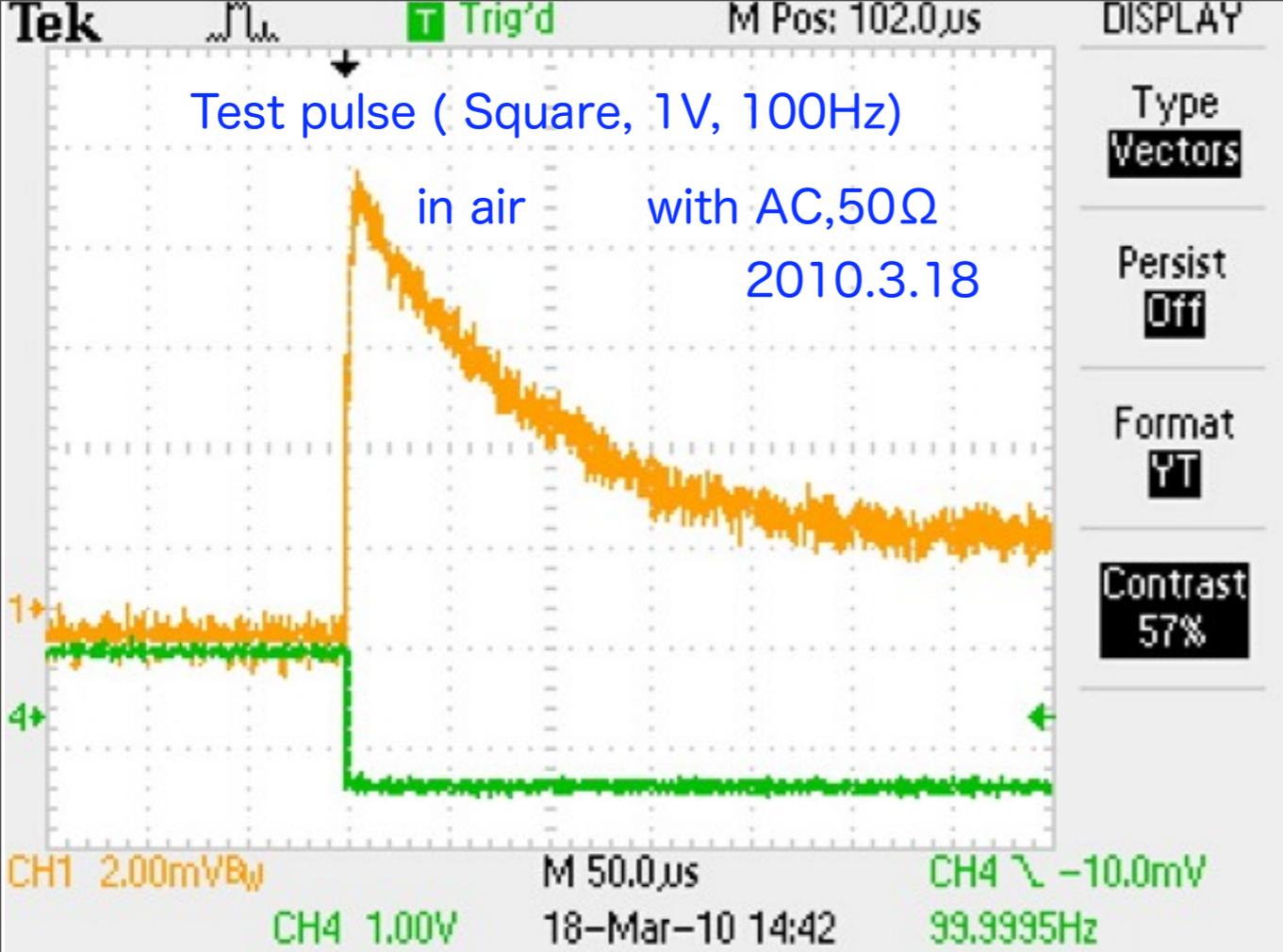
P. Everaerts et al, IEEE Nucl. Sci. Symp. (San Diego, Oct. 2006)





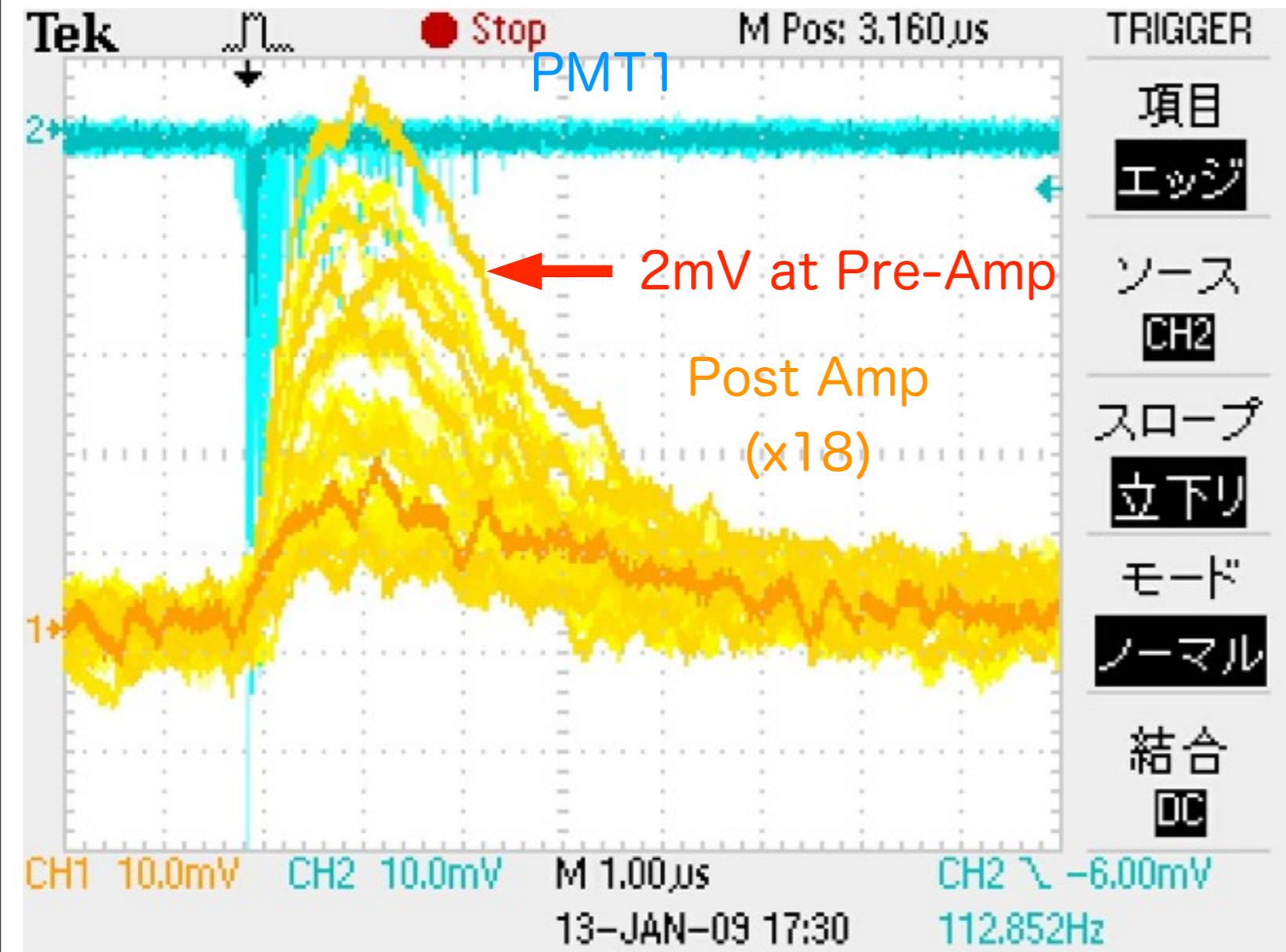
Components on the "cold" board





GXeTPC (Xeガス) : 電荷シグナル

2mVのPre-Amp出力は13,000個の電子数に相当する ($0.002 \times 1 \times 10^{-12} / 1.6 \times 10^{-19} = 1.3 \times 10^4$)。3mm厚のキセノンガス中で5.4MeV α 線は総数150,000個の電子を電離するので ($5.4\text{MeV} / 15.6\text{eV} \times 3\text{mm} / 9\text{mm} = 1.2 \times 10^5$)、その内11%が測定されたと評価される。液体キセノン・TPCでは α 線エネルギーの5%程度が再結合を免れアノードに到達する。したがって、 $5.4\text{MeV} / 15\text{eV} \times 0.05 = 18,000$ 個の電子による2.8mV程度のPre-Amp出力が期待される。



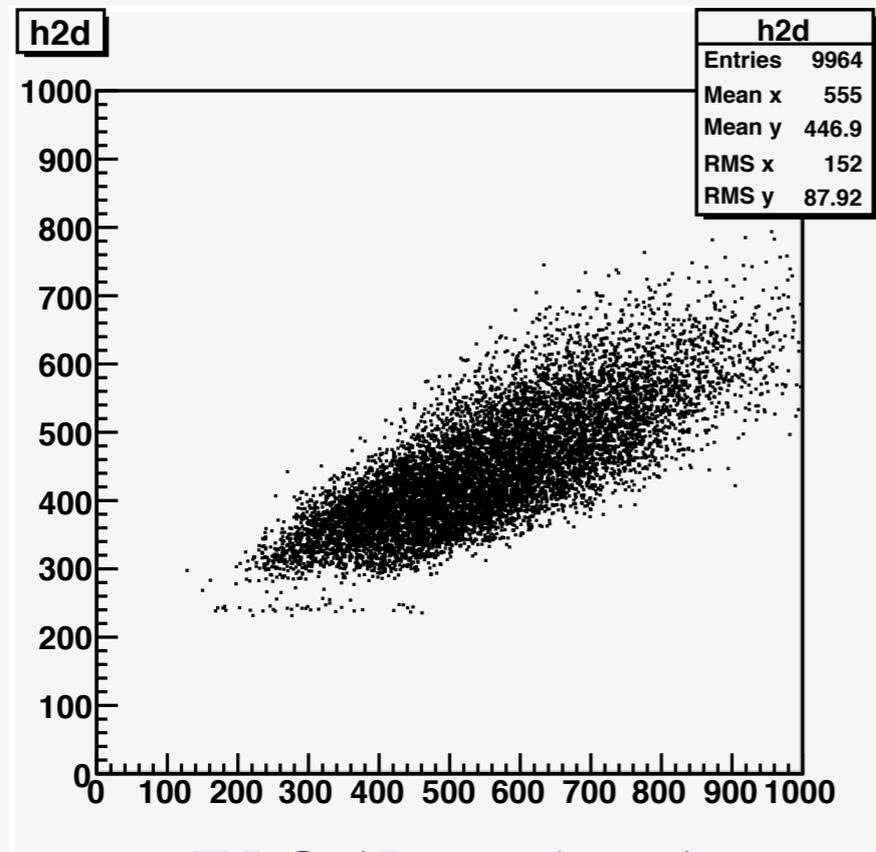
Typical output of Pre-amp was + 2mV

Post Amp : the first differentiation and integration time = 1 usec

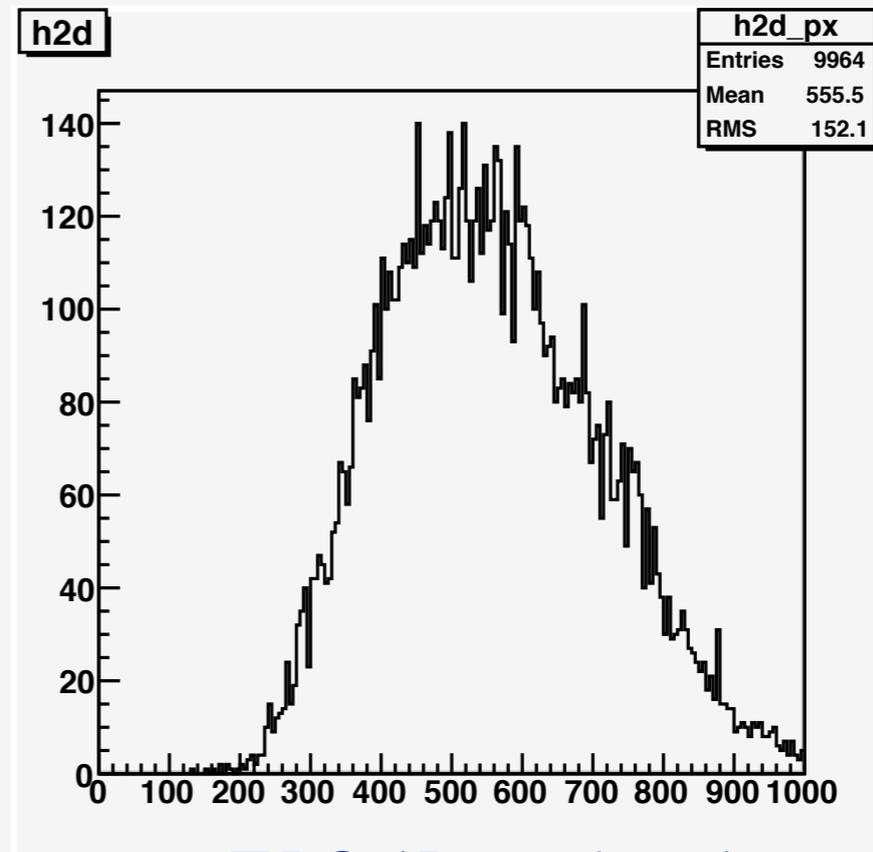
TPC HV : -600V/3mm , PMT1 HV=800V

GXeTPC : 電荷シグナルとシンチレーション光

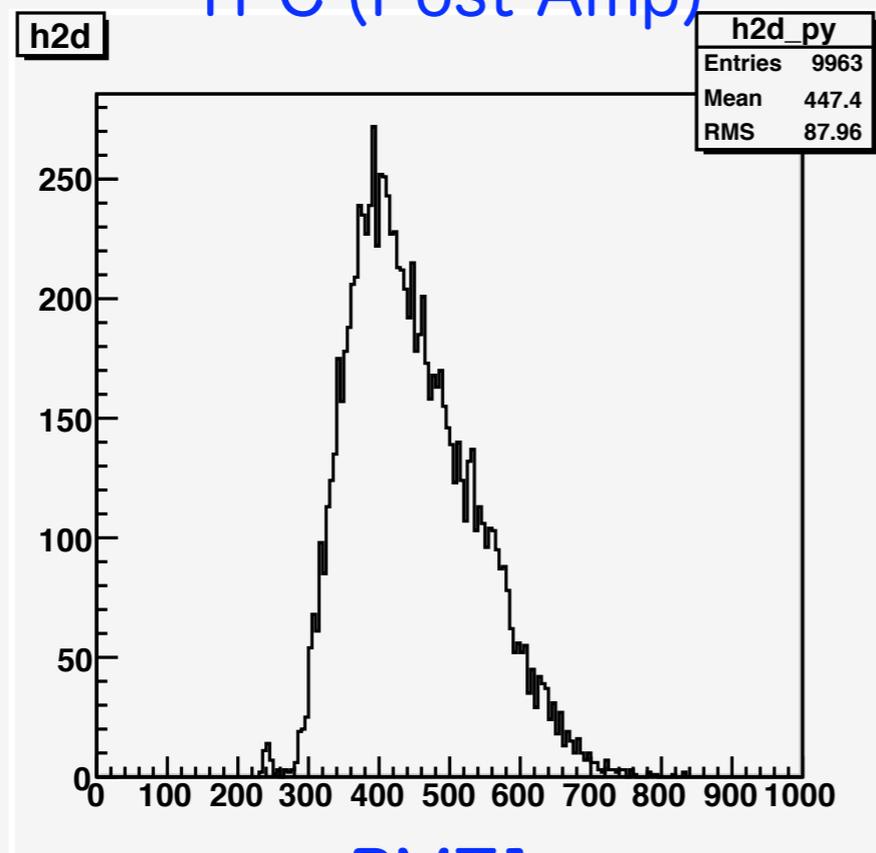
PMT1



TPC (Post Amp)

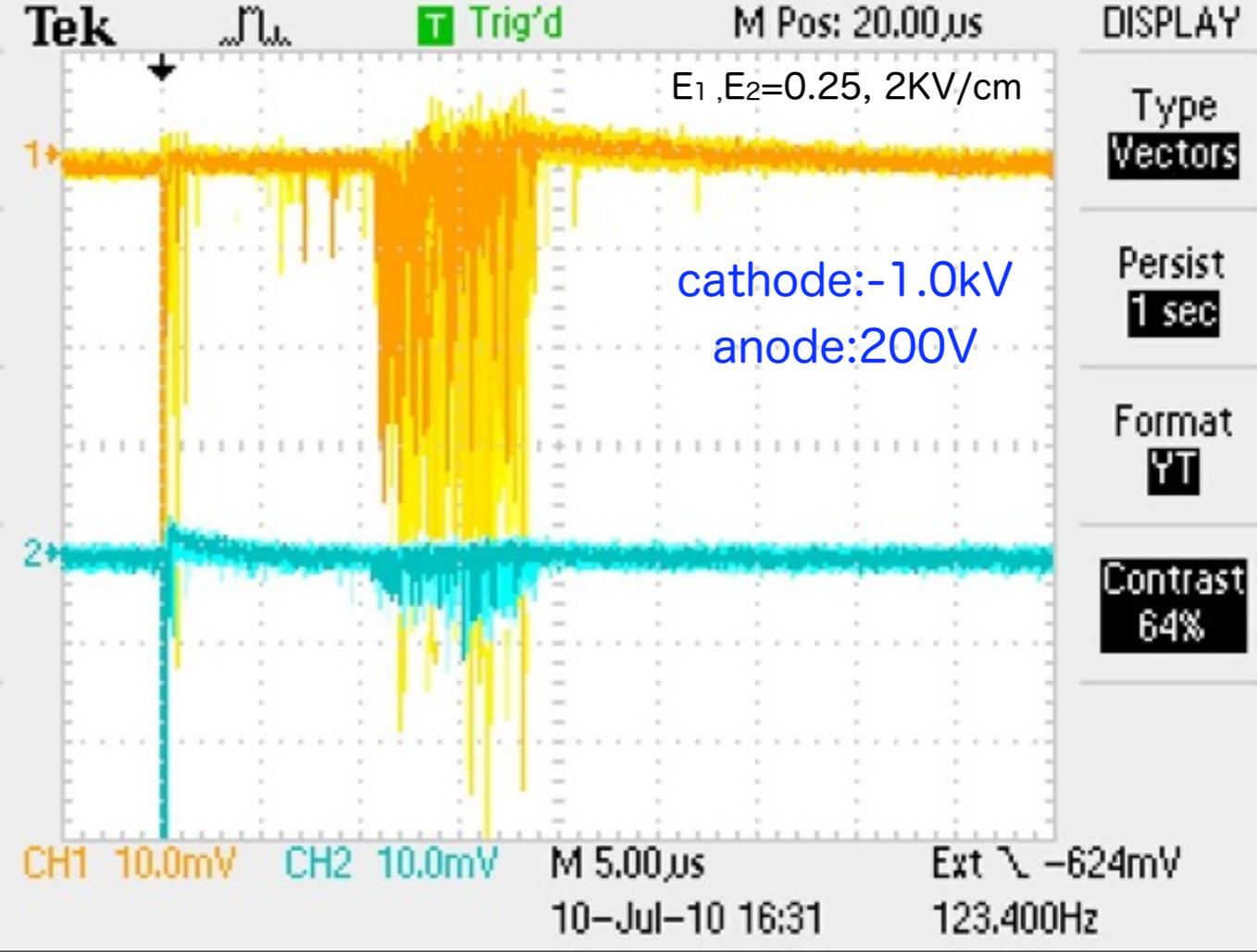
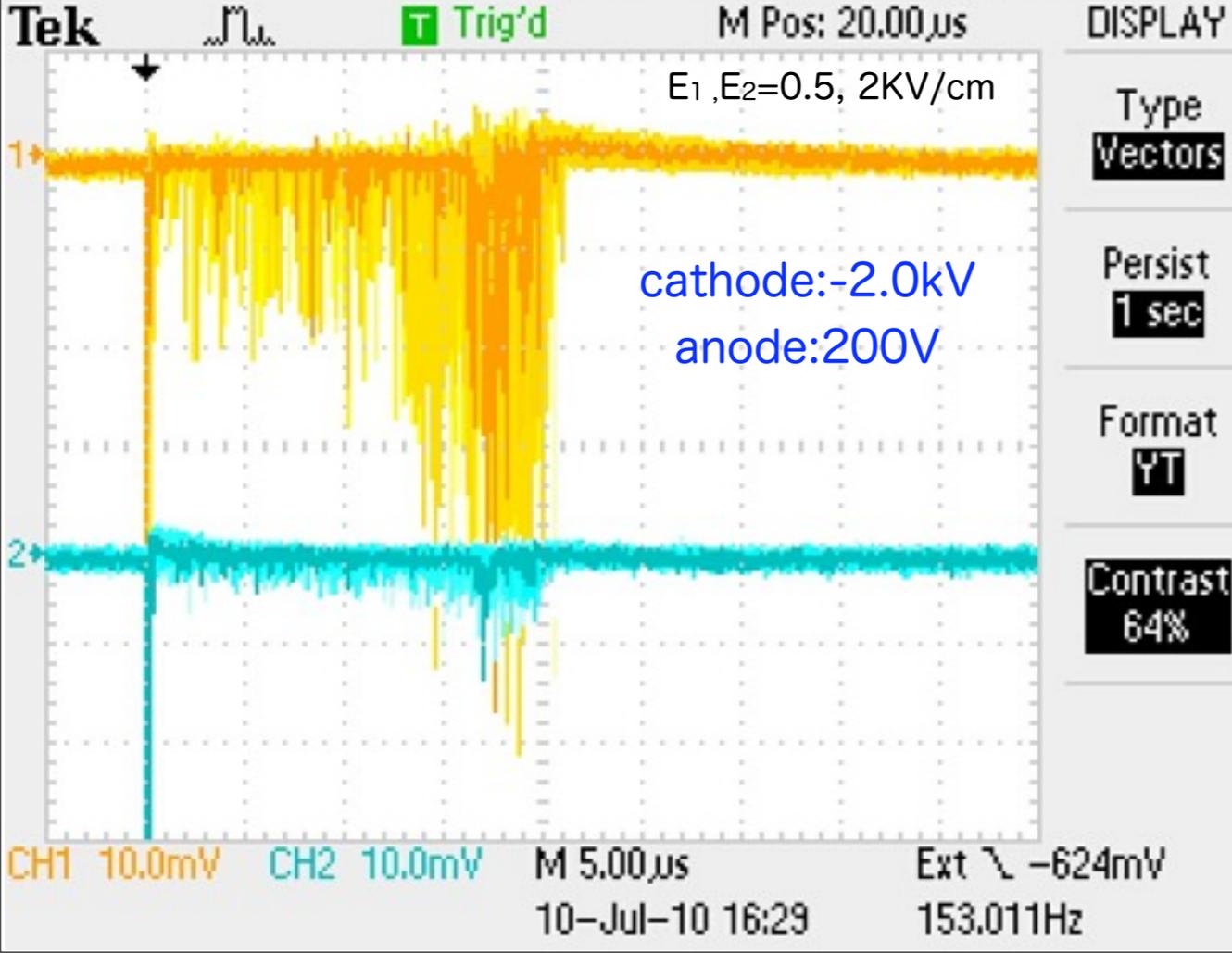
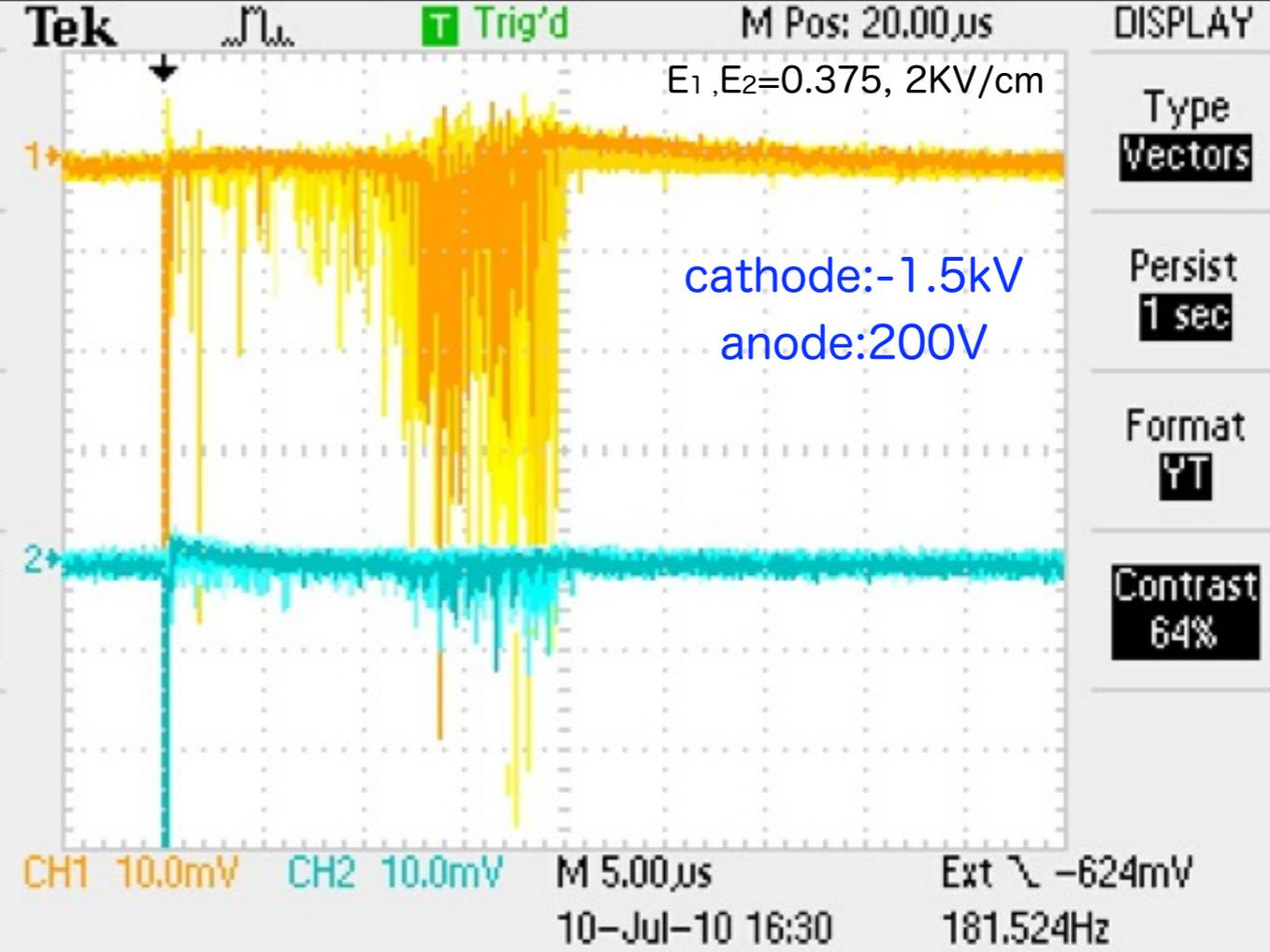
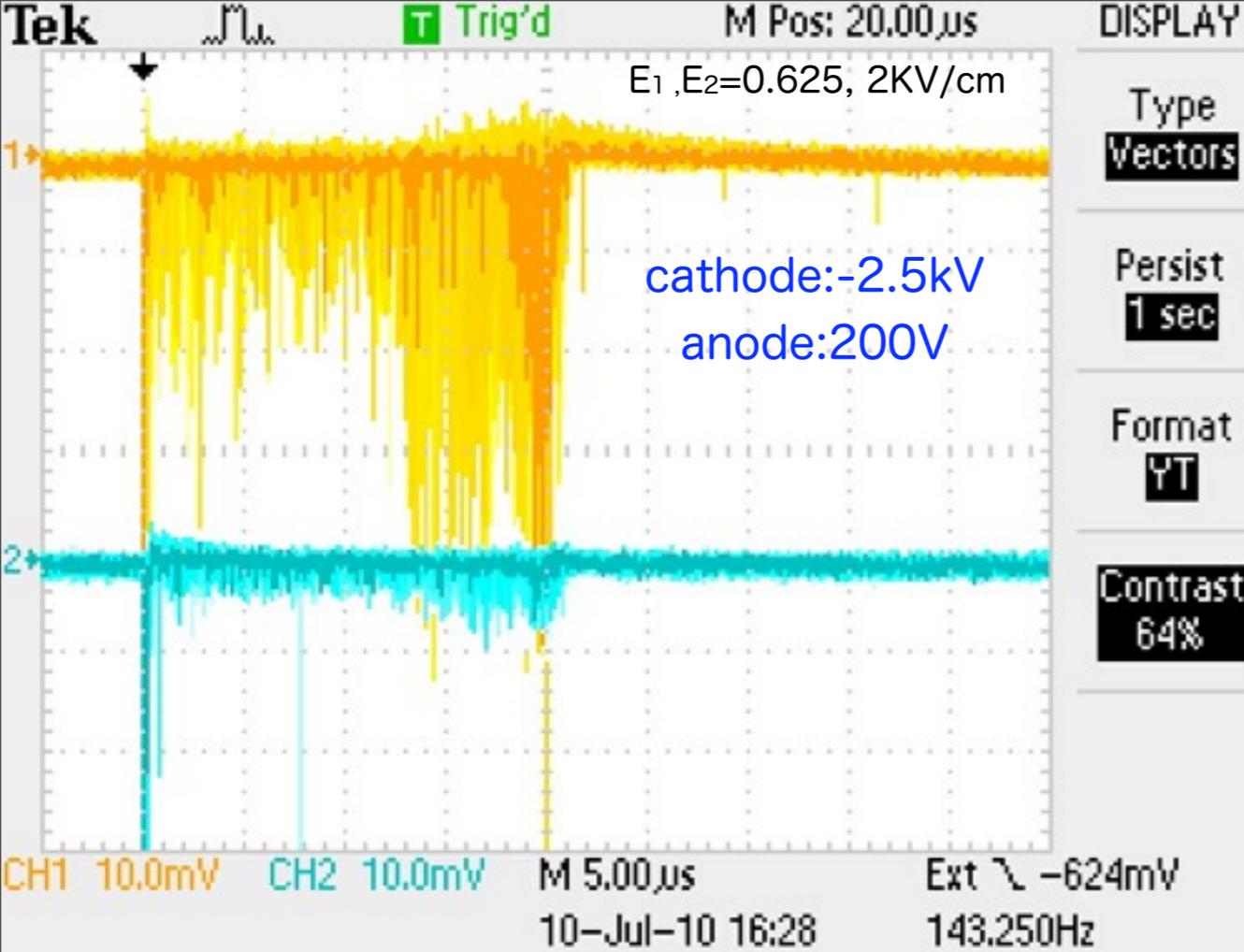


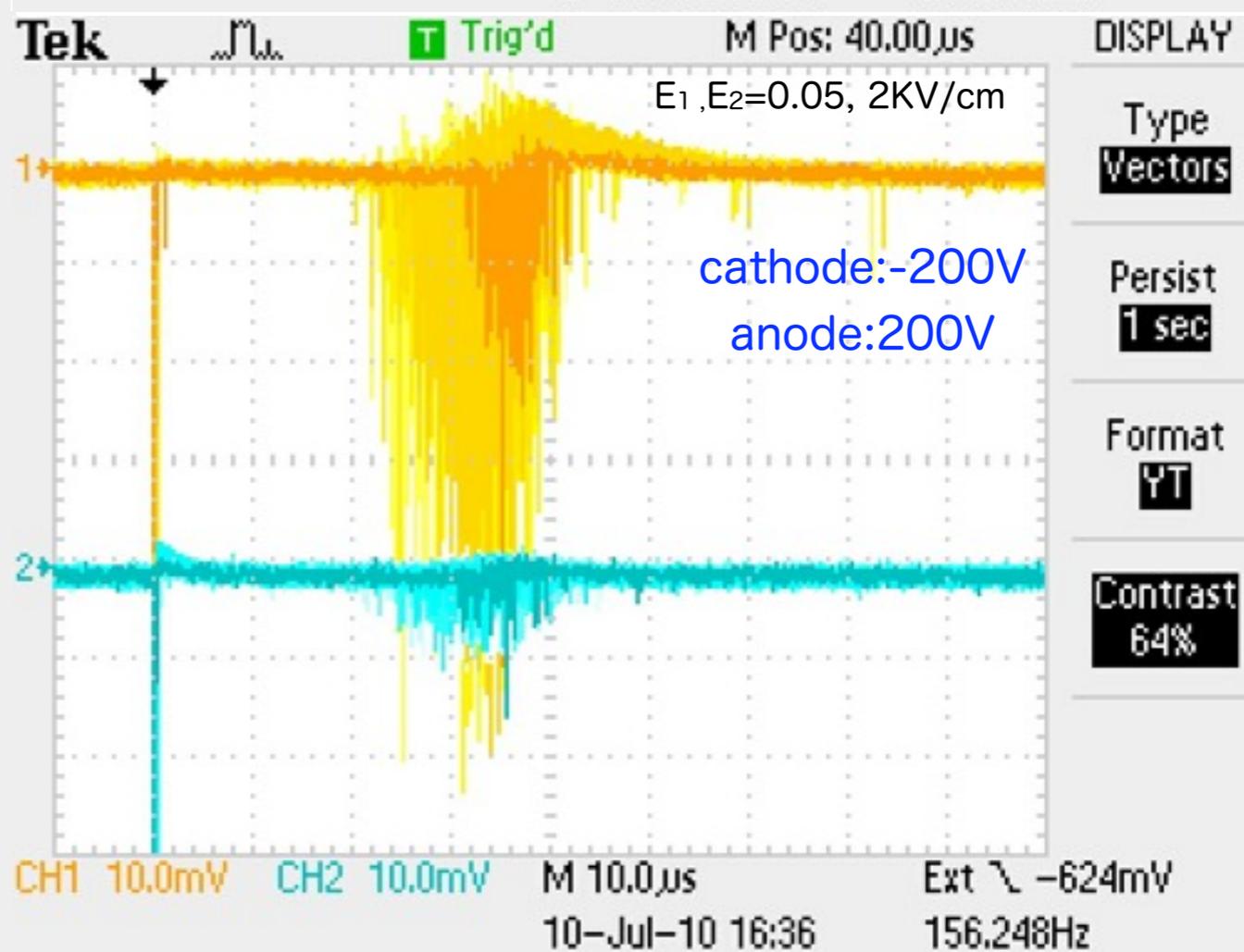
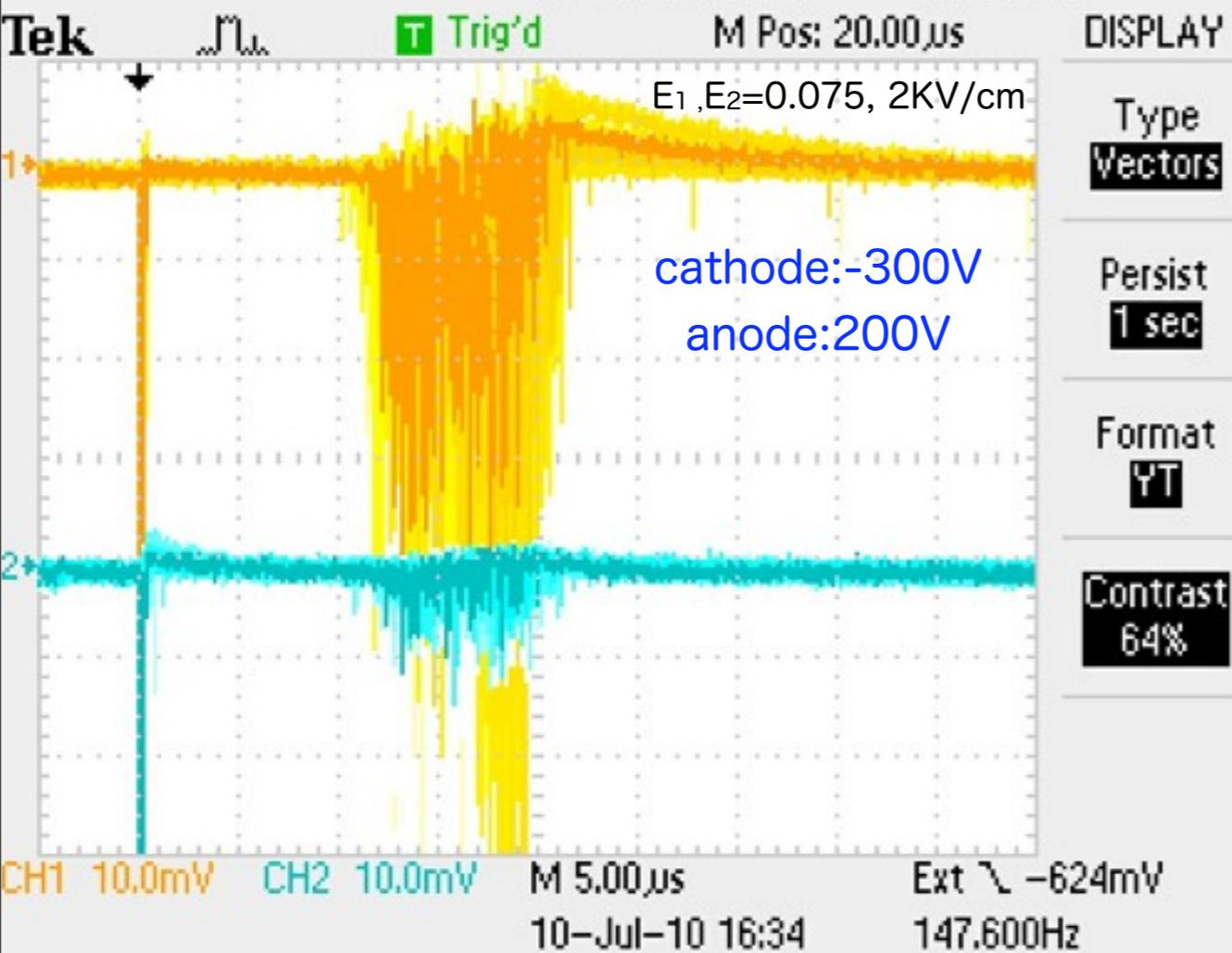
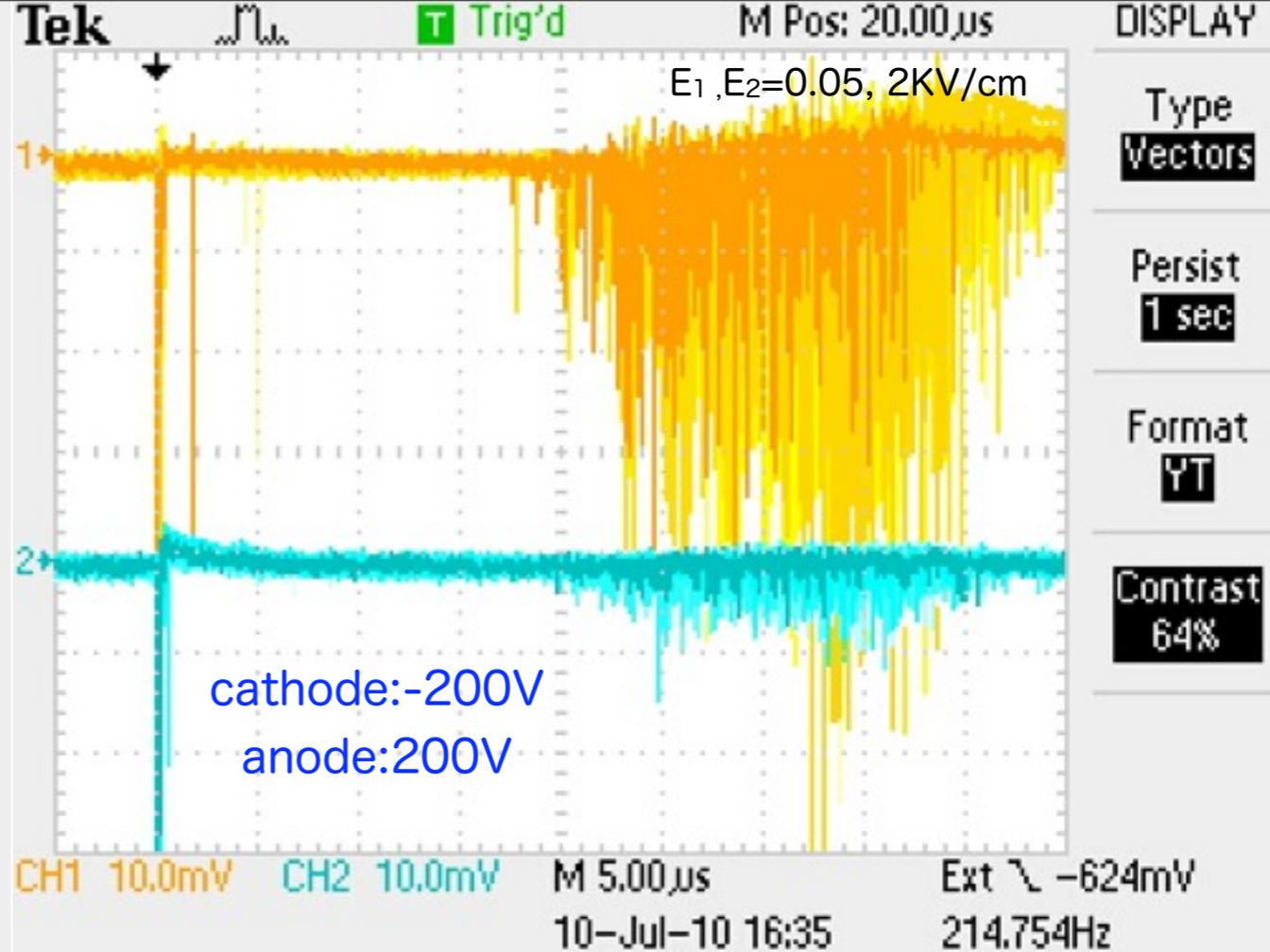
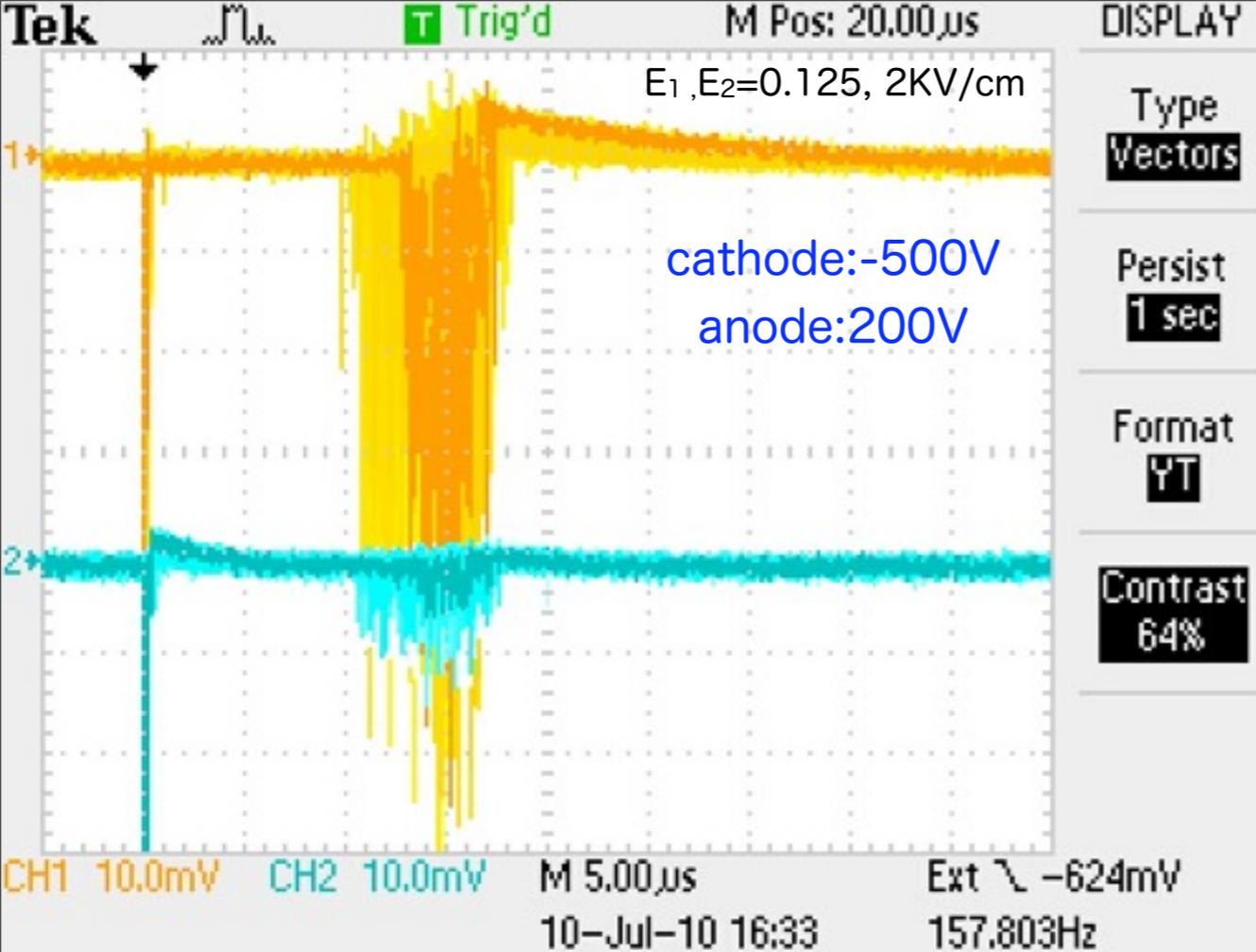
TPC (Post Amp)

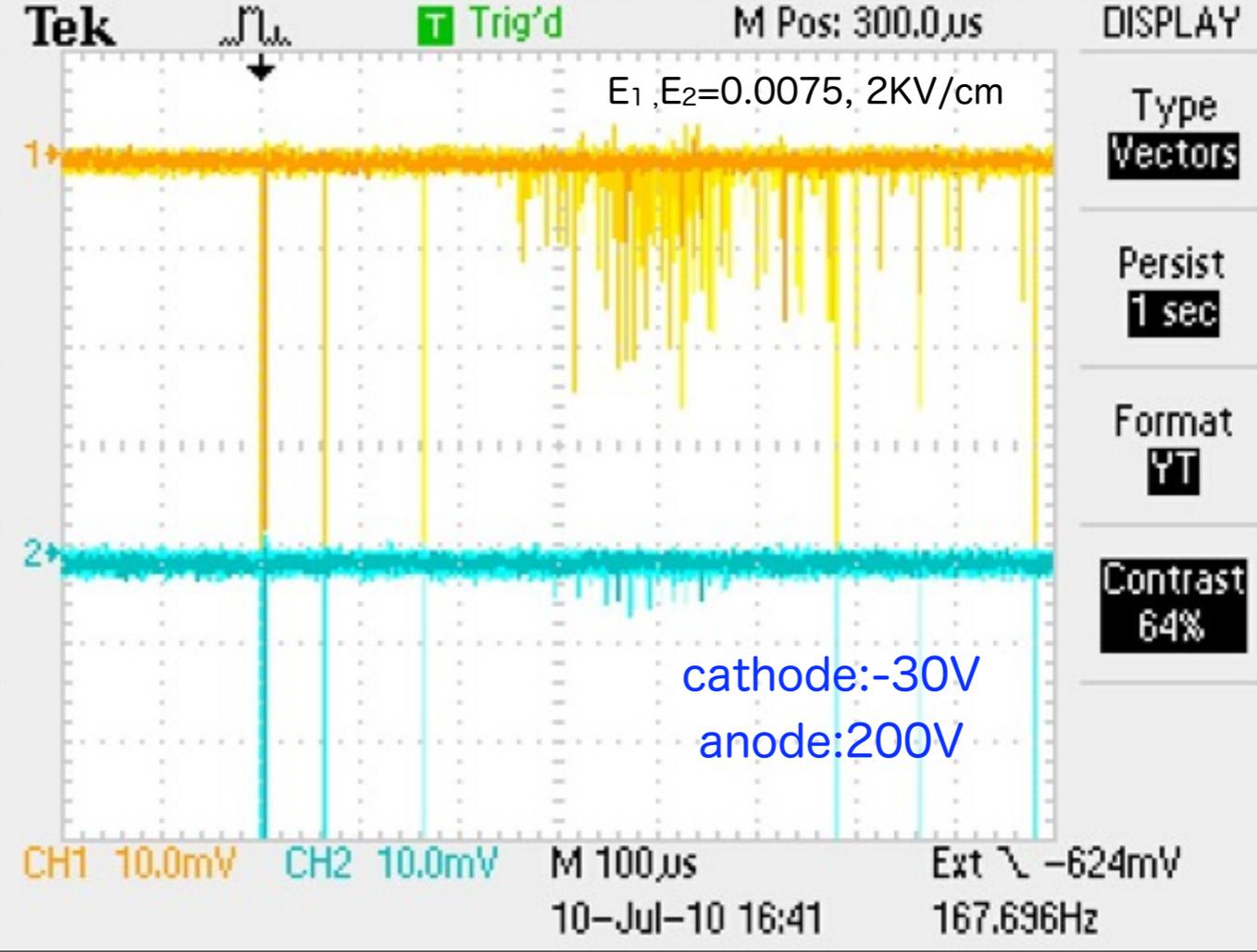
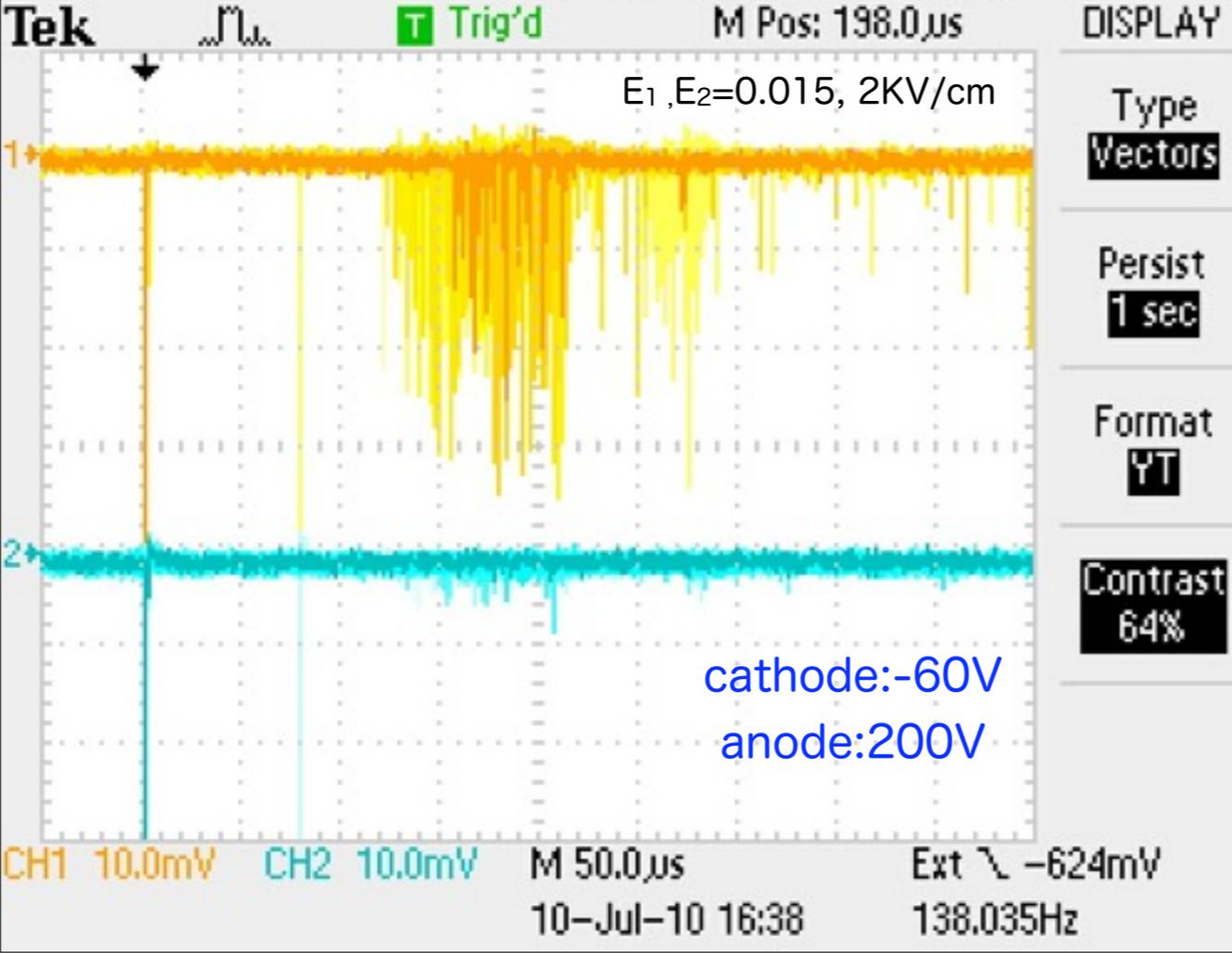
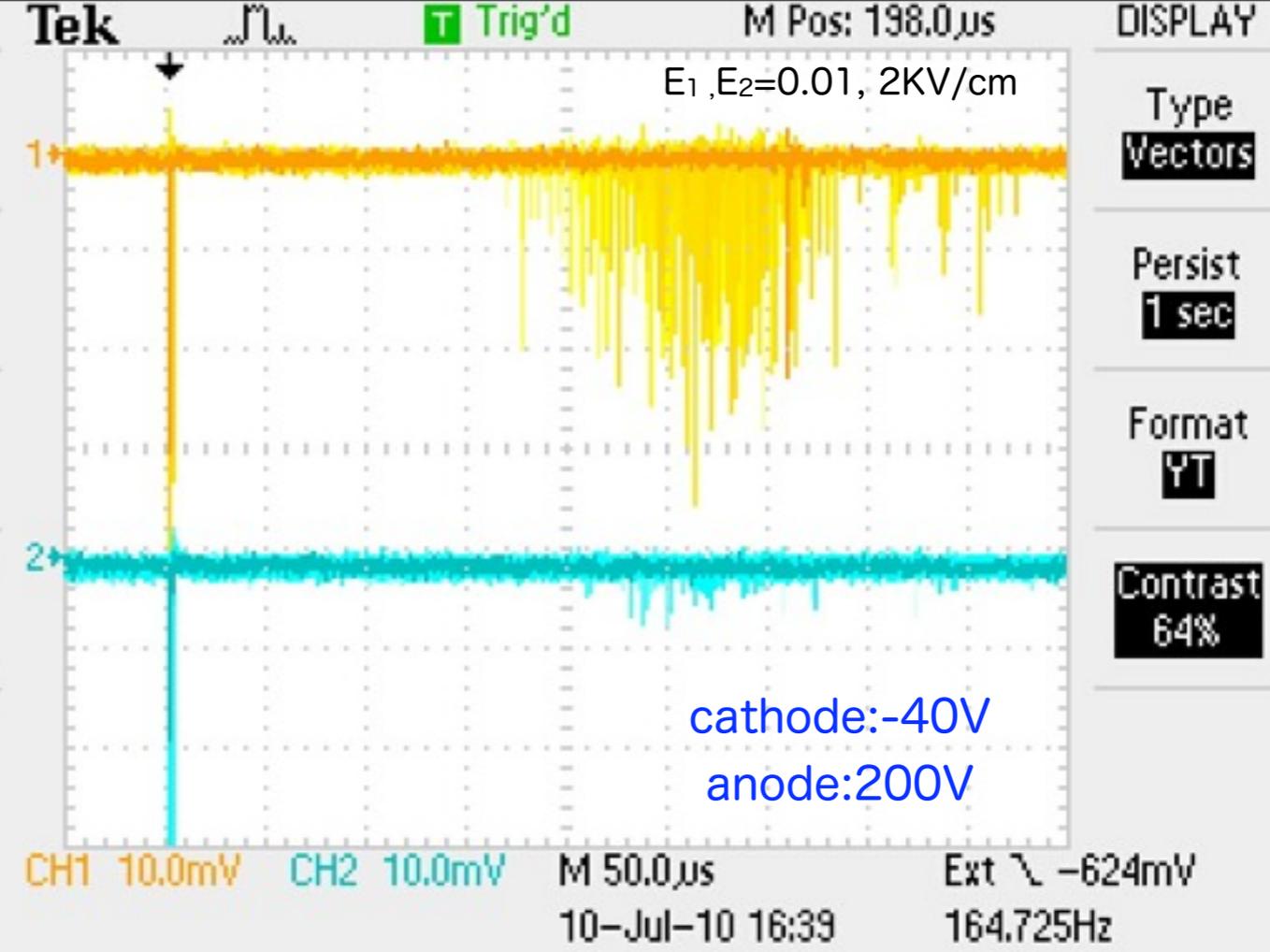
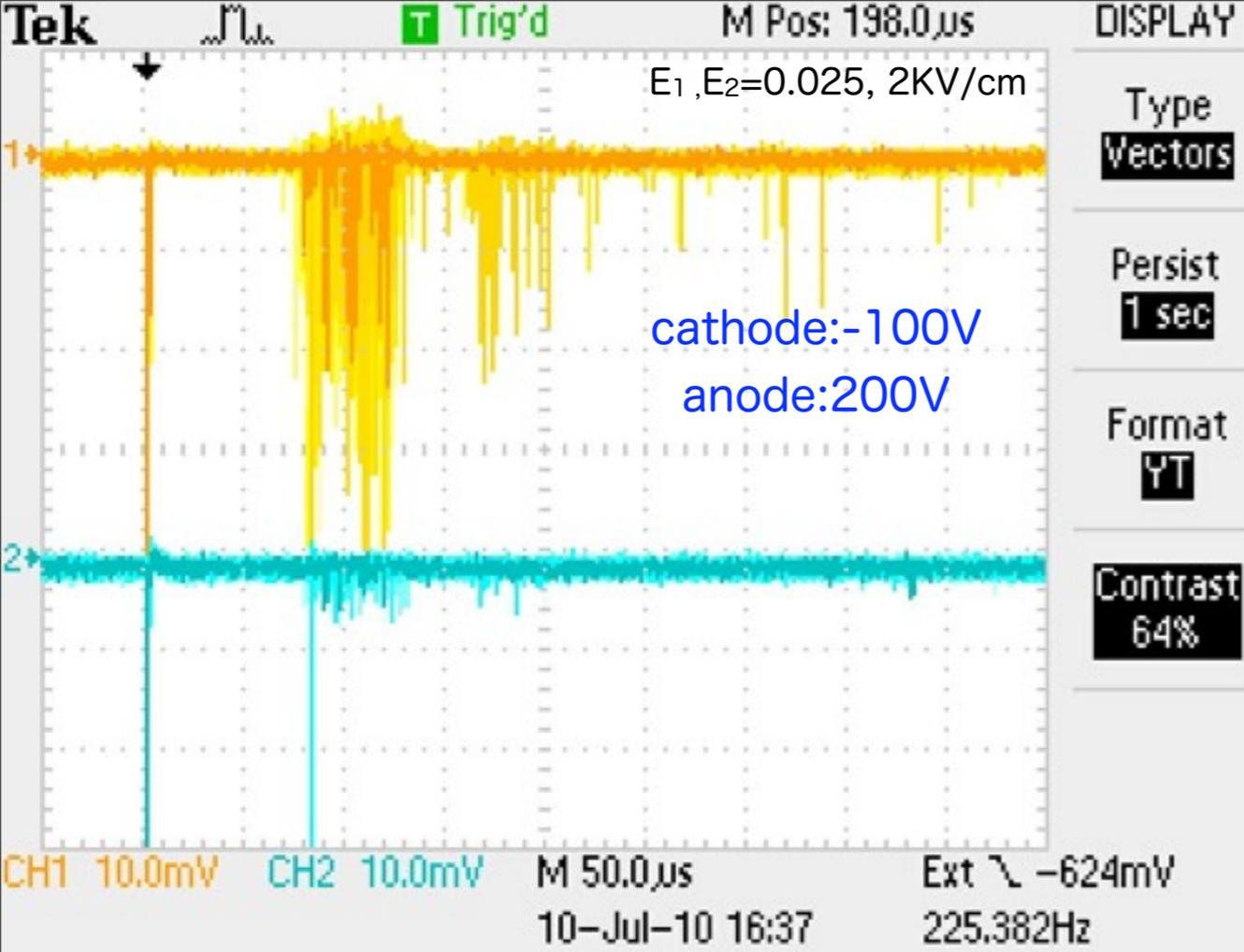


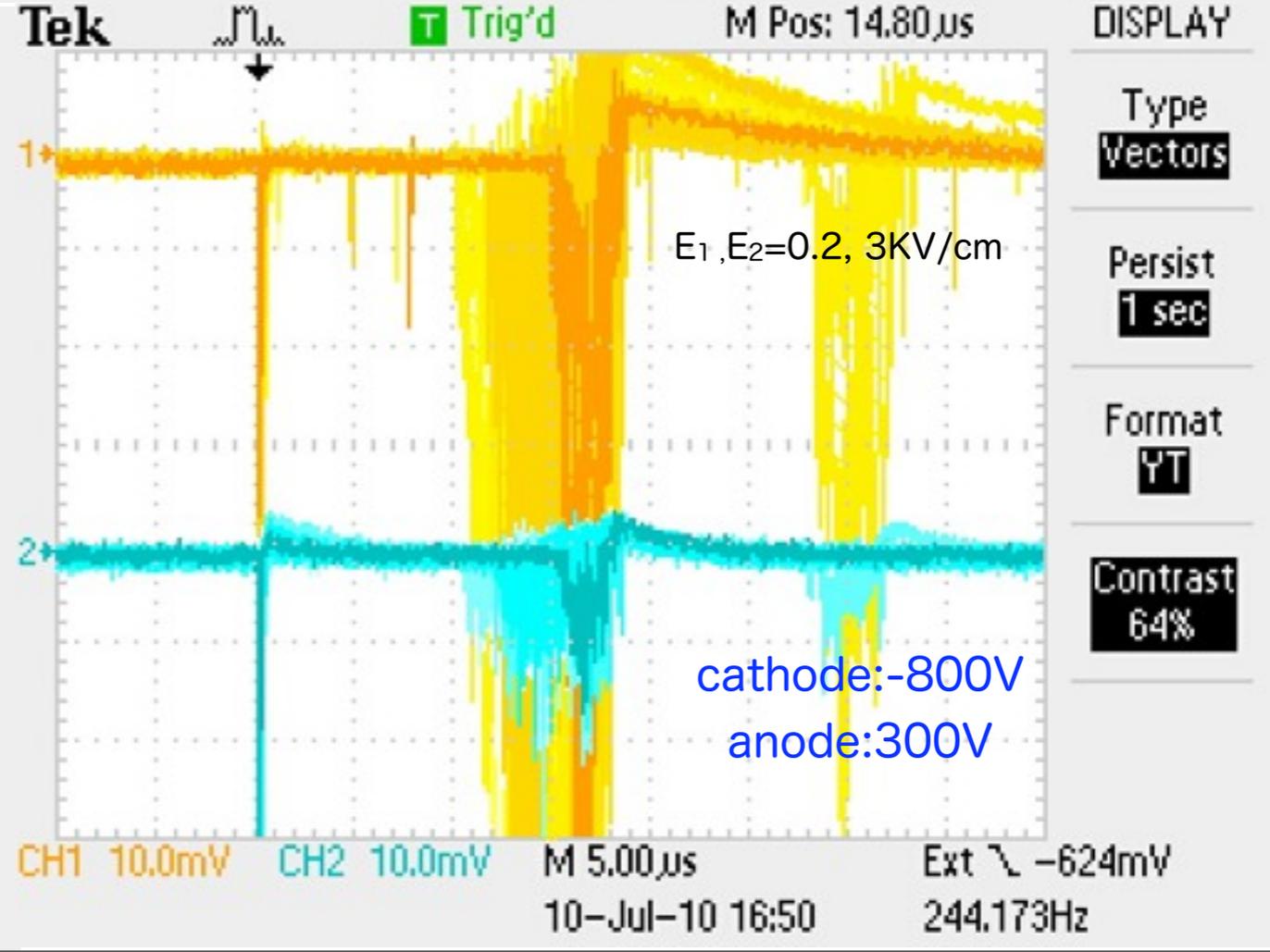
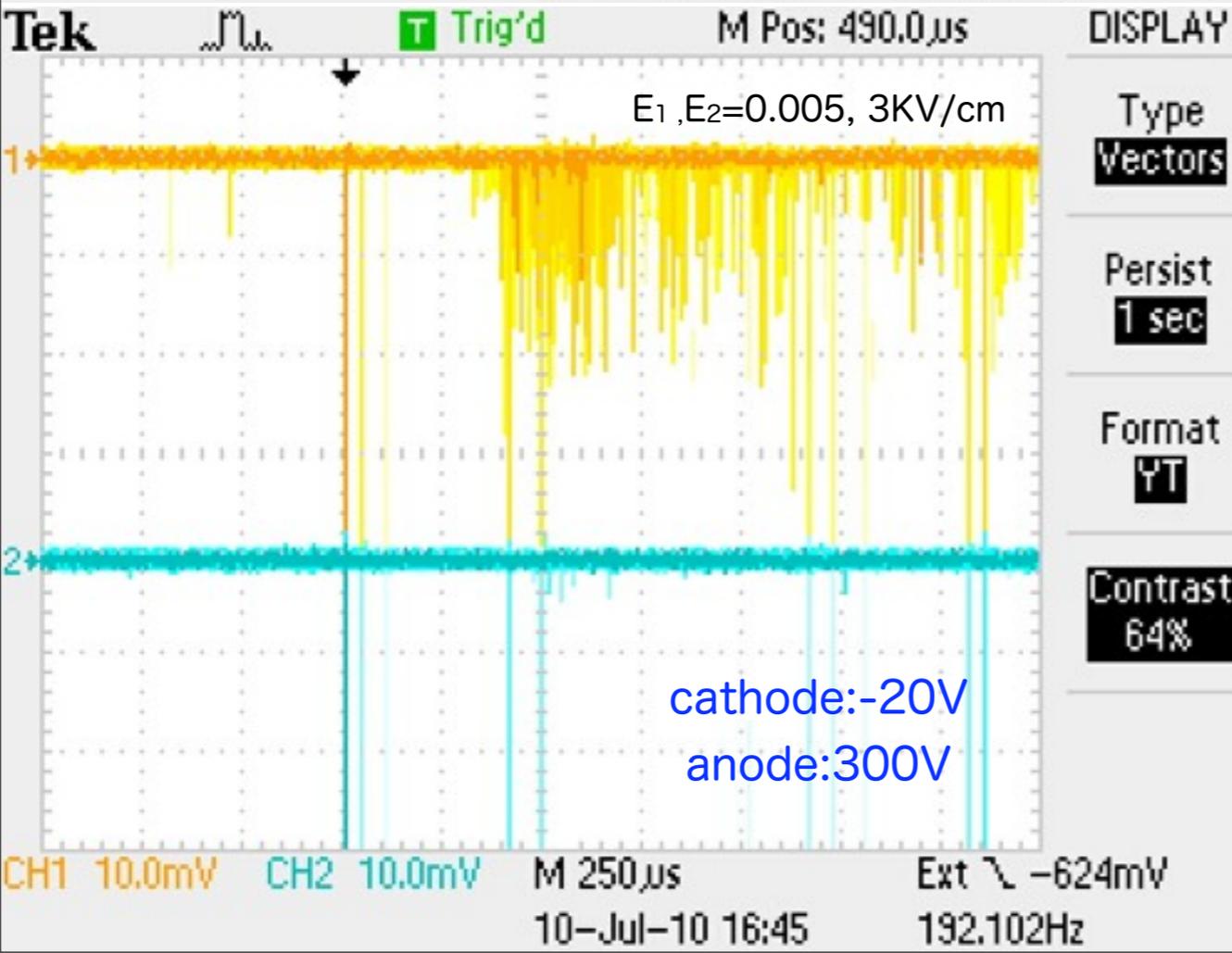
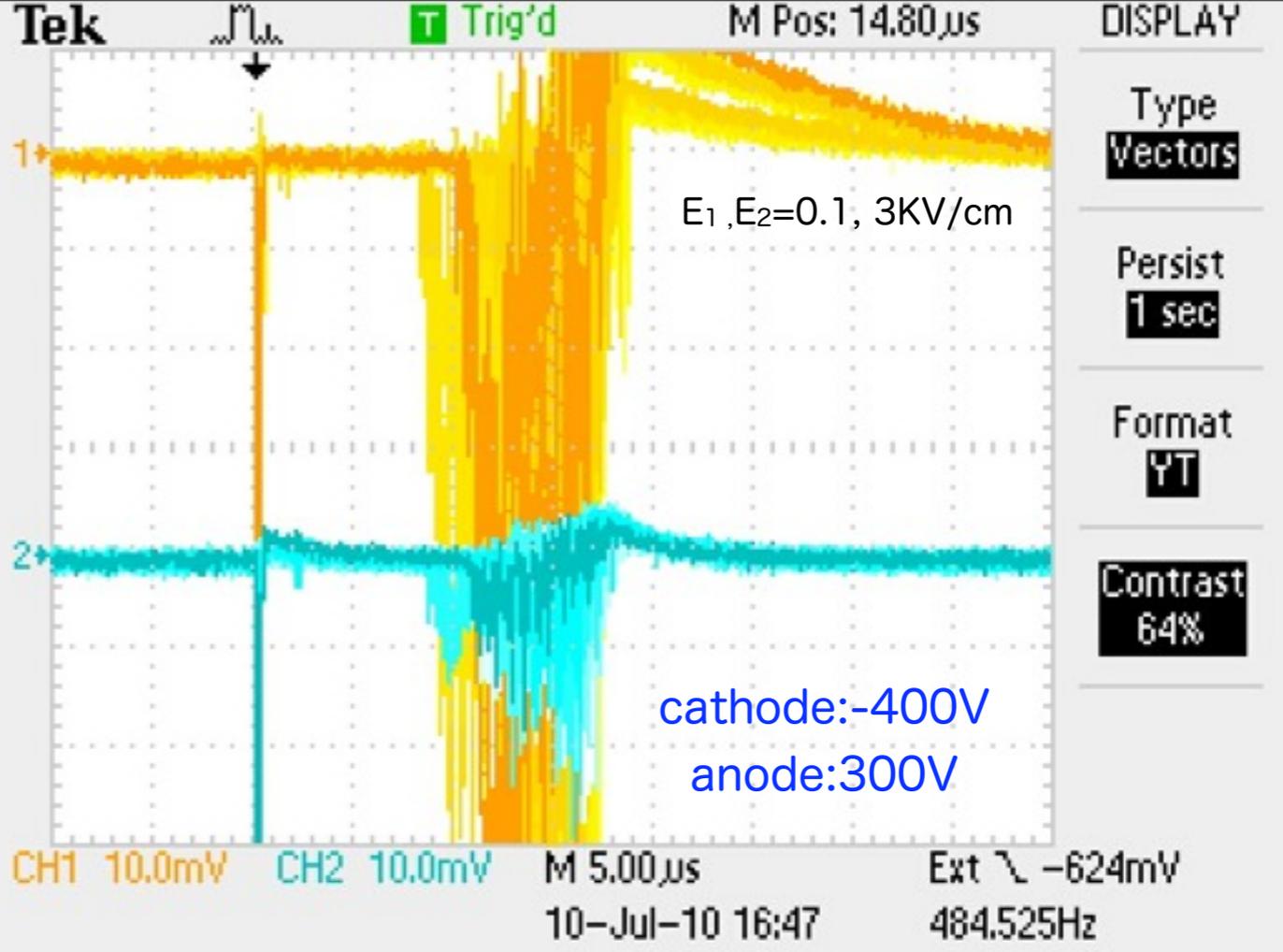
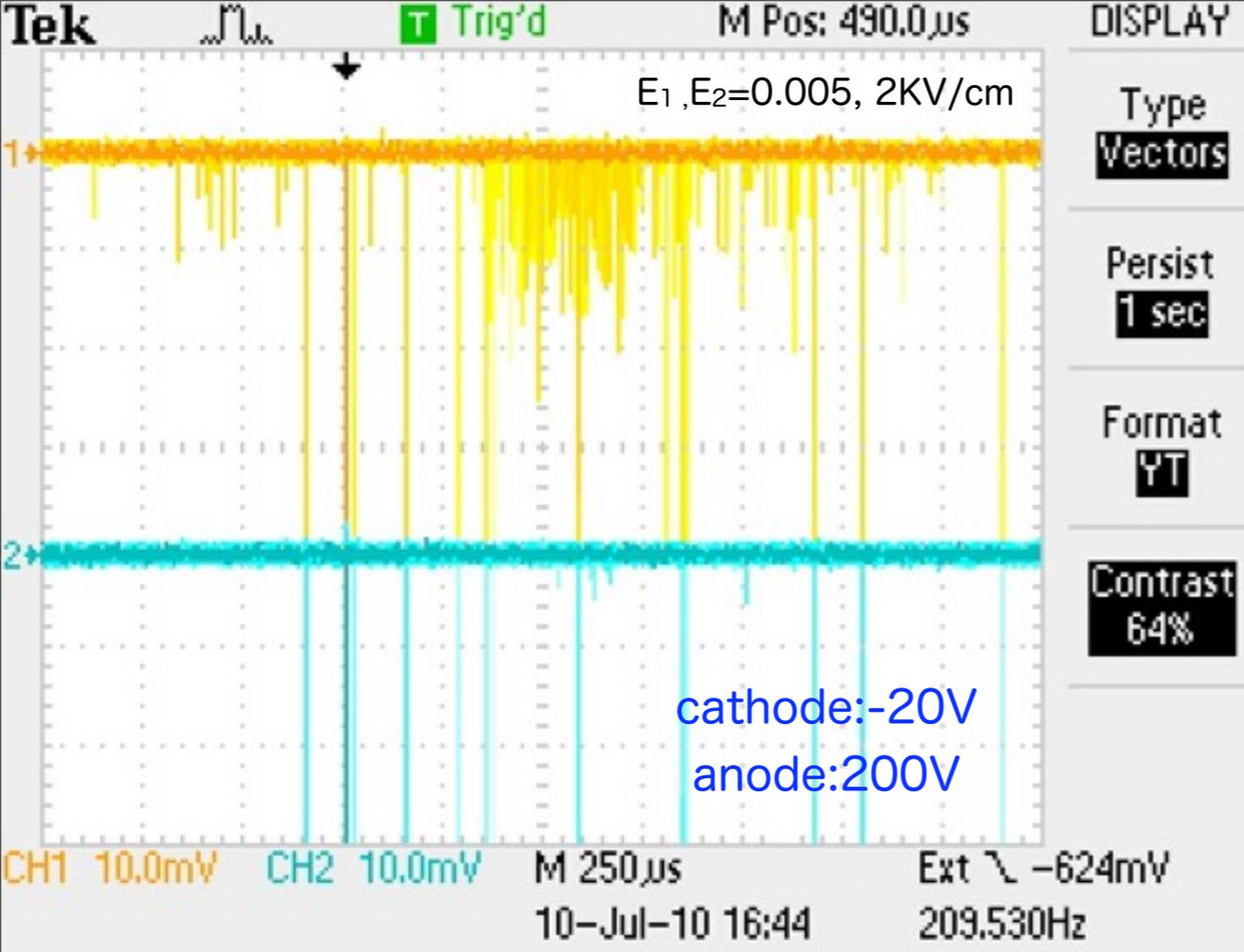
PMT1

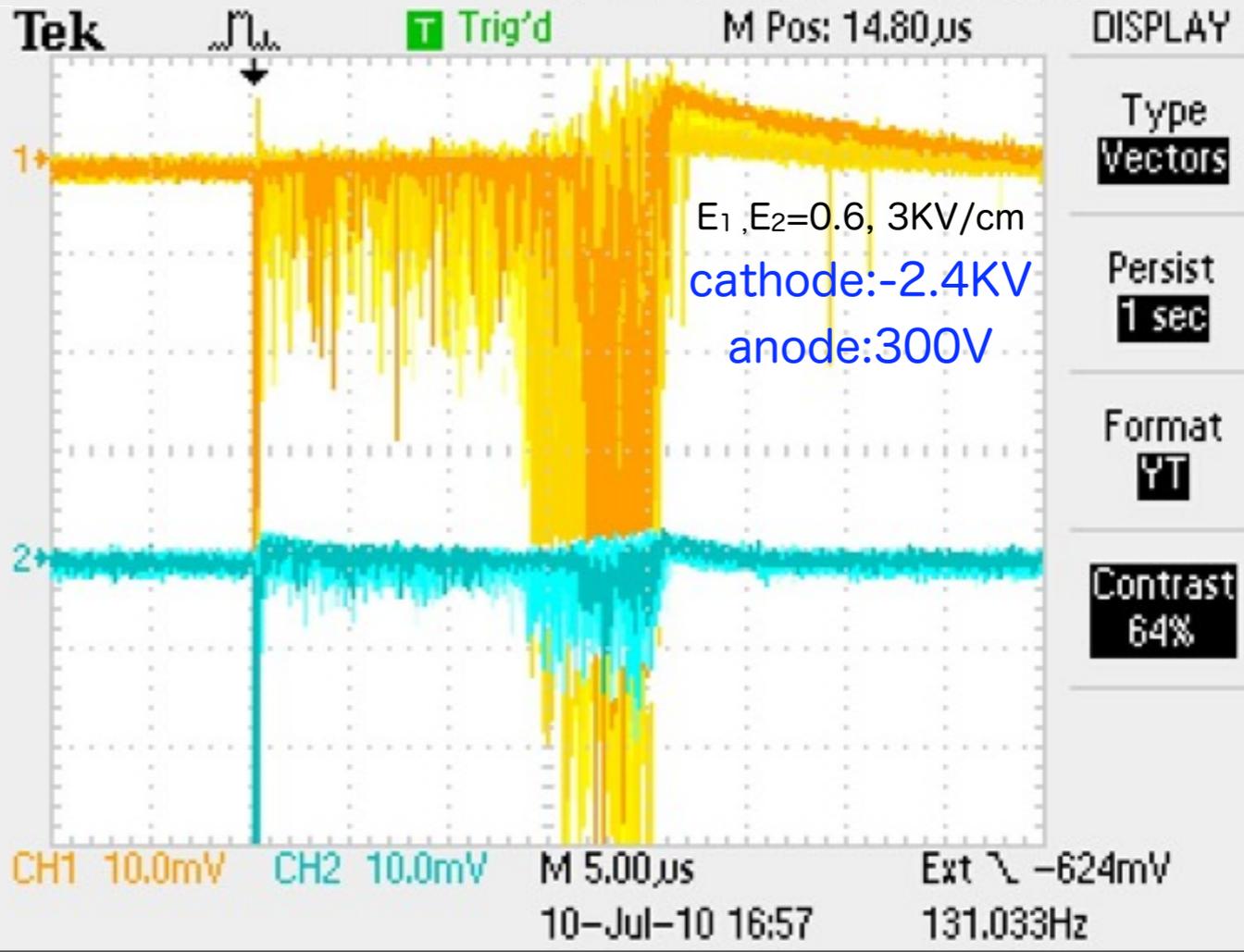
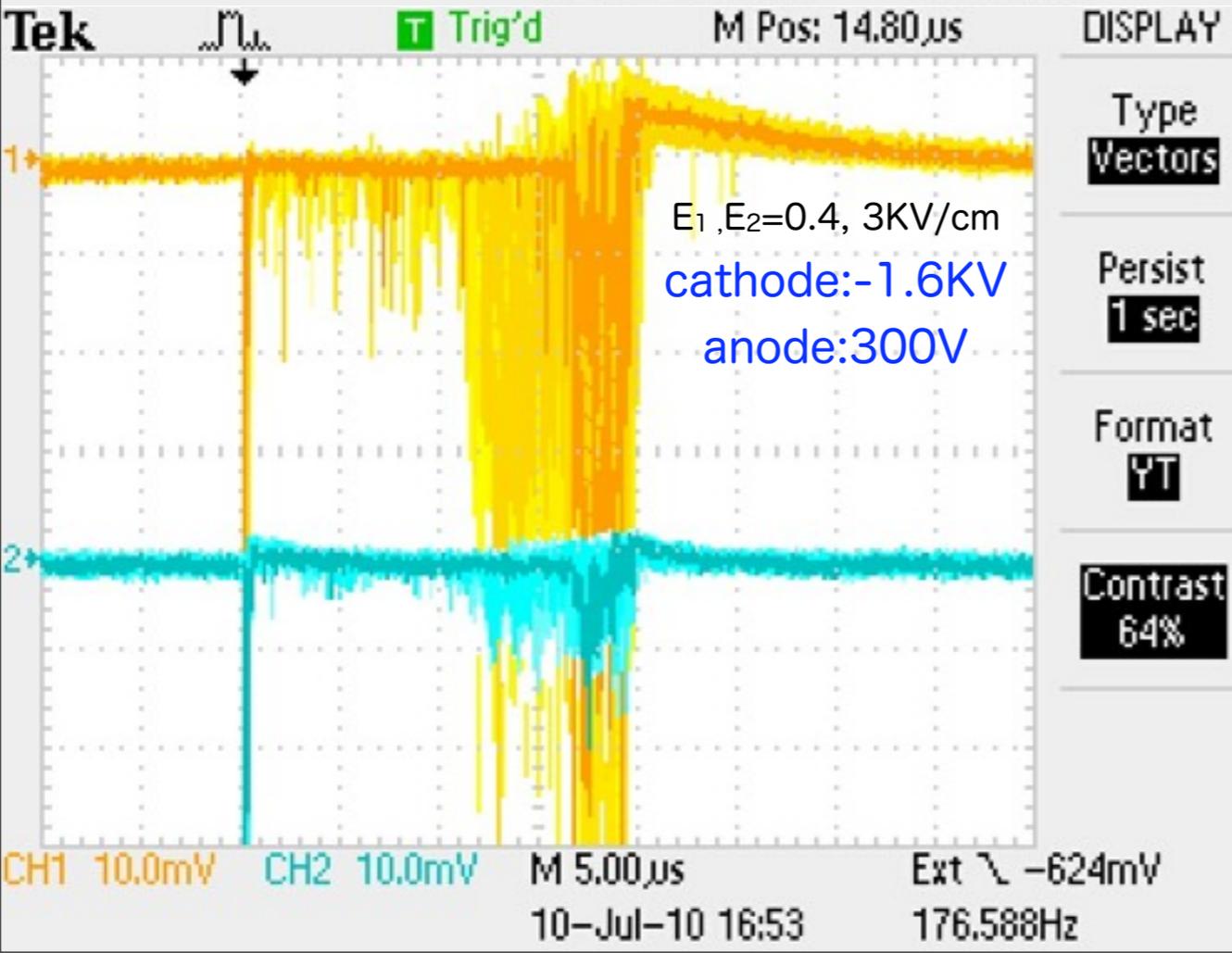
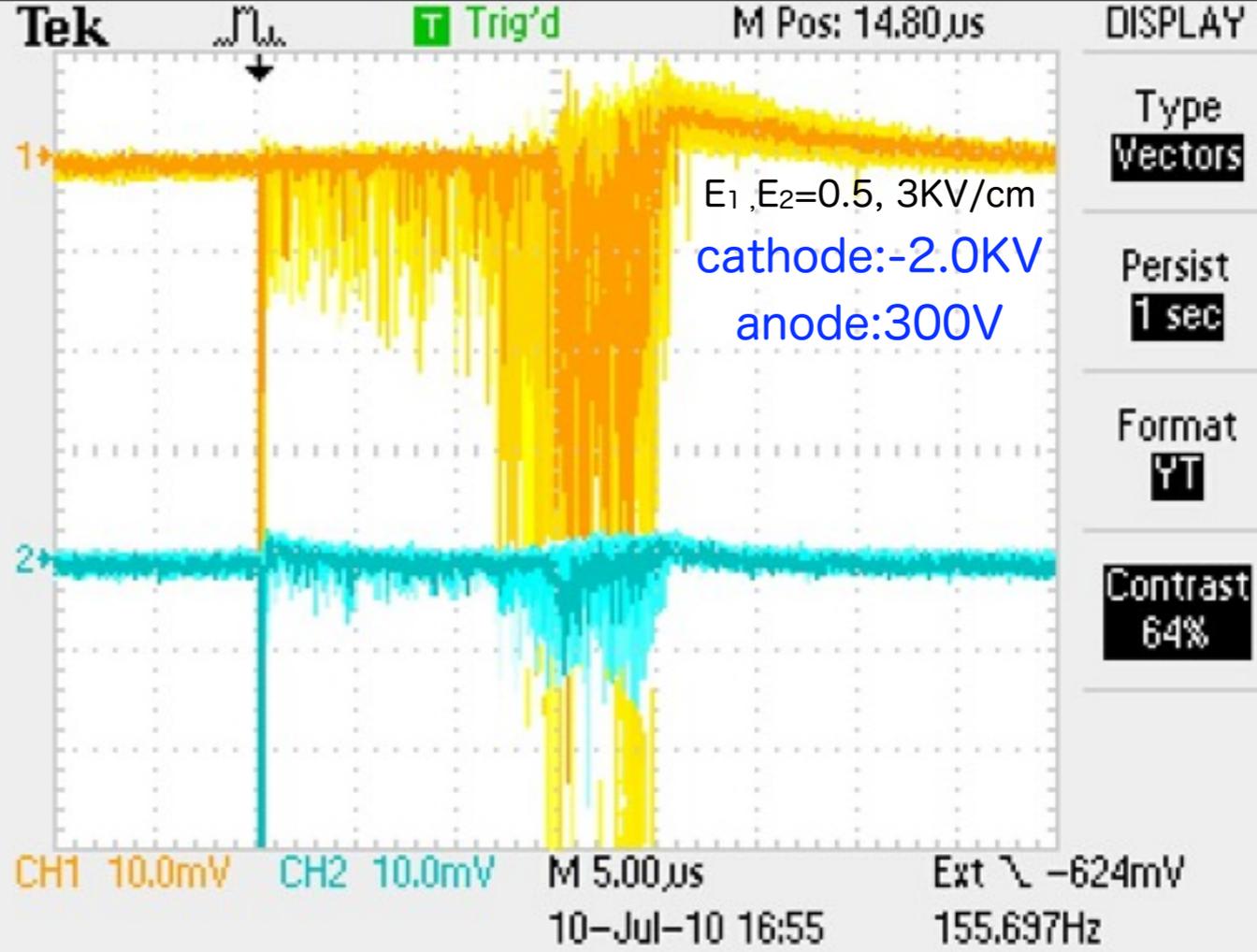
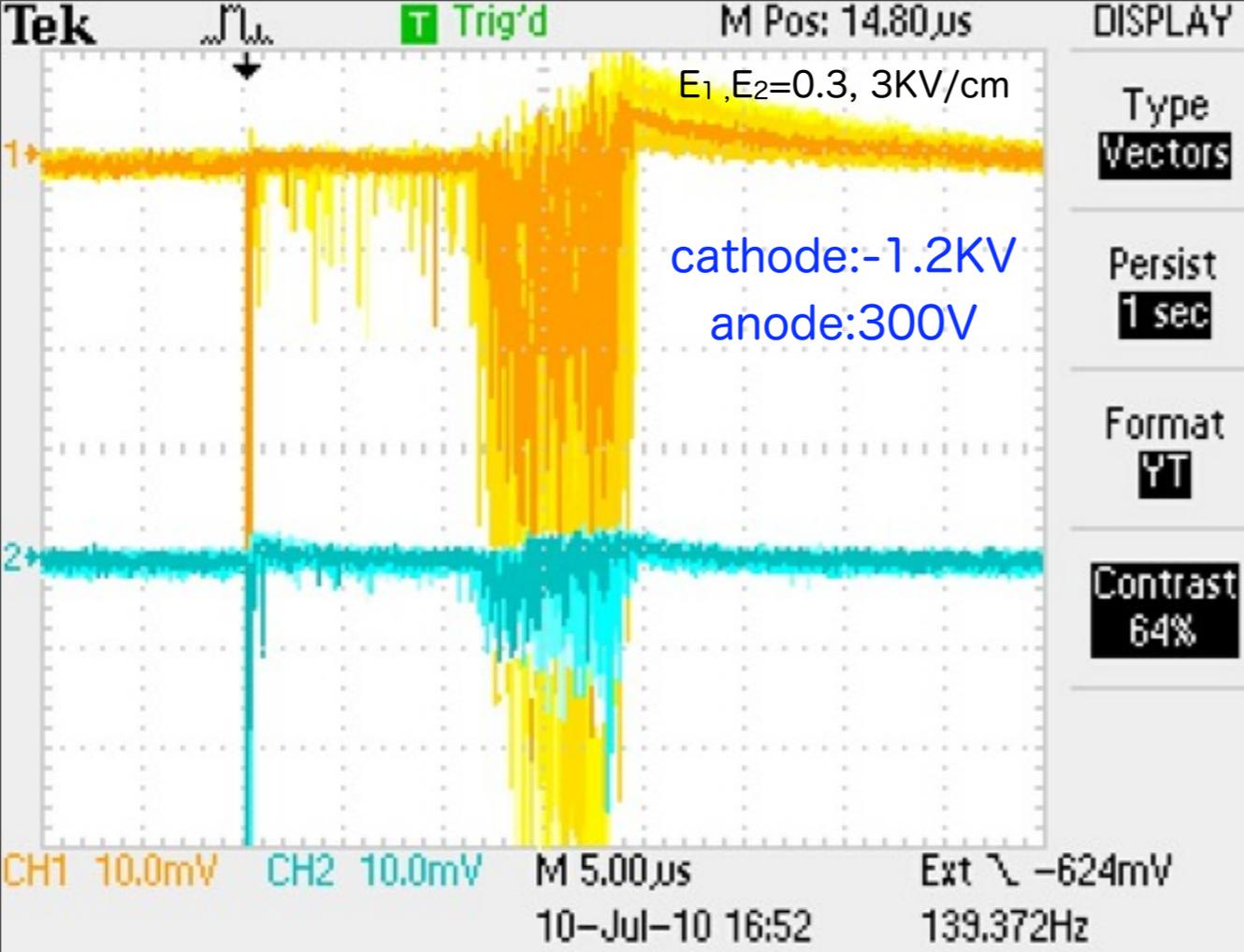
Post Amp : the first differentiation of 0.2us , integration time of 0.5 usec and x 10
TPC HV : -1000V/3mm ,
PMT1 HV=800V



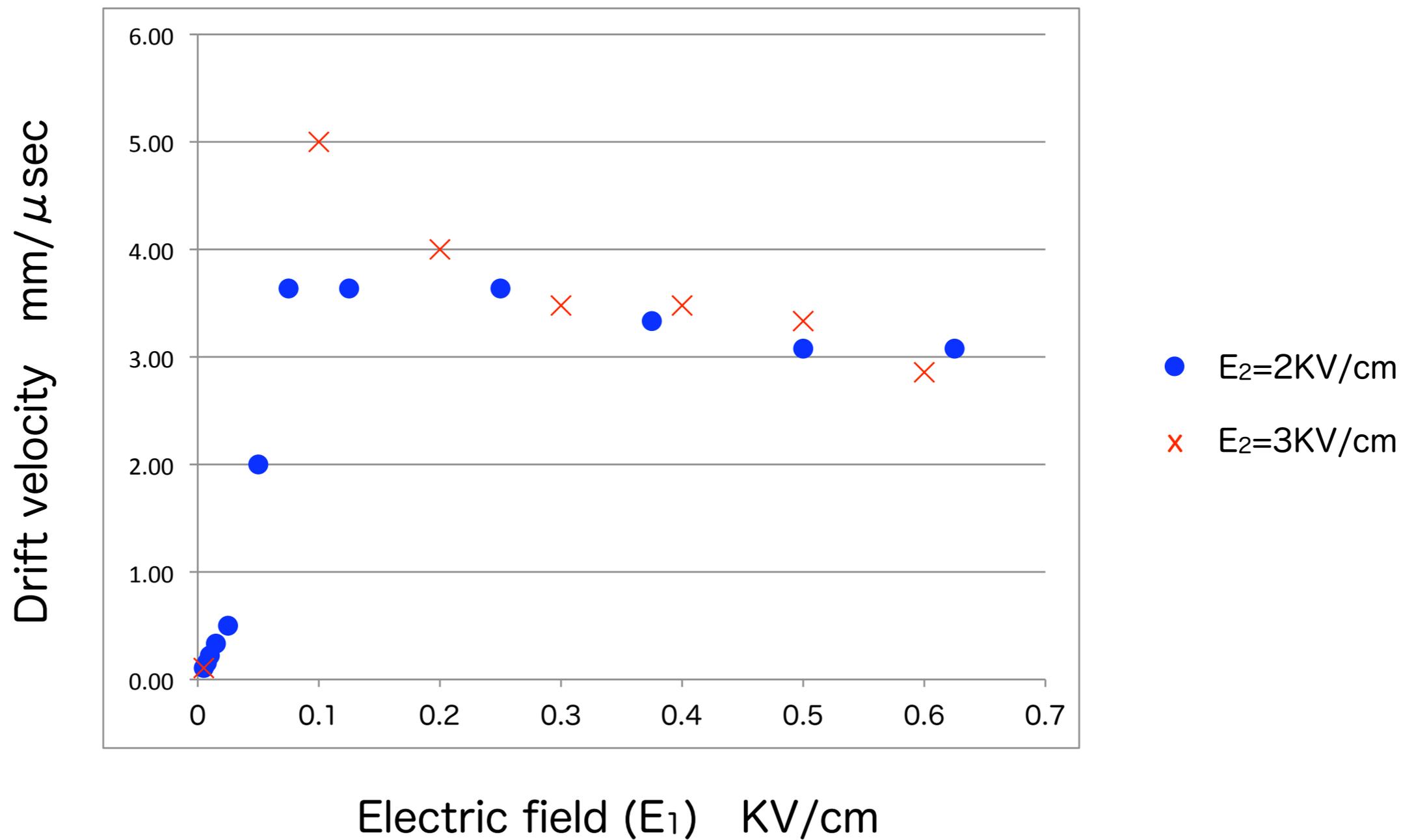


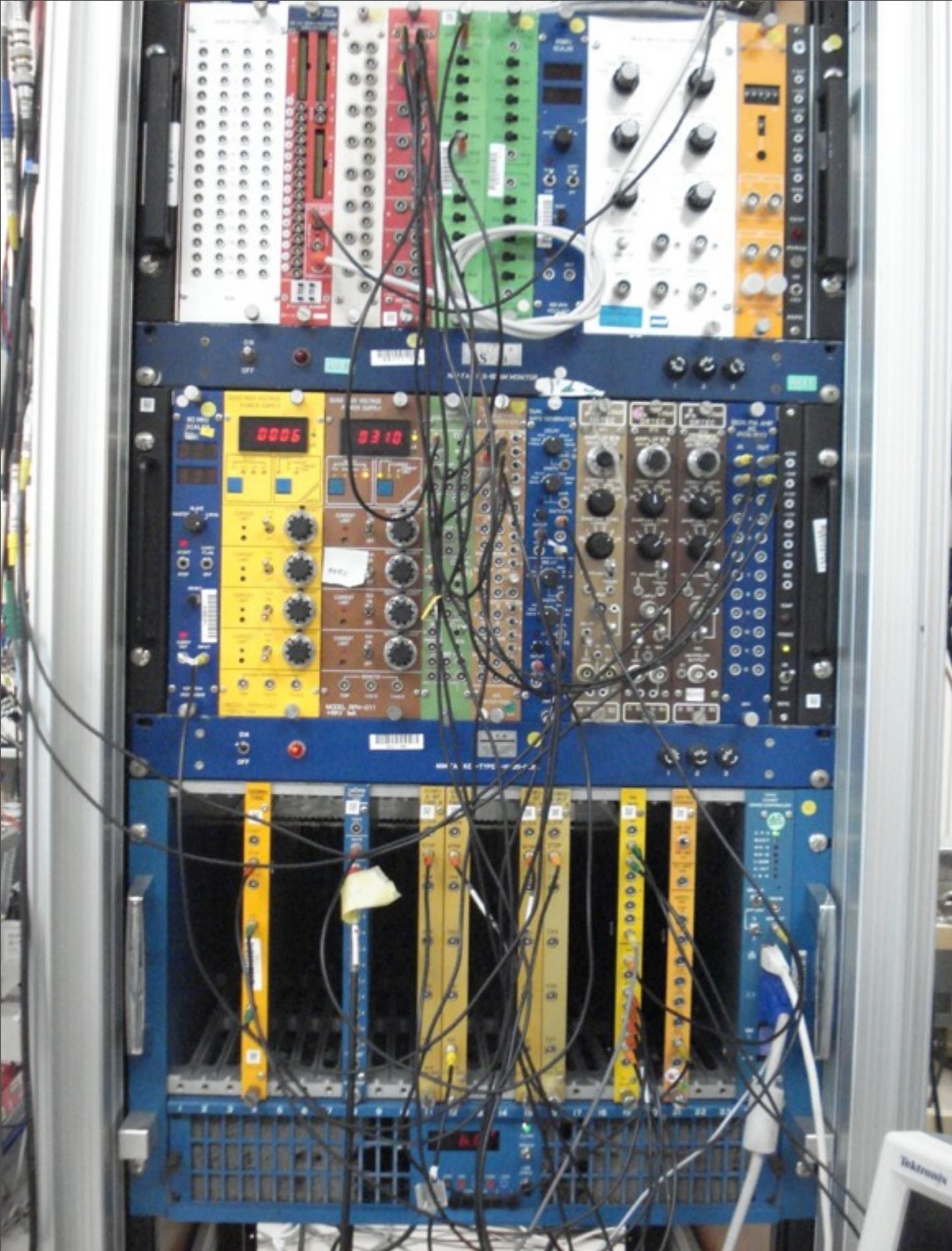






Drift velocity in Xe gas by scintillation lights at 1atm and 4cm drift





Pre-amp NIM 16ch
post amp CAEN/N568B 16ch

DAQ : CAMAC
FADC 500MHz 2ch/台
FADC 100MHz 16ch/4台
ADC 2249W 12ch

まとめ

1. 2009年度：第1実験終了：1cmドリフト, グリッド無し, 4ch PAD
2. 純化過程を α 線からのシンチレーション光量と電荷量でモニターした。精製循環開始より90日で不純度は約90 ppb (酸素換算, 1ppb 目標)であった。
3. 第2実験を準備 - 2010年度へ
4 cmドリフト, 1mmギャップグリッド, 16ch PAD
4. 真空ビルドアップ：2桁以上の性能向上 (ゲッターポンプ)
5. 精製循環開始後1日目で放電によりすべてのJFETが死んだ。
6. JFET交換後、再液化・純化循環1ヶ月、電荷シグナル無し
Xeガスでチェック：電荷ドリフトとドリフト中シンチ光を確認、
10/16 chのFEエレクトロニクスが死んだ - anode HV 340V以上で放電
チェック項目：
FB-GND間の抵抗値 - 5 ~ 50 Ω , 1.3K Ω
テストパルス応答 - 1V入力に対し10mV, 特に Pad no.4とno.9
ドーターとマザーカード (基板) の実装回路
7. Pre-amp NIM 16ch - 発振対策予定, post amp CAEN/N568B 16ch
8. DAQ準備中：CAMAC FADC500MHz - 2ch/台, 100MHz- 16ch/4台