APDを用いた光電子測定

2010 P6 王·佐藤

目次

- 動機付け microTPCで捕らえきれない反跳電子を捕らえたい
- ⇒ 実験目的 APDで光電子を捕らえる
- ⇒ 実験内容 microTPC+APD
- ◆ 予備実験1:APD
- ◆ 予備実験2:microTPC
- ◆ 本実験 microTPC+APD

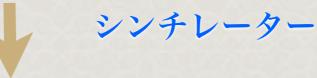
電子飛跡型コンプトンカメラ

microTPC(Time Projection Chamber) +シンチレーター

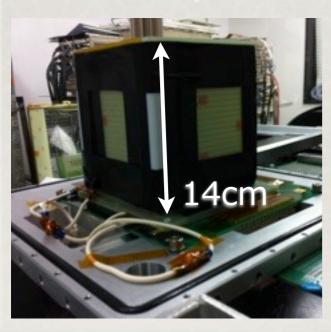
反跳電子の飛跡・エネルギー

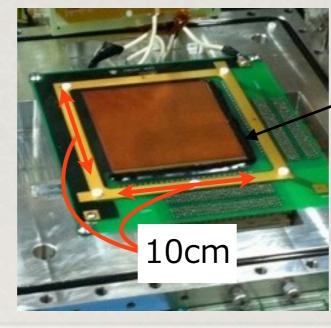
TPC

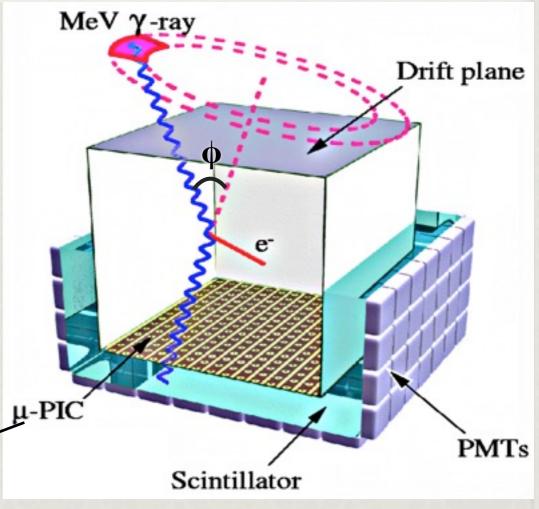
散乱γ線の検出点・エネルギー



MeVγ線の到来方向がわかる







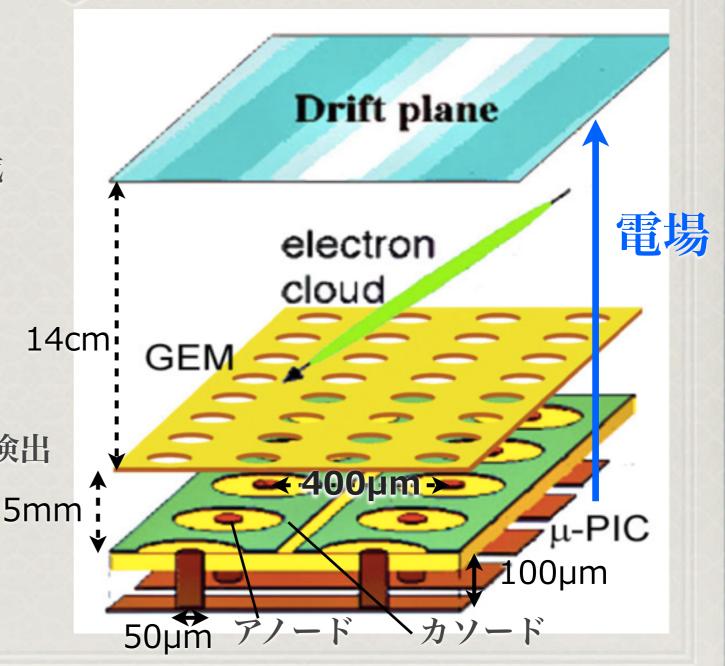
microTPCで反跳電子をとらえる

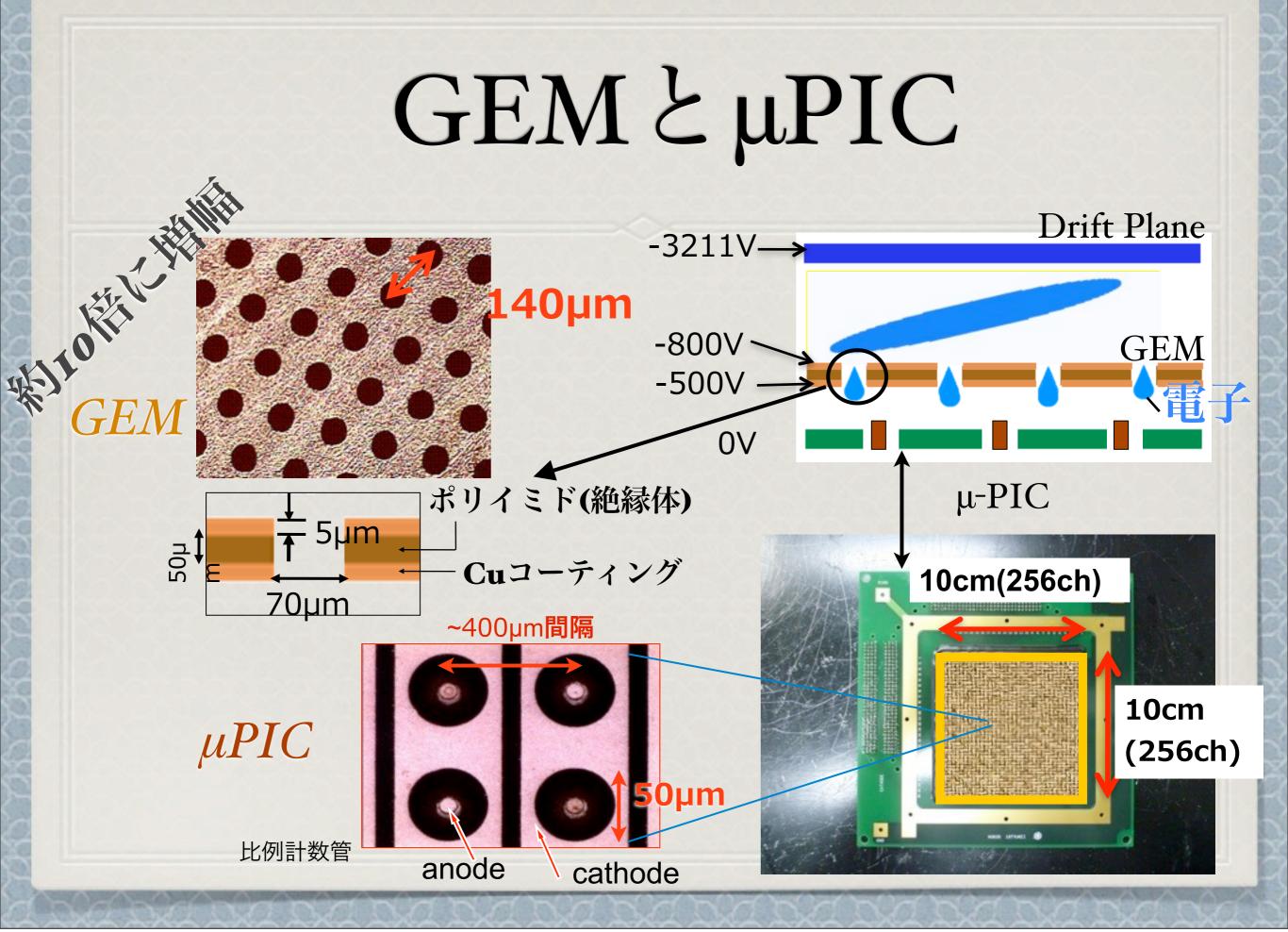
コンプトン散乱で反跳電子が生成

反跳電子が動く

電子雲が生成

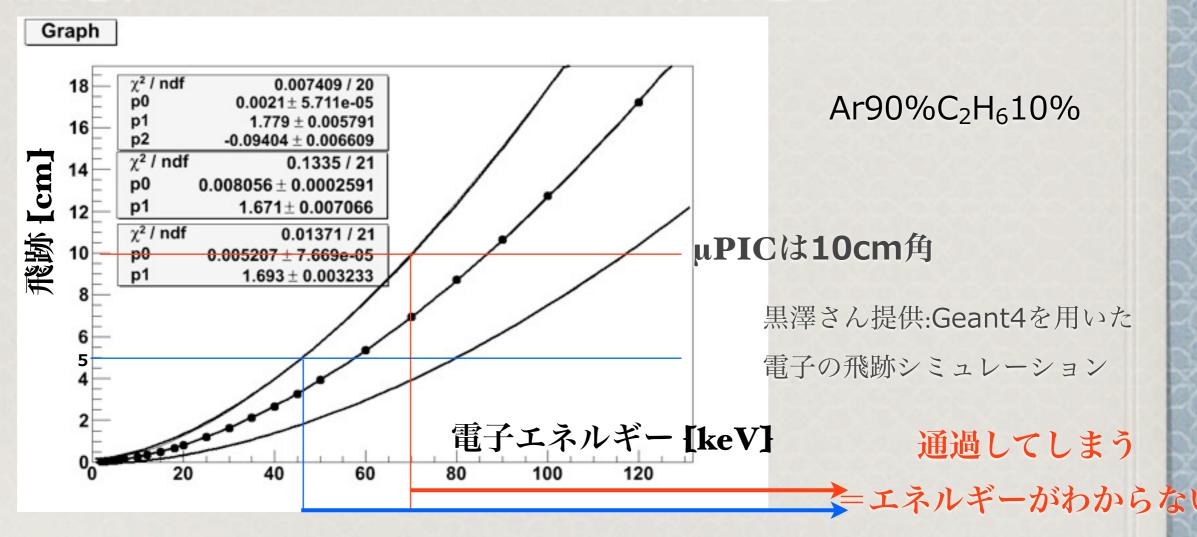
電子雲がドリフトされ、増幅されて検出





microTPCの問題

反跳電子のエネルギーが大きいとTPC内を通過してしまう!



■ microTPCで止めきれない反跳電子を止めたい。

反跳電子を止める THE PARTY OF THE P γ線 ドリフトトップ 反跳電子 **PMTS μPIC GEM**

吸収体として何を使うか?

▶ PMT(光電子増倍管) →

◆ Ge半導体

Photodiode

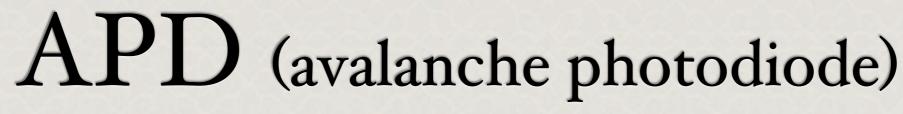
シンチレーターが必要→大型 磁場中では使用不能

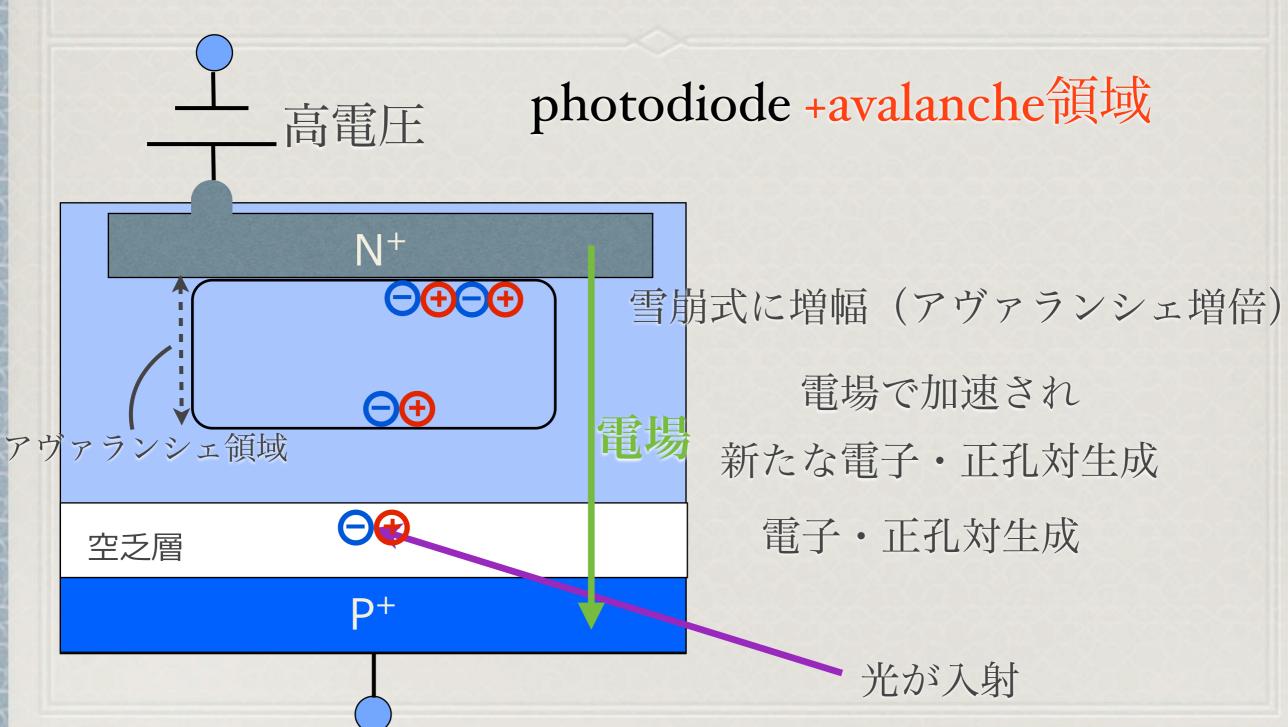
低温にする必要がある→大型 高価

増幅率が低く、SN比が悪い

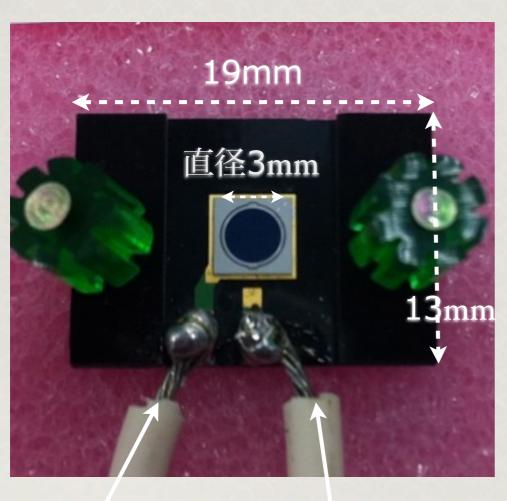
APD

大きな増幅率、小型





実際に使用したAPD



Ground

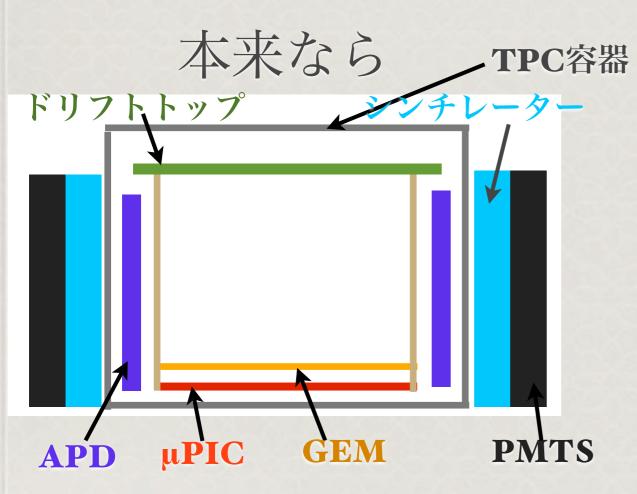
HV

浜松ホトニクス社製型名 S10936-0239(X)サイズ 直径0.3cmブレークダウン電圧 680V

增幅率 400~500倍(@500V)

- ・表面にコーティングはなくむき出し
- ・非常にノイズを拾いやすい

APDの配置



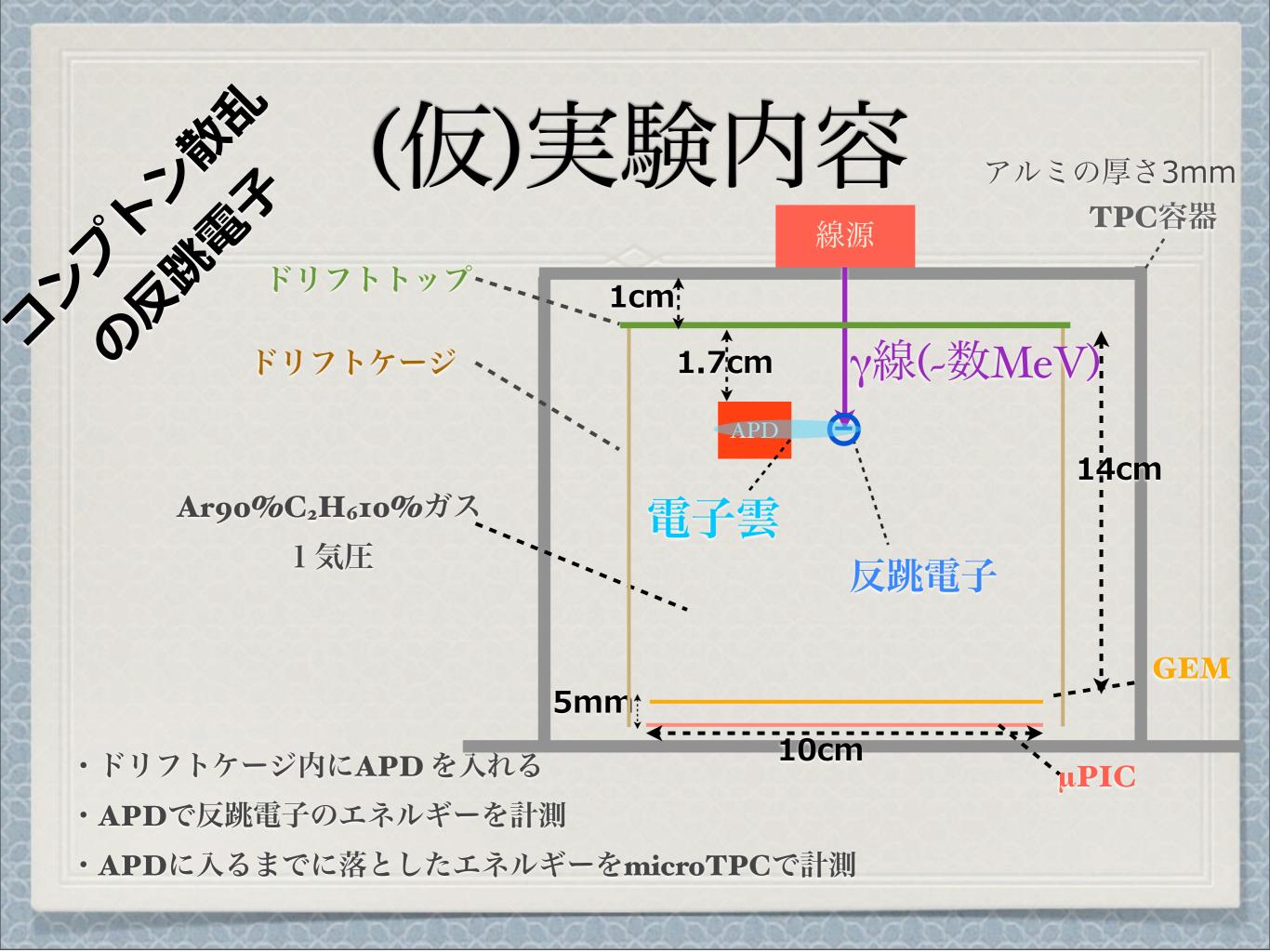
今回は
ドリフトトップ

1.7cm

uPIC GEM APD

ケージを外し、ワイヤーの外に多 数並べて置く

ドリフトケージ内、ドリフトトップから 1.7cm、上から見て中央に置く



見積もり (コンプトン散乱) @662keV

コンプトン散乱の反跳電子がAPDに入るレートの計算

コンプトン散乱の質量減衰係数 (@662keV Ar 90%+C2H6 10%)

→ µ/Q=7.5×10⁻²cm²/g Klein-Nishinaは無視して等方散乱を仮定

Klein-Nishinaは式と、 図だけどこかから拾っ てバックトラペへ

たったの 440個/day!

APD立ち上げ開始が遅かった→測定期間は3日が限度



データが少なすぎる!

見積もり (光電吸収)

@22.2keV

光電吸収ならレートはどれくらい上がるのか?

光電吸収の質量減衰係数 (@22.2keV Ar 90%+C2H6 10%)

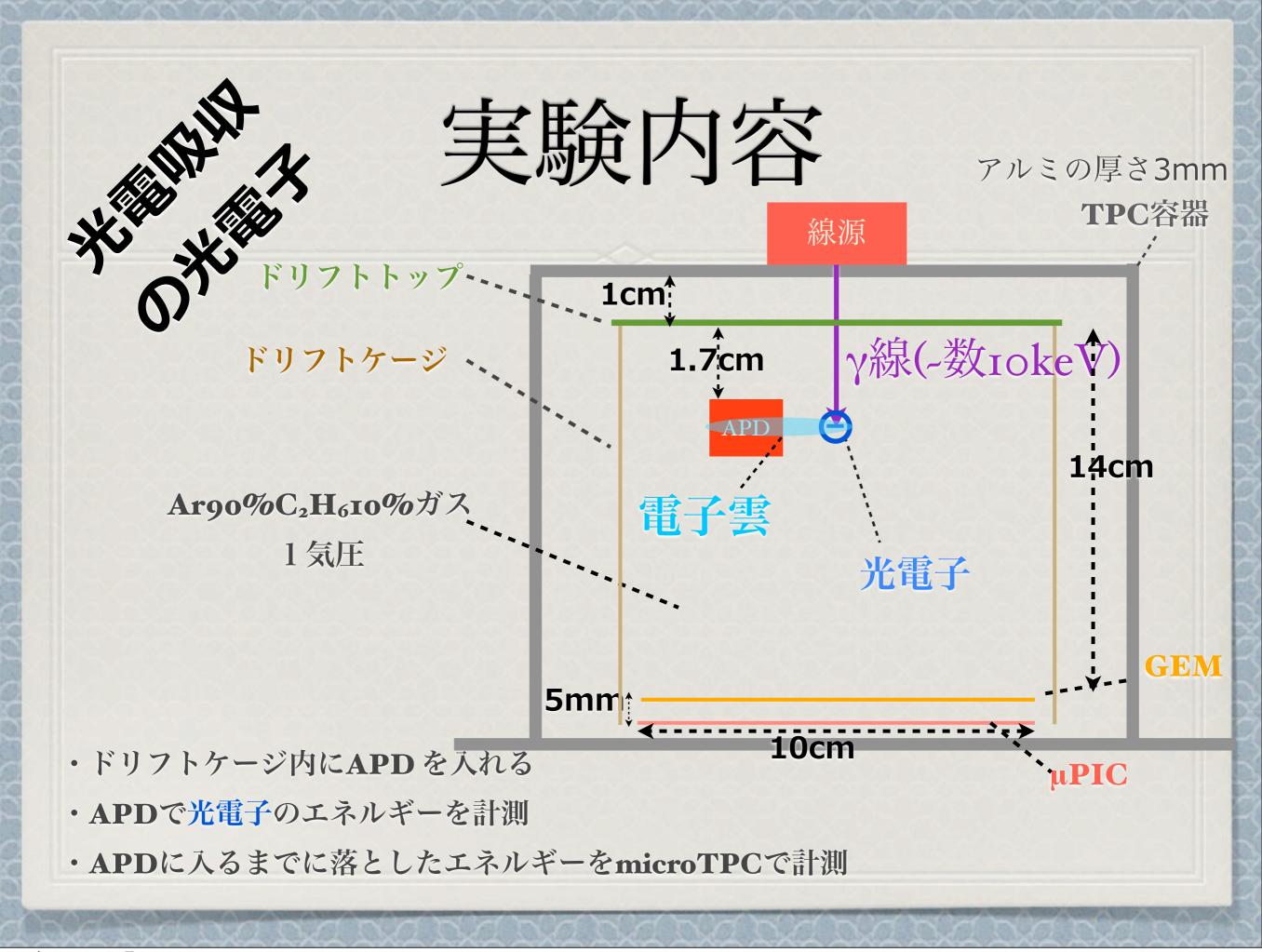
 \rightarrow $\mu/\varrho=5.56cm^2/g$ (コンプトン散乱の 1 0 0 倍)

TPC 容器のAI板を透過する数1/10(662keVに比べて)

反応率が約10倍

約4200個/day!

光電吸収の光電子を検出しよう!



本実験に向けて

光電子のエネルギー?

APDのエネルギー+TPCのエネルギー

APDをTPCに組み込んで大丈夫?

組み込み前と組み込み後を比較

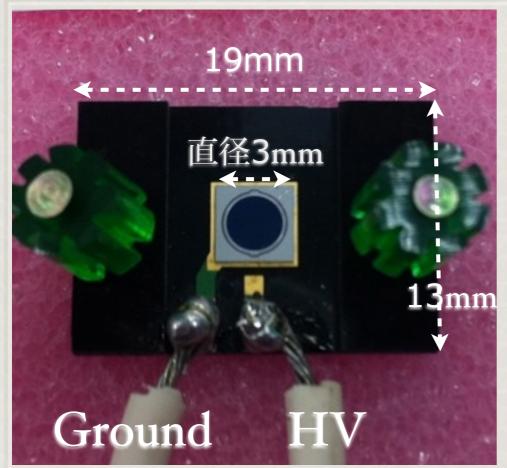
予備実験 1:APD

- ・正常にAPDを作動させる
- ・エネルギー較正

予備実験2:microTPC

- ・正常にTPCを作動させる
- ・エネルギー較正

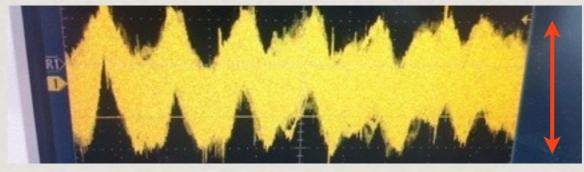
予備実験1:APD



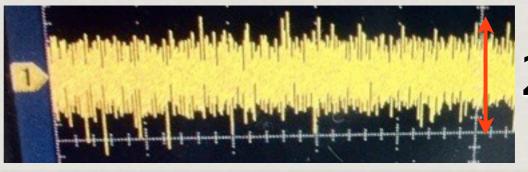


とりあえず動かそう!

ノイズを非常に拾いやすい そのままの状態でプリアンプに通すと



これに電磁シールドを施し、グラウンド を大きくとり、暗箱の中に入れると

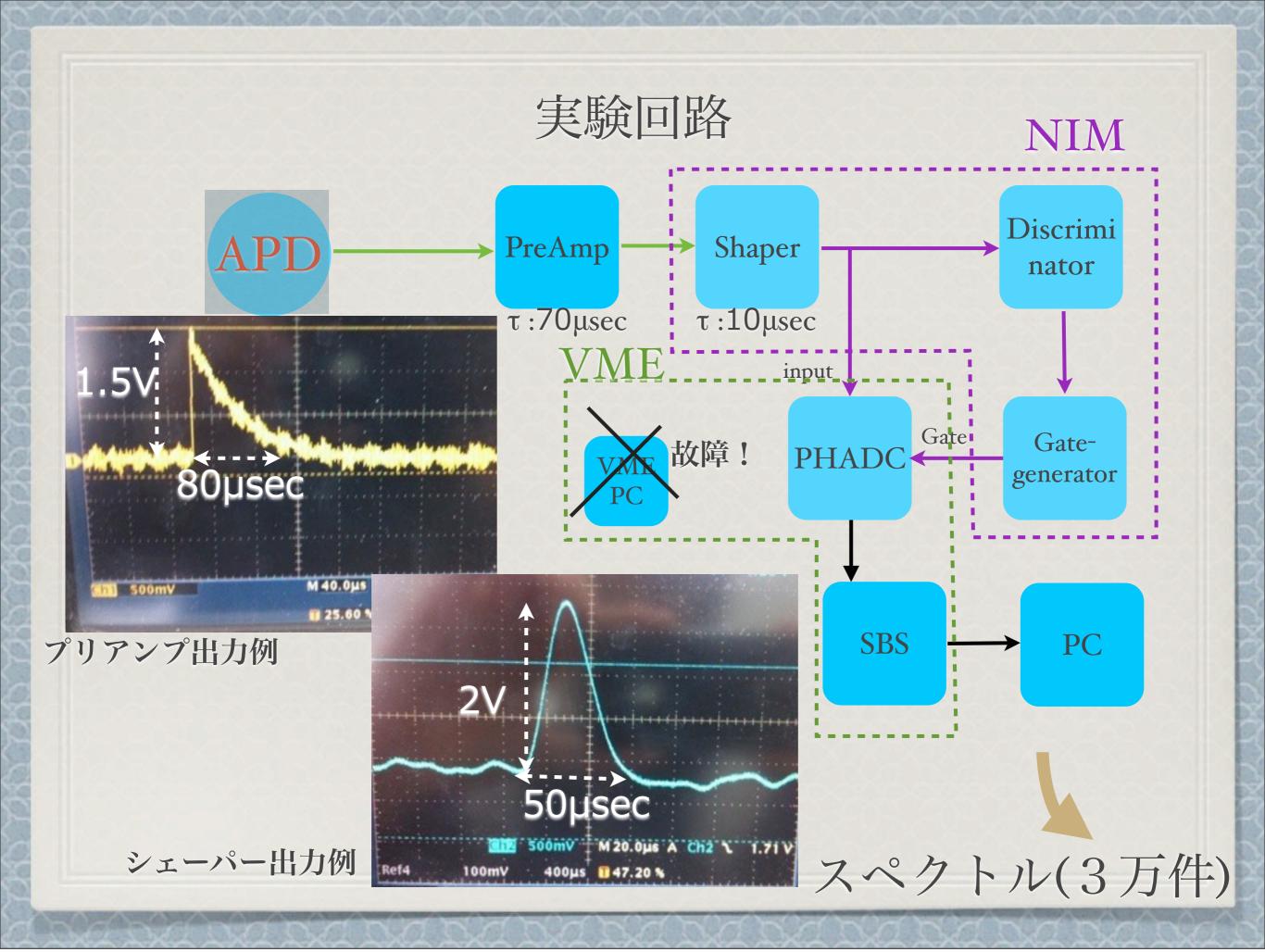


500mV

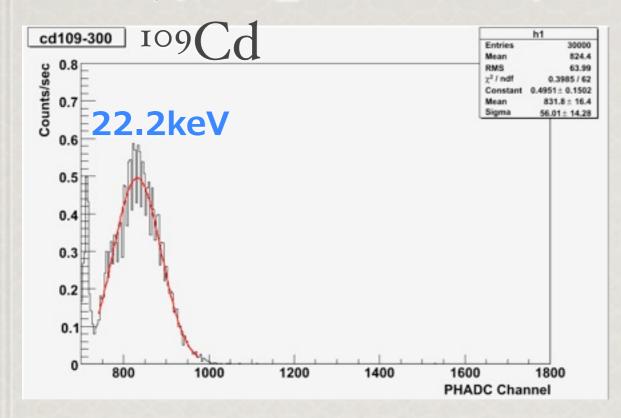
検出時

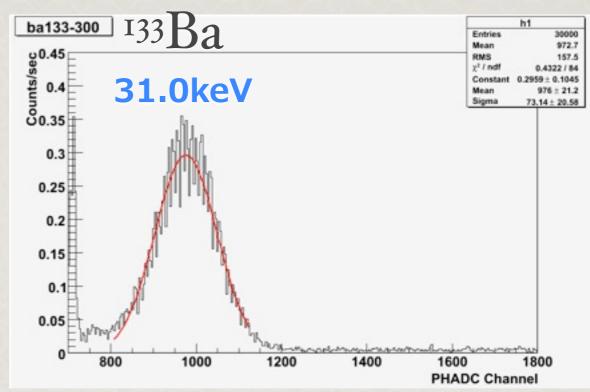
200mV

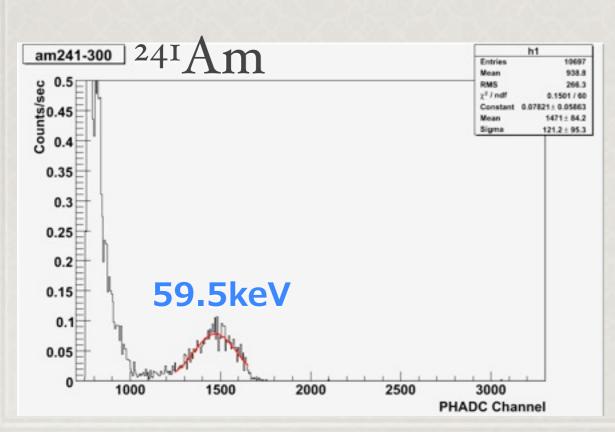
ノイズは約半分~1/3倍に



APD付加電圧300V時

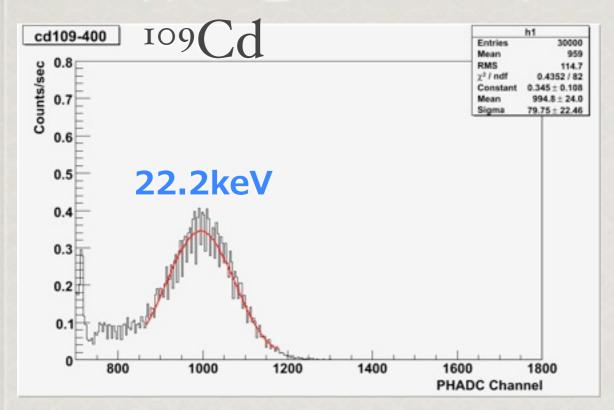


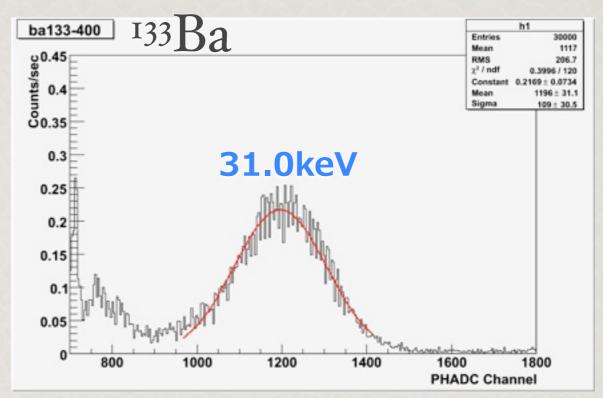


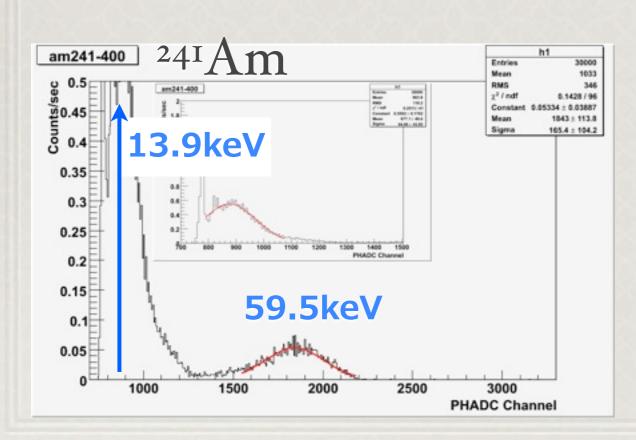


count/sec ADC値

APD付加電圧400V時



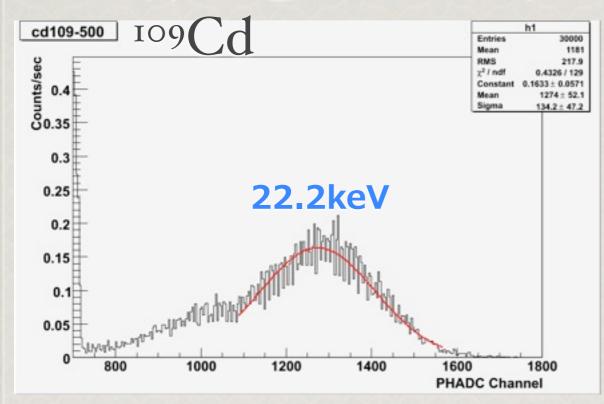


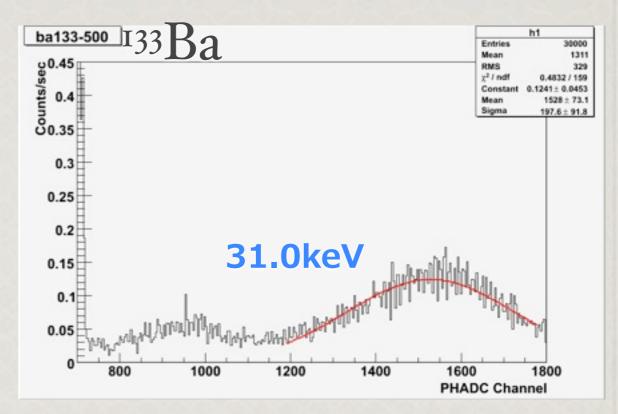


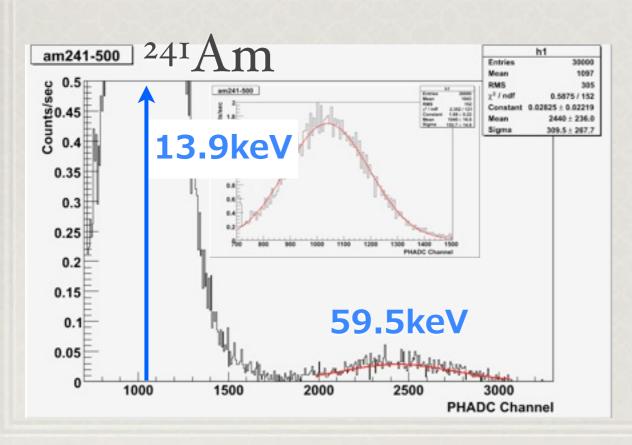
count/sec
ADC値

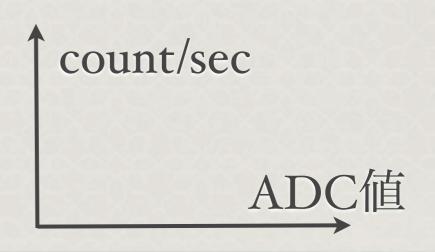
→例:10万件

APD付加電圧500V時

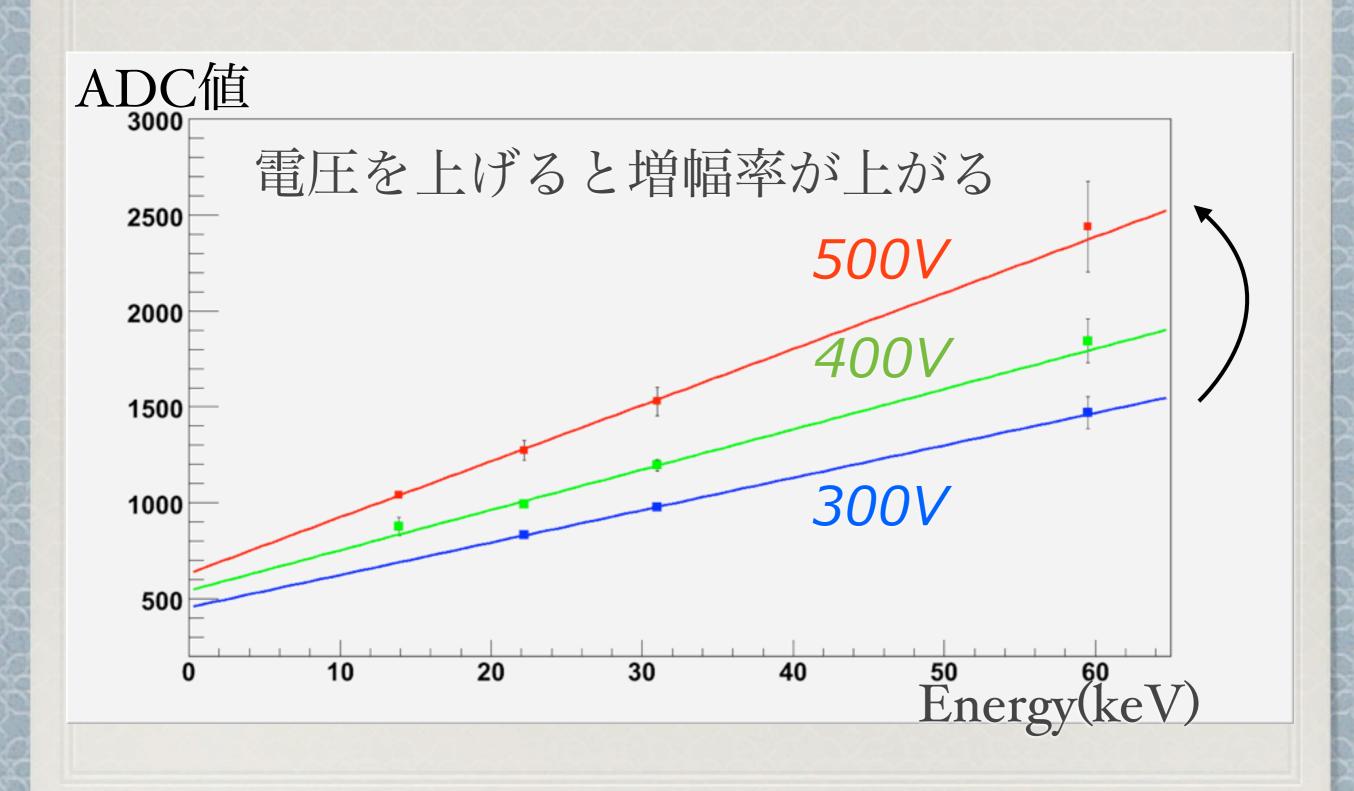




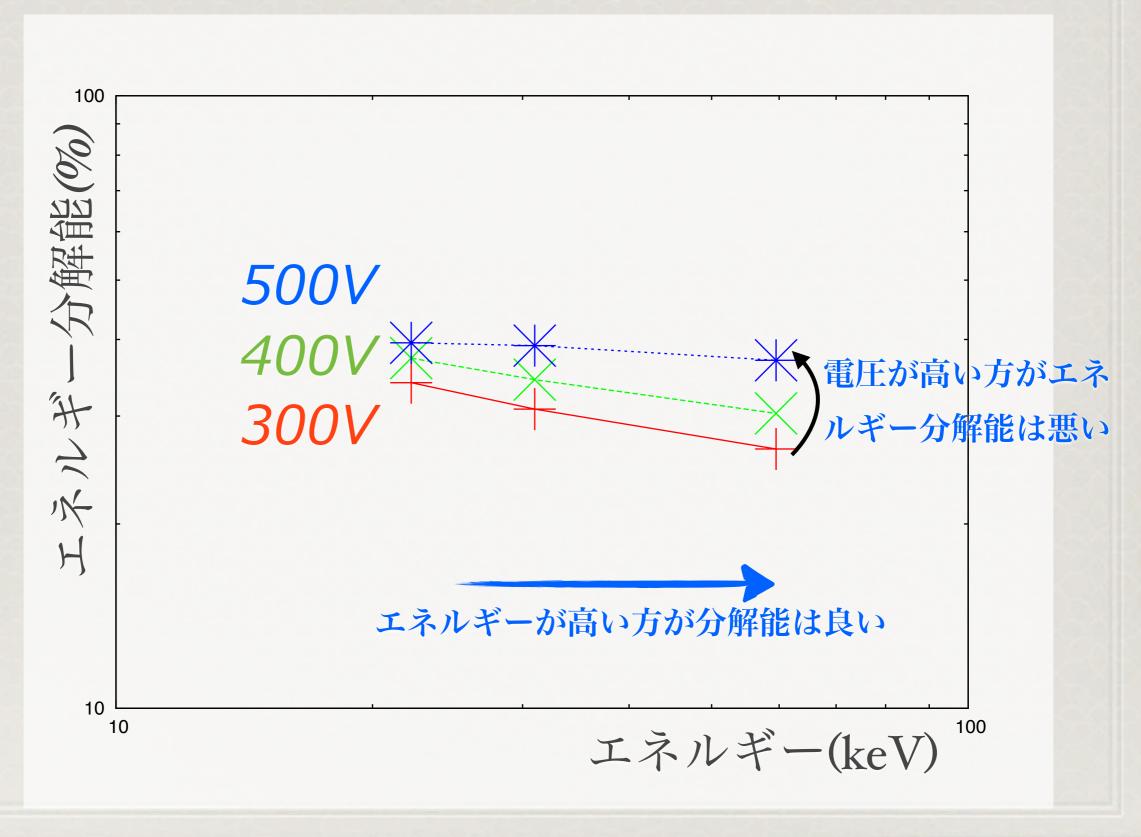




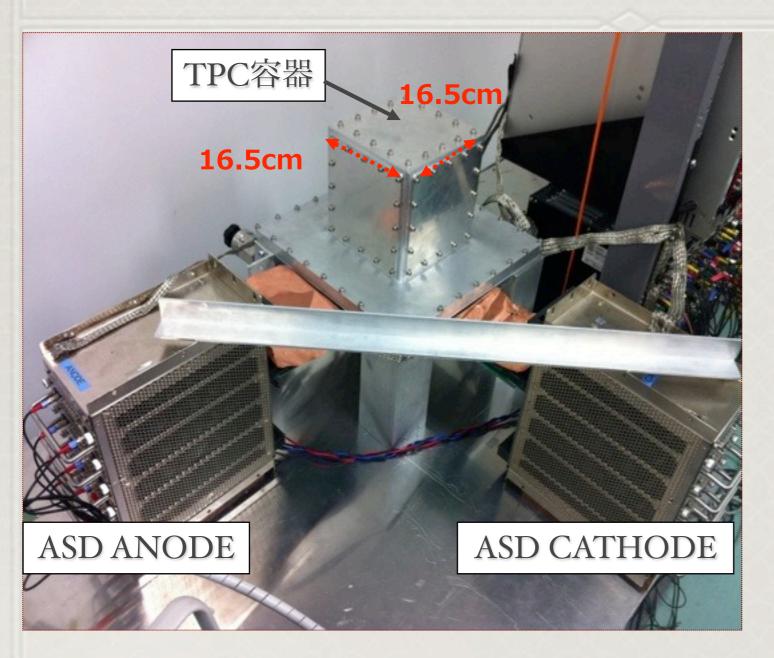
エネルギー較正



エネルギー分解能(FWHM)



予備実験2:microTPC



予備実験の目標 TPCを動かしてみる エネルギー較正



光電子が落とした

エネルギー

TARGET:109Cd(22.2kev)
133Ba(31.0keV)

Set Up

• 電圧

Drift Top

-3211V

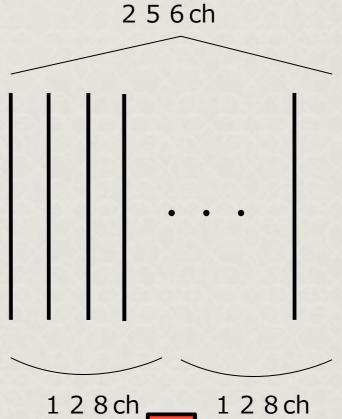
GEM Top

-810V

GEM Bottom -500V

ANODE - CATHODE +470V

• データの読み出し

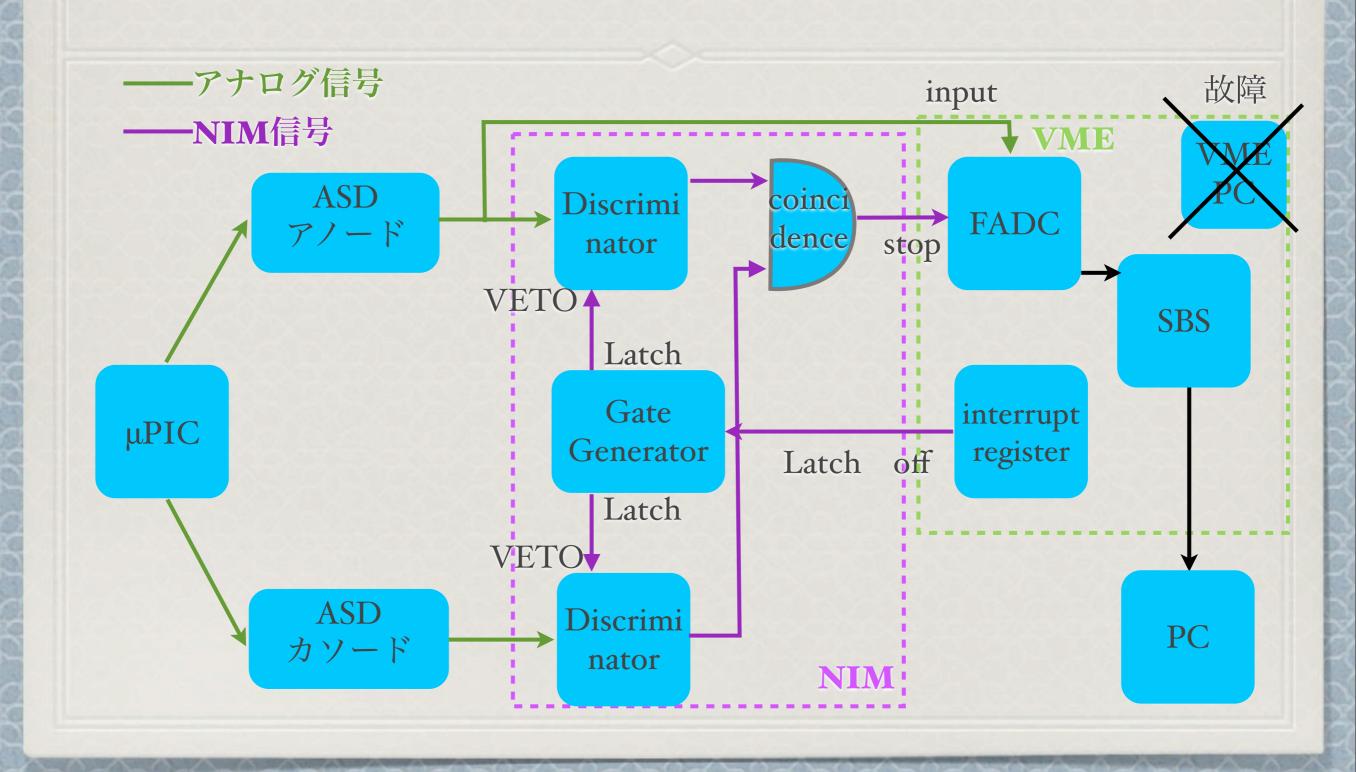


ANODE 256chのデータ \rightarrow 128ch Sum \times 2.

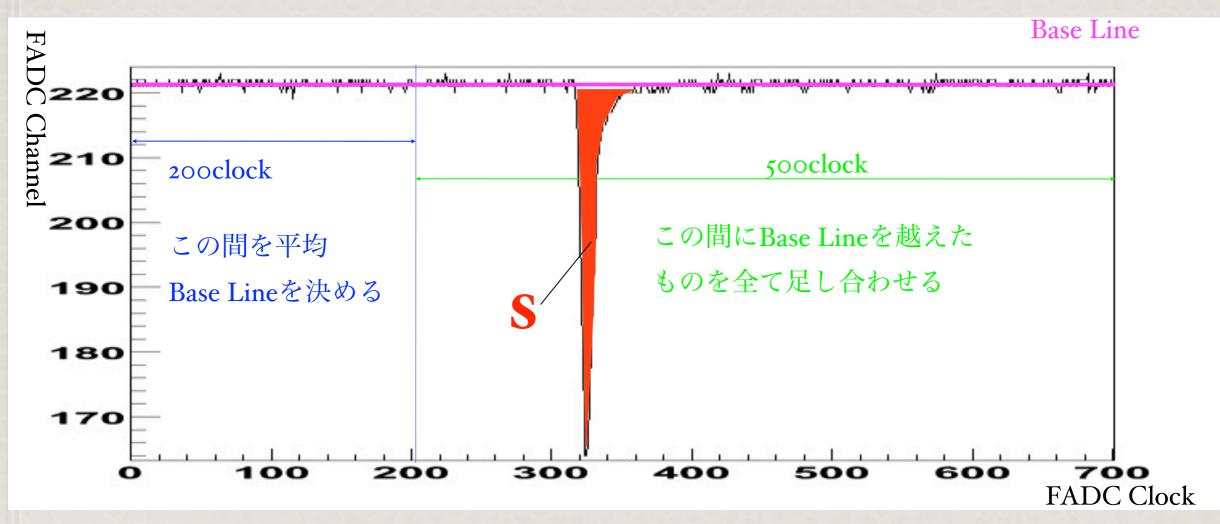
読み出し

2つのデータを読み出す

回路図



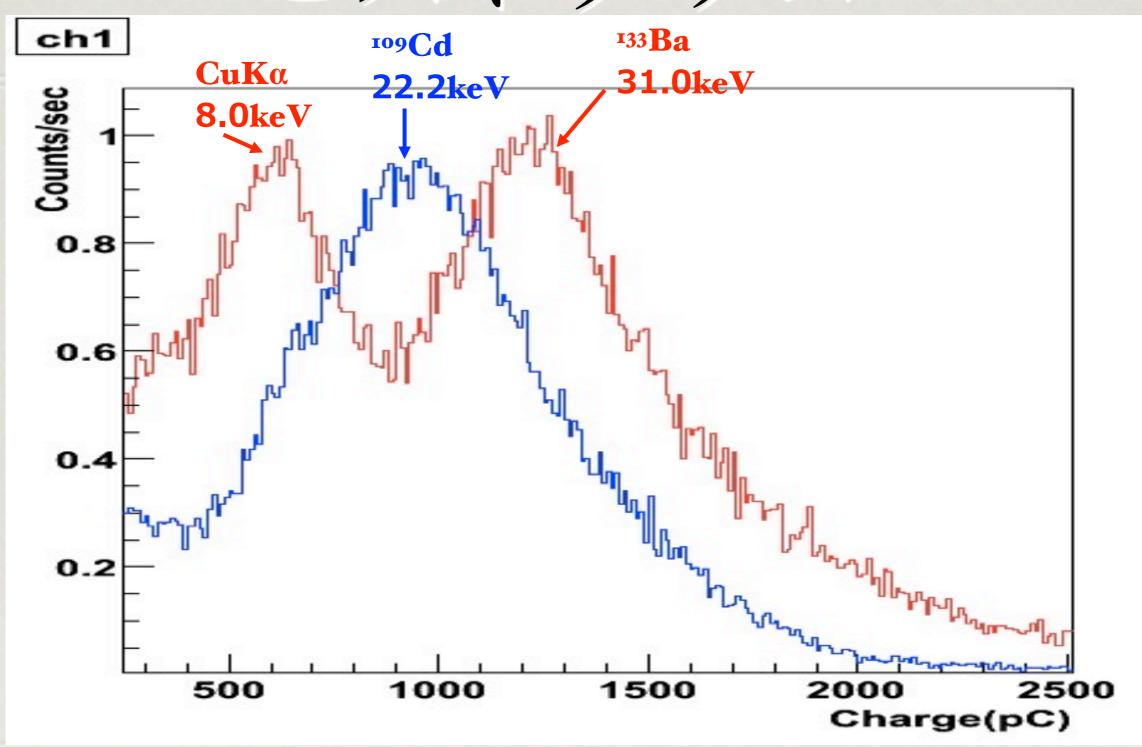
波形情報一電荷情報



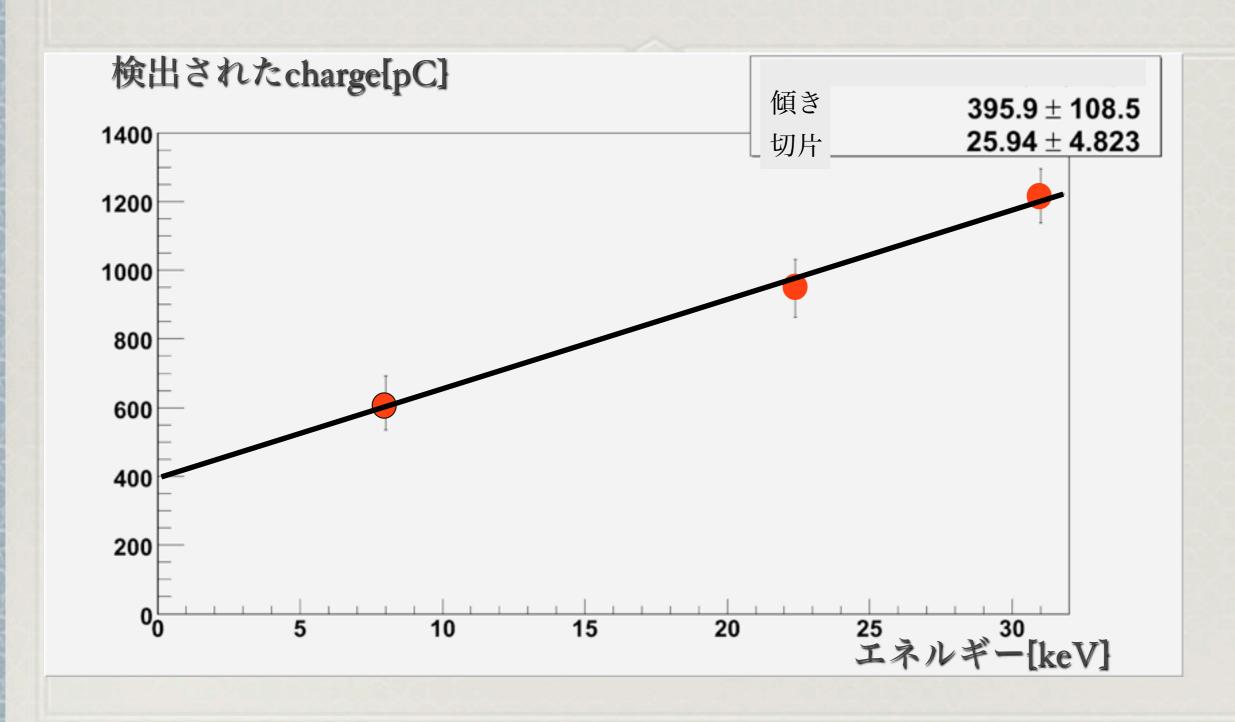
検出された電荷量[pC]=

S[channel · clock]× $\frac{\text{dynamic range[mV]}}{256[\text{channel}]} \times 16[\text{nsec/clock}] \div 50[Ω:終端抵抗]$

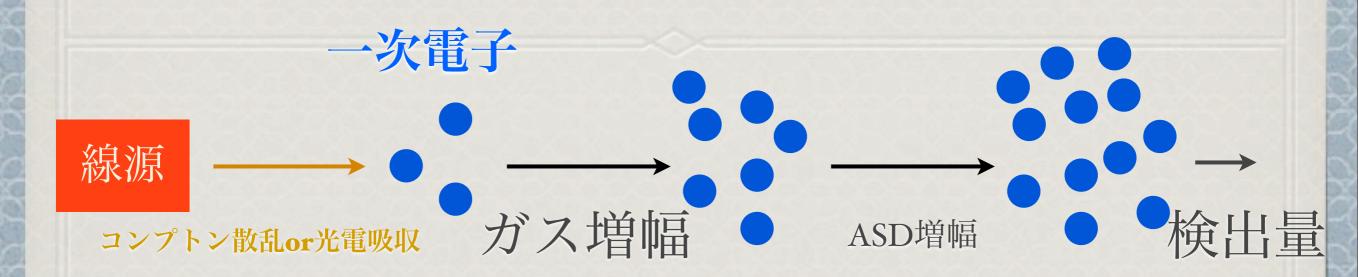
ヒストグラム



エネルギー較正



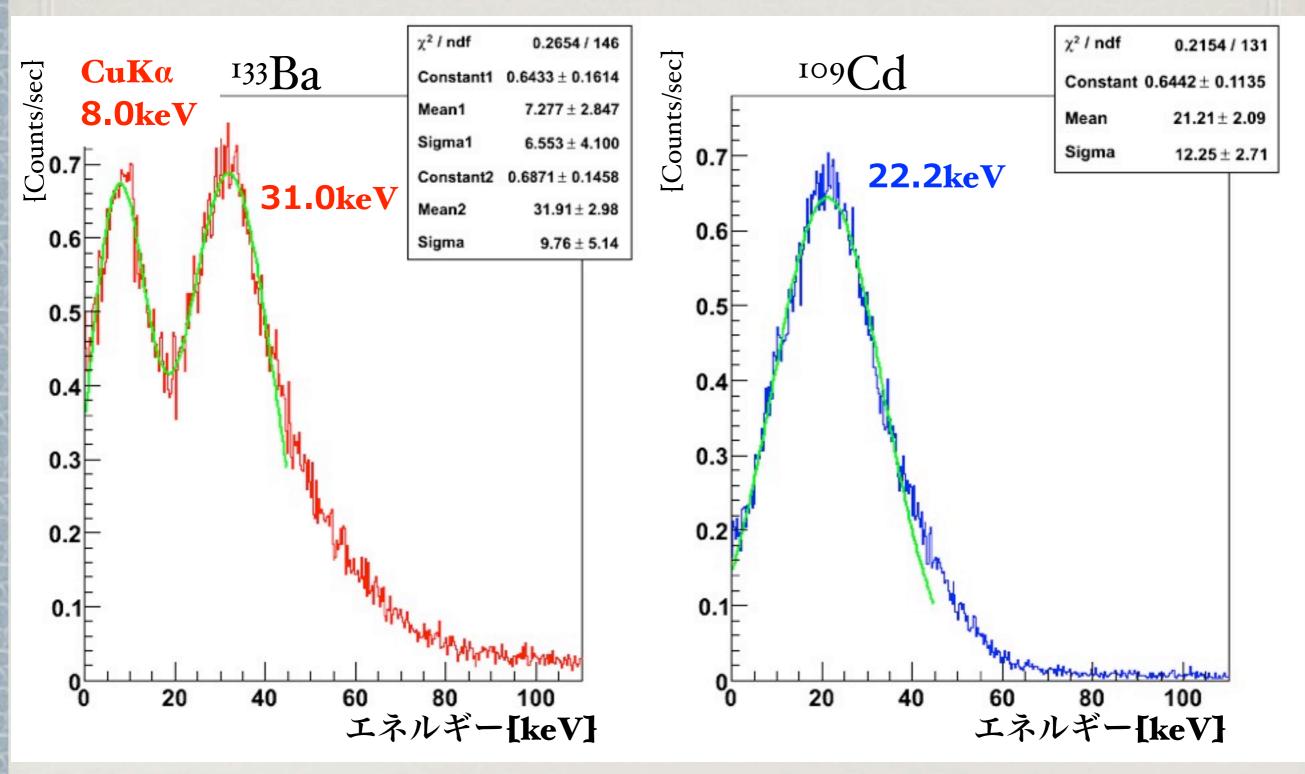
ガス増幅率



ガス増幅率 = 検出された電荷量Q{pC} ÷ 一次電子の電荷量{pC} ÷ ASDの増幅率

~ 24000倍

エネルギースペクトル



エネルギー分解能(FWHM)

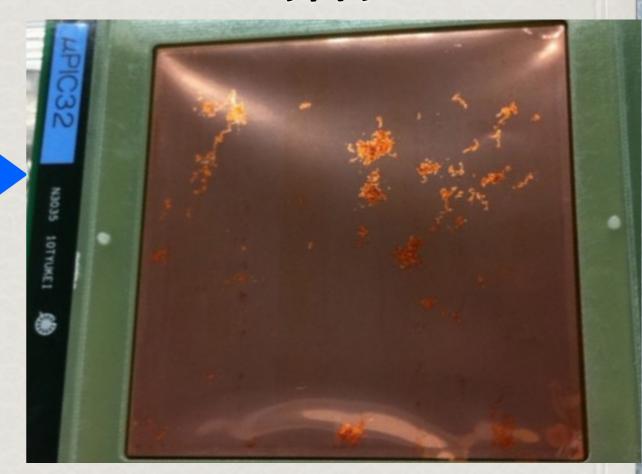
CuKa 8.0 keV 200%

¹⁰⁹Cd 22.2 keV 120%

¹³³Ba 31.0 keV 70%

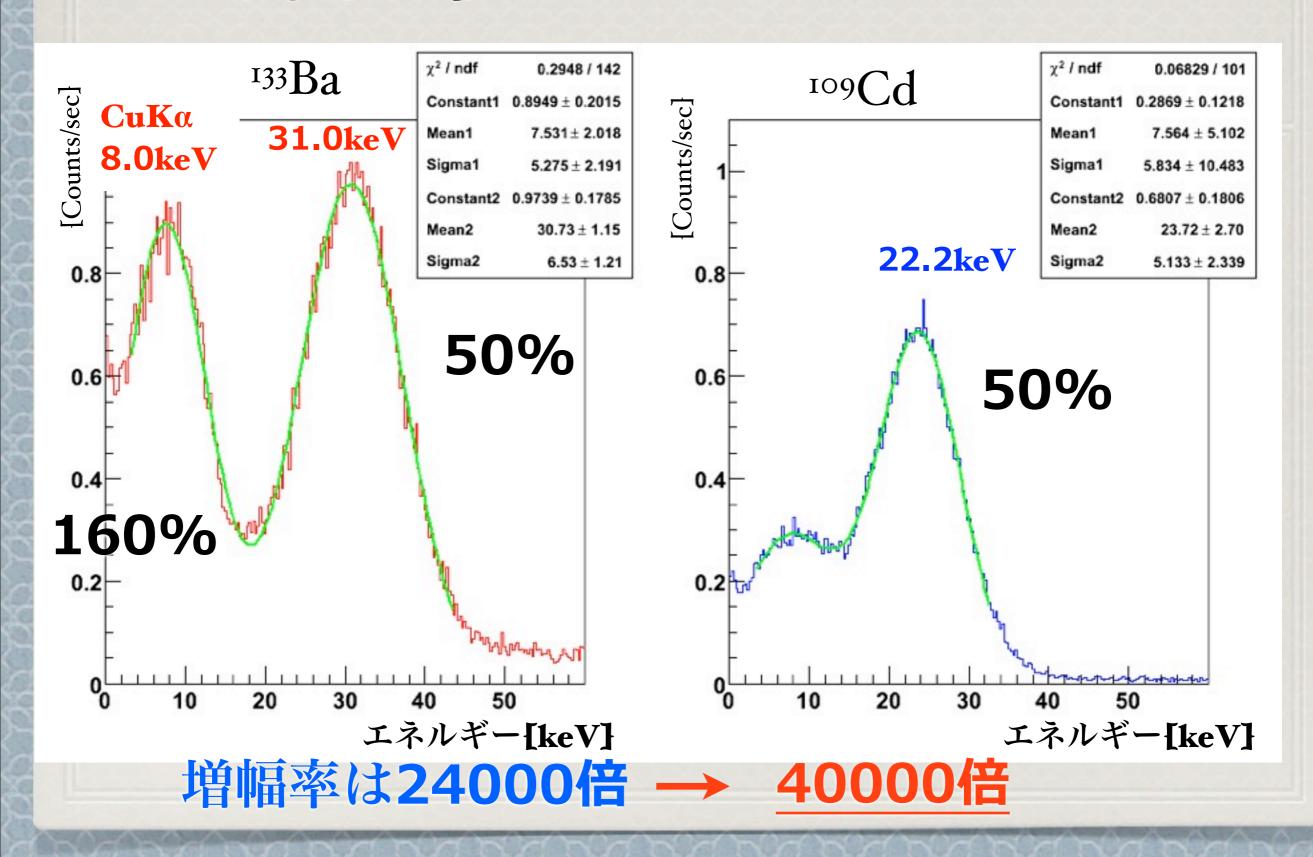


掃除



GEM

掃除後のスペクトル



予備実験まとめ

APD

TPC

できたこと

- ・正常に動かしスペクトル測定
- ・エネルギー較正

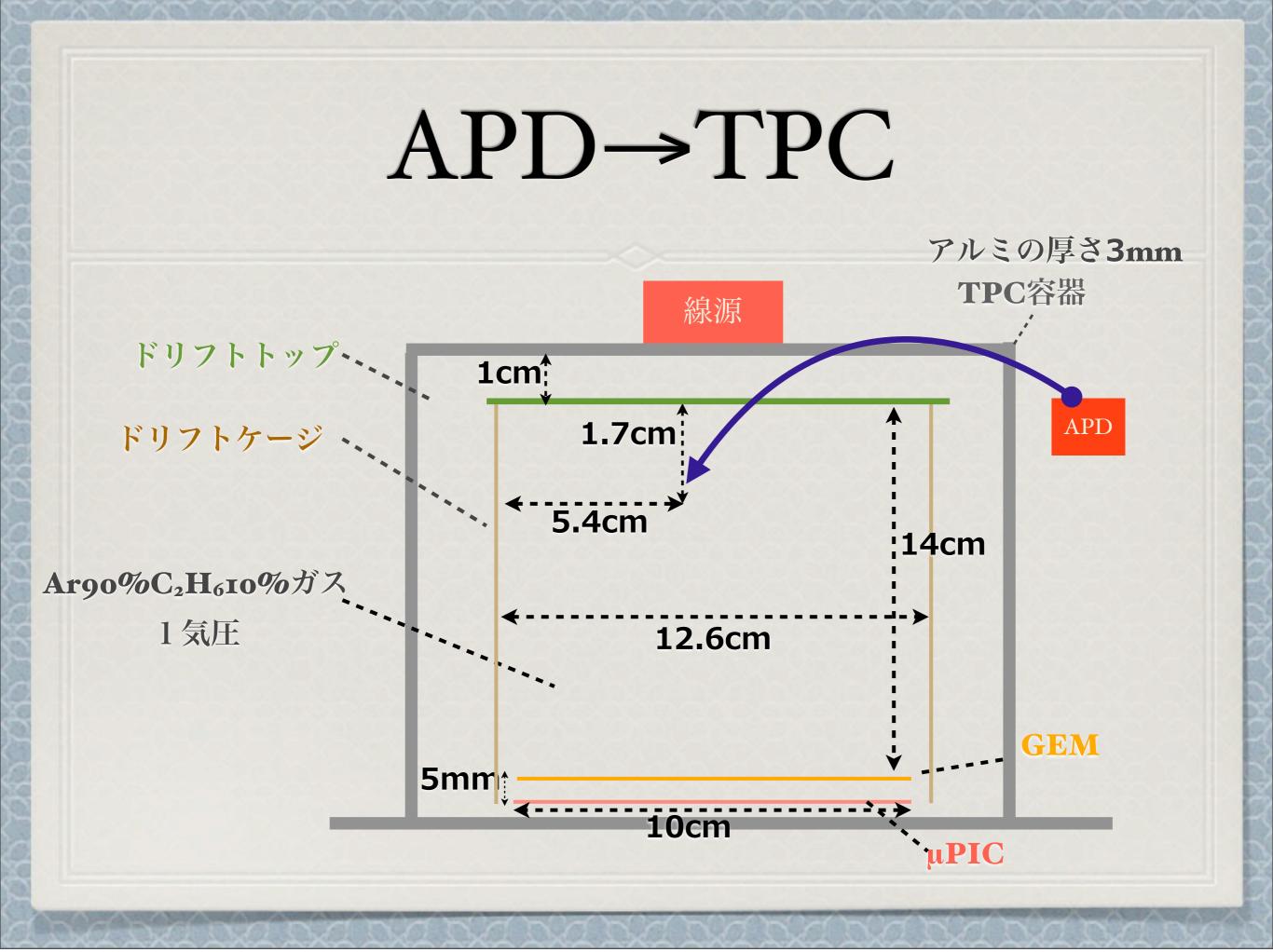
- ・正常に動かしスペクトル測定
- ・エネルギー較正
- ・ガス増幅

できなかったこと (反省点)

- ・実際に電子を当てるべきだった
 - (90Srのβ線などで)
- ・測定時間が短すぎた

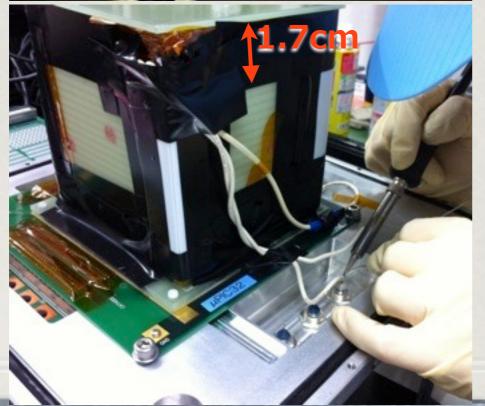
(スライドのピークが400件程度)

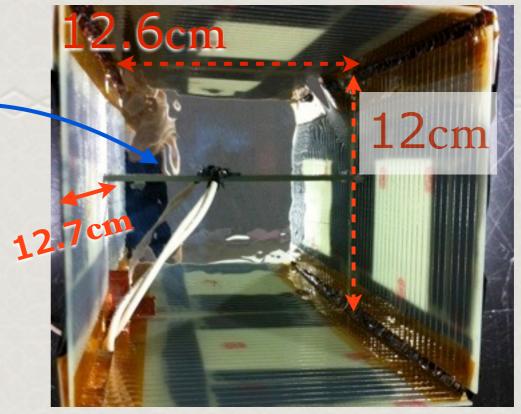
- ・分解能が悪い
- 2次元飛跡



APDをTPC容器に組み込む







ドリフトケージを下から見た写真

APDをG10棒にとりけ、ドリフトトップの下から見て中央付近、ドリフトトップから1.7cmの位置に固定

問題発生..

取り付け完了

真空を引いてガス (Ar 90%C₂H₆₁₀%) を注入

APDをプリアンプに通して出力を確認 → ノイズ大

APDに電圧をかける

容器内から取り出して起動チェック

取り付け時?真空?ガス?移動時に破損?

どの時点で壊れたのかまったくわからない。

常に起動チェックをしながらとりつけるべきだった

起動を確認しながらAPD交換

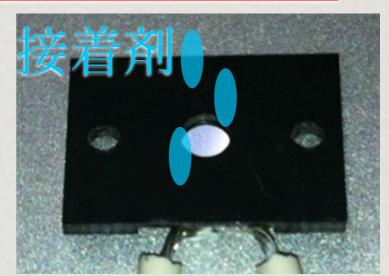
取り付け前に新しいAPDのチェック → 起動OK

棒に接着剤で接着してチェック → 反応なし

接着材で棒に取り付けたところで壊れてしまった

APDの裏面は





接着剤がついたところで壊れるのだろうか?

→現在製作会社に問い合わせ中です。

APDをTPC内に入れてTPC は動くのか?

TPCはドリフトケージで電場を 安定させている

APDには高電圧がかかっており 電場を大きく乱す

スペクトルすらとれなくなって しまうのではない 壊れたAPDを中に入れ **てTPCを動かしてみる**

APDに電圧をかけていなくても、 ドリフトトップ-2800Vで放電



しっかり放電対策をする 必要があるor配置が悪い



電場のシミュレーションが必要

まとめ

- 目的:TPC内にAPDを置き、光電子を捕らえる
- ◆ 結果
 - まずAPD、TPCをそれぞれ動かしてみた。
 - ▶ 単体で動かすことはできた。
 - ◆ APDをTPCにとりつけ、本実験へ
 - まさかのAPD破損。交換して再度試みるもまた破損
 - ◆ そもそもAPDの配置が良くなかった。
 - ◆ 実験失敗



--to be continued??



検出レートの計算(詳細)

厚さ3mmのAl

cm

Ar90%+C₂H₆ 10%ガスの密度 $\rho = 1.74 \times 10^{-3} \text{g/cm}^2$

 $\Omega = 0.3 \times 0.3 / 4\pi d^2 = 8 \times 10^{-4} str$ 立体角

APD(直径o.3cm)

線源 1MBq

TPC容器外

TPC容器内

·質量減衰係数

検出個数/sec = $10^6 \times \Omega \times A$ Iでの減衰×(1-exp(- μ /p×p×0.3))×1/6

1 MBq×Ω÷6=800/6=133.3333

これにAI板を透過する確率と、ガス中を反応せずに3cm進む確率、検出したい0.3cm進む間での反応率をかければ1秒間に検出できる個数

AIでの減衰 2.7g/cm^3		質量減衰係数	透過率	減衰率
減衰	662keV	7.466*10^(-2)	exp(-7.466*10^(-2)*2.7*0.3)=94.1%	5.9%
減衰	22.2keV	2.556	exp(-2.556*2.7*0.3)=12.6%	87.4%
減衰 (3cm)	662keV	7.236*10^(-2)	exp(-7.236*10^(-2)*1.744*10^(-3)*3)=99.96%	0.04%
コンプトン散乱(0.3cm)		7.169*10^(-2)	exp(-7.169*10^(-2)*1.744*10^(-3)*0.3)=99.996%	0.004%
減衰(3cm) 光電効果(0.3cm)	22.2keV	5.779 5.411	exp(-5.779*1.744*10^(-3)*3)=97.0% exp(-5.411*1.744*10^(-3)*0.3)=99.7%	3% 0.3%

662keVのコンプトン散乱だと

0.941*0.9996*0.00004=0.000038

すなわち 133*0.000038=5.1*10^(-3)個/sec 1日で437個

22.2keVの光電吸収だと

0.126*0.97*0.003=0.00037

すなわち 133×0.00037=4.9*10^(-2)個/sec 1日で4213個

戻る

Compton散乱

me: 電子の質量

c : 高速

 $\mathbf{E_{o}} = \mathbf{E_{\gamma}} + \mathbf{K_{e}}$



(エネルギー)

反跳電子 Ke

(エネルギー)

$$\cos \phi = 1 - \frac{m_e c^2}{E_{\gamma} + K_e} \frac{K_e}{E_{\gamma}}$$

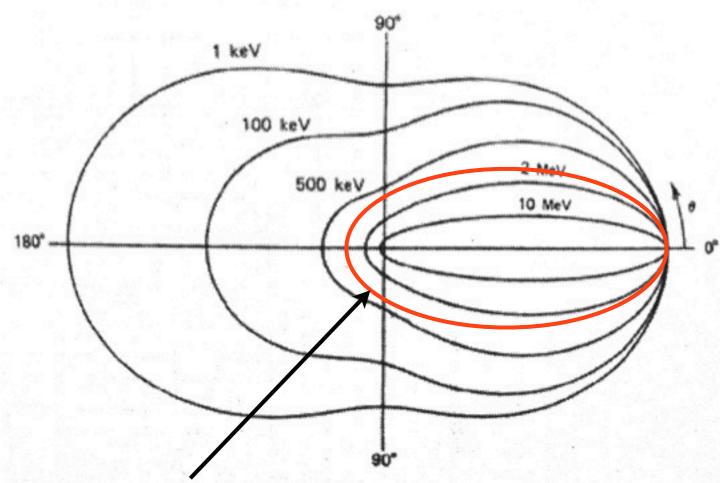
散乱γ線 E_γ (エネルギー)、

$$\mathbf{K_{e}} = \mathbf{E_{o}} \frac{\varkappa(\mathbf{1} - \mathbf{cos}\phi)}{1 + \varkappa(\mathbf{1} - \mathbf{cos}\phi)}$$

 $(\kappa = E_0/m_ec^2)$

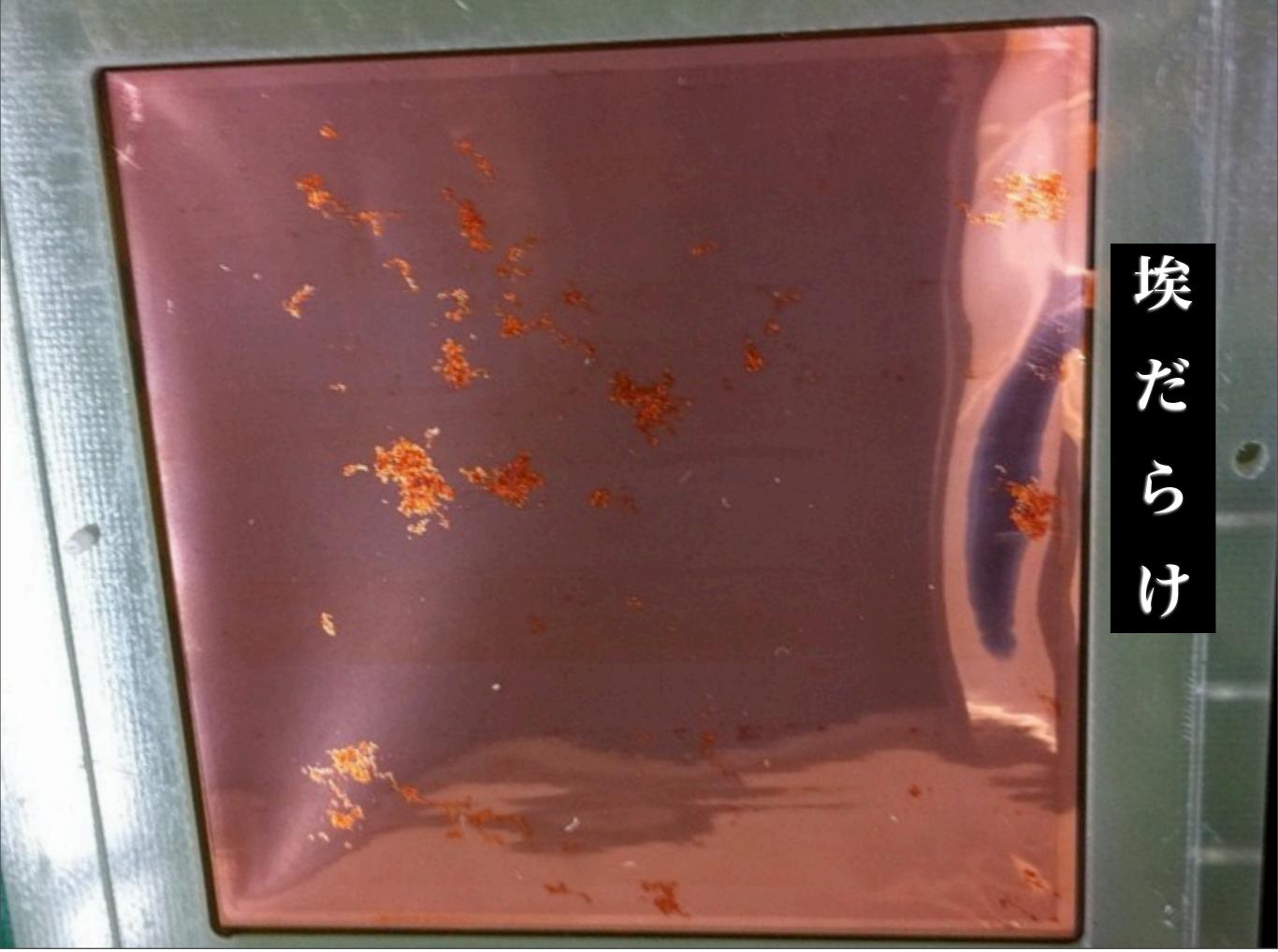
Klein-Nsihinaの式

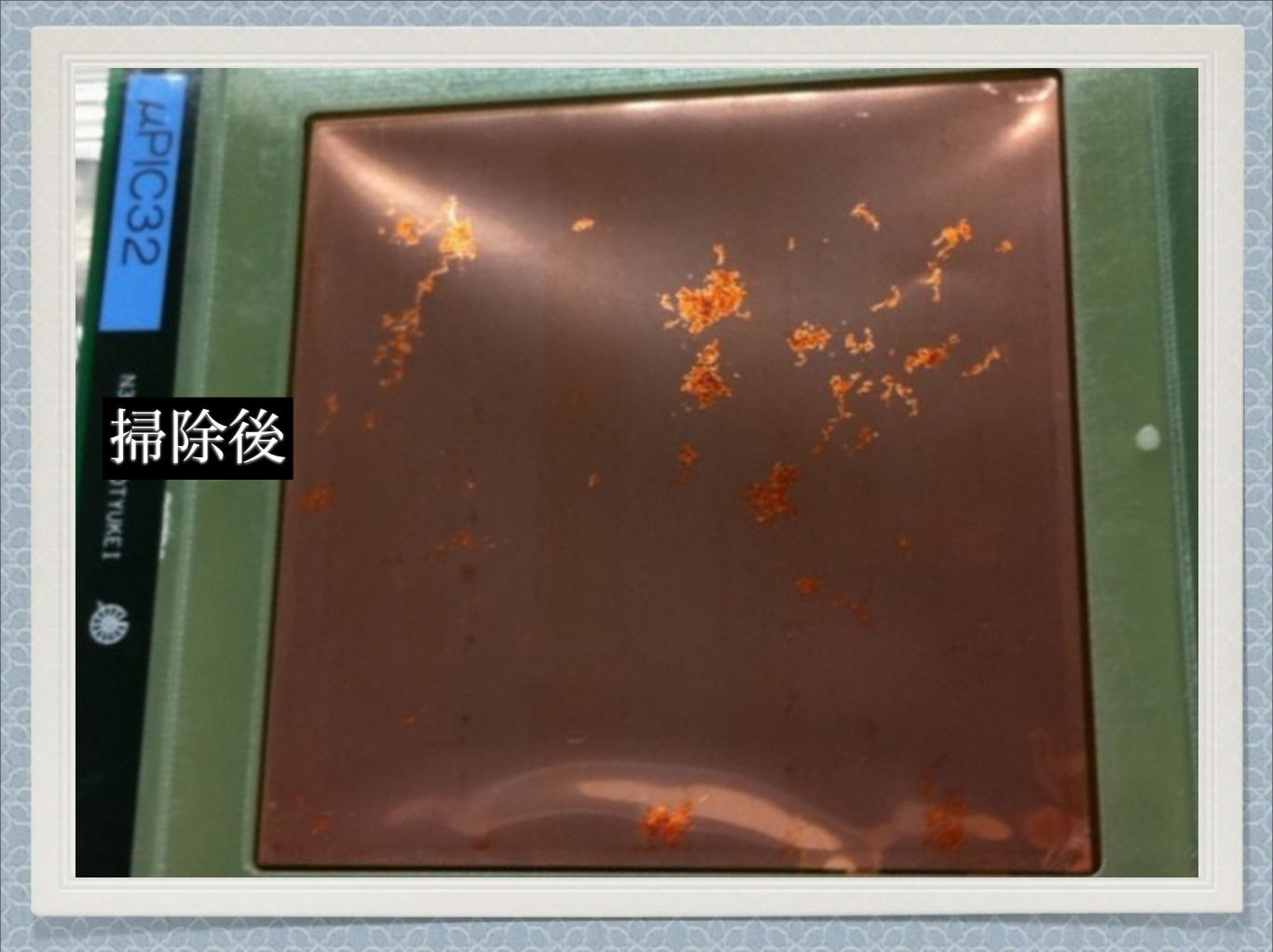
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \left[\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right]^2 \left[\frac{1 + \cos^2\theta}{2} \right] \left[1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{(1 + \cos^2\theta)\left[1 + \alpha(1 - \cos\theta)\right]} \right]$$

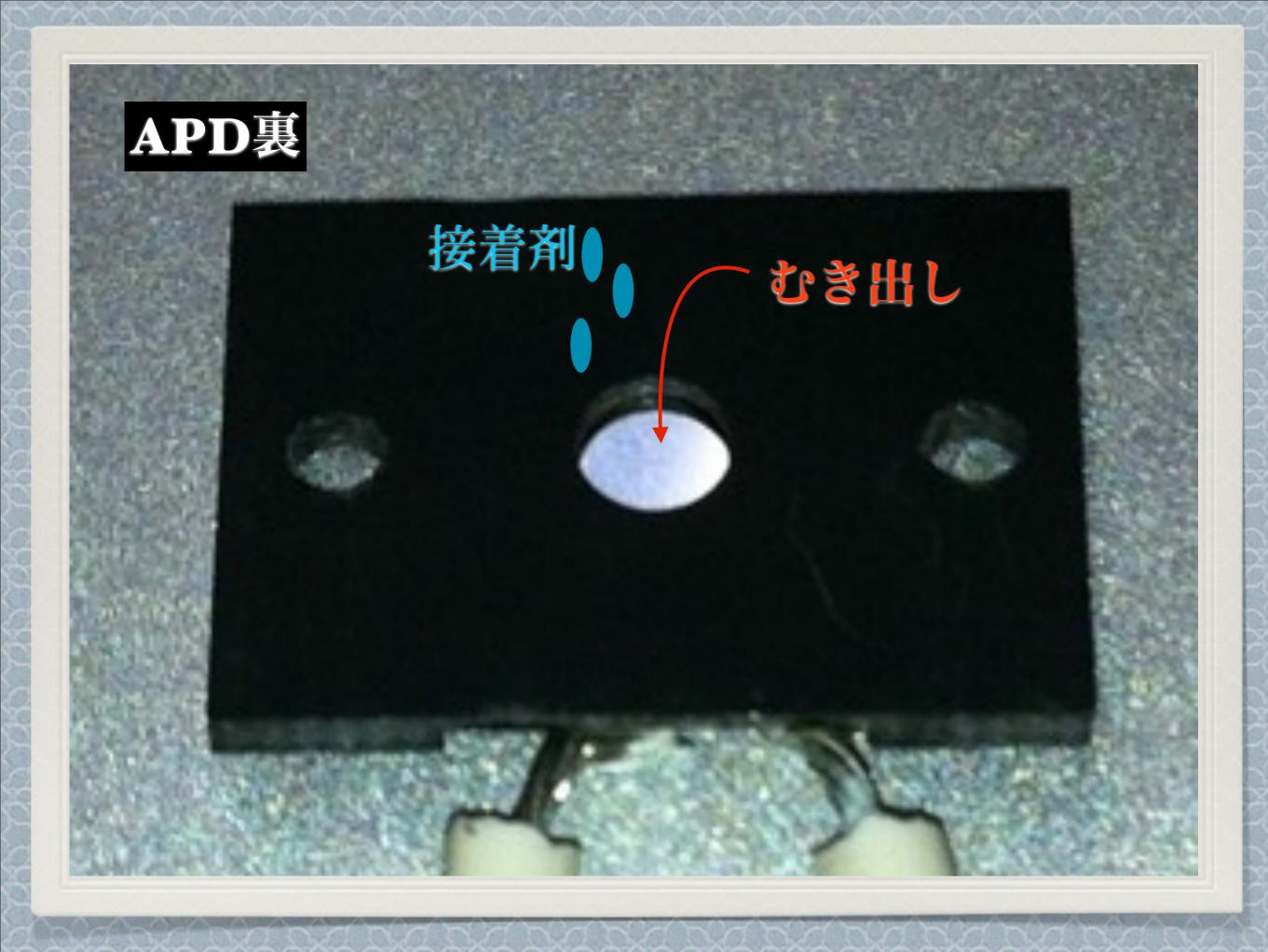


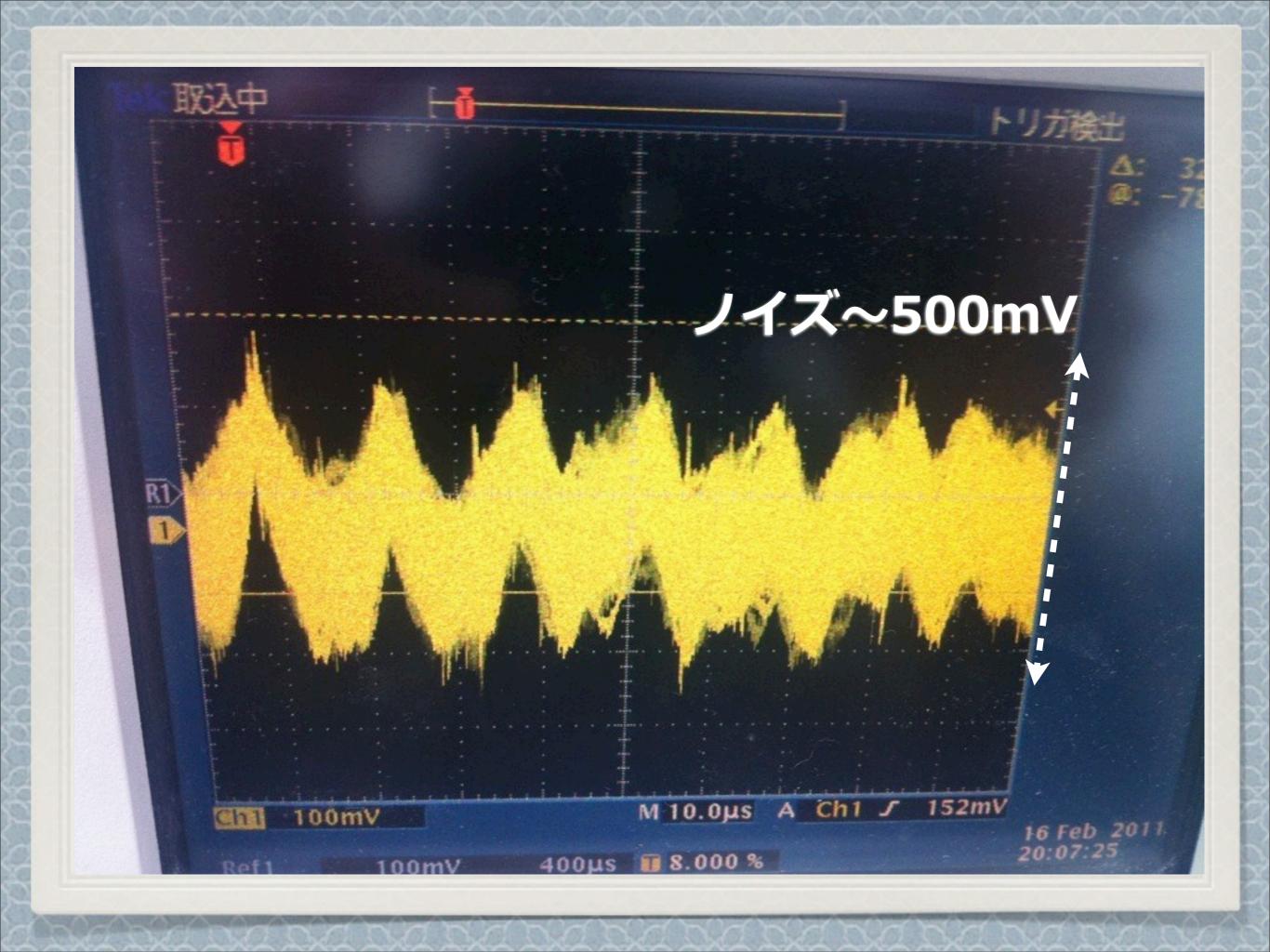
MeV領域ではほとんど前方に散乱される

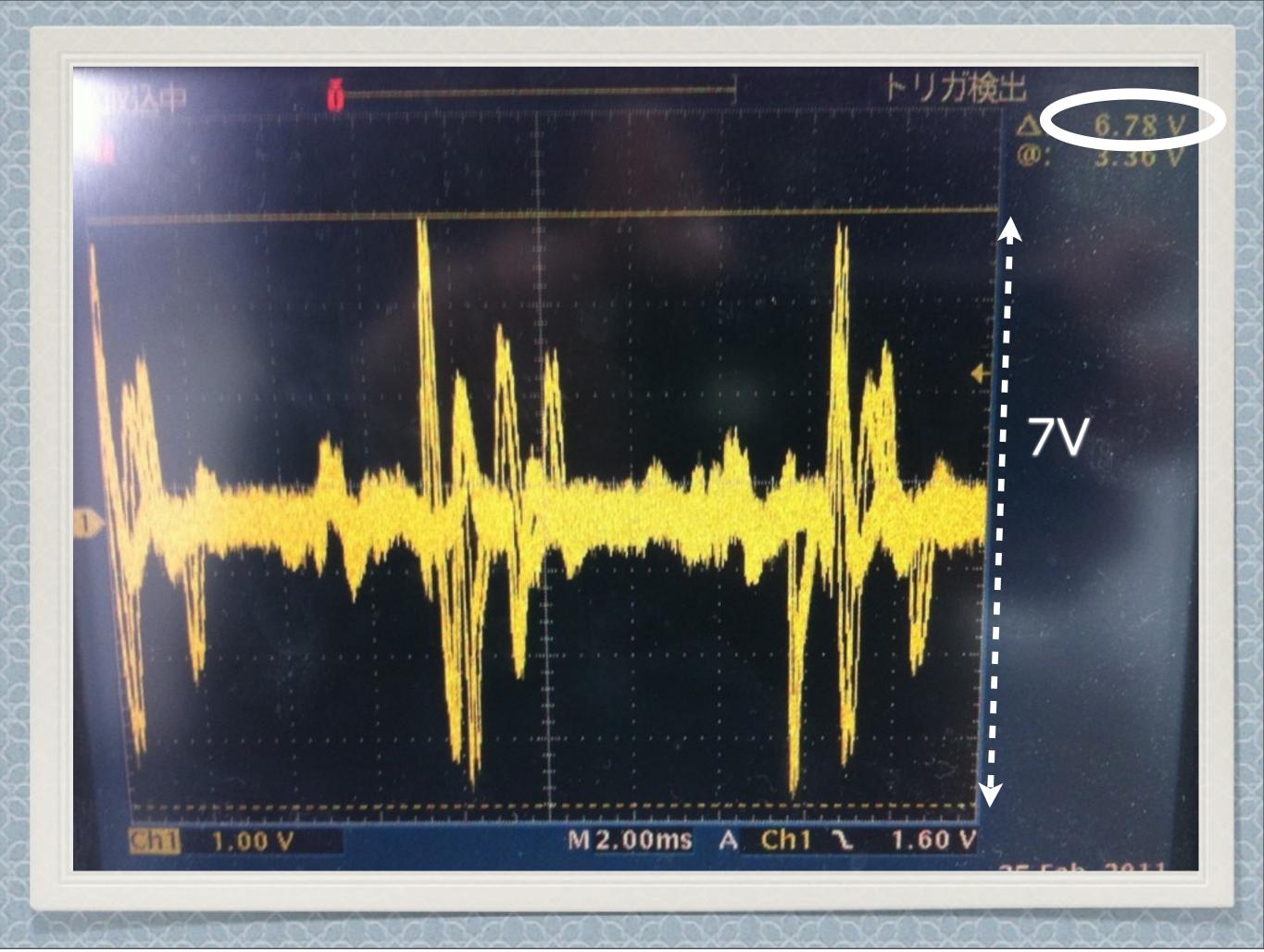


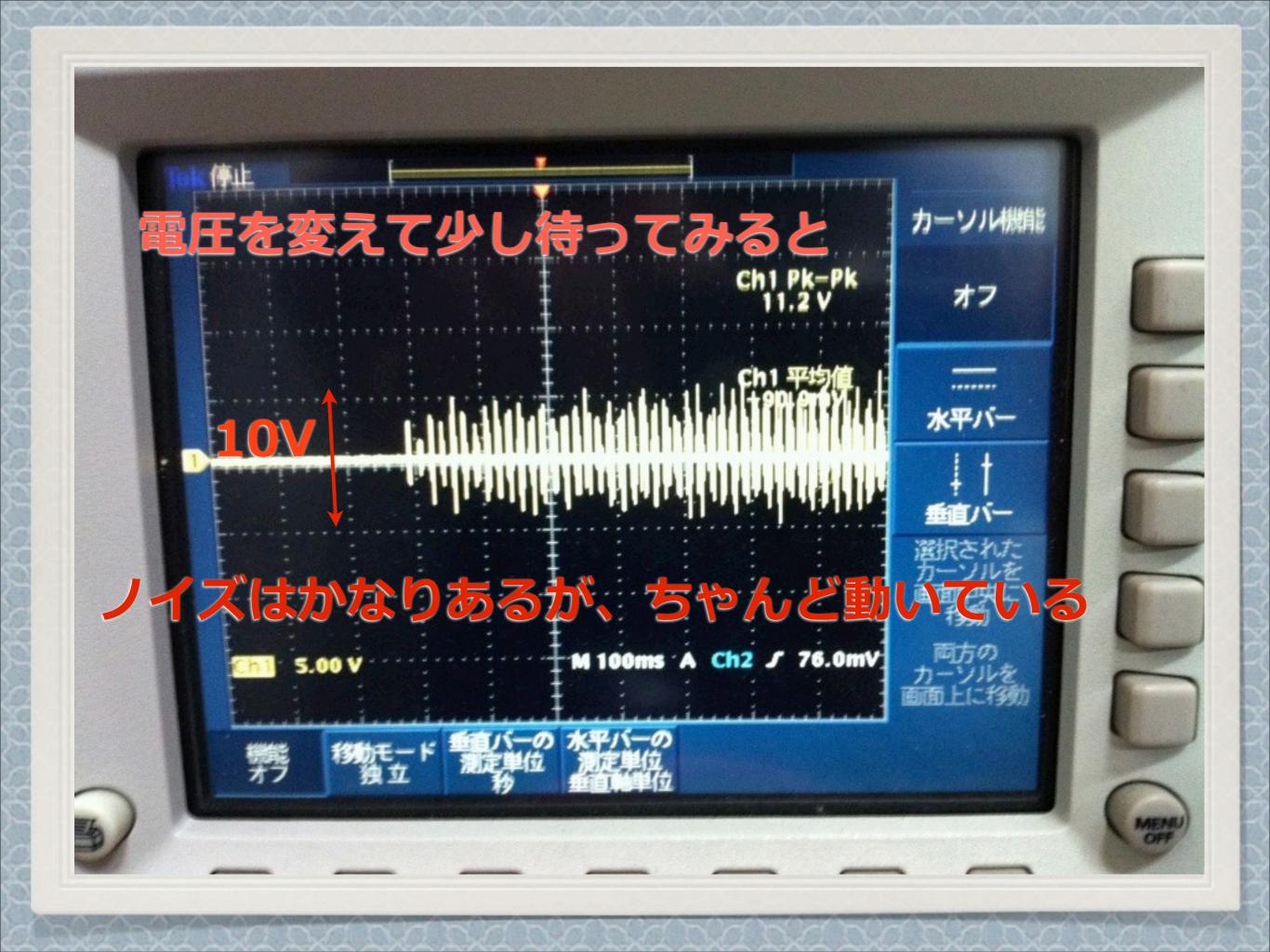


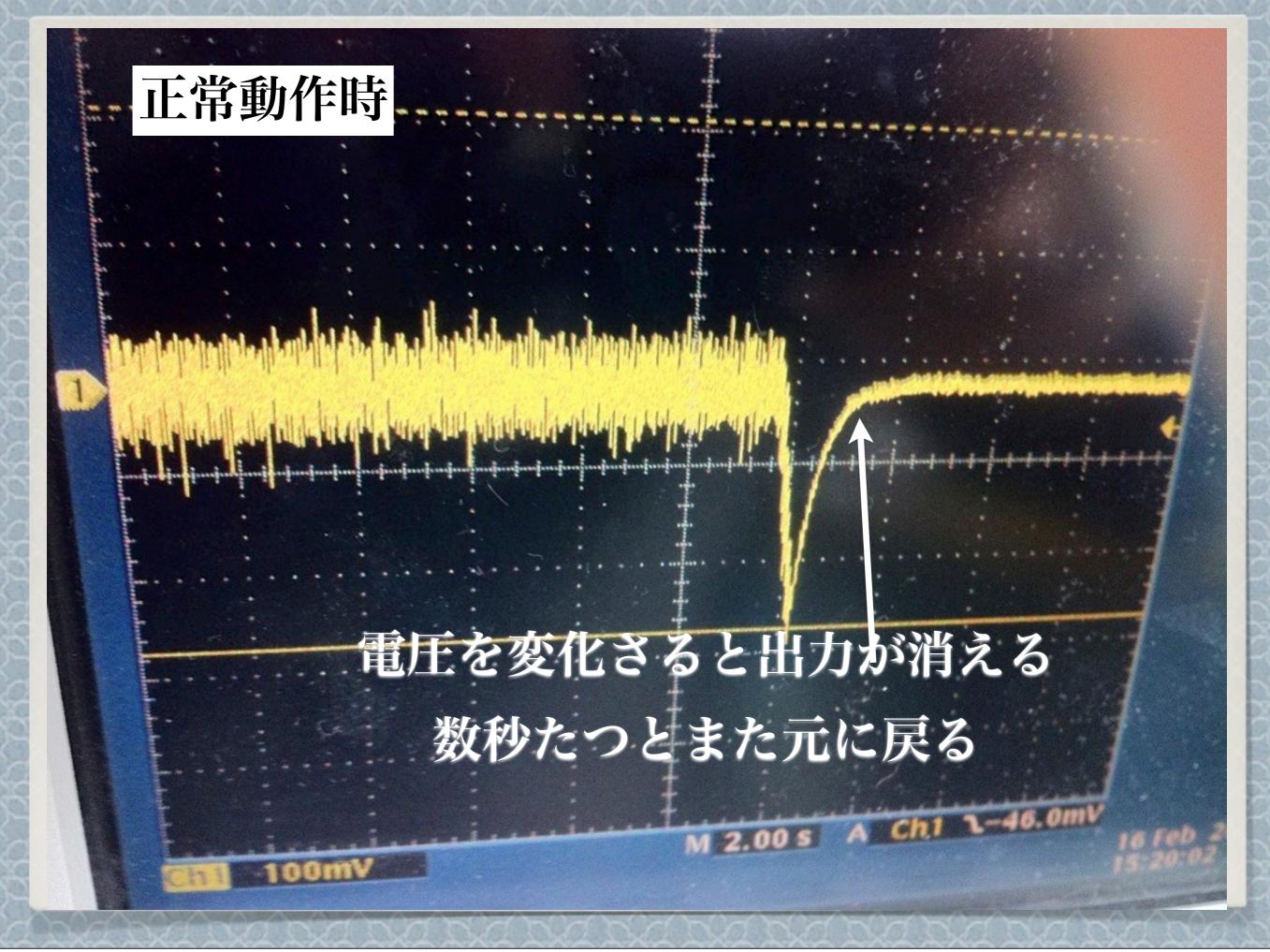


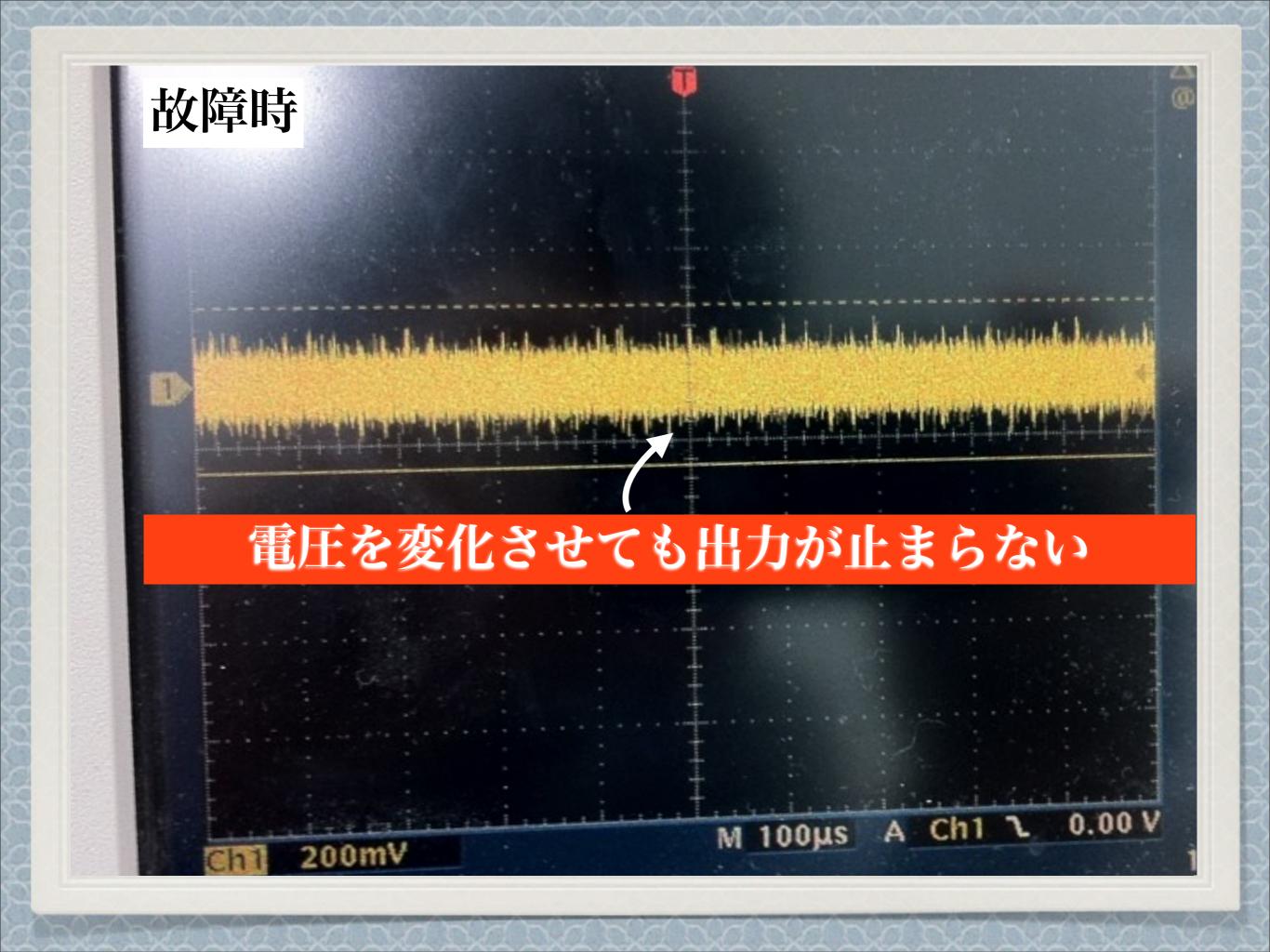






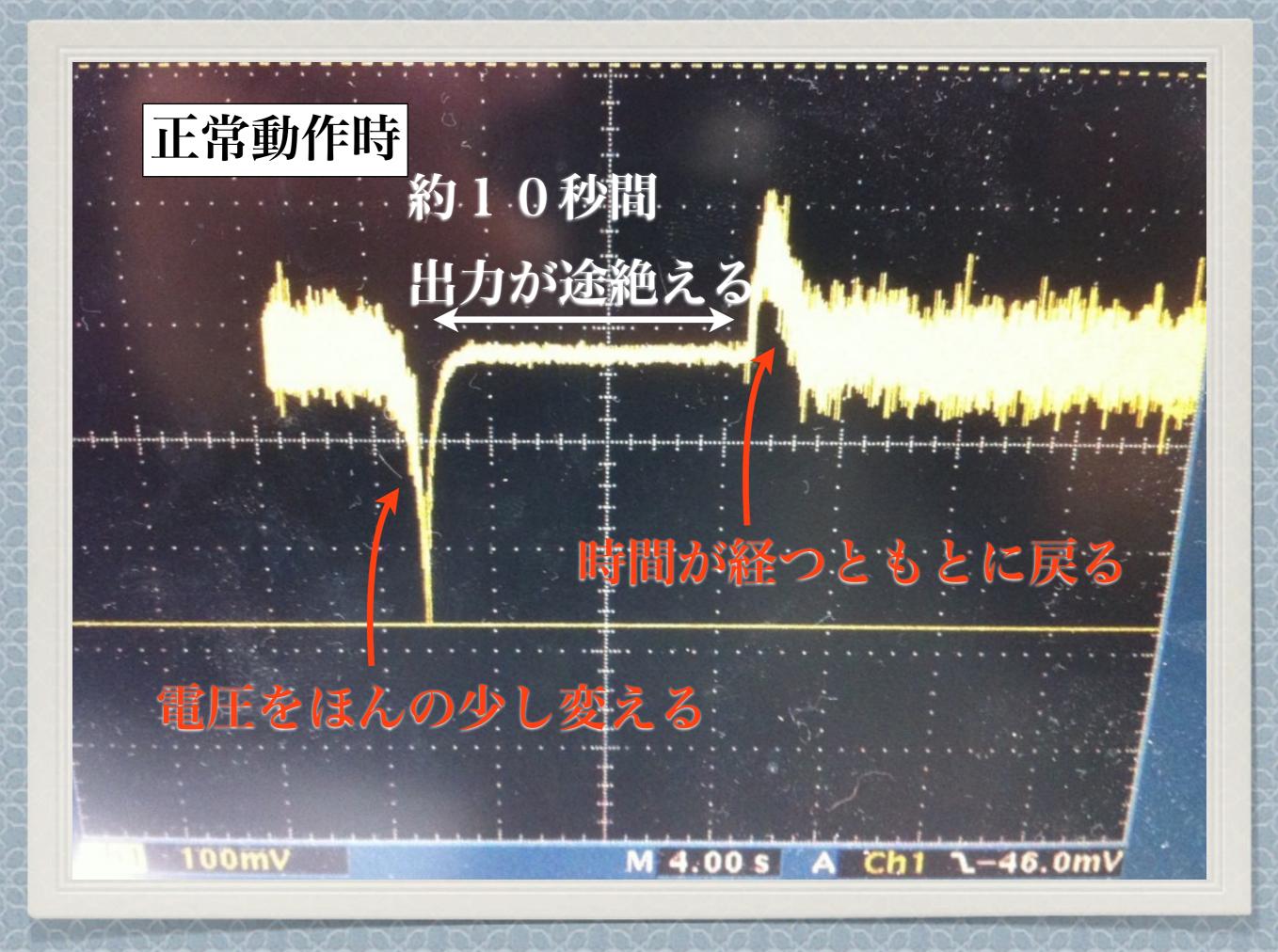




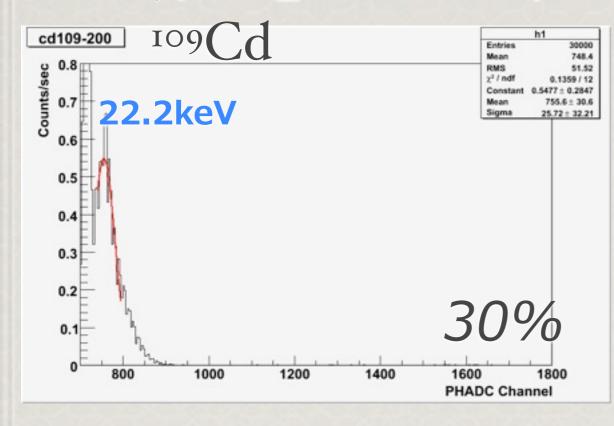


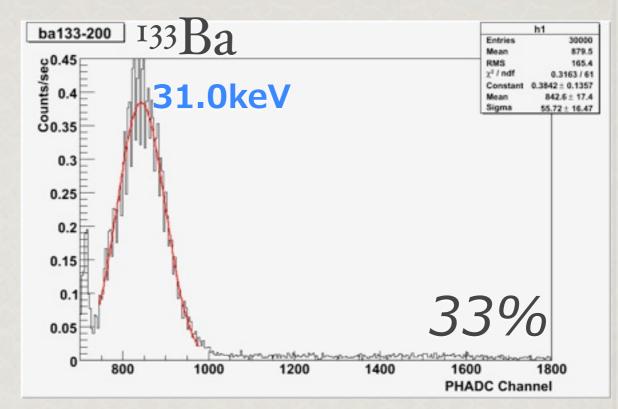


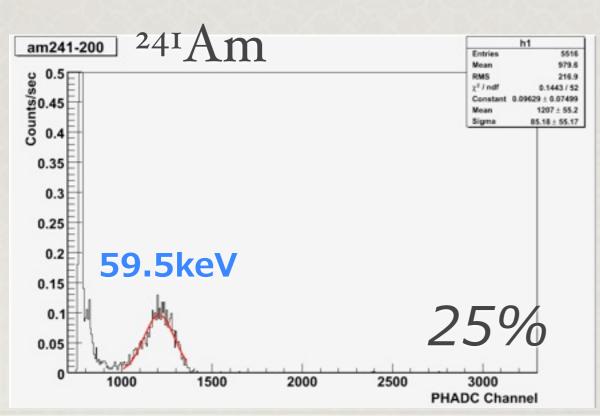




APD付加電圧200V時



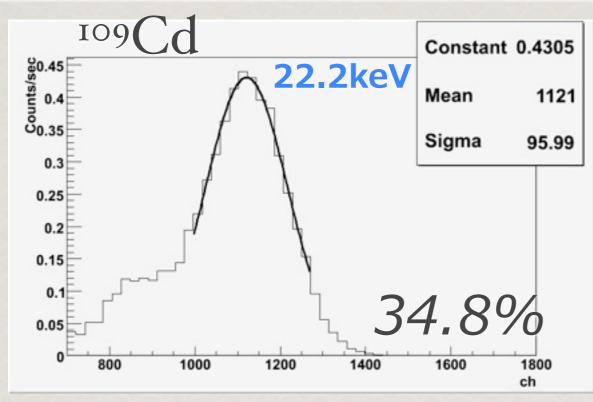


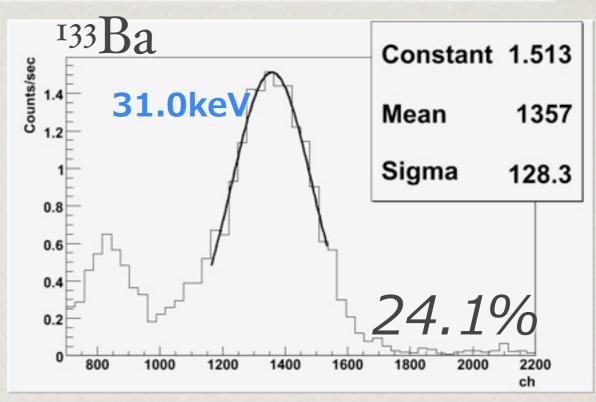


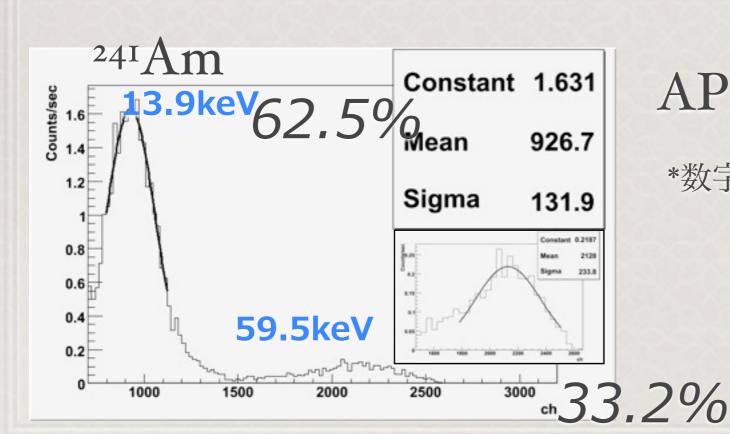
*数字はエネルギー分解能(FWHM)

count/sec ADC値

IO万件でとったのでエネルギー分解能が少し良い







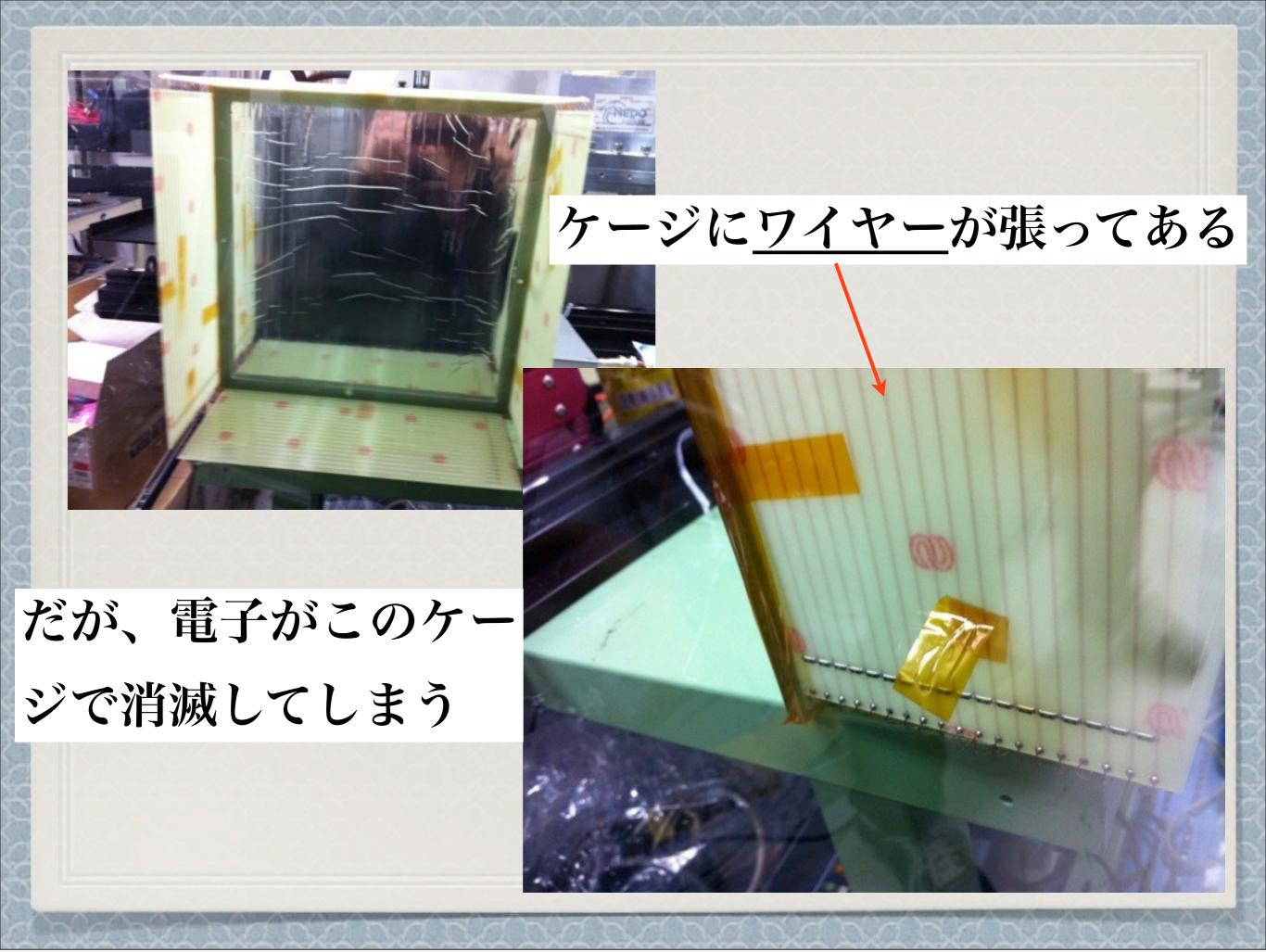
APD付加電圧450V時

*数字はエネルギー分解能(FWHM)

count/sec

戻る

PHADCOch



なぜ壊してまったのか?

使用した接着剤

エポキシ系接着剤

特徵

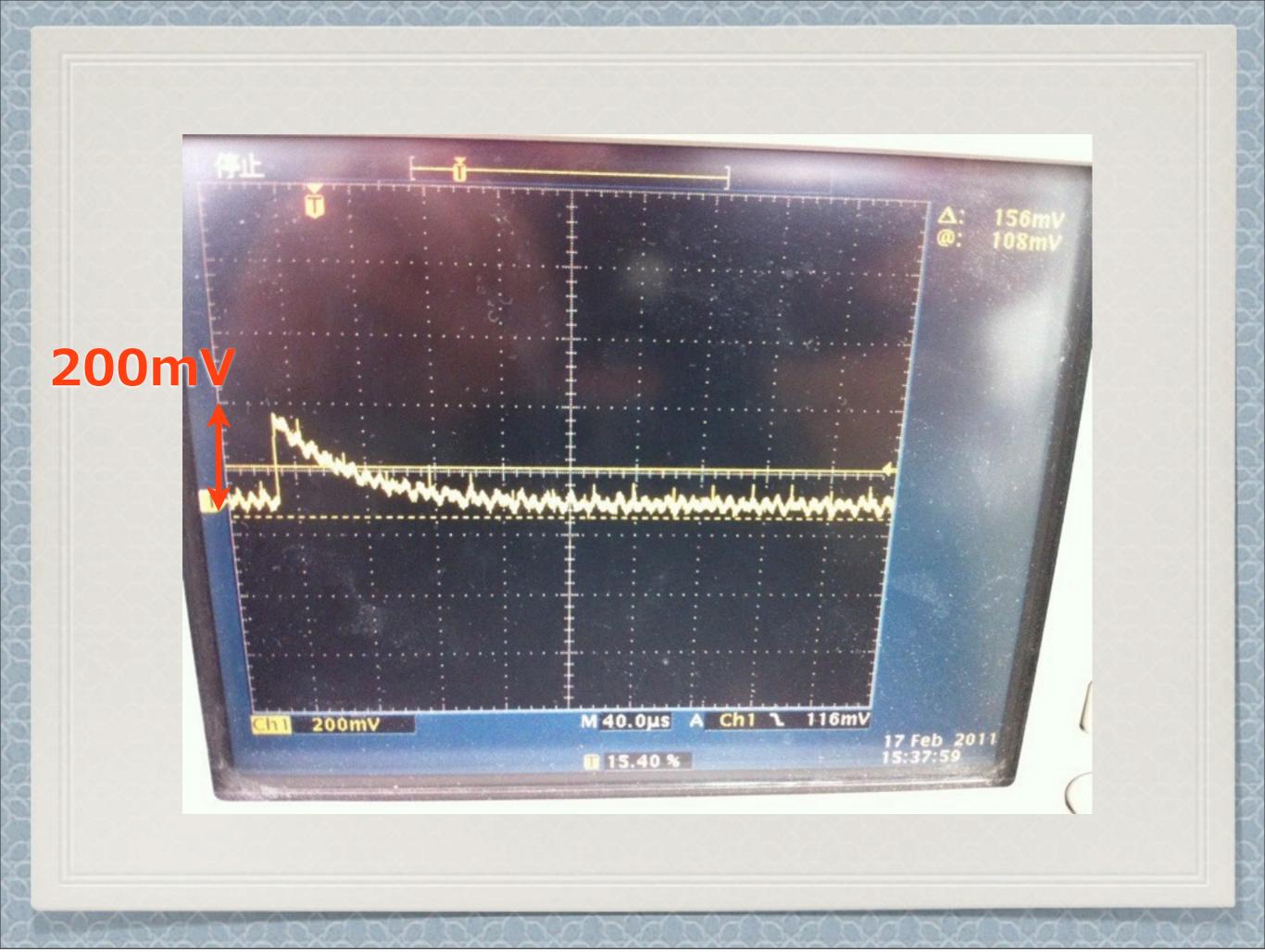
強力な接着力、金属などの硬い材料も 良くつき、耐熱性・耐水性に優れる

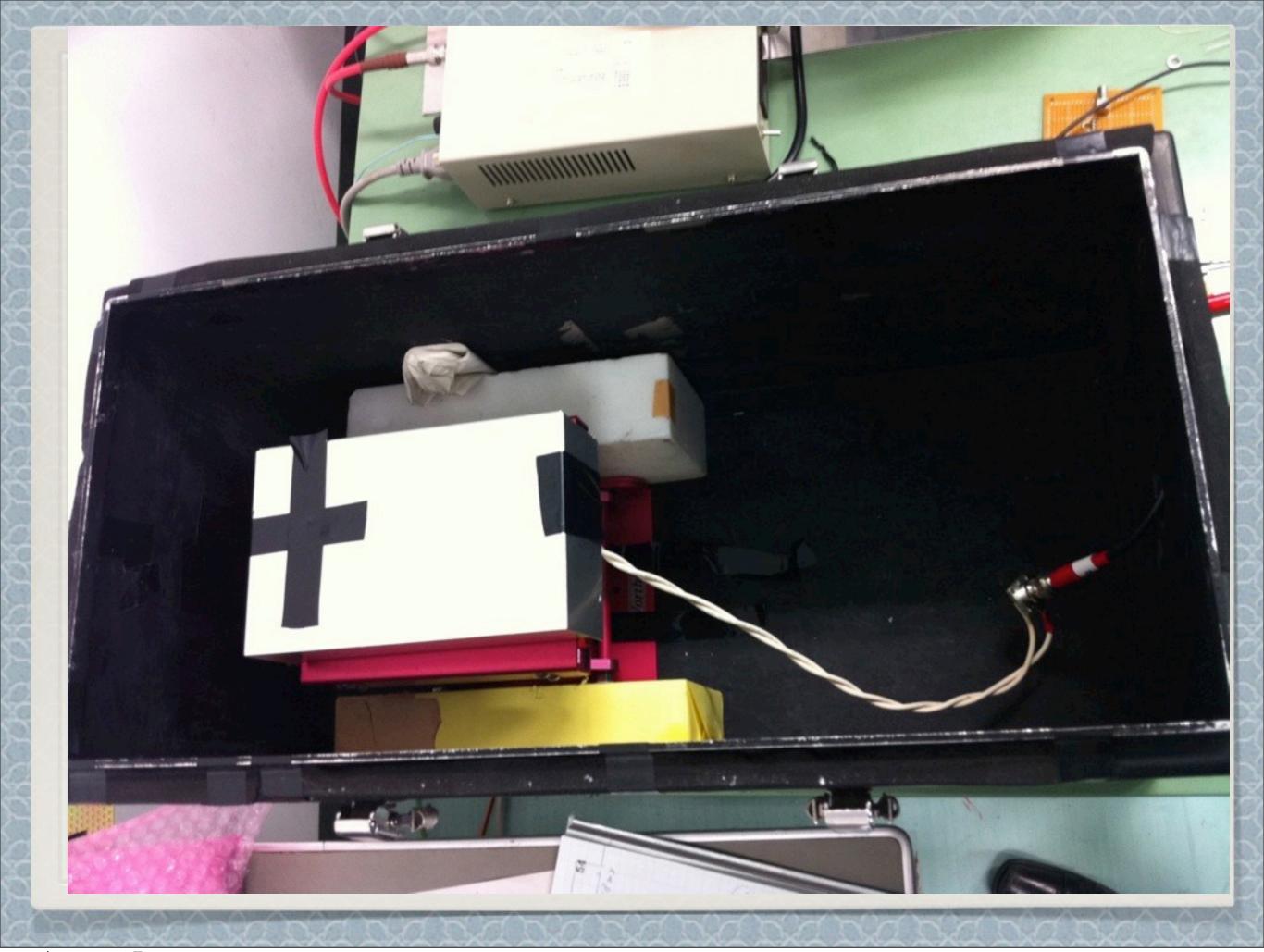
大量に混ぜると、反応熱で急激に温度が上がる

そういえば接着に使用した量は微量だったが、 混ぜる量は多かった。

時間が経ち温度が下がり硬化して収縮してしまい、APDを傷つけてしまったのか?

戻る





もし始めに戻れるなら。。

目標:反跳電子の測定

TPCモードで動かす・飛跡をとる TPCにAPDを入れた場合の電場をシュ ミレーション

APD の最適な配置を考える (放電対策 も含めて)

APDの性能評価

- ・付加電圧やエネルギーによるエネル ギー分解能や増幅率の変化
- ・ノイズ対策、電場による影響 実際に電子(9°Srのβ線など)を当てる

TPC内にAPDを入る 空気でスペクトル測定

-APD-on,TPC-off -APD-off,TPC-on -APD-on,TPC-on ガスを注入しスペクトル測定

-APD-on, TPC-off
-APD-off, TPC-on
-APD-on, TPC-on
-APD をトリガーとしてTPCモードで同期
APDで検出した時の飛跡をTPCで確認

掃除後のエネルギー較正

