

2008年度課題研究P6
 μ -PIC班

μ -PICと光電子増倍管を用いた
放射線の三次元測定

石神直大 澤野達哉 義川達人

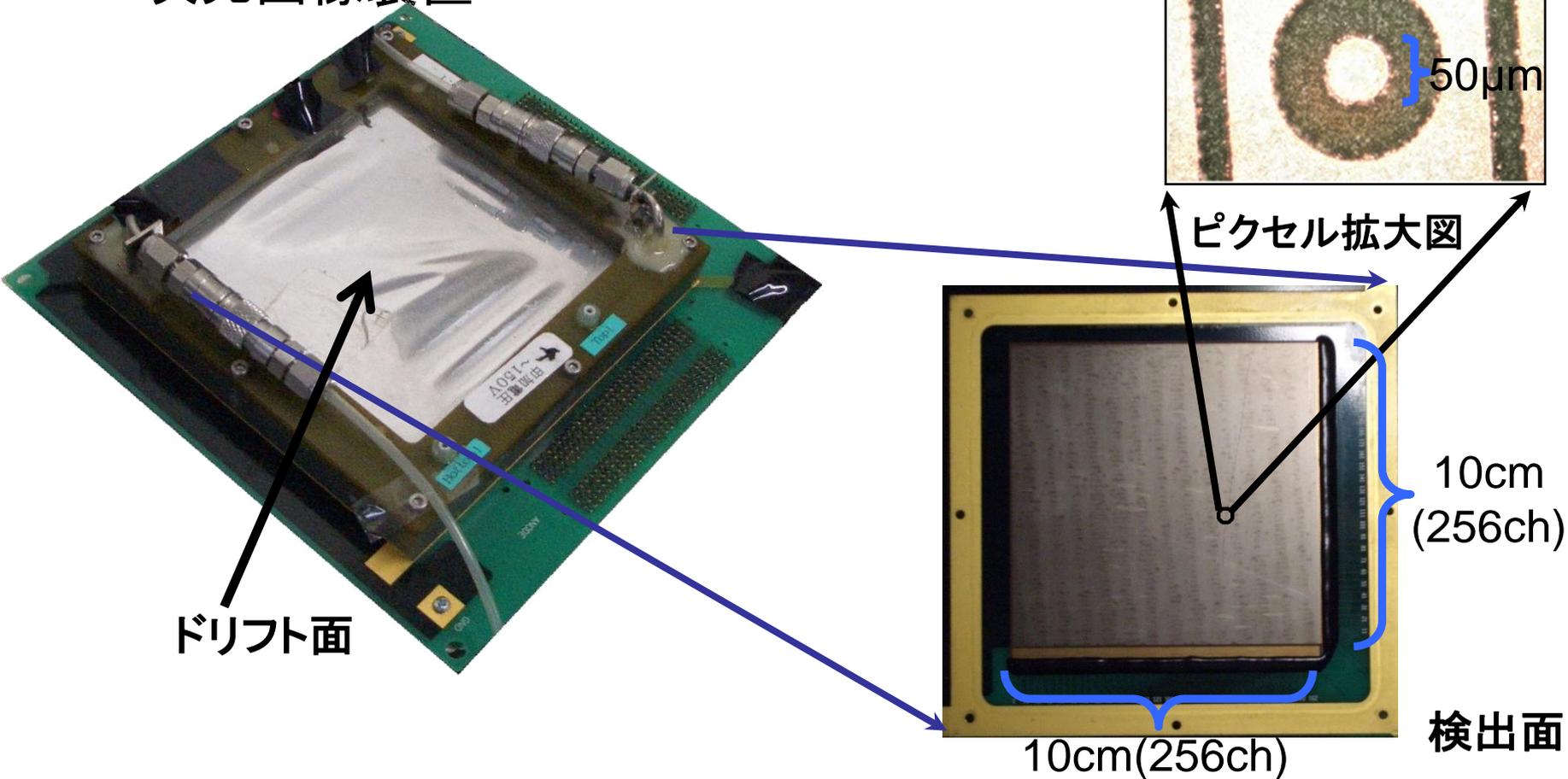
March 11, 2009

CONTENTS

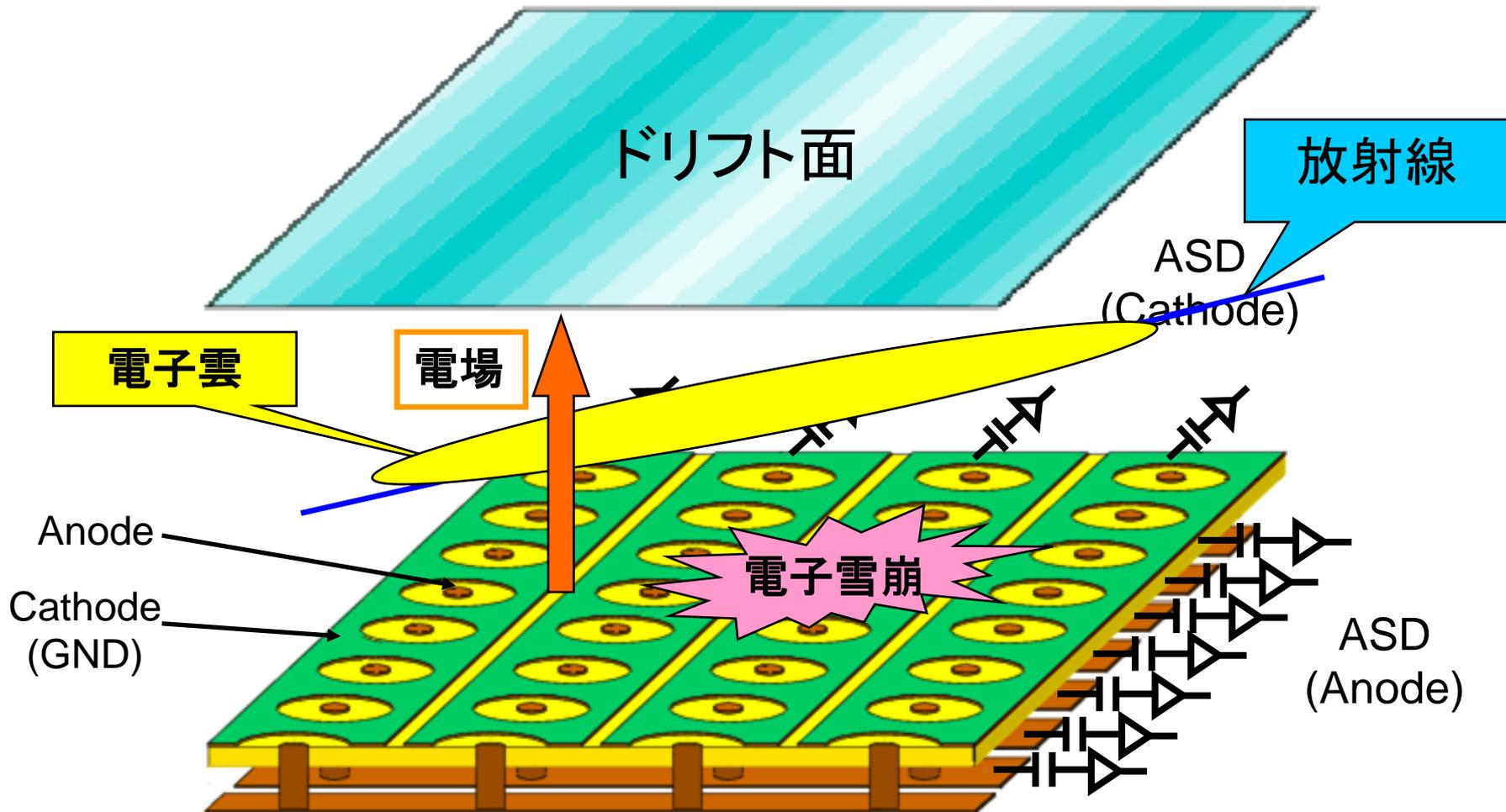
1. What is μ -PIC? (義川)
2. Outline of our experiment (義川)
3. 1st stage ~ μ -PICと遊ぼう~ (義川)
4. 2nd stage ~2D-imaging入門~ (義川、石神)
5. 3rd stage ~3D-tracking&TPCmode~ (石神)
6. Final stage ~光トリガーへの道~ (澤野)
7. Conclusion (澤野)

1. What is μ -PIC?

- ・京都大学宇宙線研究室発のガス検出器
- ・高い位置分解能
- ・放電に対して安定
- ・二次元画像装置



μ -PIC、 μ TPCの動作原理(荷電粒子入射の場合)



Anode、Cathodeは256chずつ
適当にsumしたアナログ情報+各チャンネルのデジタル情報

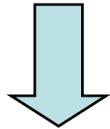
2. Outline of our experiment

・現行の μ TPC

ドリフト電子(信号①)

→電子が到着した時間

放射線が入ってきた場所までは
分からない

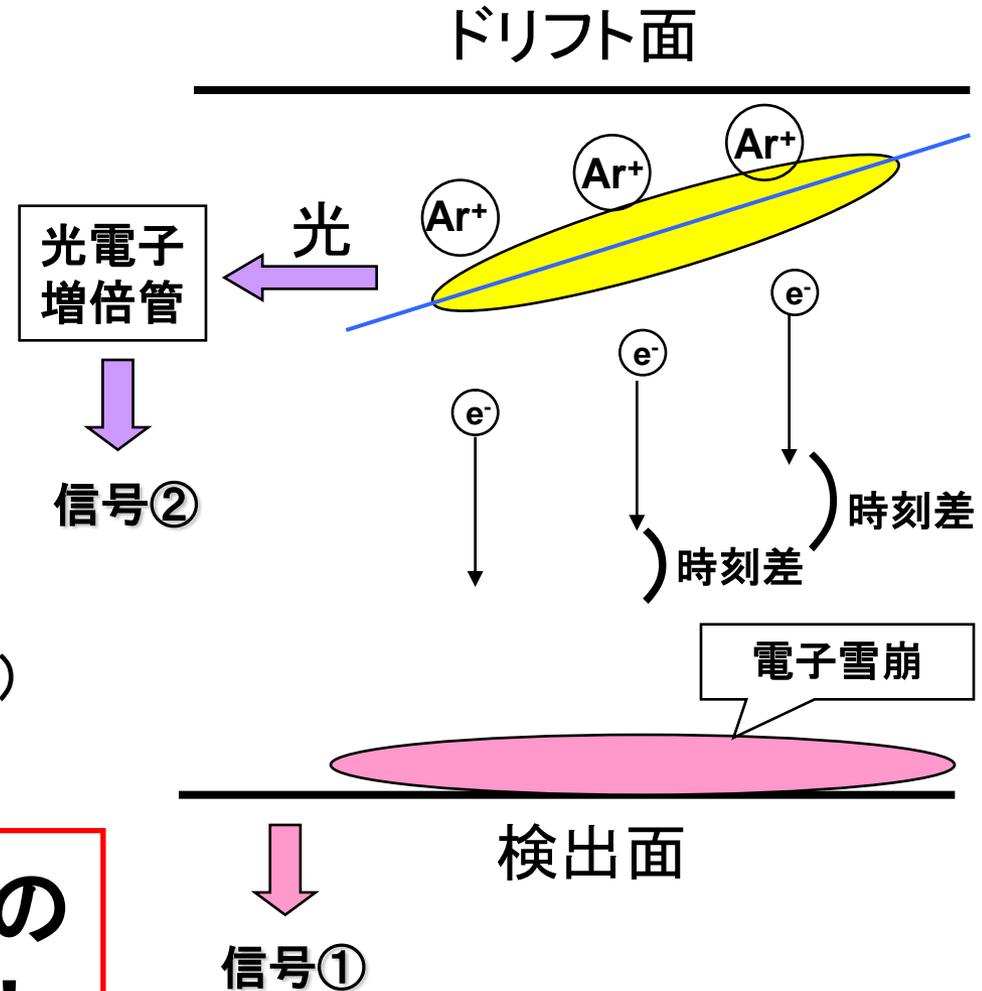


・本実験の目標

放射線がガスを電離する(信号②)

→光が発生した時間

二つの信号から放射線の
絶対的な高さが分かる！

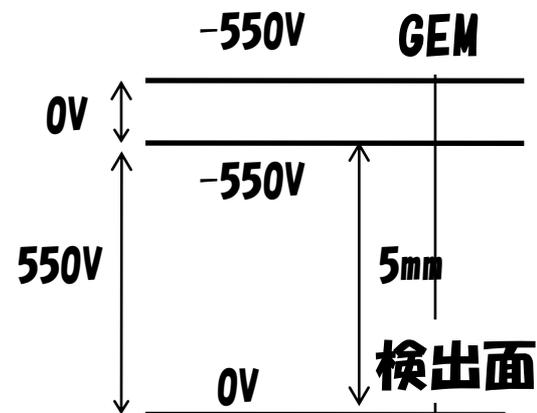


3. First stage～ μ -PICと遊ぼう～

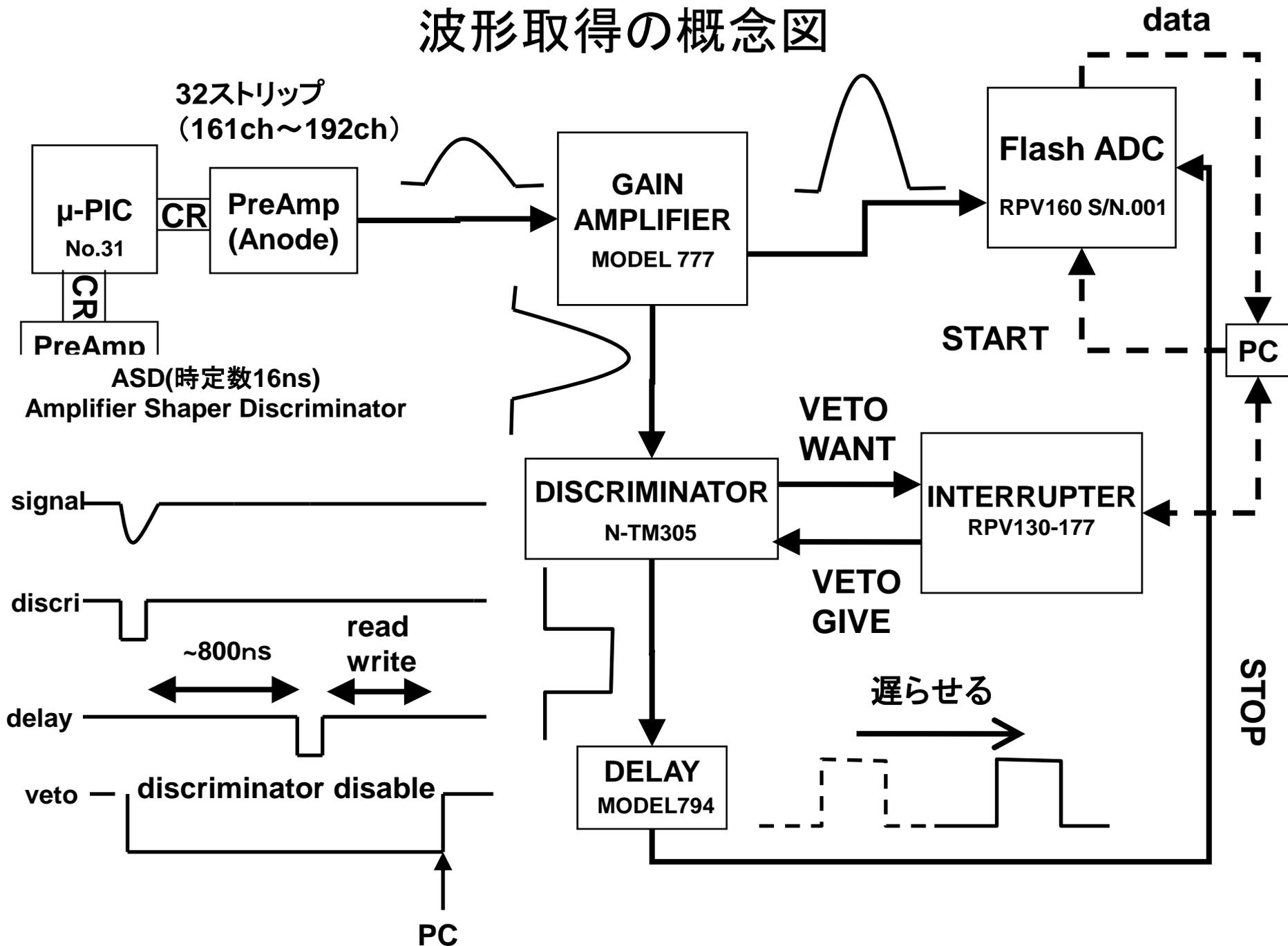
まずはガス検出器として μ -PICの性能を測定

線源 ^{55}Fe と ^{109}Cd で スペクトル測定を行う

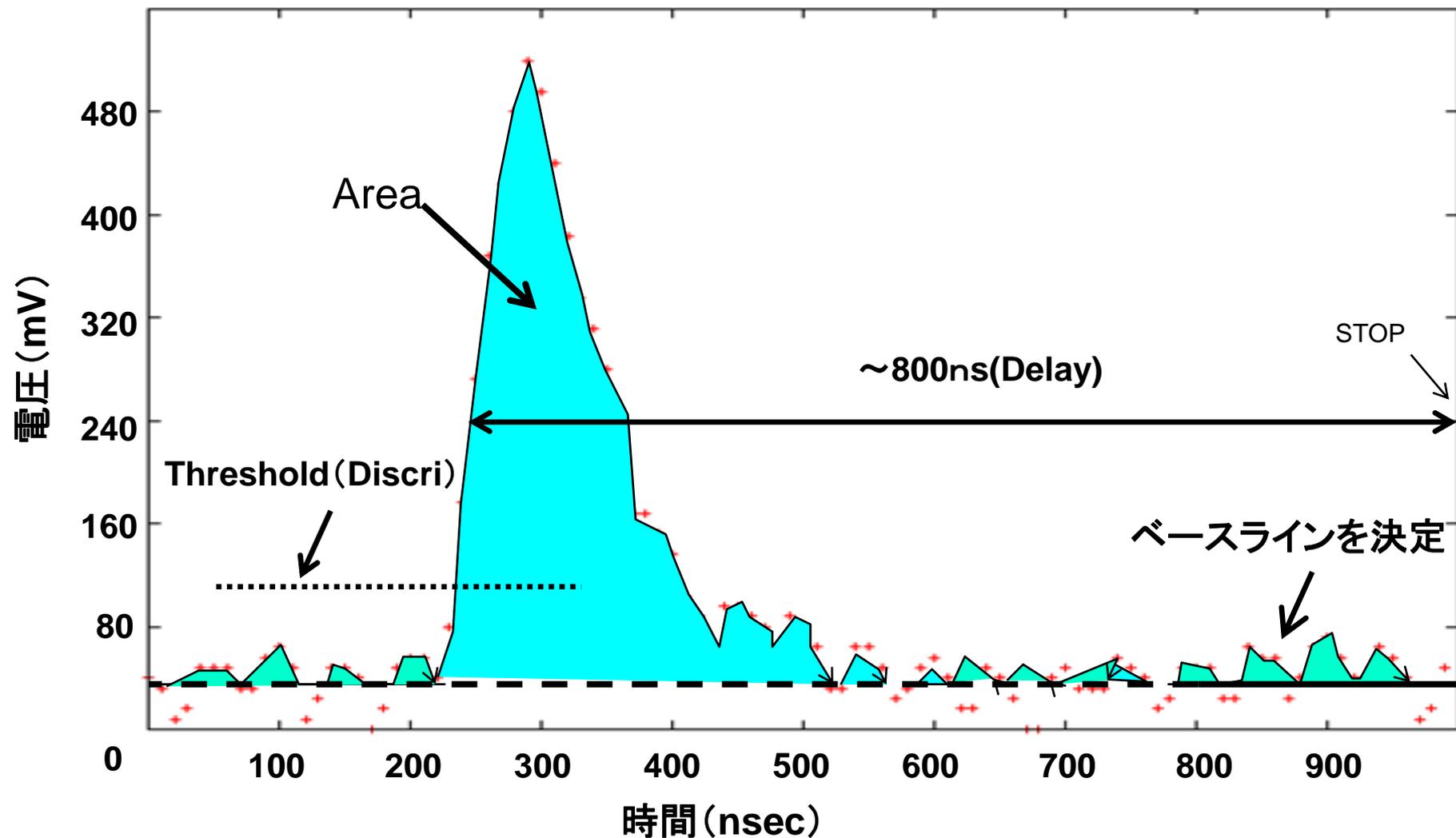
- ・ガスフロー型
- ・ガスはアルゴン(90%)-エタン(10%)
- ・ガスパッケージは5mm(GEMをドリフト面に代用)
- ・ドリフト面に-550V、検出面に0V



波形取得の概念図

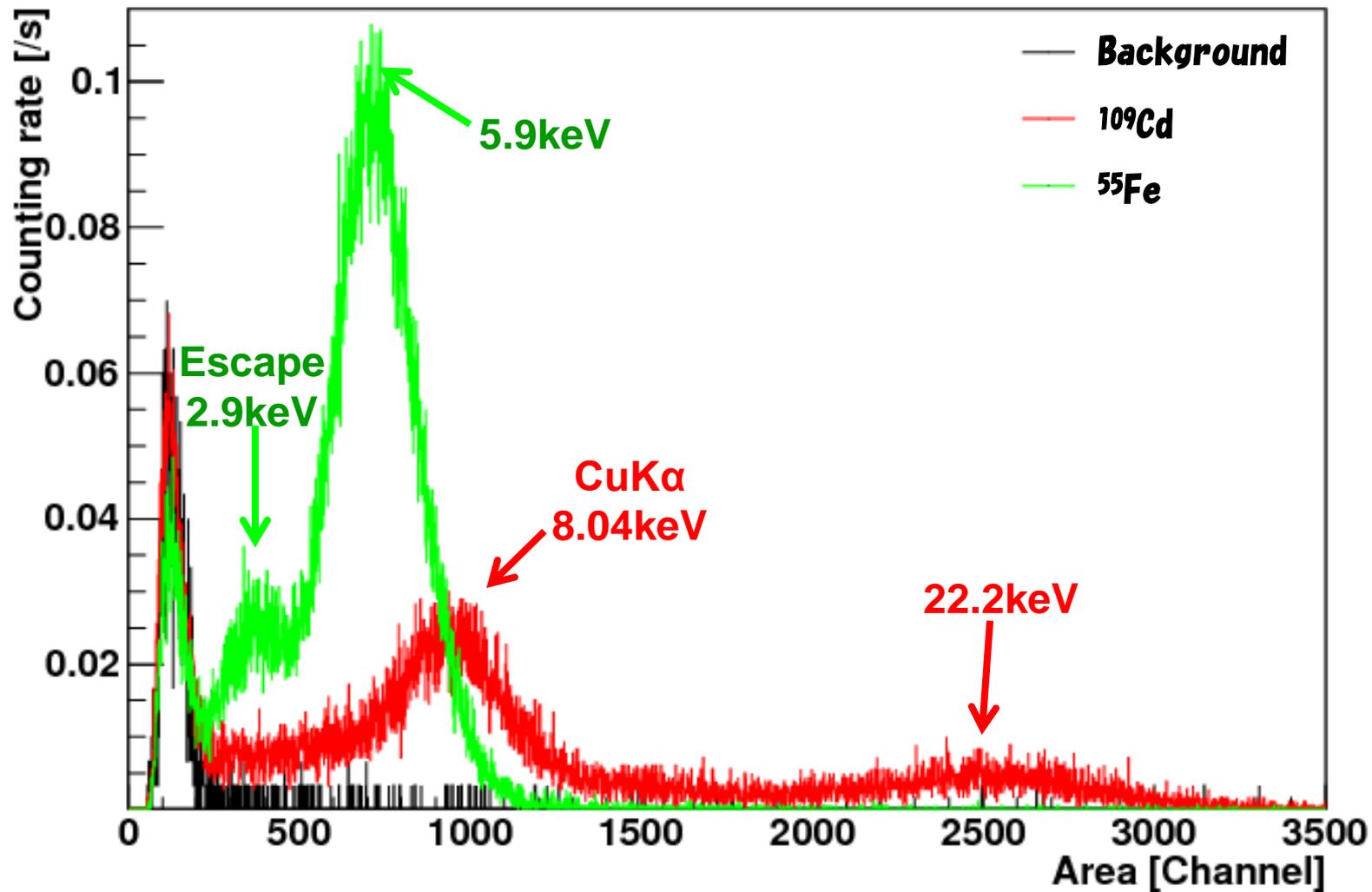


波形取得からスペクトルへ



- ①FADCで波形データ取得
- ②ベースライン決定
- ③Areaの取得
- ④ヒストグラム (by ROOT)

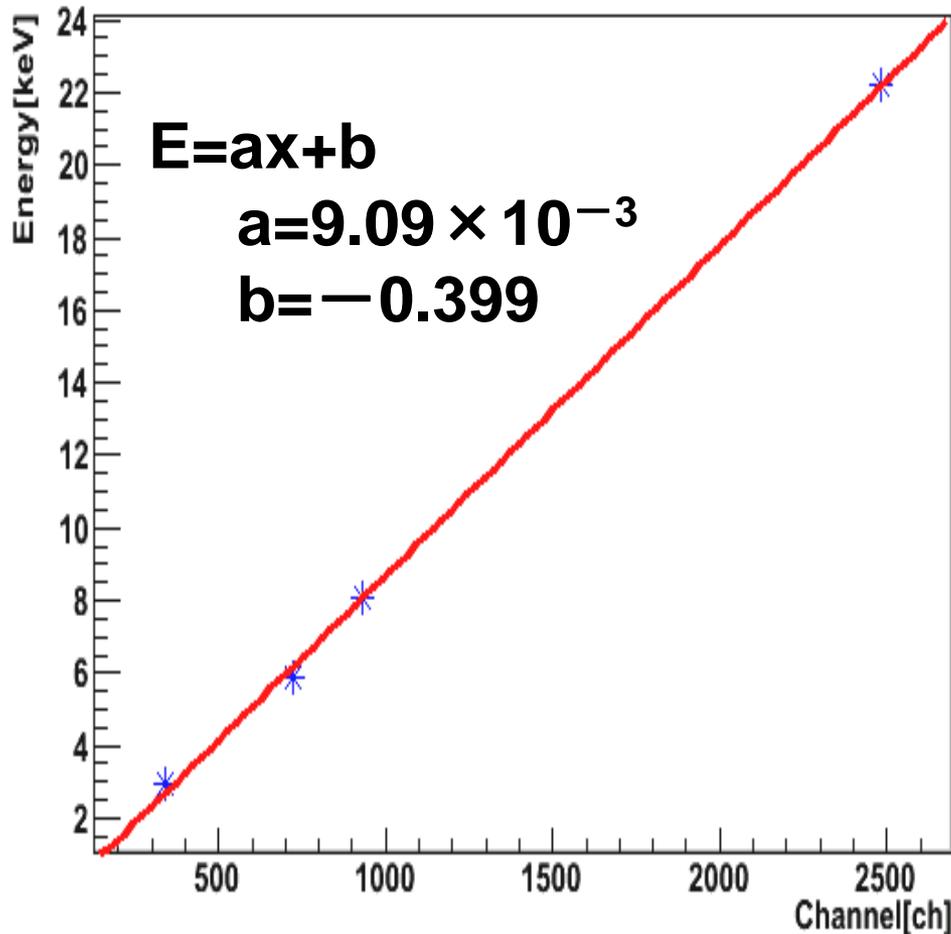
結果 I (スペクトル図)



(ベースライン80mV)

結果Ⅱ (エネルギー較正、分解能)

エネルギー較正



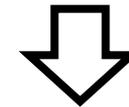
分解能
(FWHM)

2.96keV・・・36.0%

5.90keV・・・31.9%

8.04keV・・・36.5%

22.2keV・・・29.7%



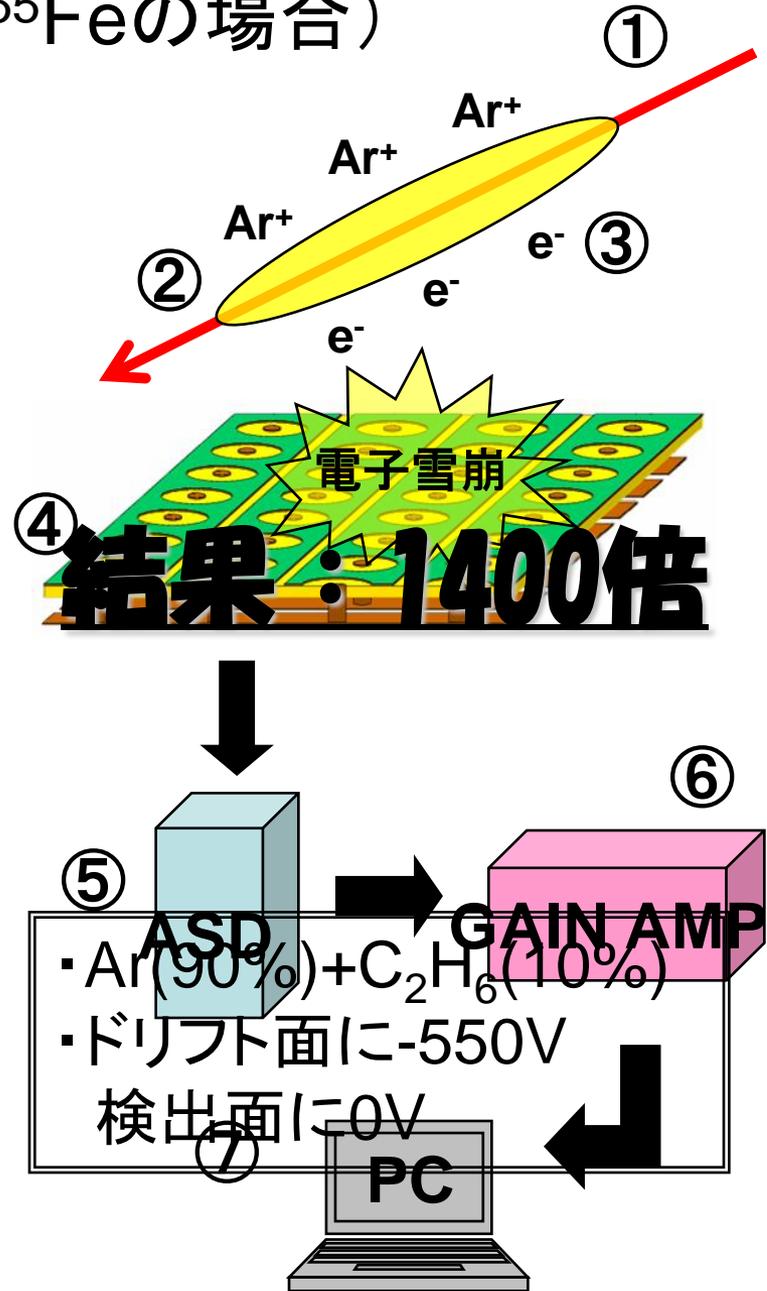
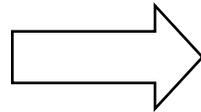
分解能はあまり良くない

⋮

ひどい放電はなかったものの
電流状況は芳しくなかった

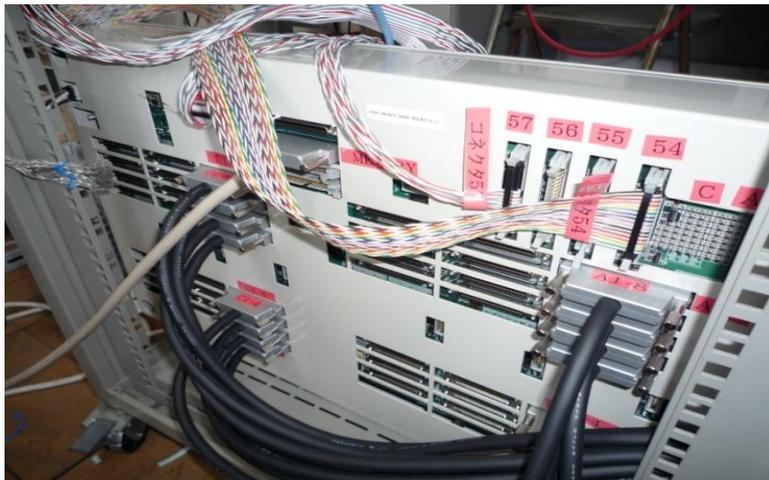
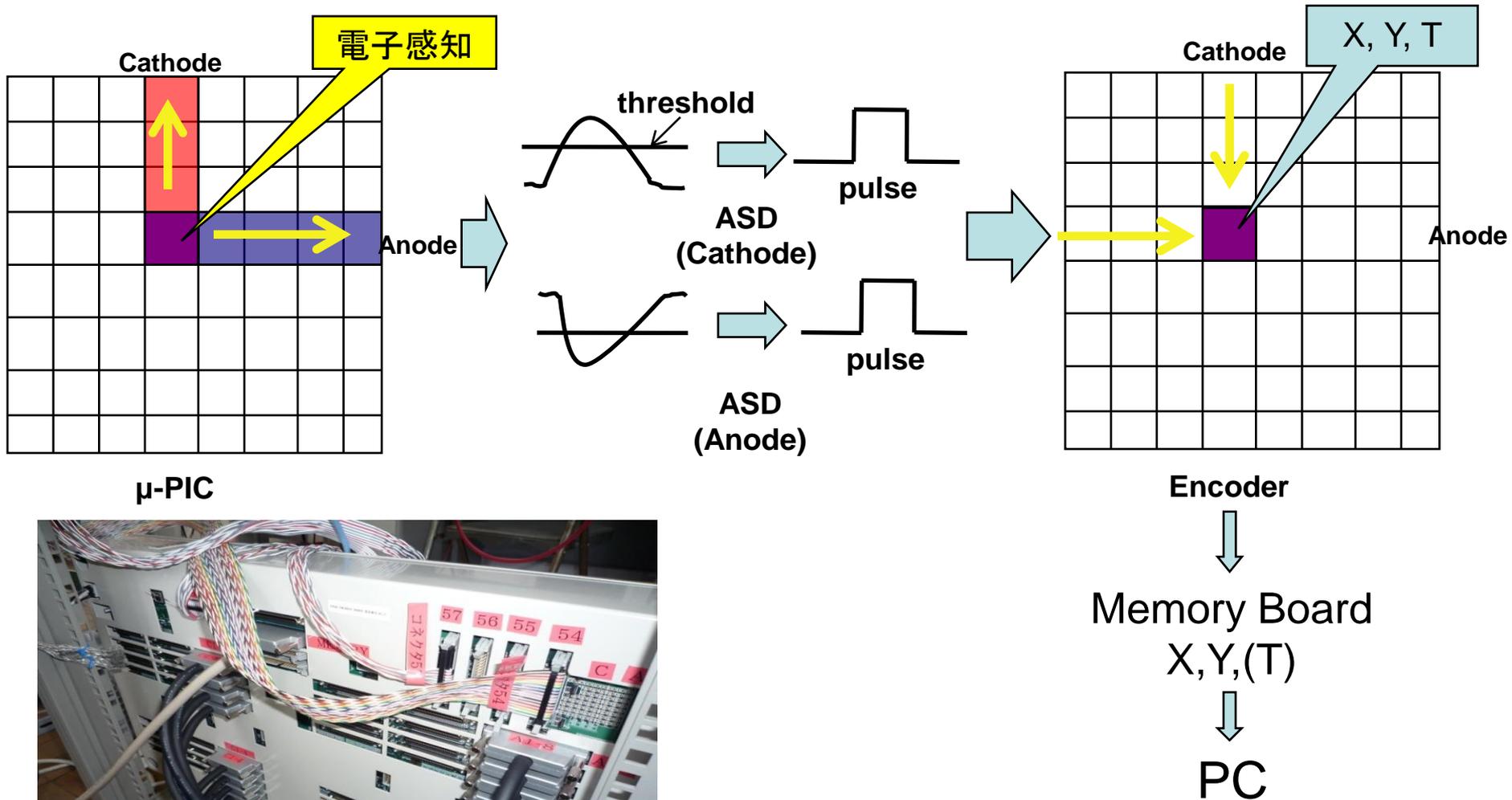
μ-PICの増幅率 (⁵⁵Feの場合)

- ①放射線入射(5.9keV)
↓
- ②Arガスを電離
↓
- ③一次電子生成
(5900/26~220個)
↓
- ④ **μ-PICによる増幅**
(これを求めたい)
↓
- ⑤PreAmpによる増幅
(既知: ~700倍)
↓
- ⑥GAIN AMPによる増幅
(設定: 2×8倍)
↓
- ⑦データ(~700ch)



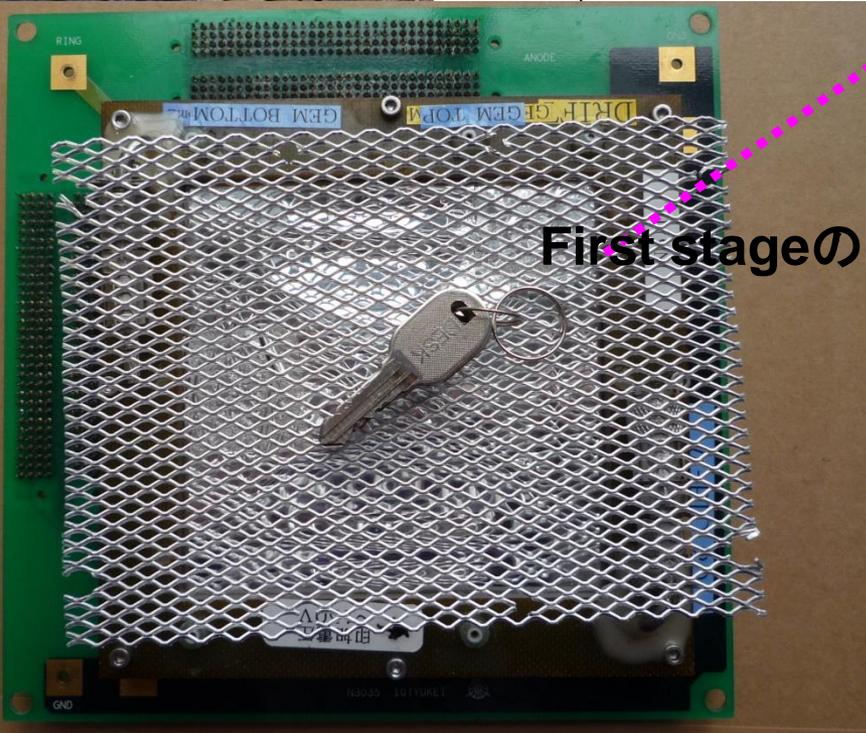
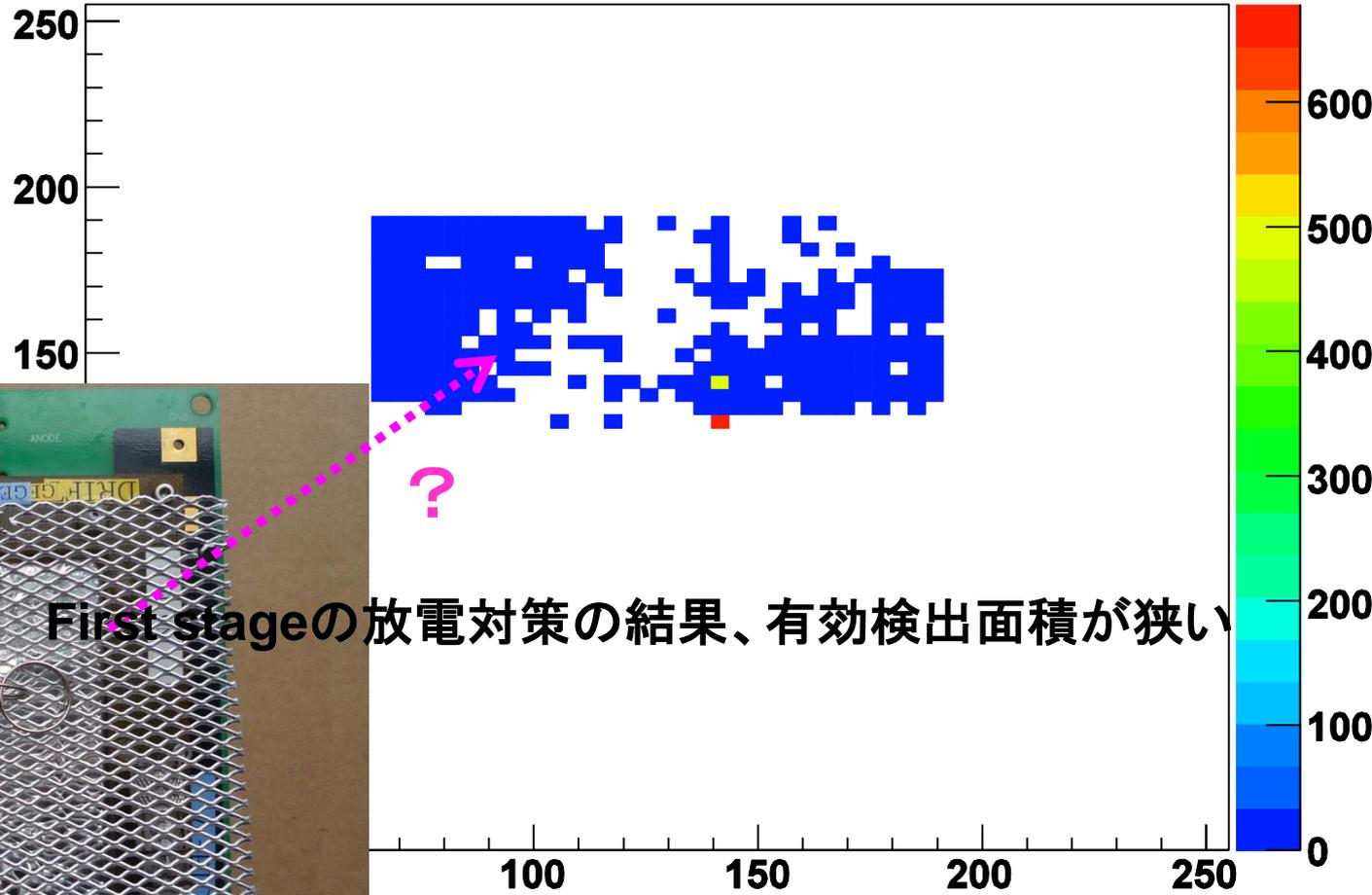
4. Second stage ~ 2D-imaging 入門 ~

Memory BoardとEncoderを用いた2D-imagingの原理



TPCモードは100MHz

結果



First stageの放電対策の結果、有効検出面積が狭い

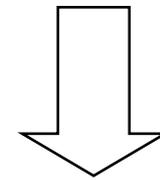
色々頑張ってみるものの、状況は改善せず・・・

新しい μ -PICで再挑戦



前回まではガスフロー型であったが、この設備からはガス封じ切り容器となる

内部にマントルが設置されており、その位置特定を2D-imagingで行う。



3D-trackingへ

封じ切り容器内部

封じ切り容器(アルミニウム)



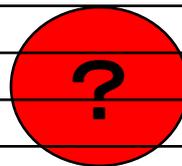
μ-PIC31号

銅線
(側面に9本)
(10M抵抗×10コ設置)

10cm

Drift面

ドリフト容器
(上面テフロン5mm
側面テフロン10mm)



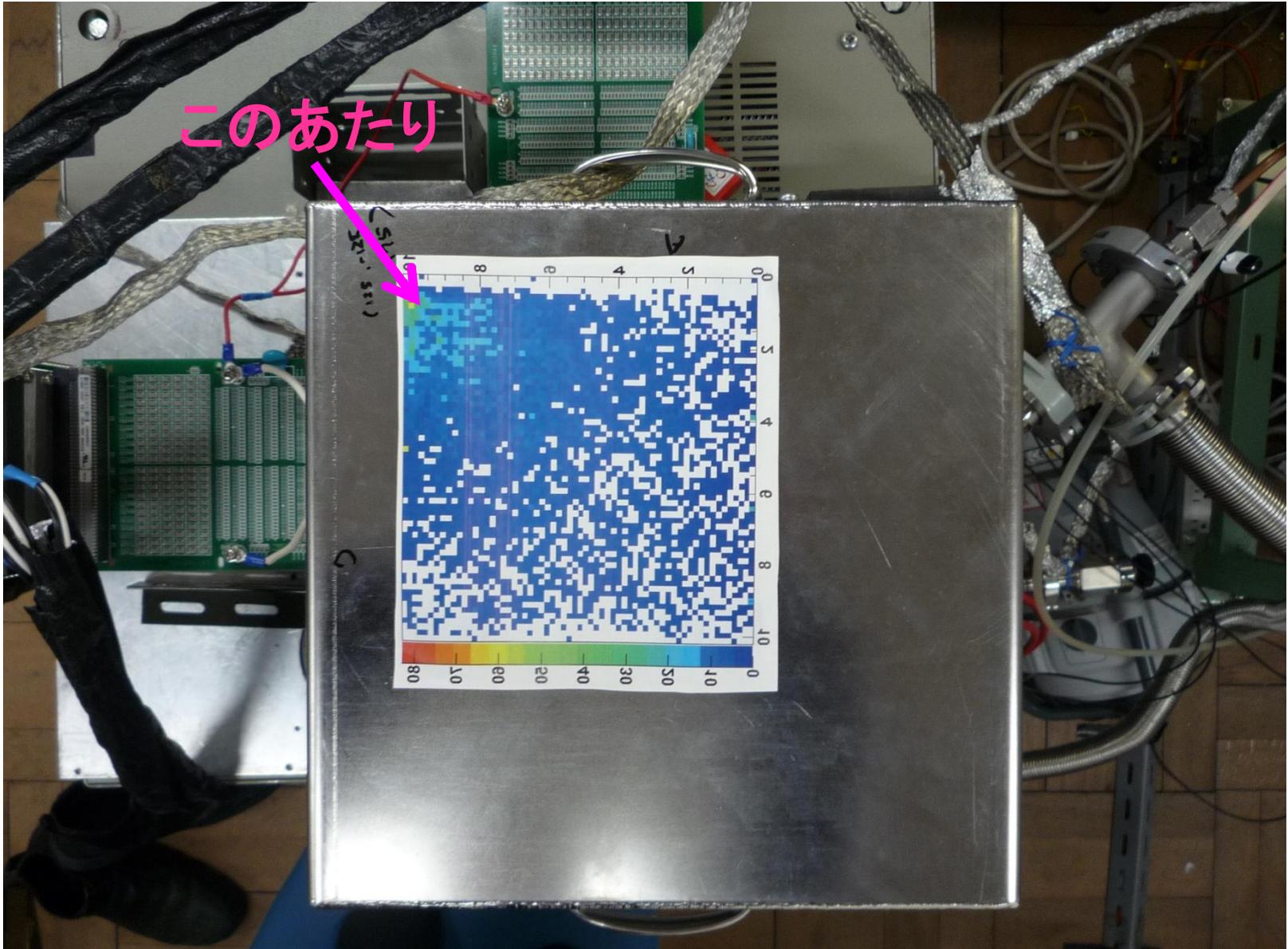
検出面

10cm

10cm

マントルがドリフト容器内の
どこかに入っている

マンツルの位置が分かった！！！！

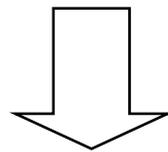


5. Third stage～3D-tracking&TPCモード～

2D-imagingに”深さ”加えれば3Dになる！！



- ・Encoderから出力される時刻情報
⇒電子が検出面へ到達した時刻
- ・電子のドリフト速度



$$\text{距離} = \text{時刻差} \times \text{ドリフト速度}$$

ドリフト速度は4.2cm/ μ sec (Ar(90%)-C₂H₆(10%)1atm、0.35kV/cm)

3Dイメージングの原理

軌跡に沿って、次々と
ガス分子を電離していく

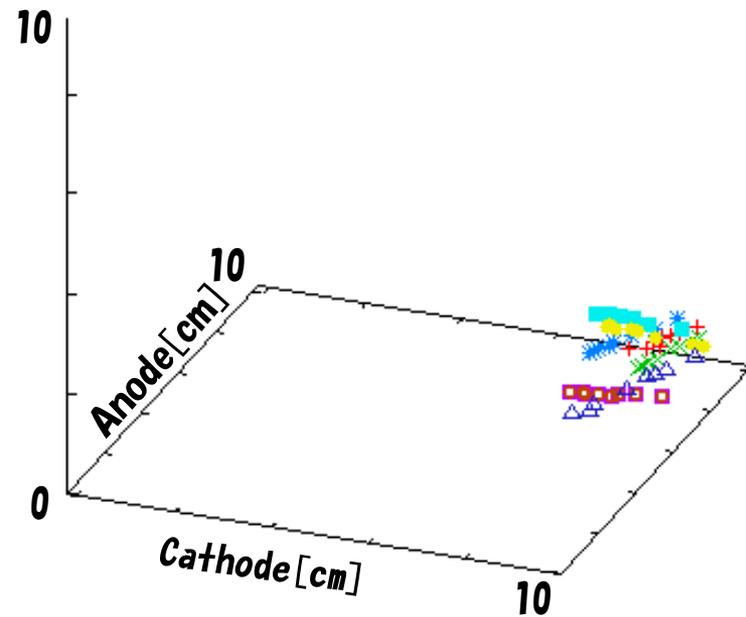
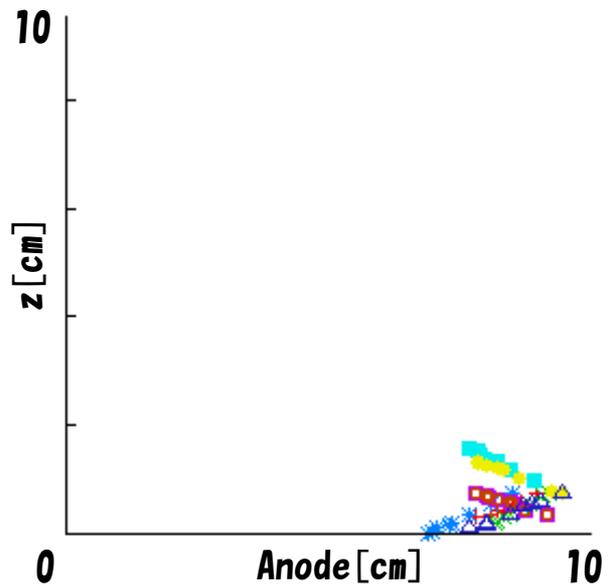
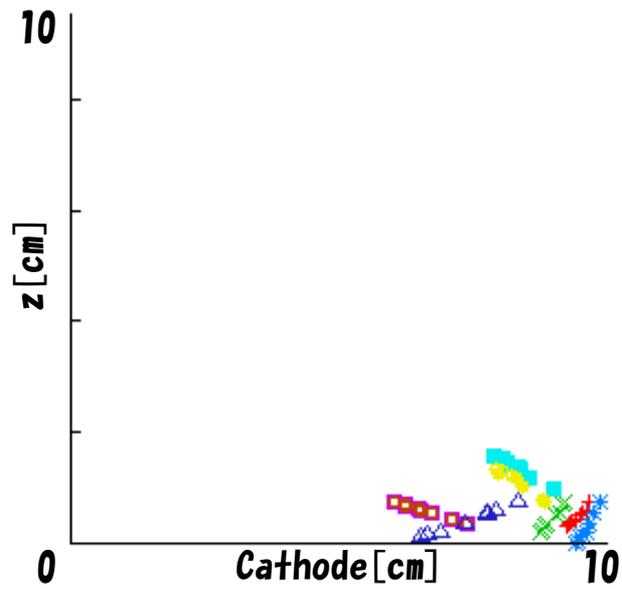
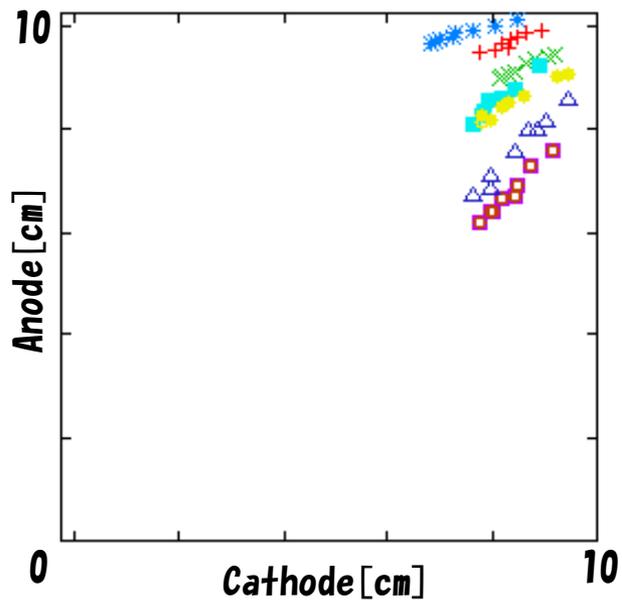
電離した電子は、電場によって
検出面まで一定速度でドリフトする

放射線が
ガス分子を電離

時刻情報と位置情報を組み合わせることで
飛跡のトラッキングができる！！

μ -PIC面に電子が到達した時間
T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 軌跡

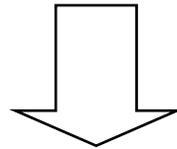
3D-trackingの図



TPCモード

TPCモードは、波形取得と 通常の3D-trackingの組み合わせ

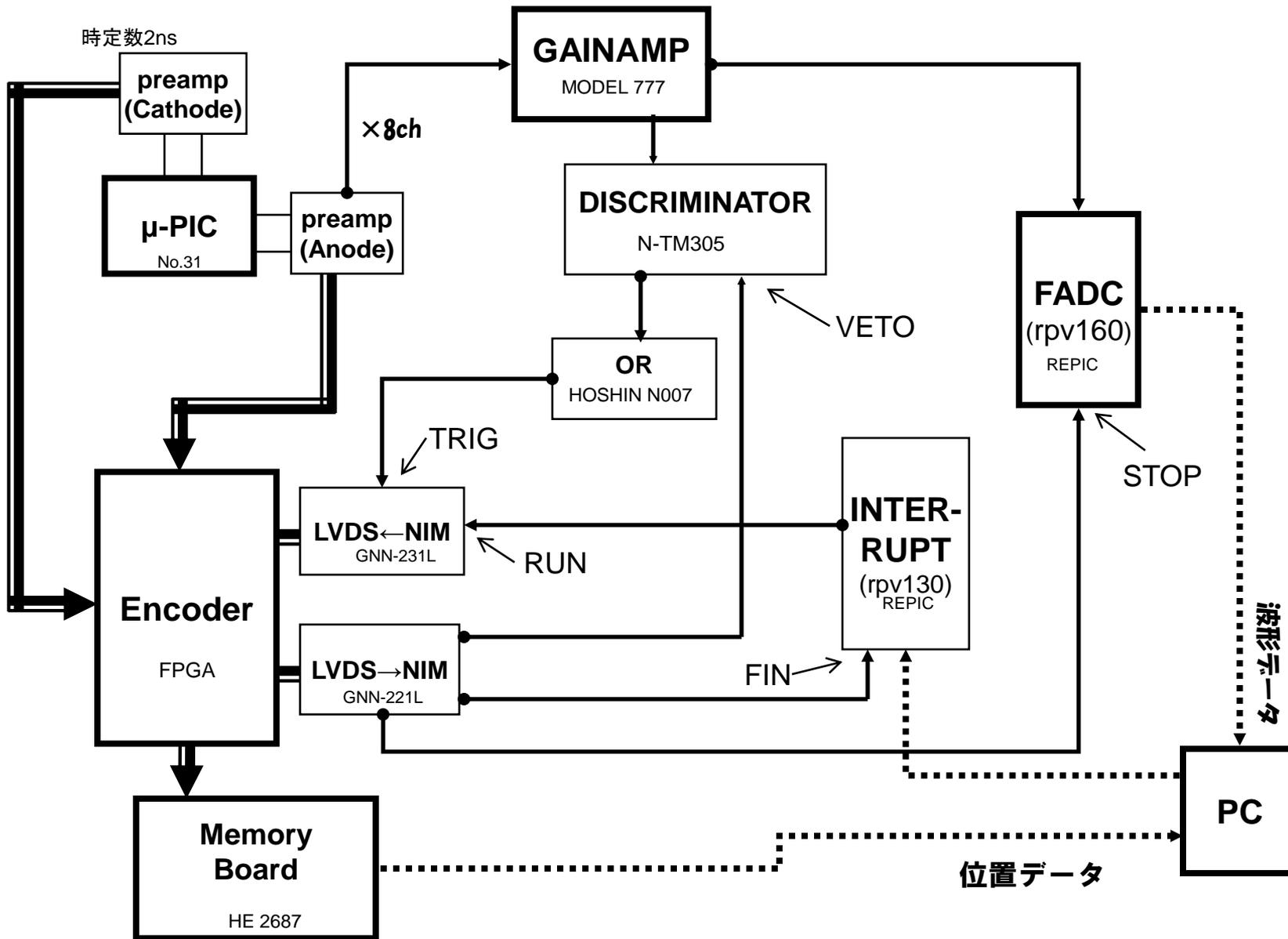
TPCモードでは、1イベントごとの**波形と位置データ**を同時に得ることができる



個々の放射線について

エネルギーと飛距離の関係が議論できる

TPCモードの概念図



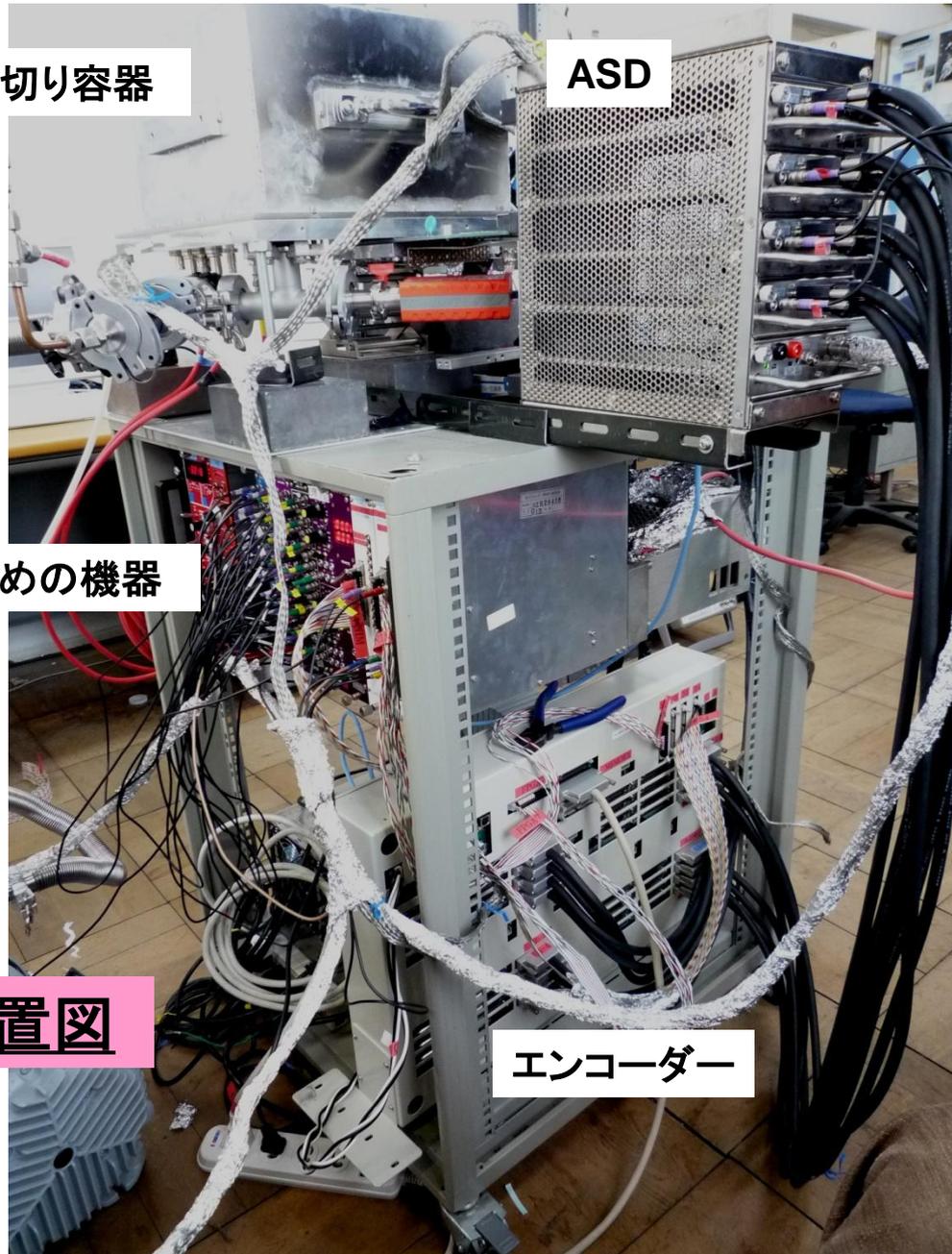
封じ切り容器

ASD

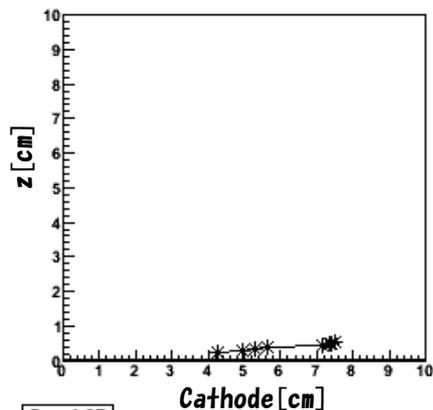
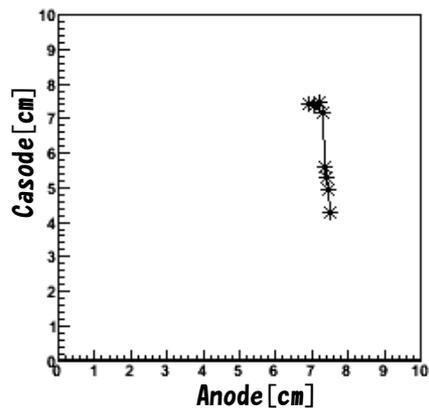
HV & 波形取得のための機器

TPCモード設置図

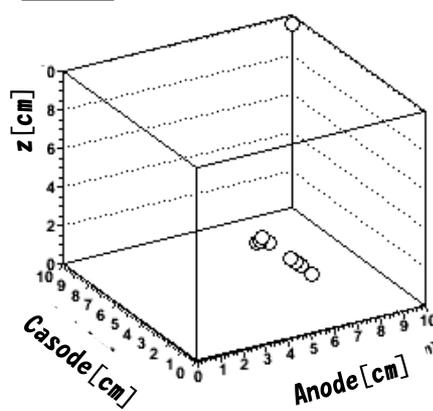
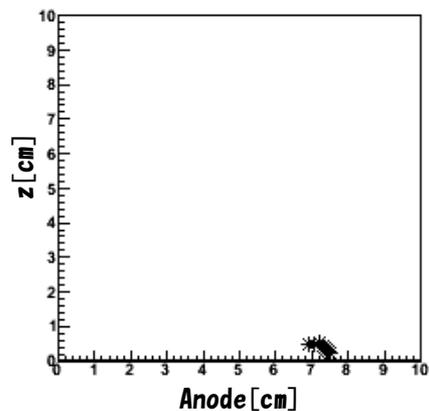
エンコーダー



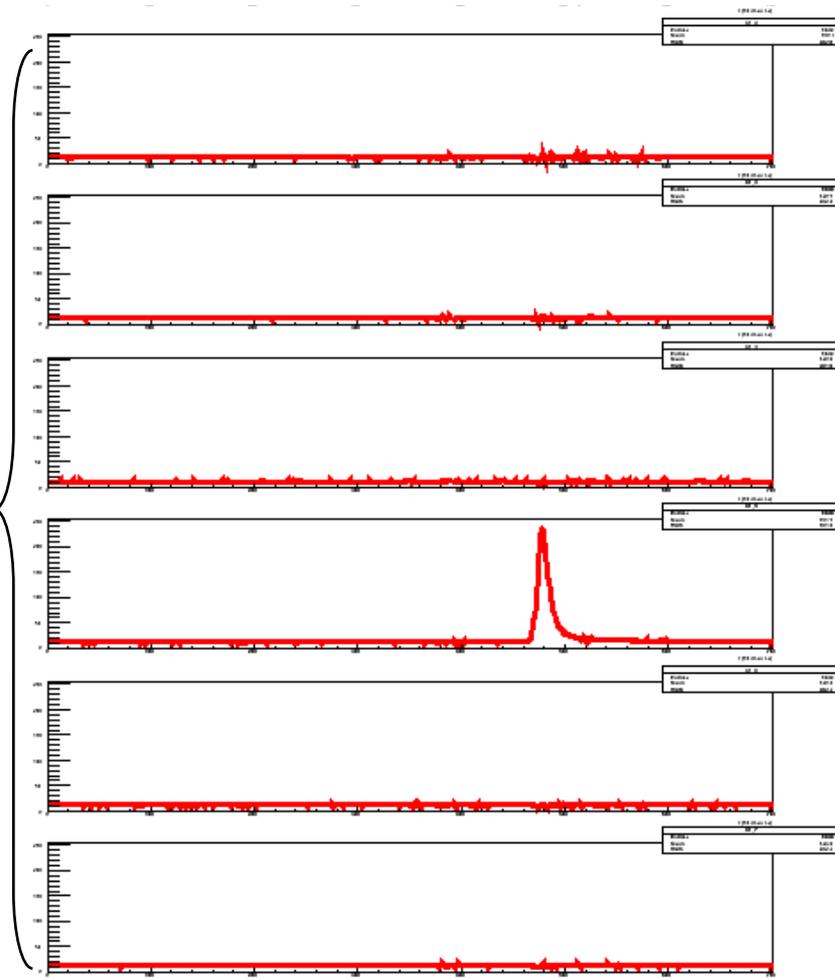
TPCモード出力例



Graph2D

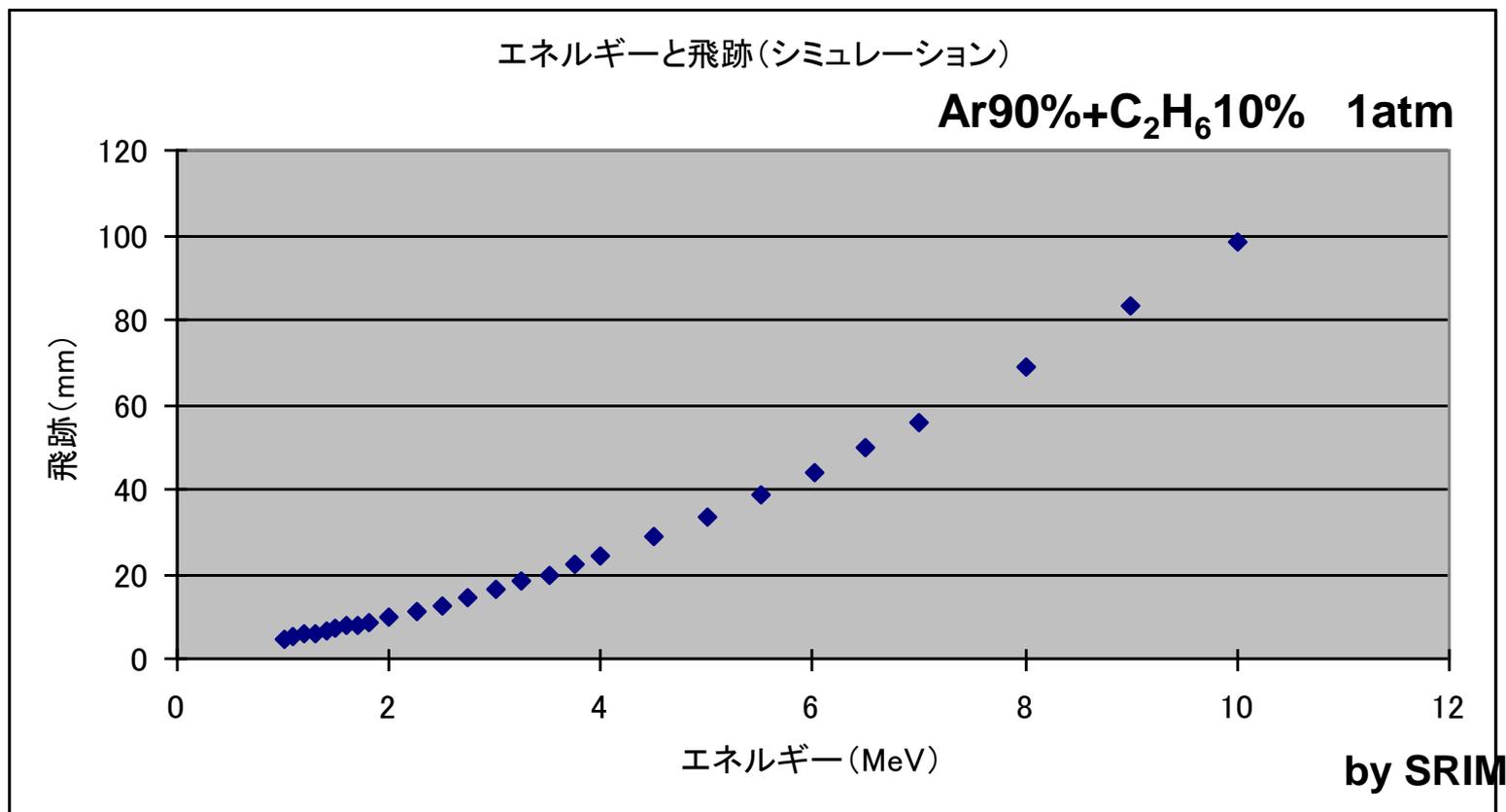


3ch
S
8ch



nhit: 8
path: 37.7253
length: 32.4957
area: 4337

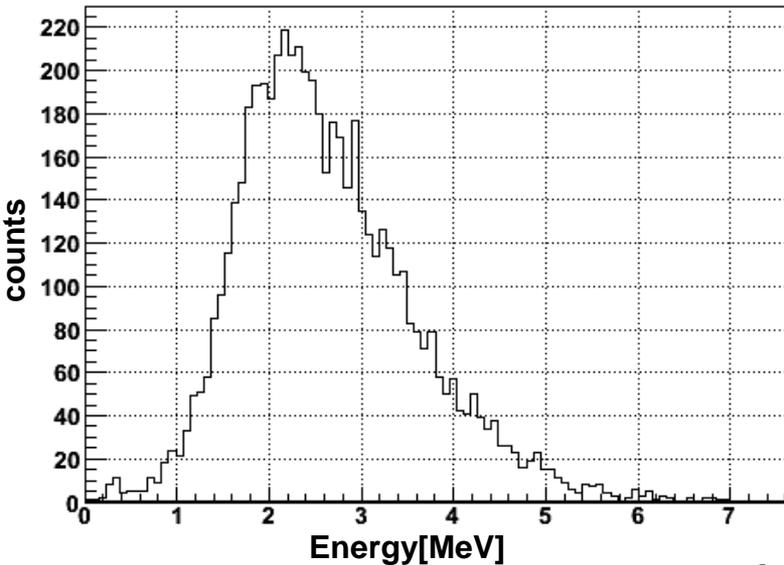
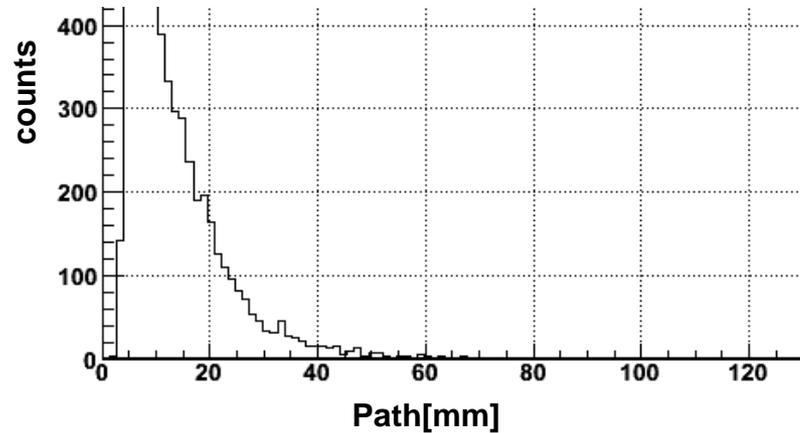
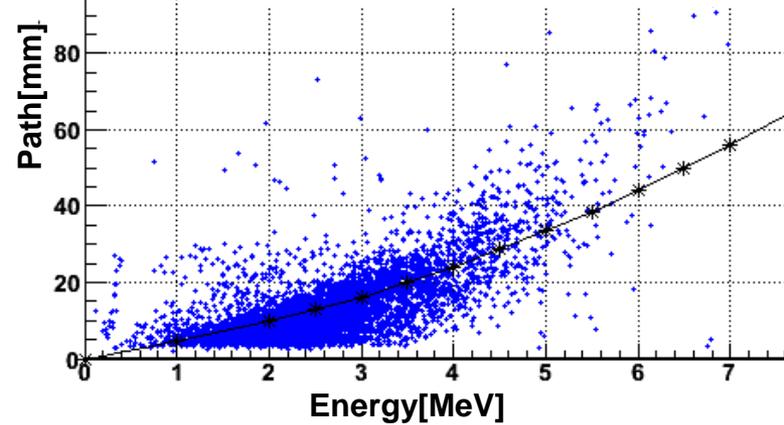
α線のエネルギーと飛距離



マントルからのα線のエネルギーと飛距離の相関が
上図のようになっていることを期待

散布図

相関は概ねシミュレーション結果に対応
エネルギーのヒストグラムはよく分からない・・・



- ・ 飛程の長さ(path)とイベントの電荷量の合計(area)の散布図を描く
 - ・ 同時にpathとareaのヒストグラムも描く
 - ・ **eventをマントル付近に限る**
 - ・ **飛跡がギザギザしているeventを除く**
- (シミュレーションの結果を見てエネルギー較正)

6. Final Stage～光トリガーへの道～

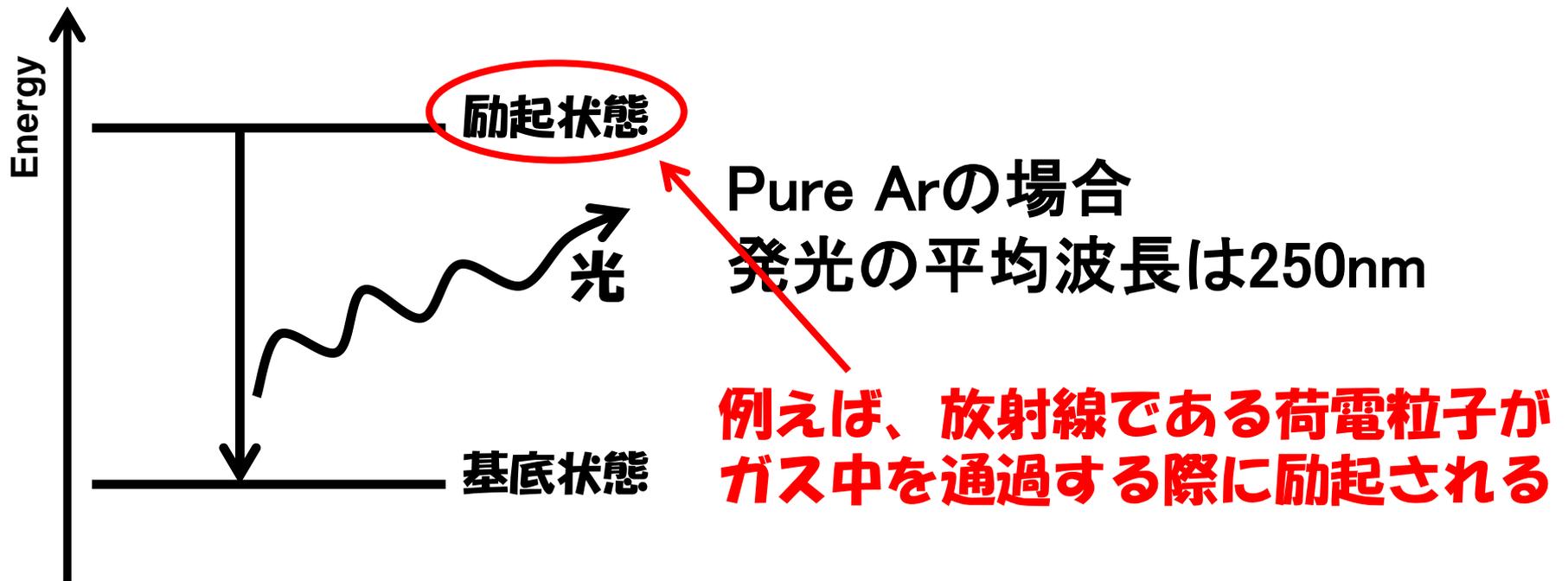
**従来のTPCの問題点
放射線飛跡の絶対的な
高さ情報が得られない**



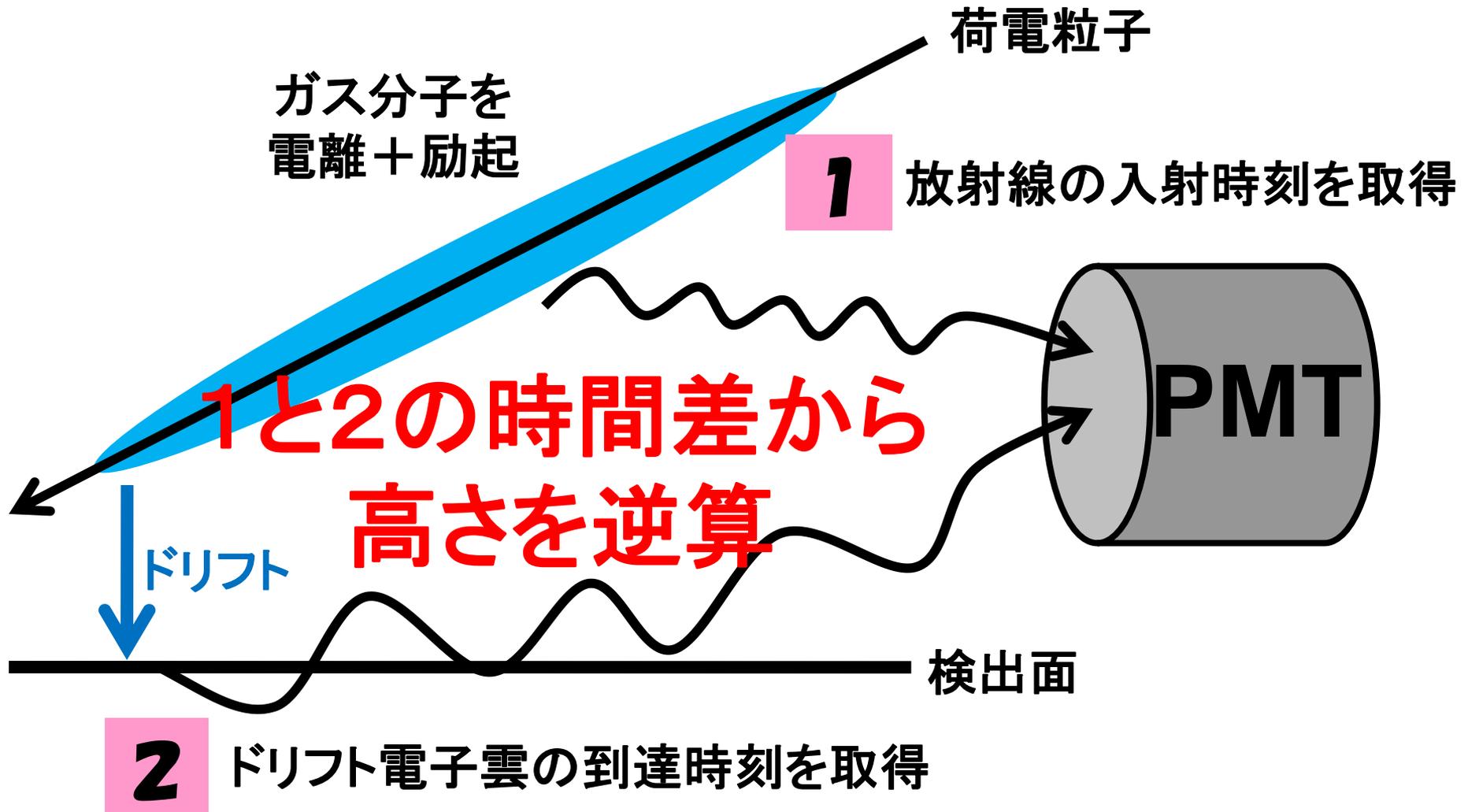
**新しいTPCはPMTと連携して
この問題を克服する**

光生成の物理機構

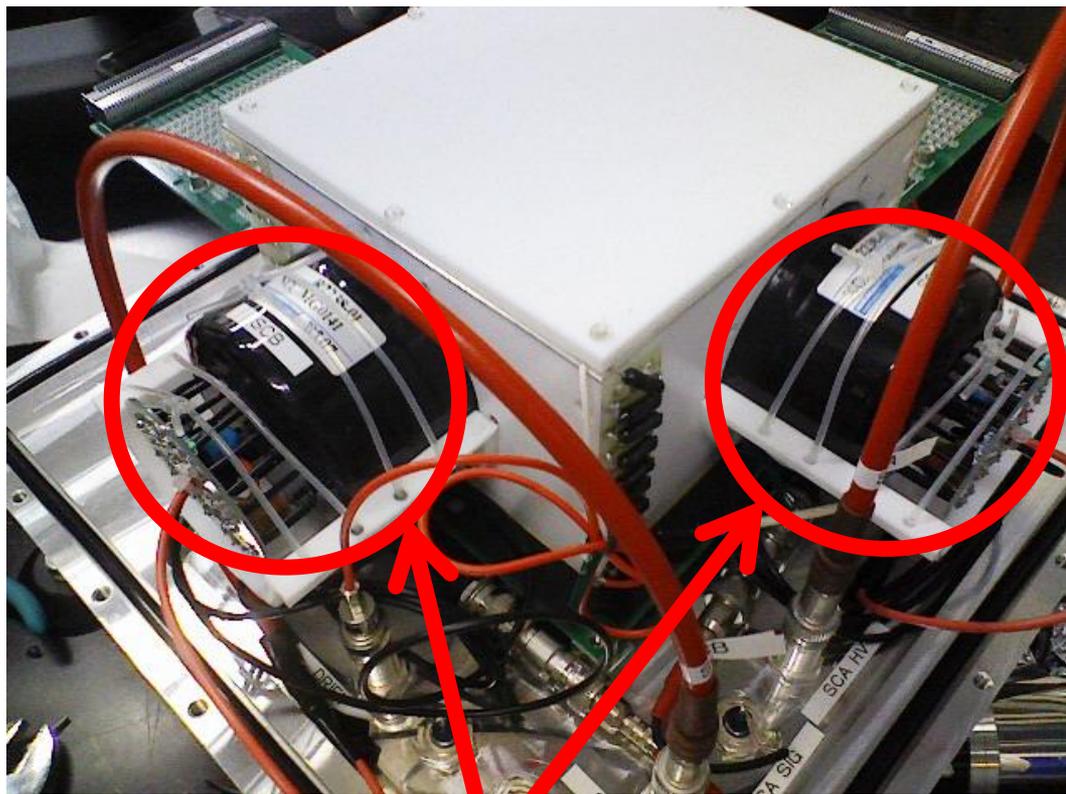
封入したガスの励起分子が基底状態に遷移するときに**シンチレーション光**を放出



シンチレーション光から高さ情報を得る



光電子増倍管

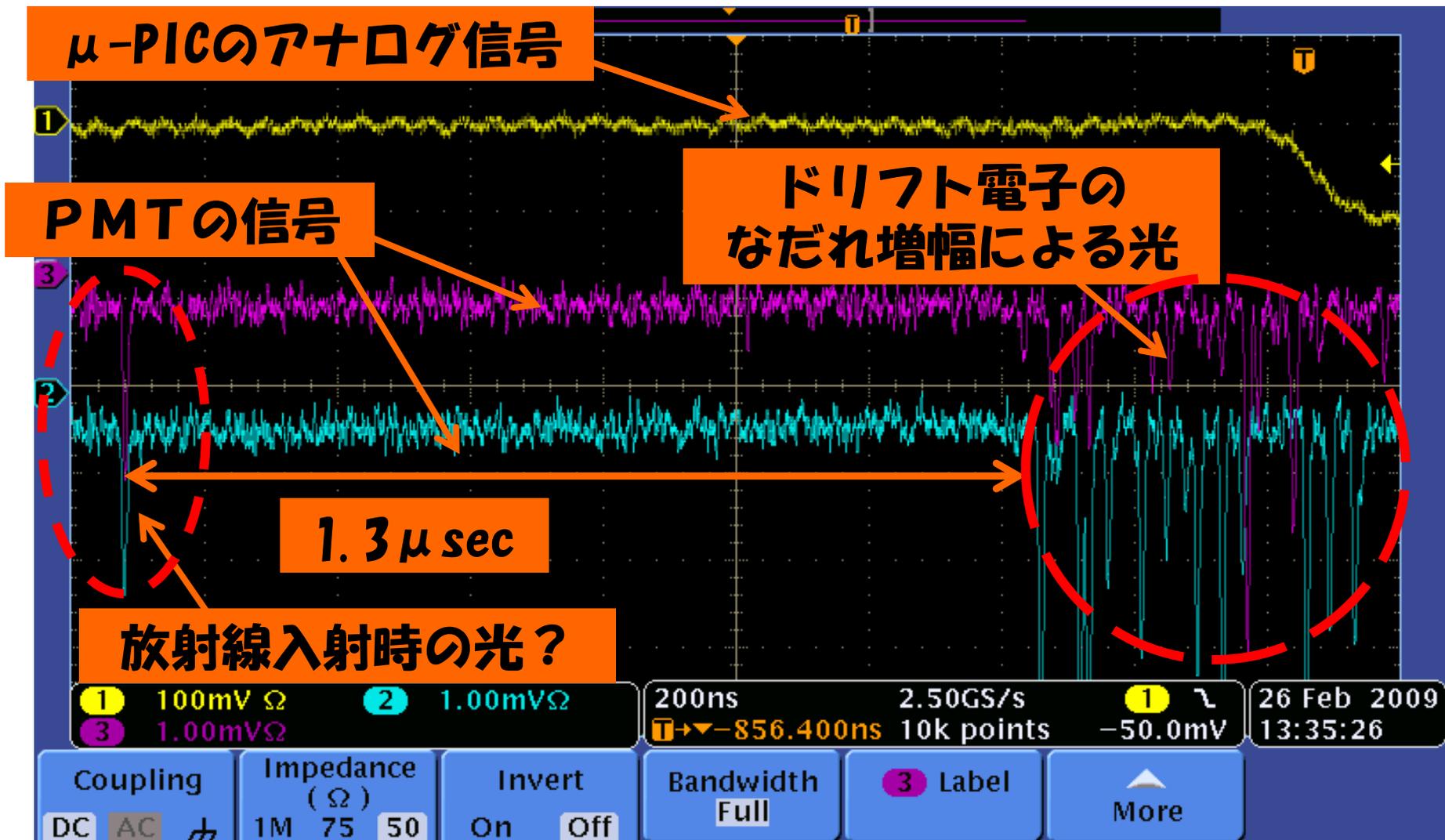


R2238 浜松ホトニクス製

- ・管径: $\phi 76$ mm
- ・受光面サイズ: $\phi 70$ mm
- ・窓材質: ホウケイ酸ガラス
- ・光電面 種類: バイアルカリ
- ・感度波長: **300nm~650nm**
- ・感度波長ピーク: **420nm**
- ・最大定格電圧: 1250V
- ・ゲイン: $5.0E+05$

Anode側、Cathode側の対面側
計2か所に設置

オシロスコープでPMTの信号を調べる

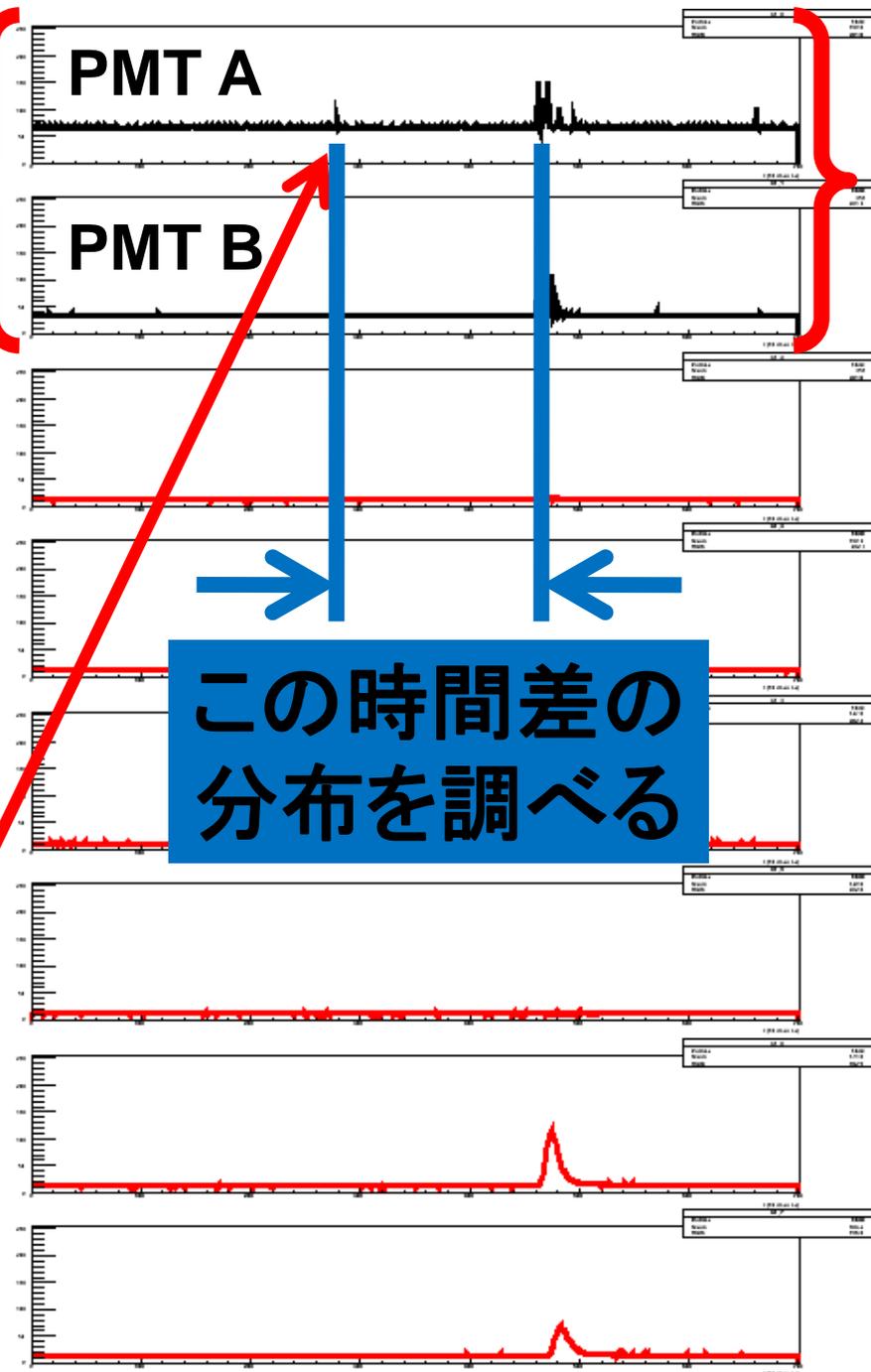


シンチレーション光の 解析方法

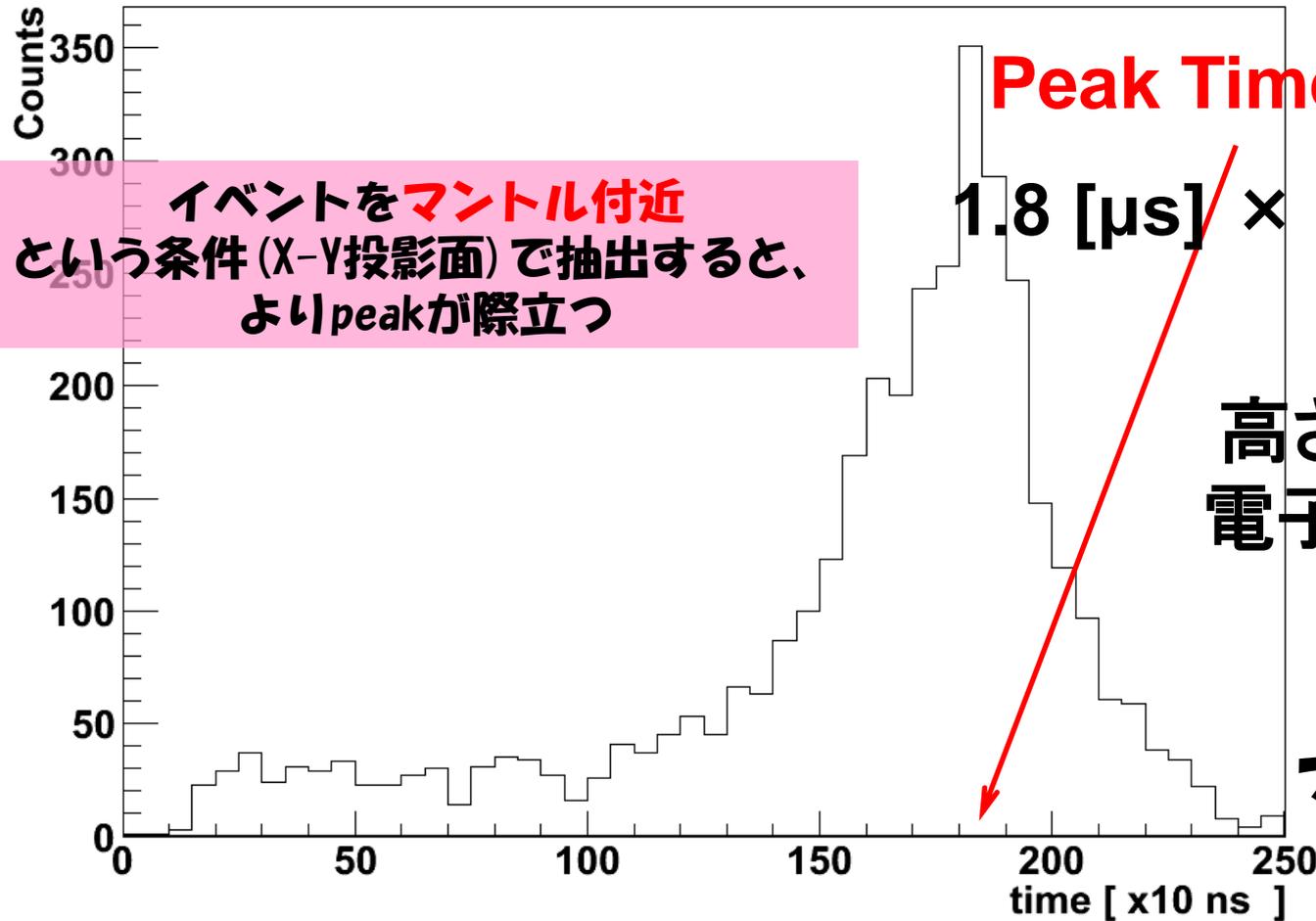
FADCでPMTの信号を取得

TPCモードのときと
同じDAQシステムを
引き続き使用

雪崩増幅のシンチ光発生から
最大**2.5 μ s**までさかのぼって
PMTのピーク信号を探す



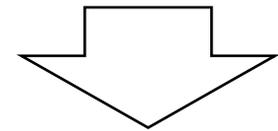
時刻差のヒストグラム



Peak Time ~ 1.8 μ s

$$1.8 [\mu\text{s}] \times 4.2 [\text{cm}/\mu\text{s}] \sim 7.6 [\text{cm}]$$

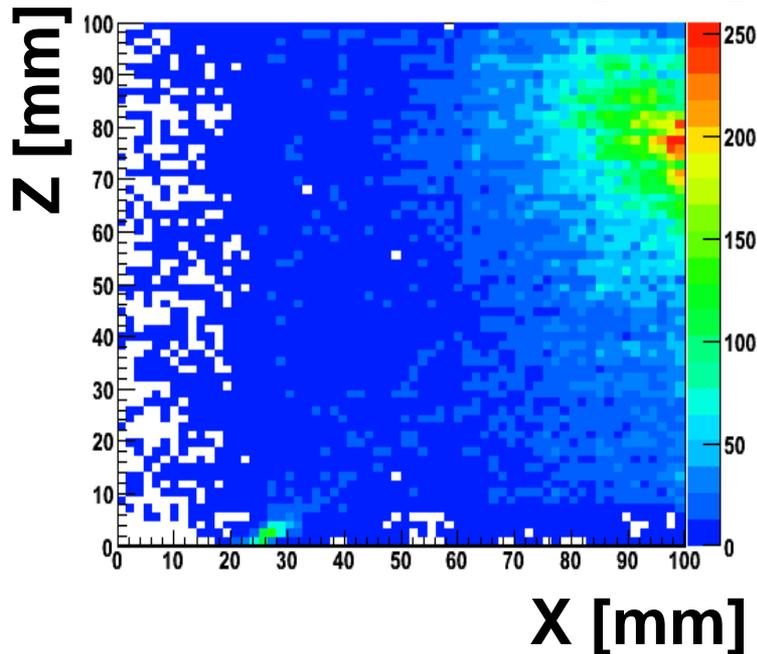
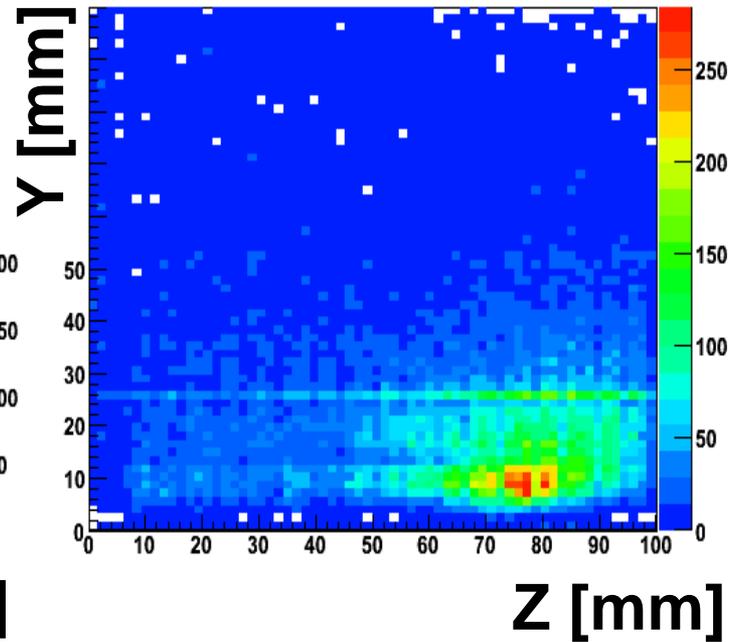
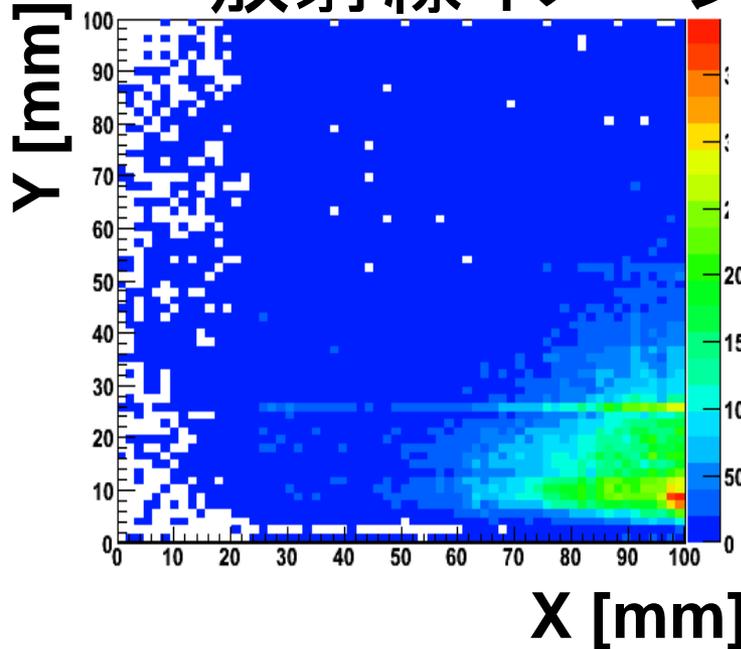
高さ**7.6cm**付近に
電子雲が多く生成



**マントル位置も
この辺りか？**

イベントを**マントル付近**
という条件 (X-Y投影面) で抽出すると、
よりpeakが際立つ

放射線イメージング～3D ver.～

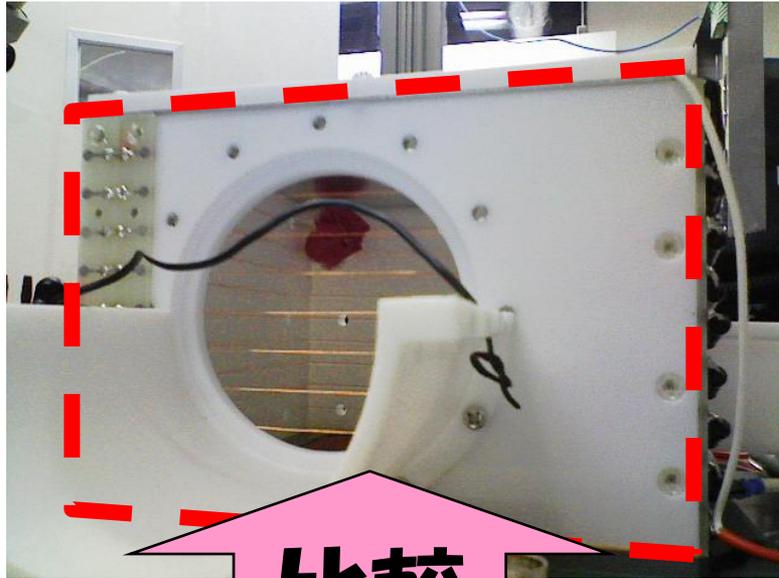


最も明るい位置は
(99mm, 9mm, 77mm)

やはりマントルの高さは、
検出面から約8cmであろう

→ 次頁で答え合わせ

実際のマンツルの位置と比較

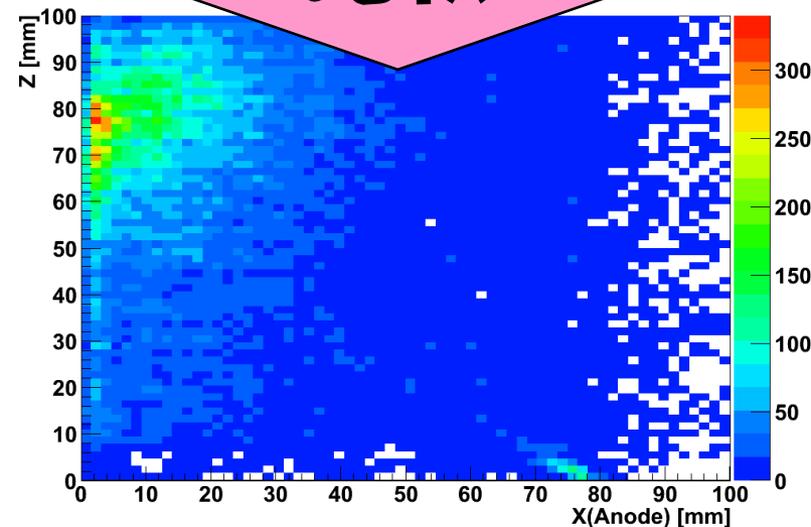


比較

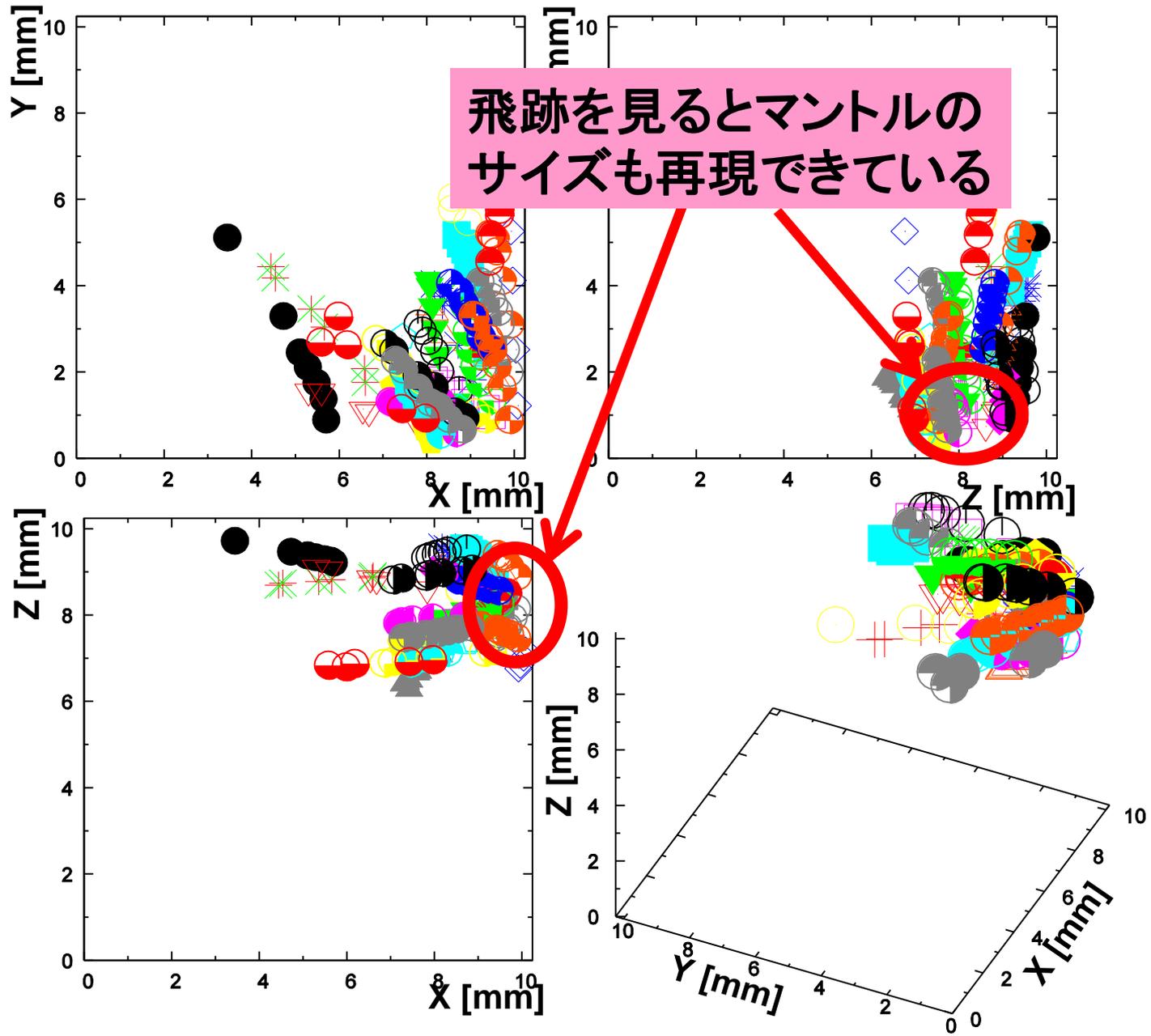
実際のマンツルの位置は
検出面から8cmの高さ
サイズは2cm程度だった



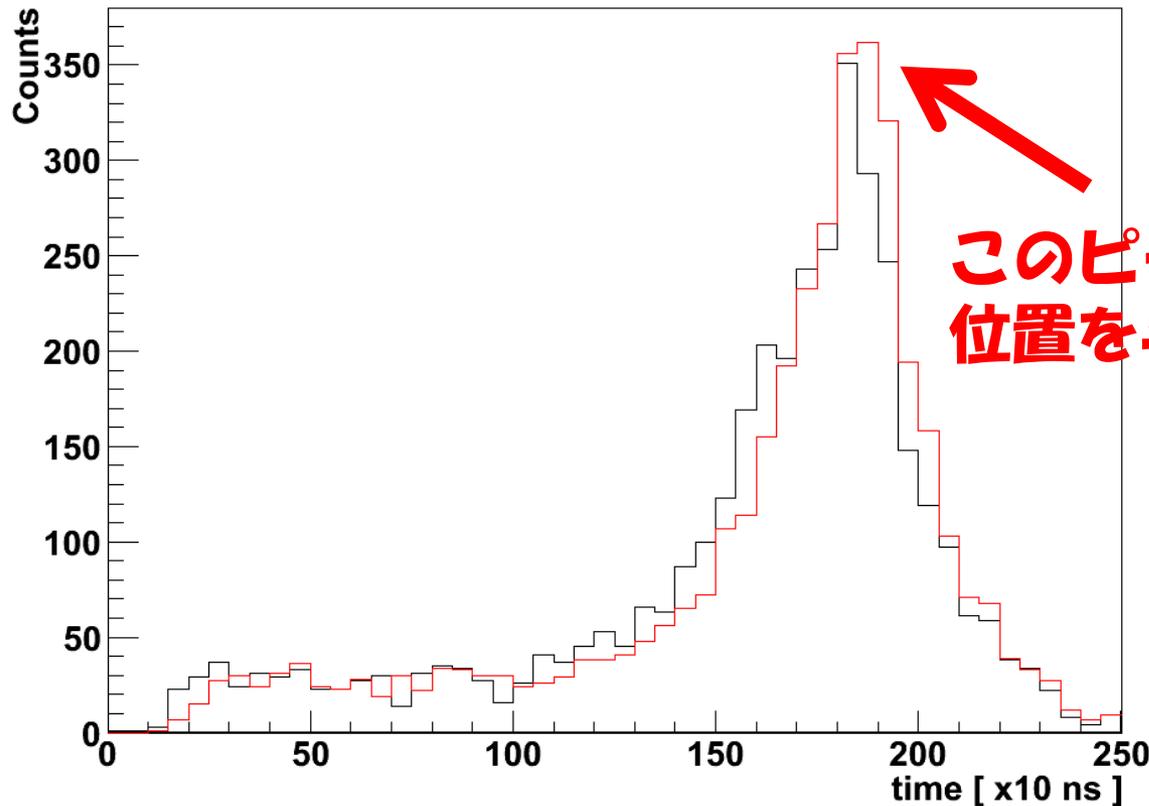
結果は大成功！
マンツルの**3次元位置**を
正しく**特定**できた！



光トリガーを用いた3D-tracking



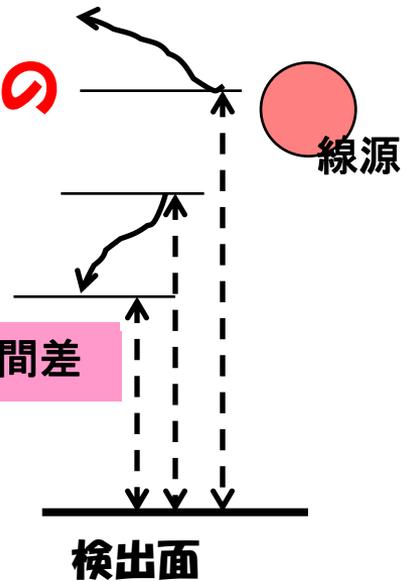
時刻差のヒストグラム 再考



このピークは線源の位置を与える

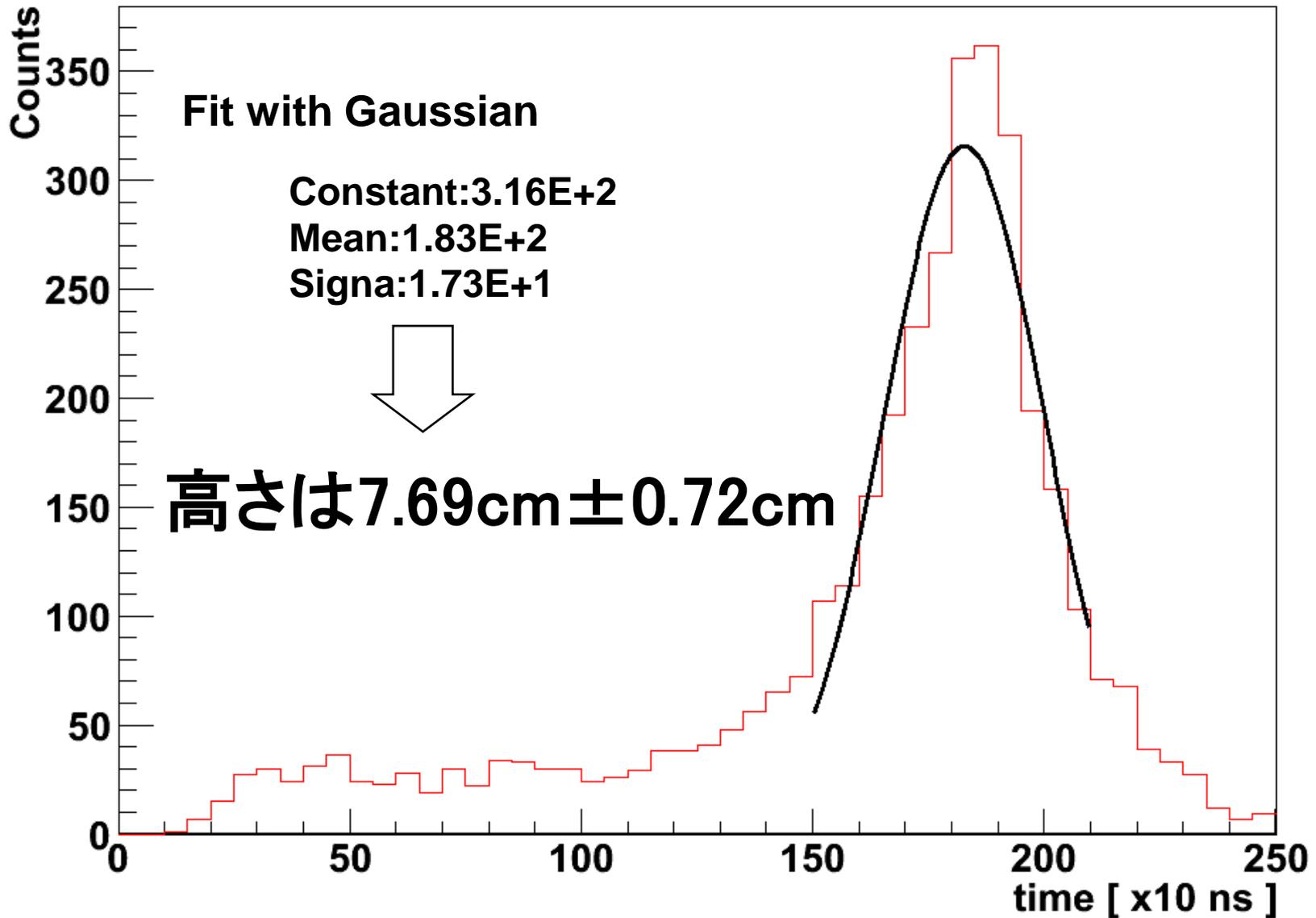
線源に近い電子雲が
検出面に到達する
時間差の分布を調べる

今回調べる時間差



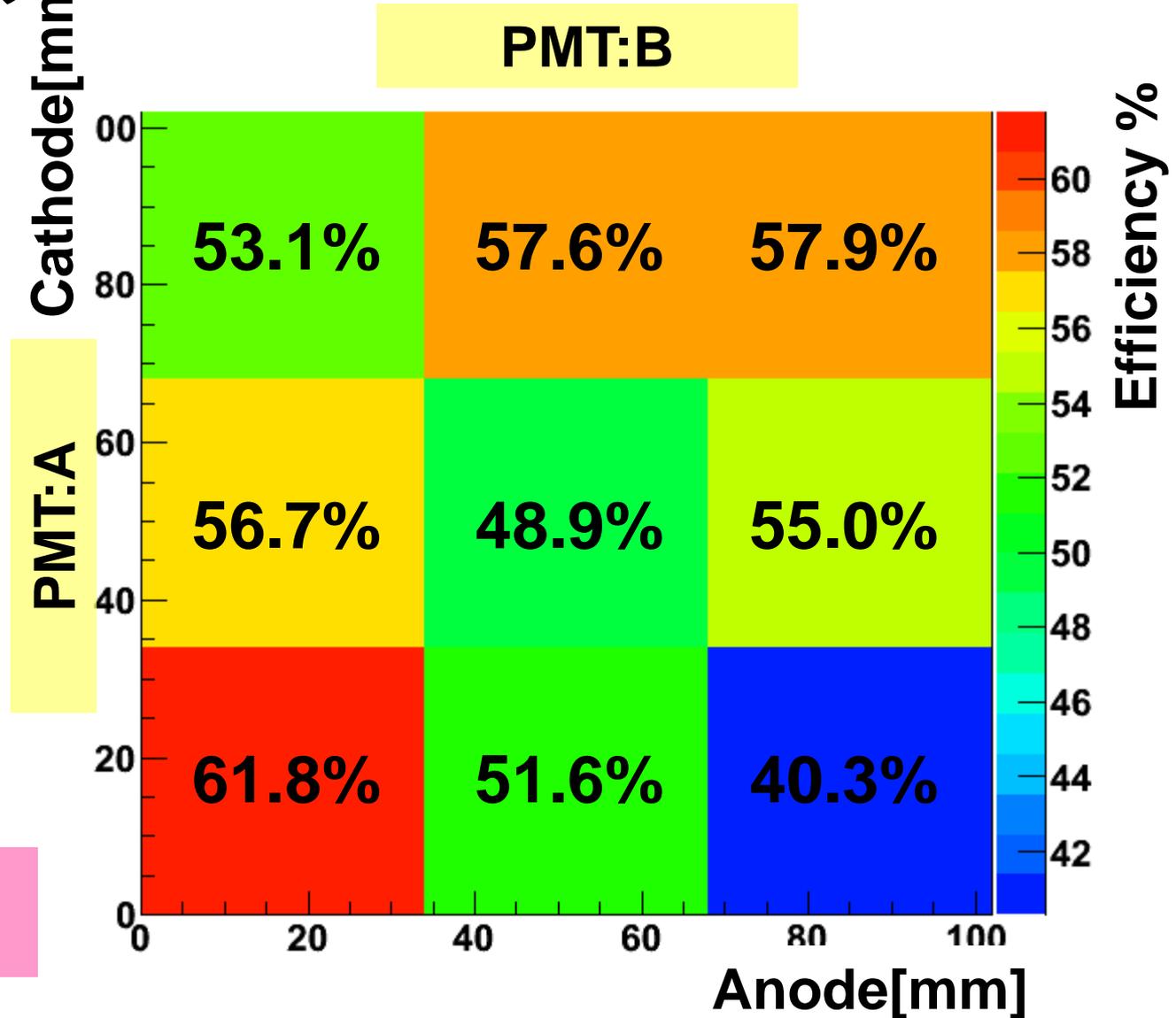
検出面に近いほうの時刻差をとる

線源のコアの高さを定量的に評価



プライマリ光の検出効率

放射線1イベントの
重心位置
VS
プライマリ光の
検出効率
各領域ごとの
A or B
の検出効率



全体的な検出効率
40~60%程度

7. Conclusion

できたこと

- μ -PICを用いたエネルギースペクトルの取得
- ガス増幅率の決定
- 2D-imaging
- 3D-tracking
- 放射線飛程とエネルギーの相関の確認
- 光トリガーを用いた3D-tracking及び3D-imaging
- 光トリガーの検出効率の計測

できなかったこと

- TPCモードでのエネルギー較正



おしまい

予備スライド

- **1chは、 $(1/256)V \times 10ns$ に相当**

$$\begin{aligned} \implies \delta Q &= \delta t \times \frac{V}{R} \\ &= 10 \times 10^{-9} \text{ sec} \times \frac{(1/256)V}{50\Omega} \\ &= 7.8 \times 10^{-13} \text{ C/ch} \end{aligned}$$

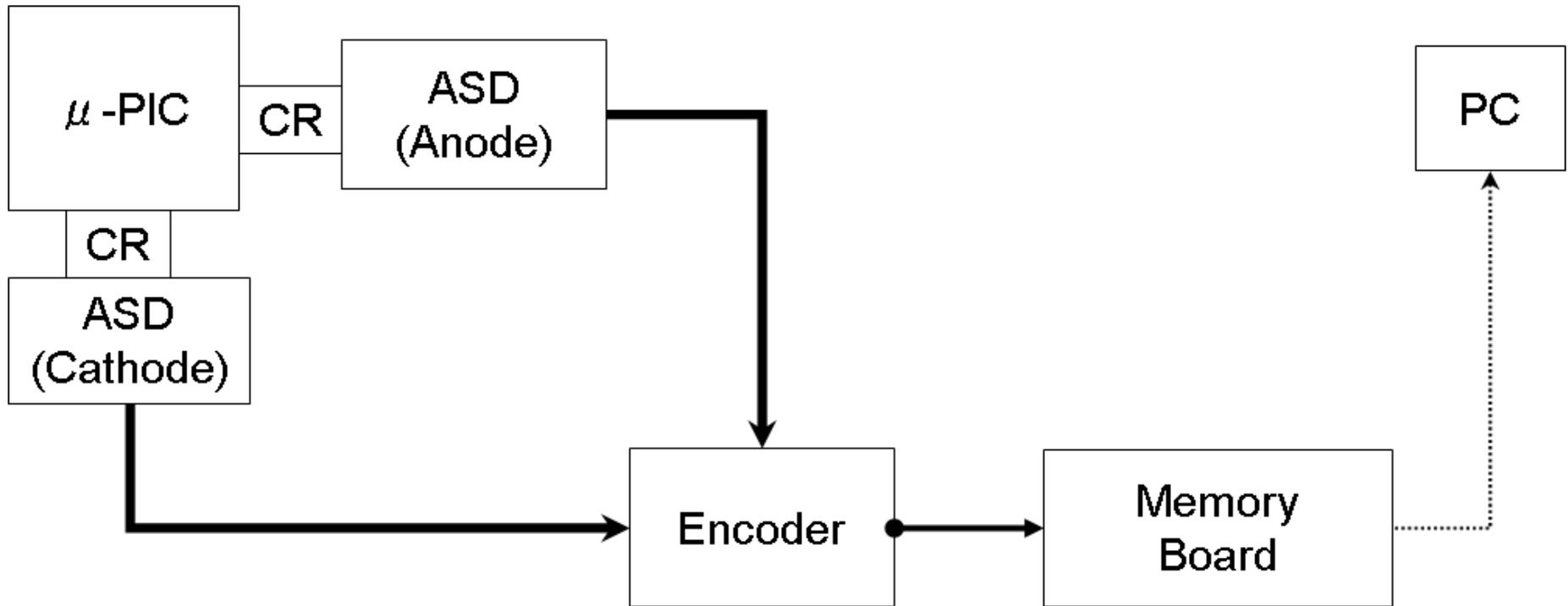
- **FADCから得られるAreaは平均700ch程度**

$$\implies 7.8 \times 10^{-13} \text{ C/ch} \times 700 \text{ ch} = 0.55 \text{ nC}$$

$$\begin{aligned} \therefore 0.55 \text{ nC} &\div (2 \times 8) \div 700 \\ &\div (220 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) \approx 1400 \end{aligned}$$

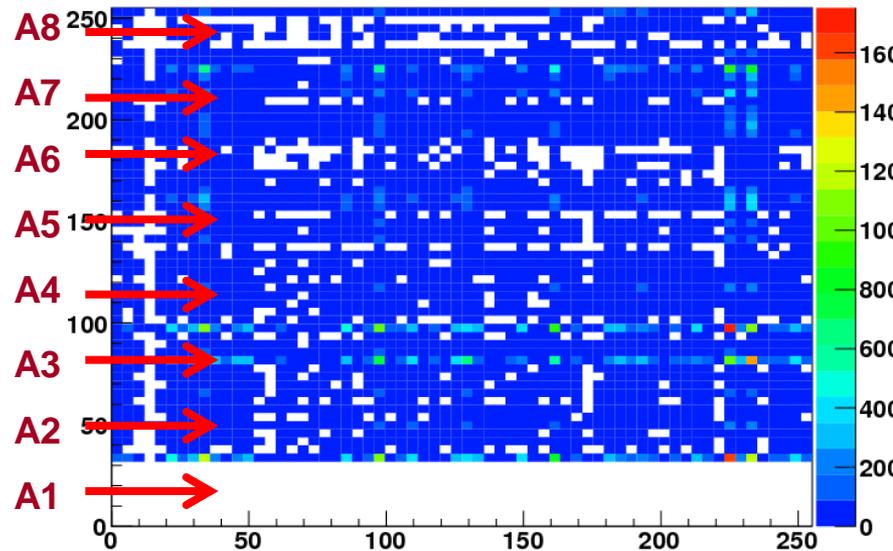
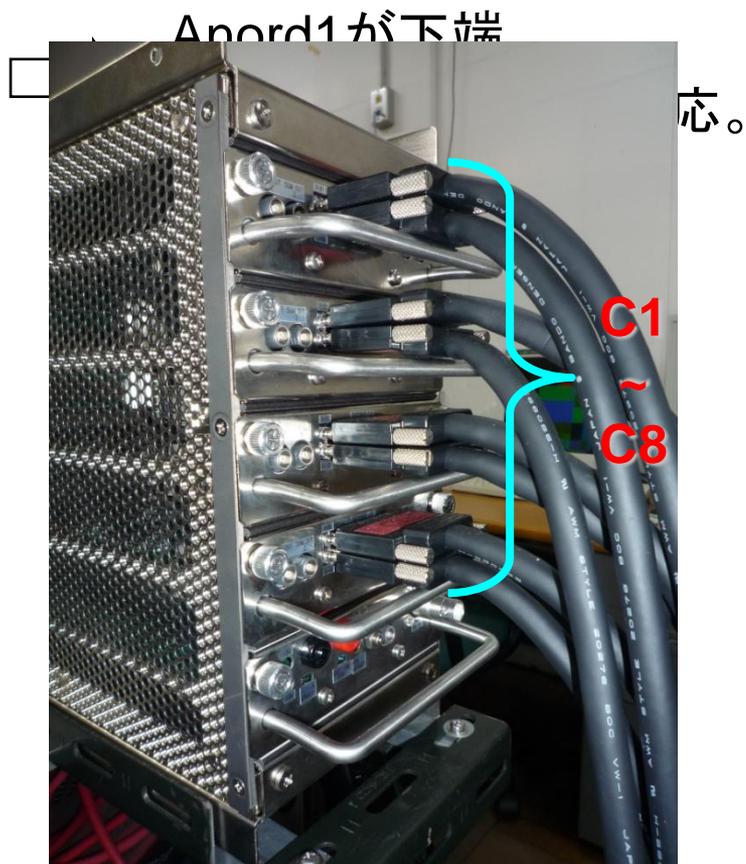
 **1400倍**

2D-imaging取得の概念図

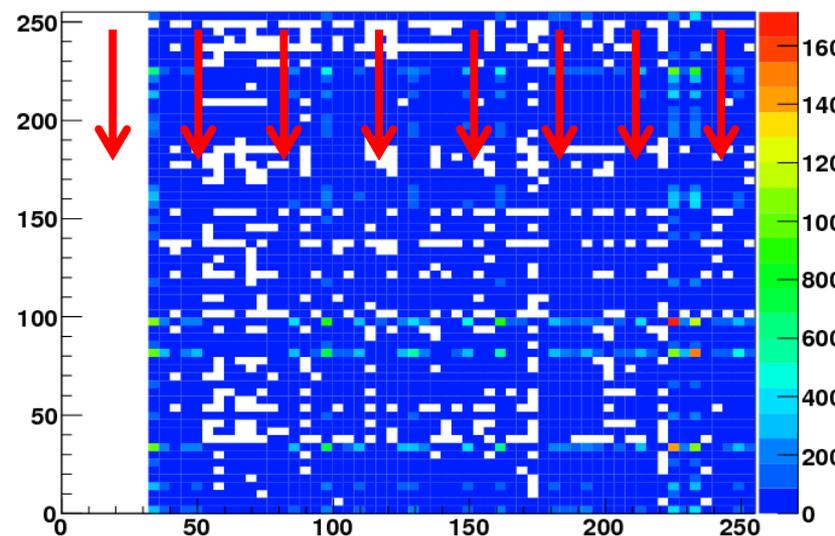


Anode、Cathode位置対応

Anode1とCathode1のケーブルを引っっこ抜いてbgをとり、それぞれが図上のどの位置に対応するか確認。



C 1 C 2 C 3 C 4 C 5 C 6 C 7 C 8



μ-PICの放電

μ-PICの使用を開始した矢先、問題発生！

**そもそも放電に伴うノイズのために
信号の読み取りができない**

検出面

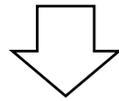
AnodeとCathodeが導通してしまい電流がバシバシ漏れる

⇒ Anodeに実際に掛かる有効な電圧が減少 ⇒ ゲインの低下

増幅率の減少

エネルギー分解能の低下

放電への対処



**μ-PICにHVを供給する部分の抵抗(ジャンパー)
を外して放電の影響を抑える**

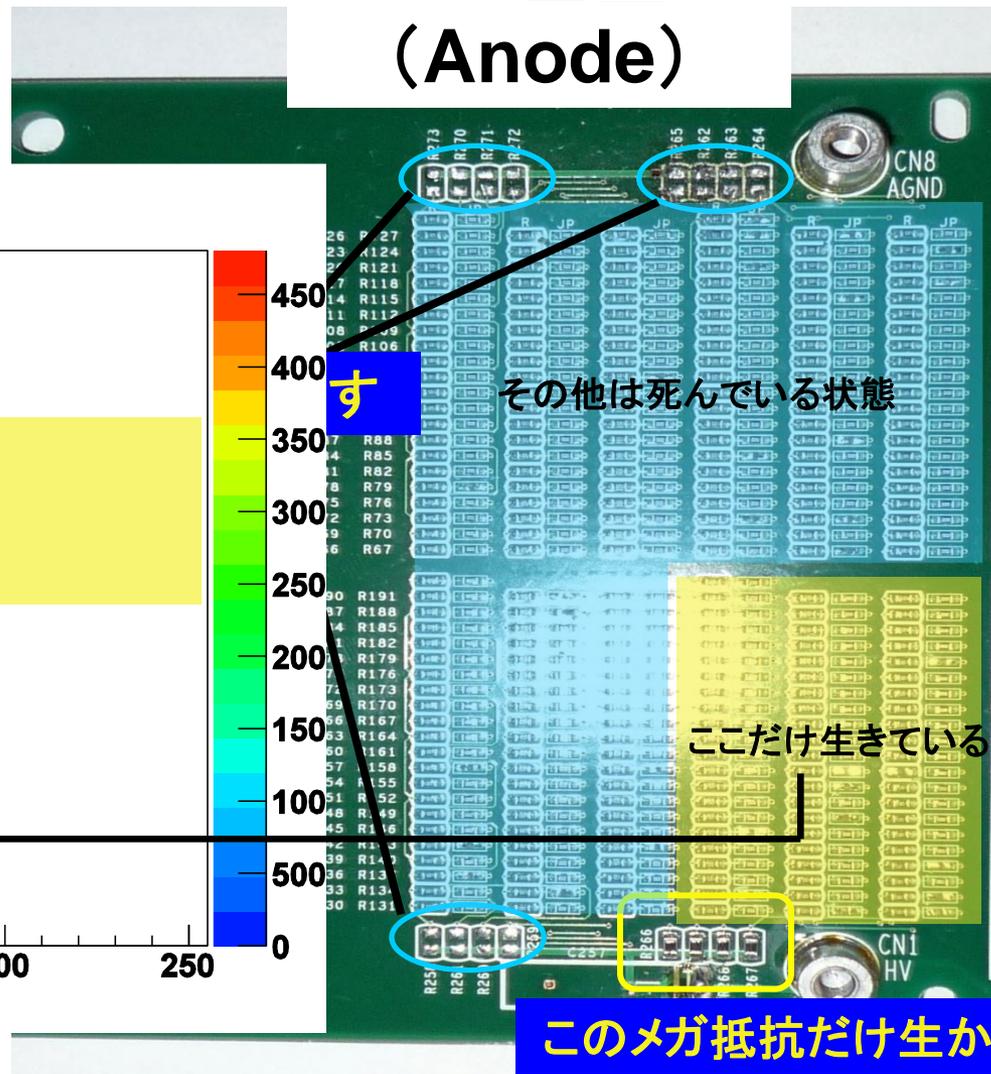
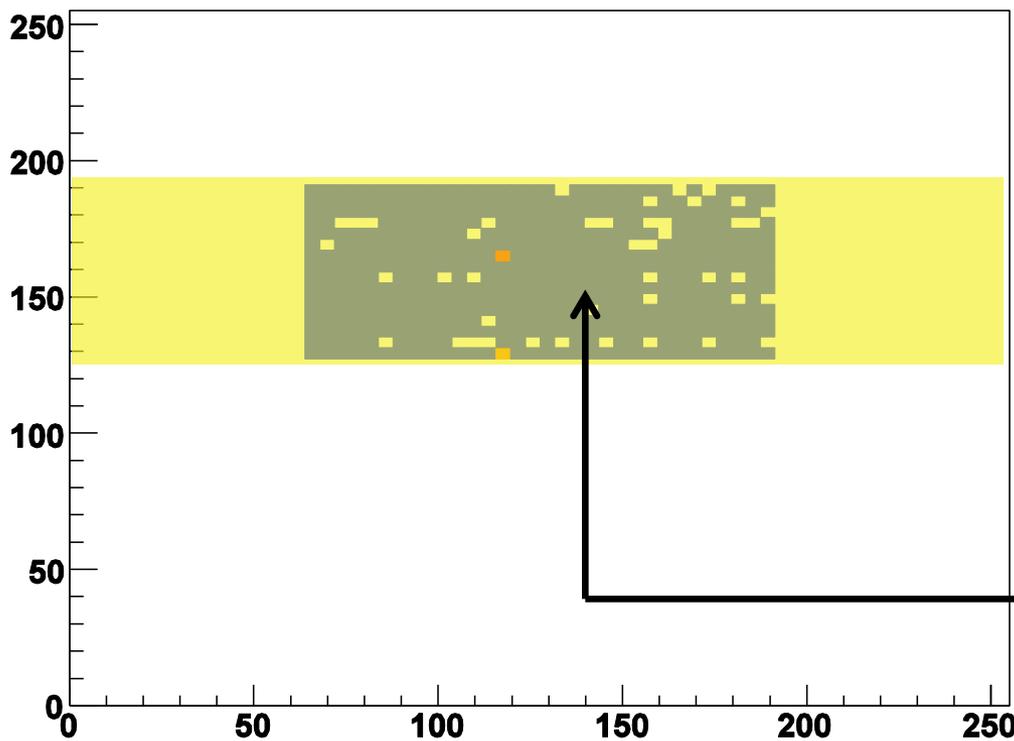


μ-PICの特性である高い位置分解能は失われる・・・

ジャンパー外し

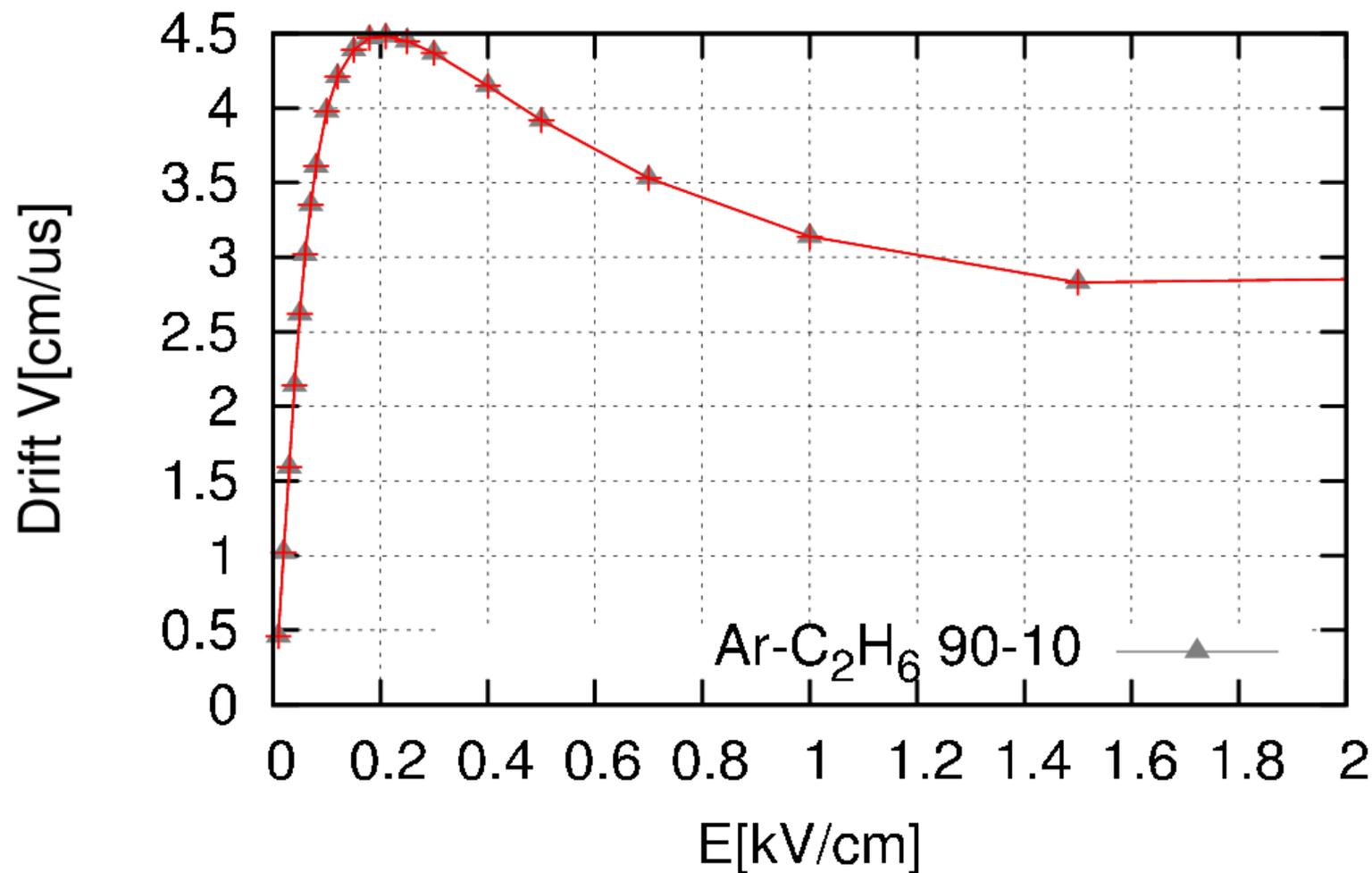
CR基盤 (Anode)

ジャンパーとPICのピクサ



ドリフト速度のsimulation

Ar-C₂H₆-90-10-1.00atm



電子の到達した時間(T1~T7)が 飛跡の深さに関する情報となる

到達時間 + 2D-imaging
&
ドリフト速度 \Rightarrow 3D-tracking

※ただし、放射線の進行方向はこの方法では特定できない

放射線の走る速度は十分に速く放射線による
一次電子は同時に作られると考えるため

3Dトラッキングが可能となる

これで分かるのは二次元の位置と深さ情報だけである

放射線入射時に光が出る原理

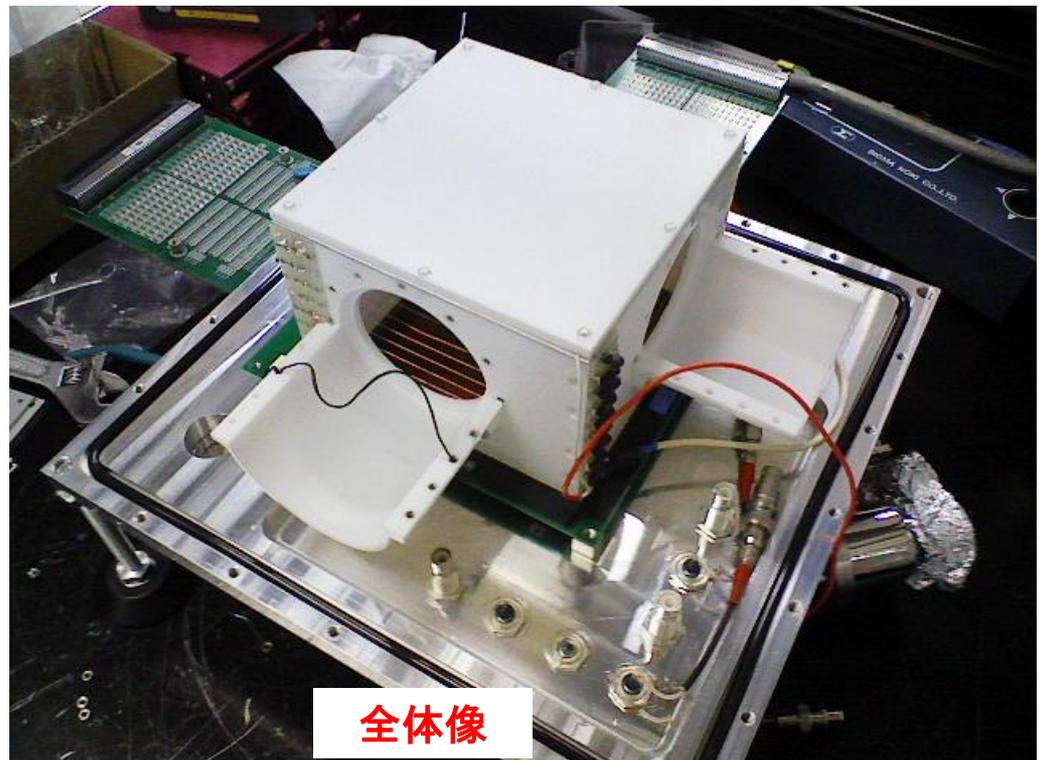
- ・放射線はガス中でエネルギーを失うが、これはガスの束縛電子とのCoulomb散乱によるものである(荷電粒子の場合)
- ・散乱の際にガス分子を励起し、シンチレーション光が出る。Pure Arだと紫外域よりも波長が短いですが、エタンが混ざることによって、紫外域にまで波長が伸びることが知られている。
- ・今回使用したPMTの感度領域は300nm～650nm(紫外～可視光)であり、最大感度は420nmのところにある
- ・今回使用したガスのArは可視光領域の特性X線を持たない



真空容器

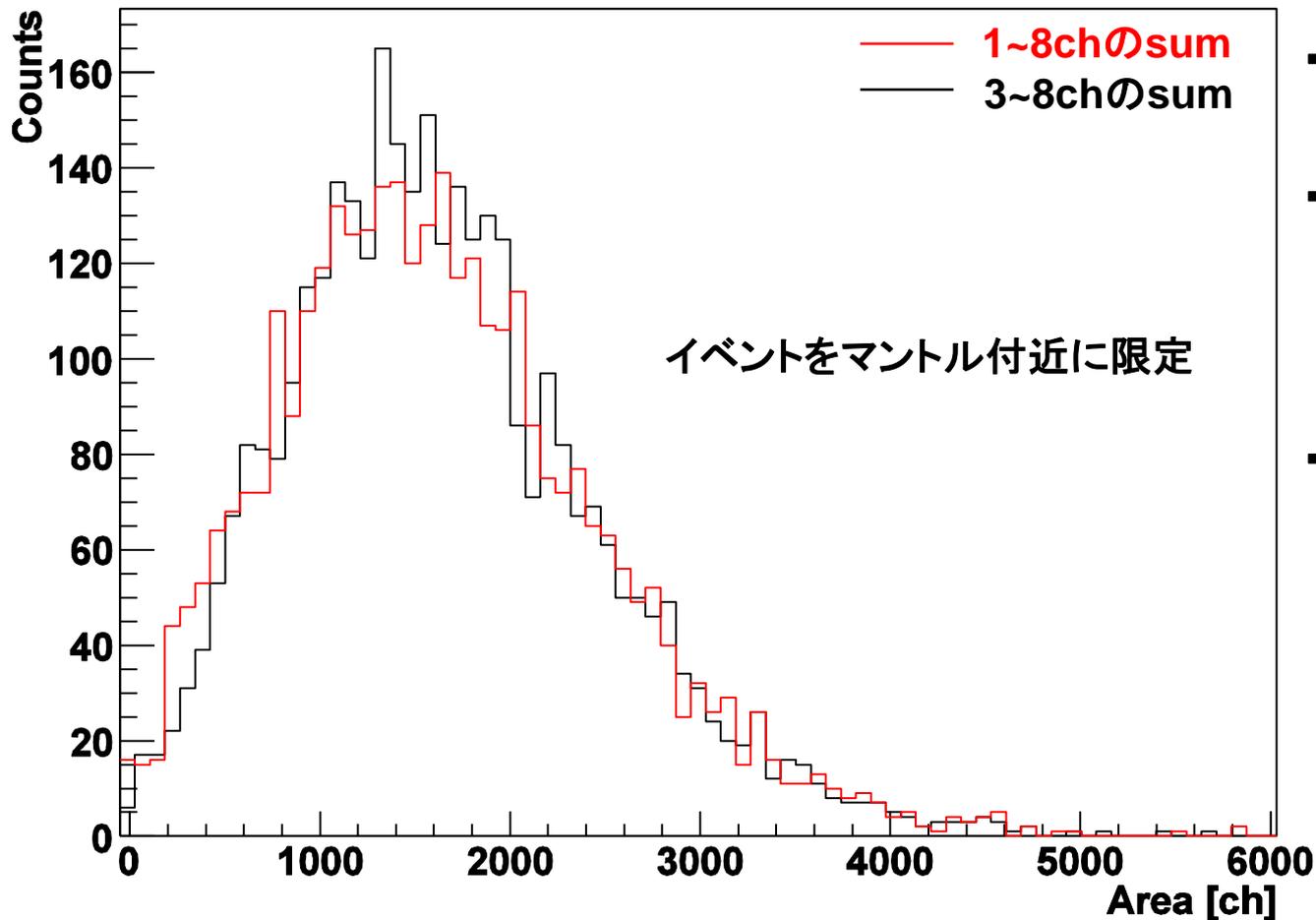


内壁の電場形成



全体像

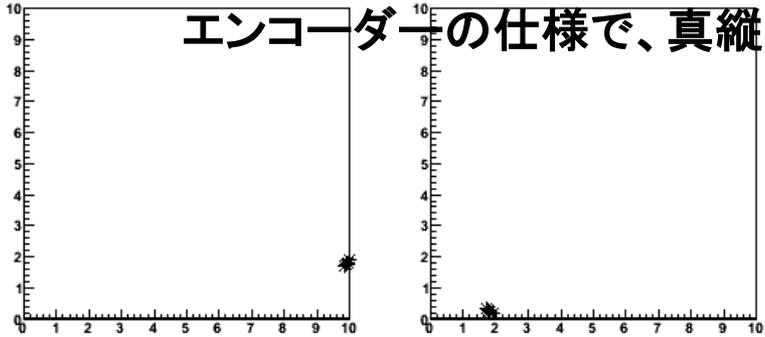
ヒストグラム比較



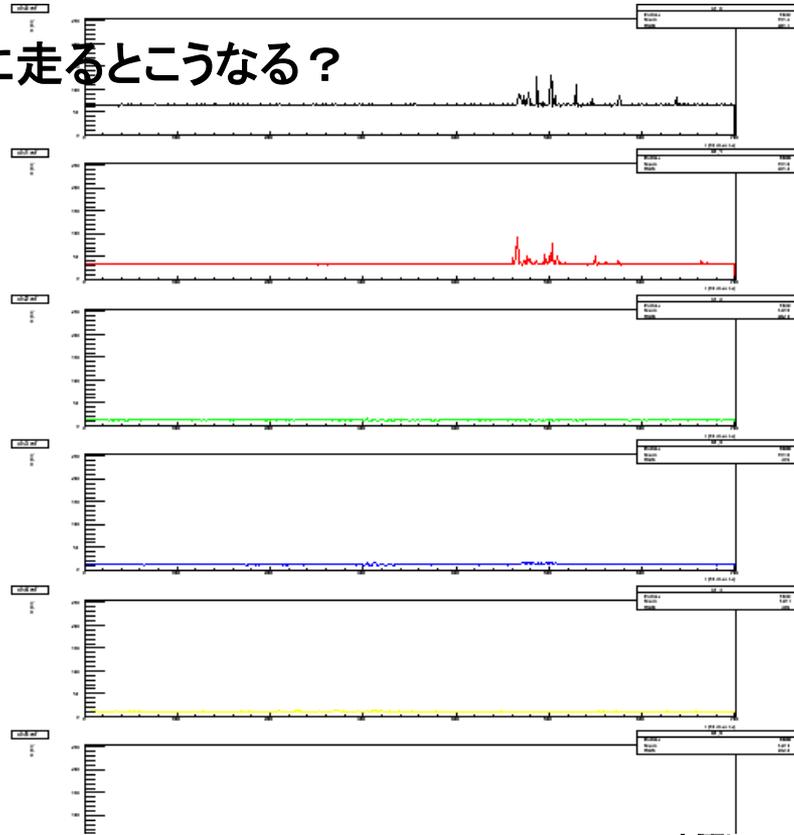
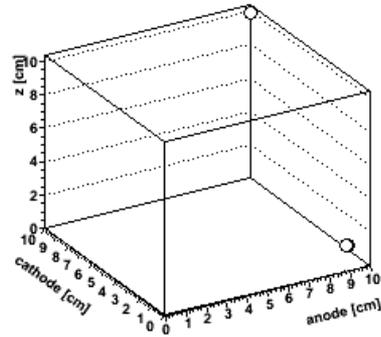
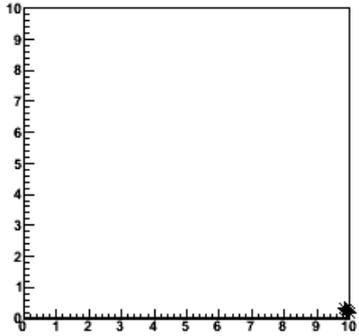
- ・FDACの入力チャンネル数は8ch
- ・2ch分を光トリガーに使用するため、 μ -PICからのアナログ信号を2ch分捨てる
- ・chを捨ててもヒストグラムの形や位置は変わらない

変なやつがいる

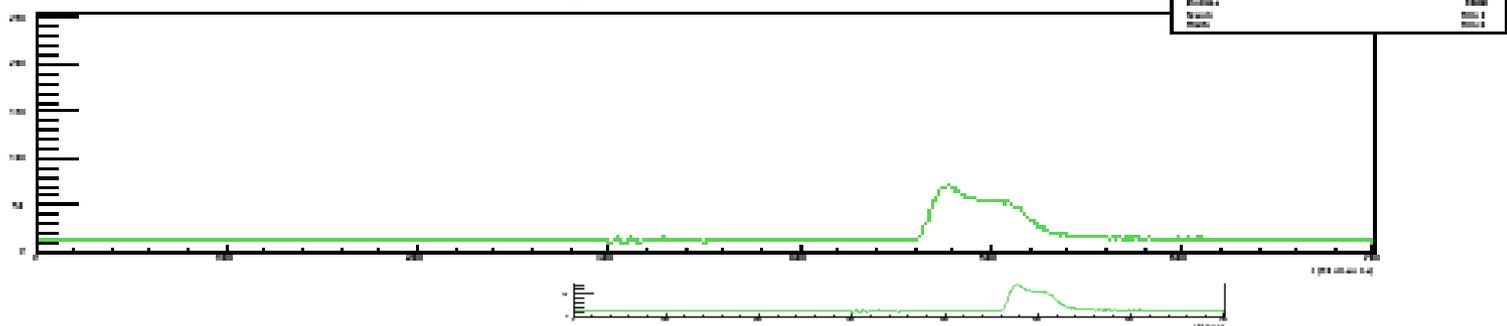
エンコーダーの仕様で、真縦に走るとこうなる？



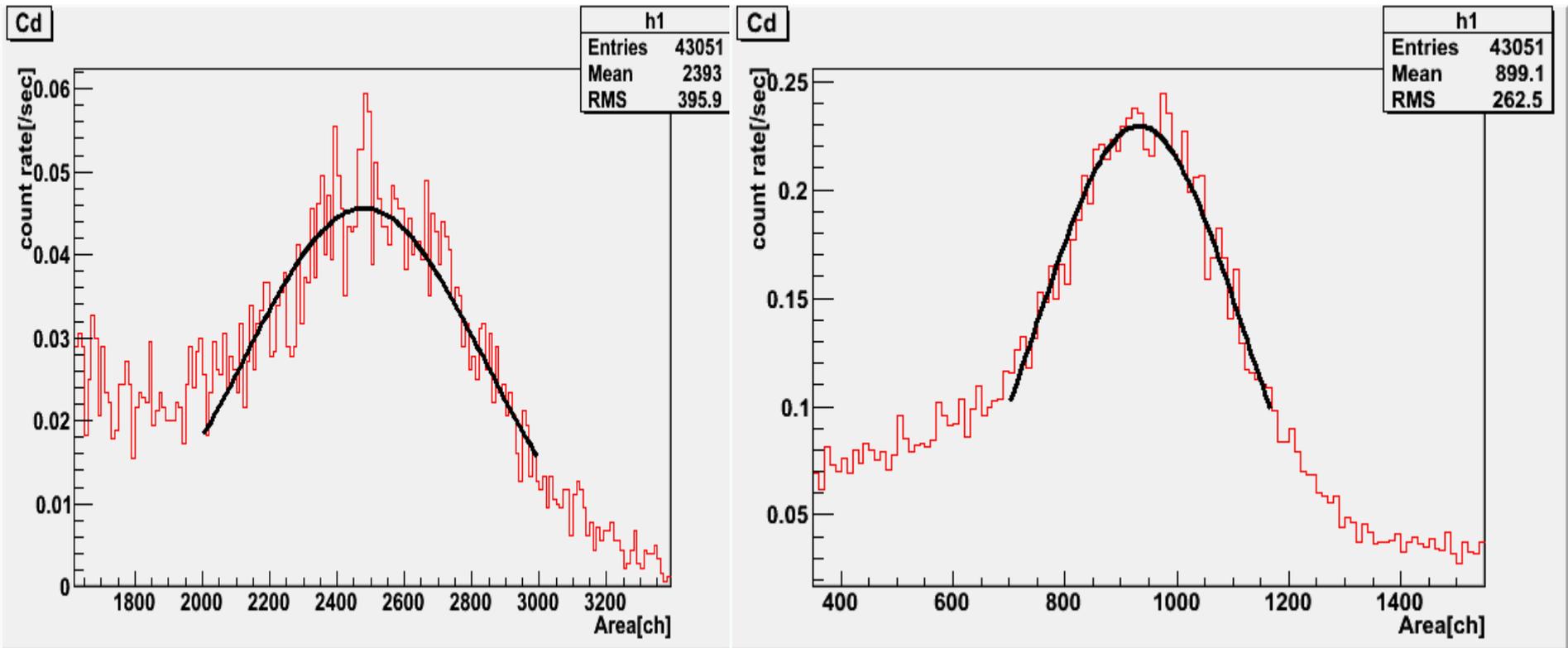
Graph2D



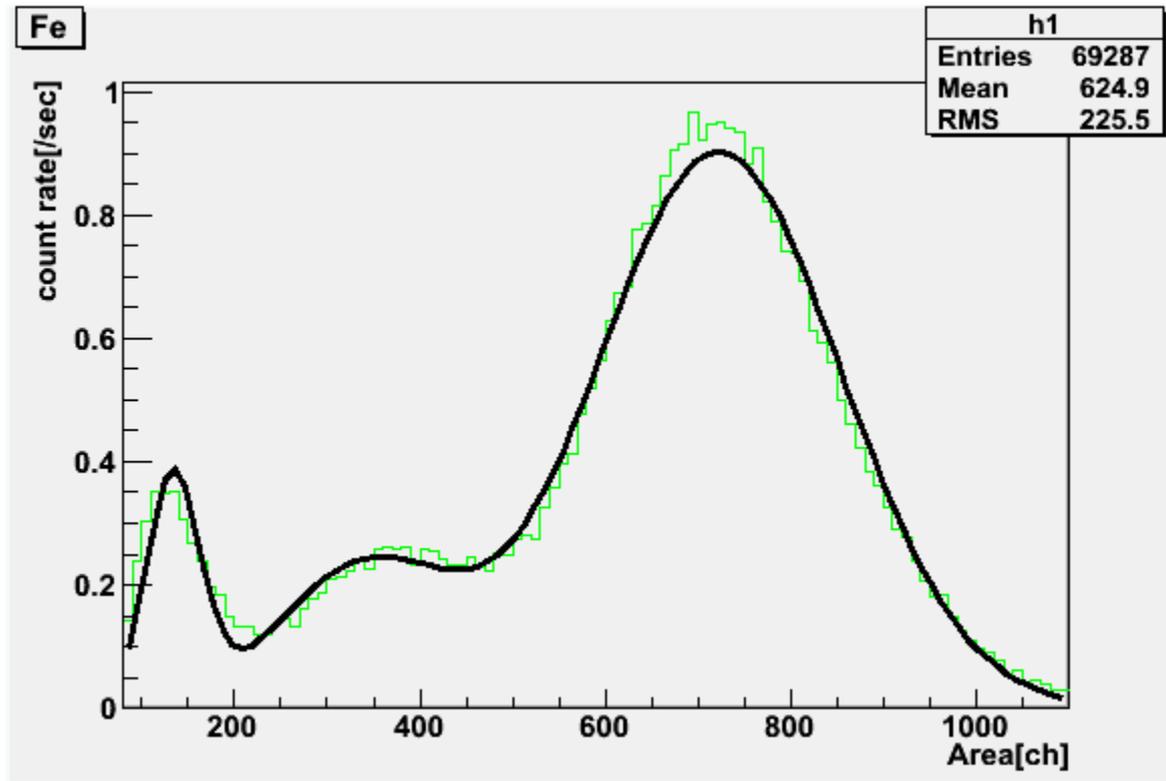
nhit:
path:
length:
area:



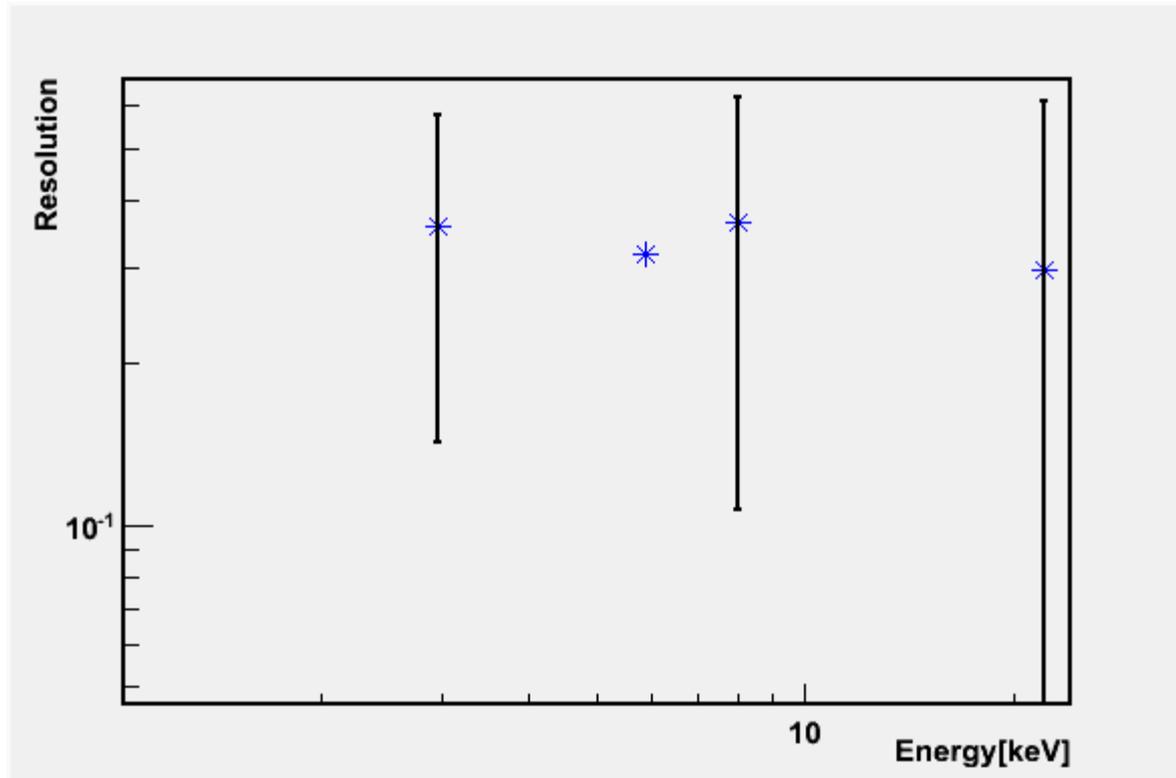
Fittingの実際 (Cdの場合)



Fittingの実際 (Feの場合)



エネルギー分解能 vs. エネルギー



TPCモード概念図

