

2009年度課題研究P6 μ -PIC班

μ -PICによる高速中性子線イメージング

栗本真志
松岡佳大

本実験の目的

- μ -PICのガス+GEM増幅率を調べ、 μ -PICの扱いに慣れる
- 高速中性子による放射線の軌跡を見る
二次元イメージング、三次元トラッキング

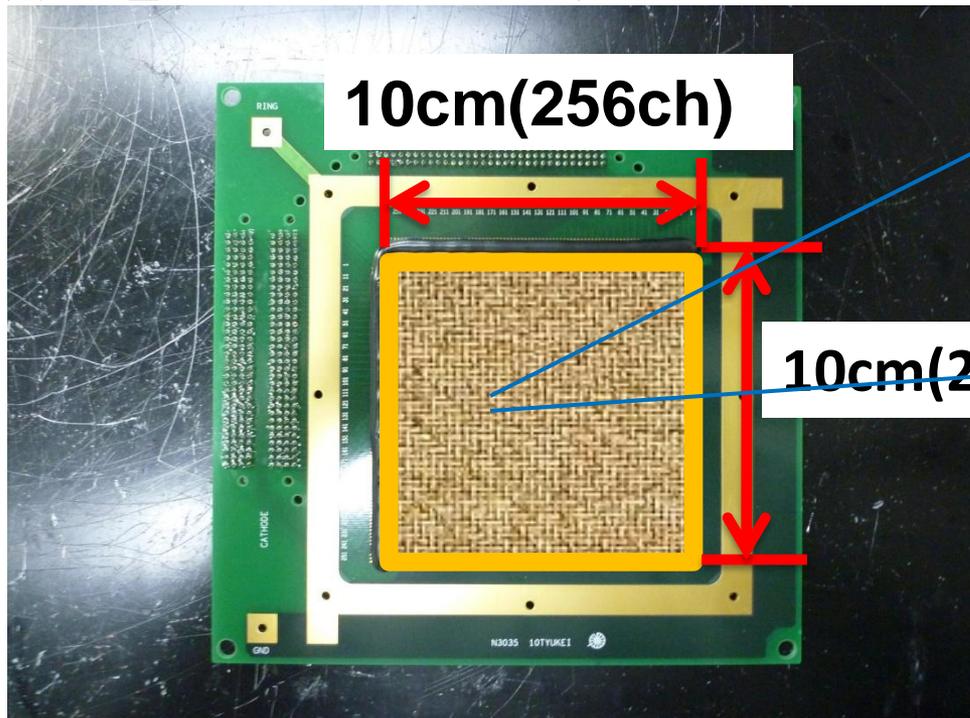
目次

- 1 μ -PICについて
- 2 エネルギー較正・ガス増幅率
- 3 二次元イメージング
 - ① channelと位置の対応
 - ② n-p散乱の軌跡と散乱角
- 4 おまけ 三次元トラッキング
- 5 まとめ

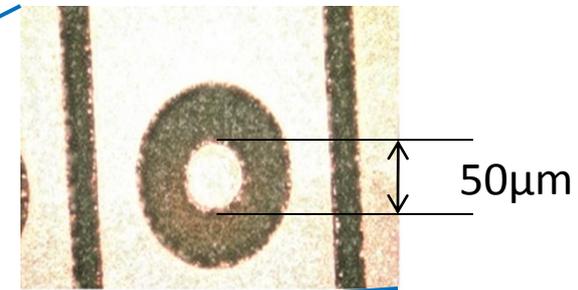
1. μ -PICについて

μ -PICとは？

- ピクセル型ガス検出器
- 二次元画像を高い位置分解能で取得
- 放電に対して安定

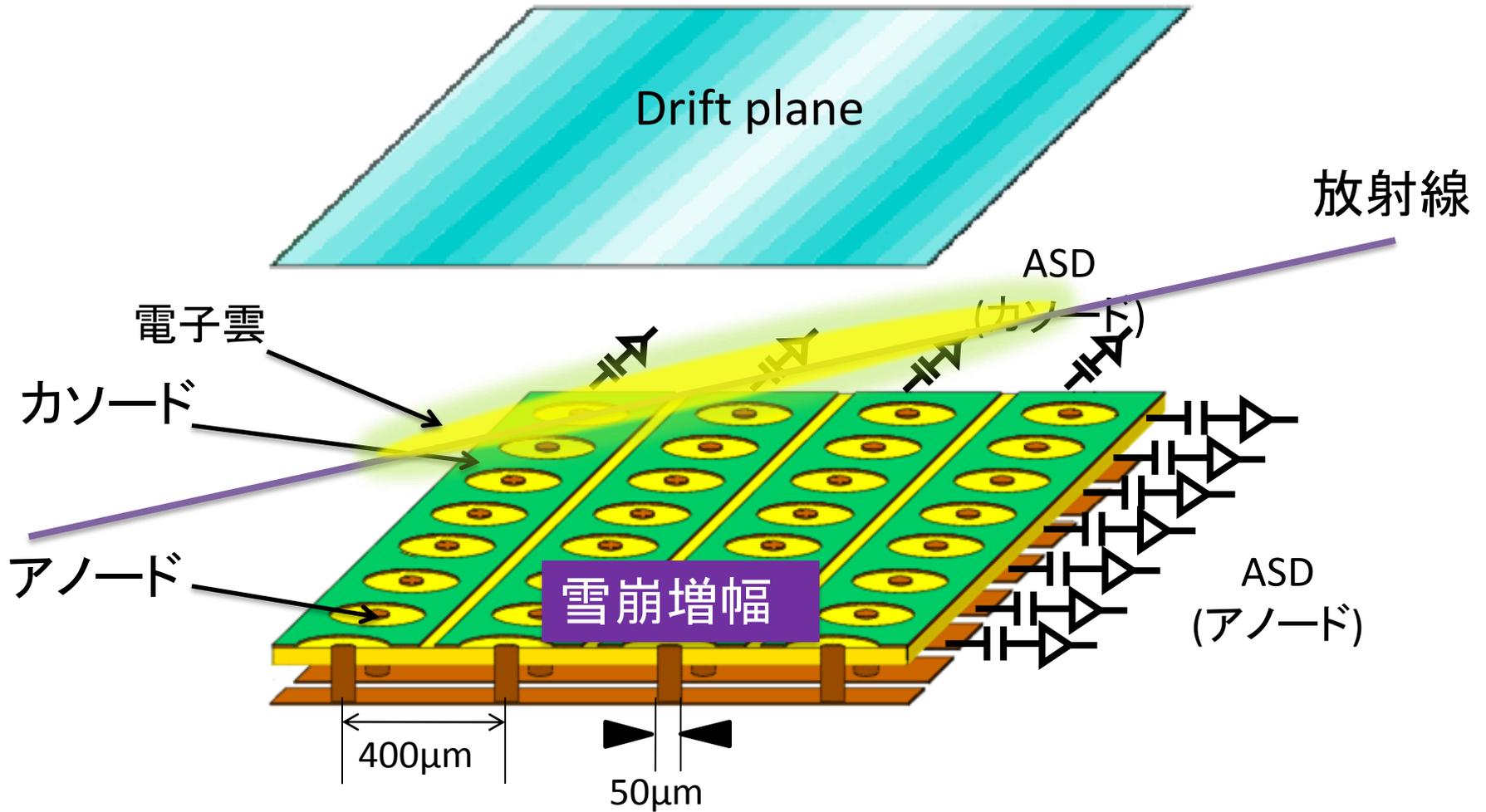


~400 μ m間隔

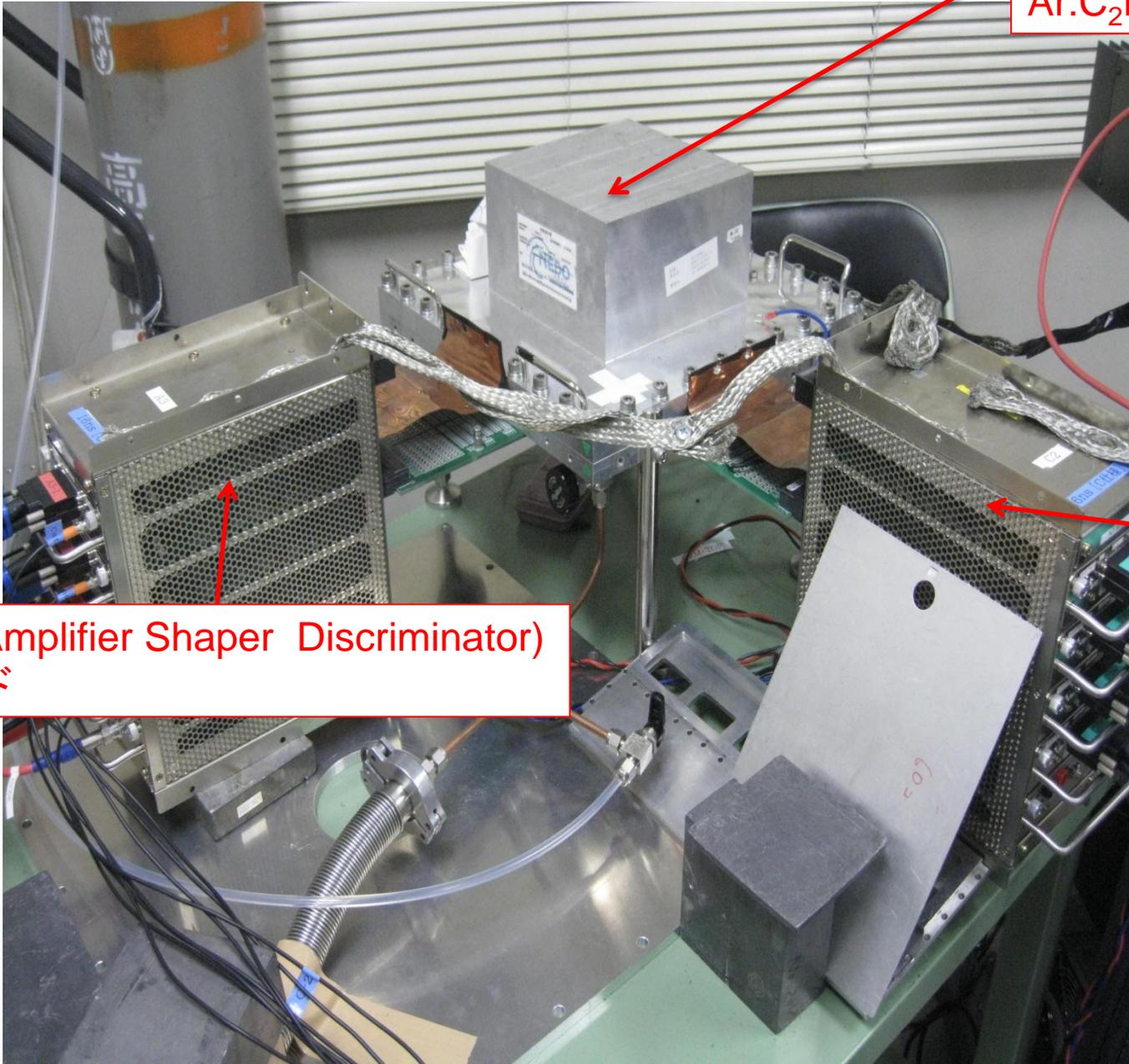


比例計数管

μ -PICの検出原理



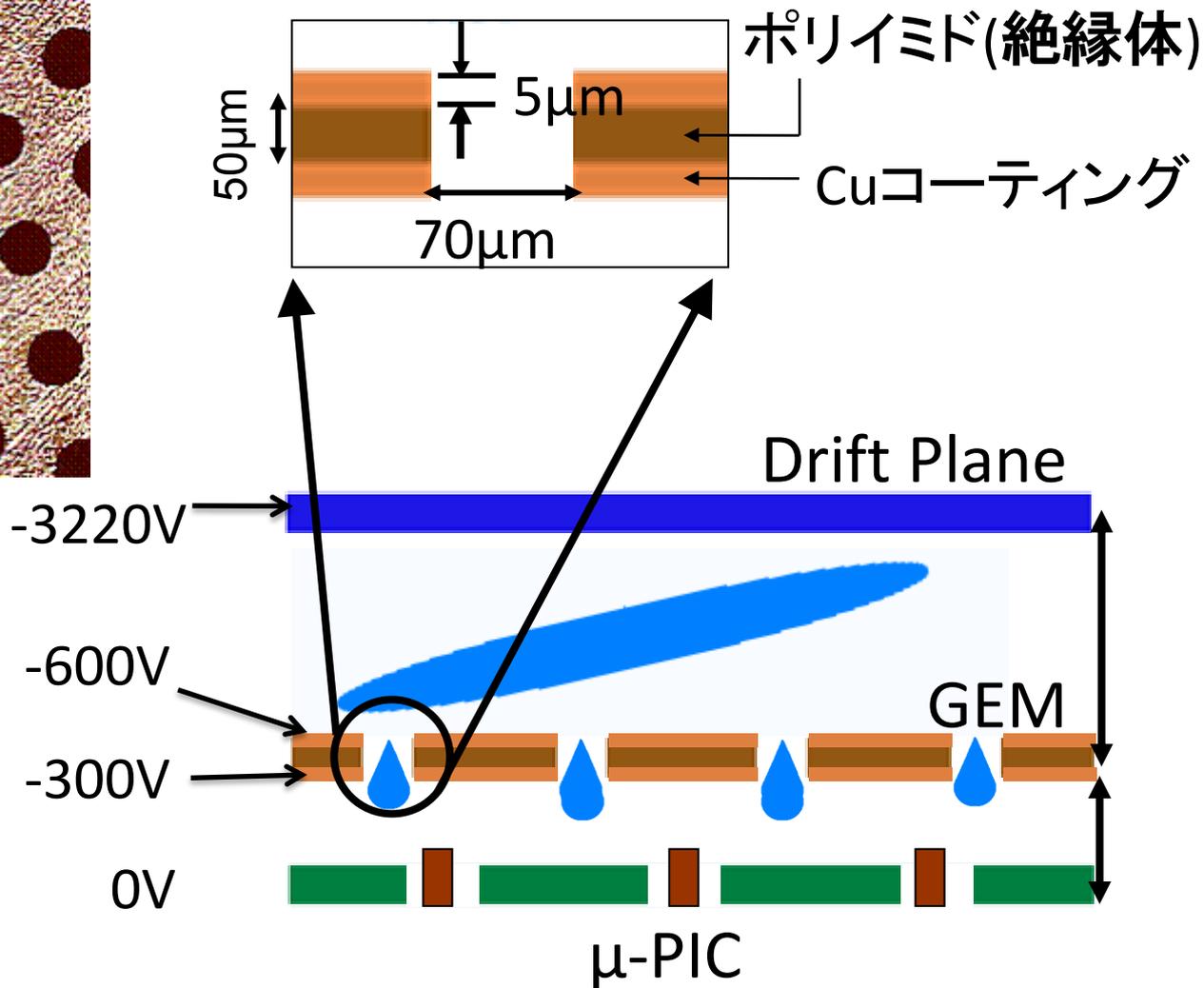
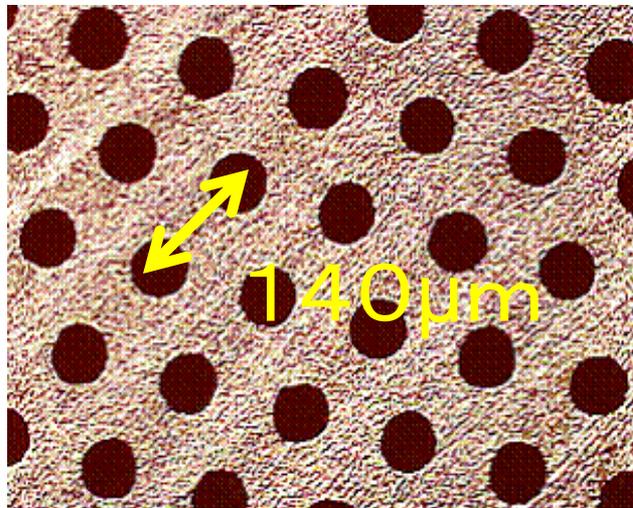
ガス封じ切り容器(AI)
Ar:C₂H₆ = 92.26:7.74



ASD(Amplifier Shaper Discriminator)
アノード

ASD
カソード

ガス + GEM 増幅装置

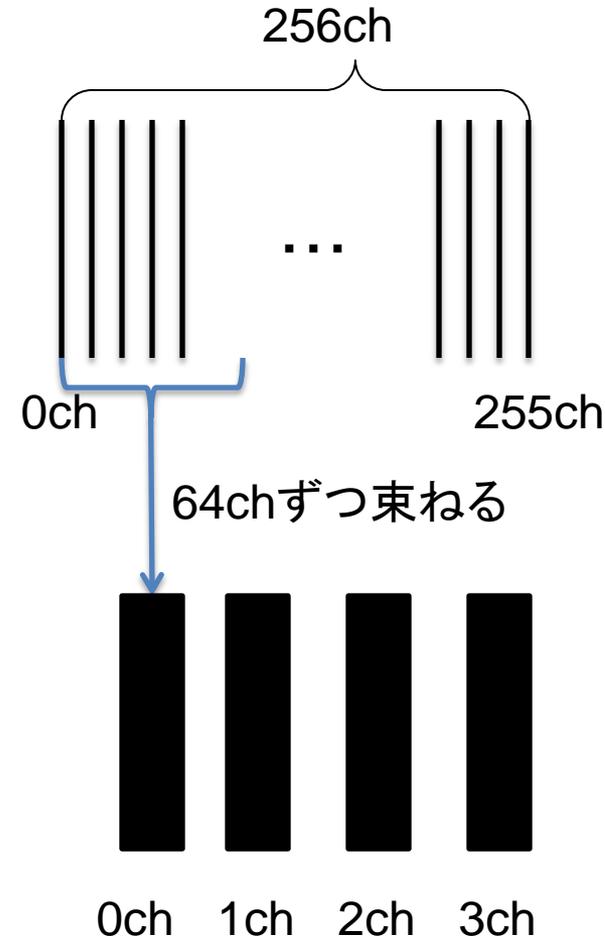


2 エネルギー一較正 ガス増幅率

μ-PICのエネルギー較正

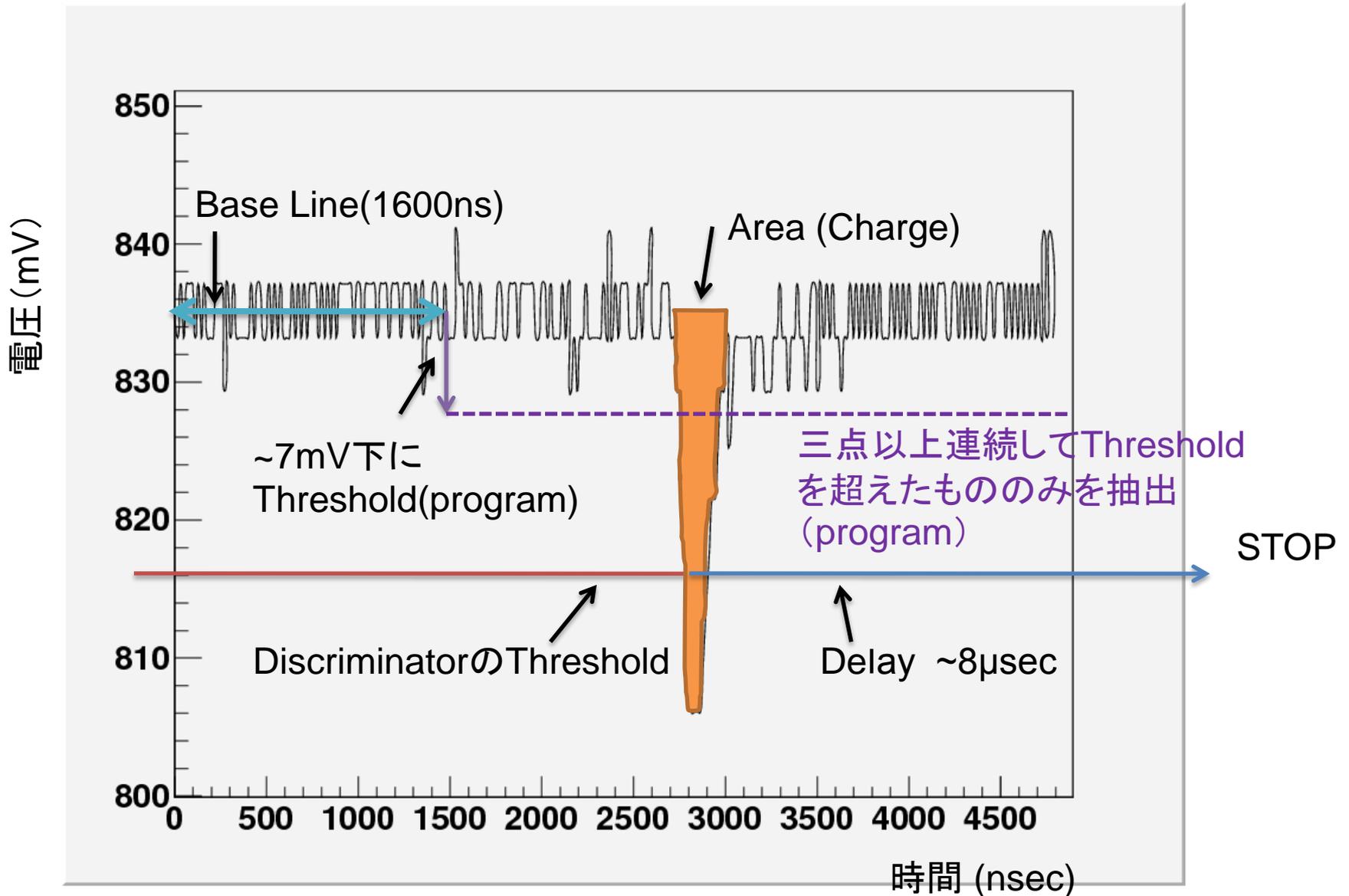
まずは、μ-PICの増幅率を調べる

- 線源 ^{109}Cd , ^{133}Ba
- アノードASD 256ch→4つに束ねる
- アノード電圧 410V~425Vで調べる



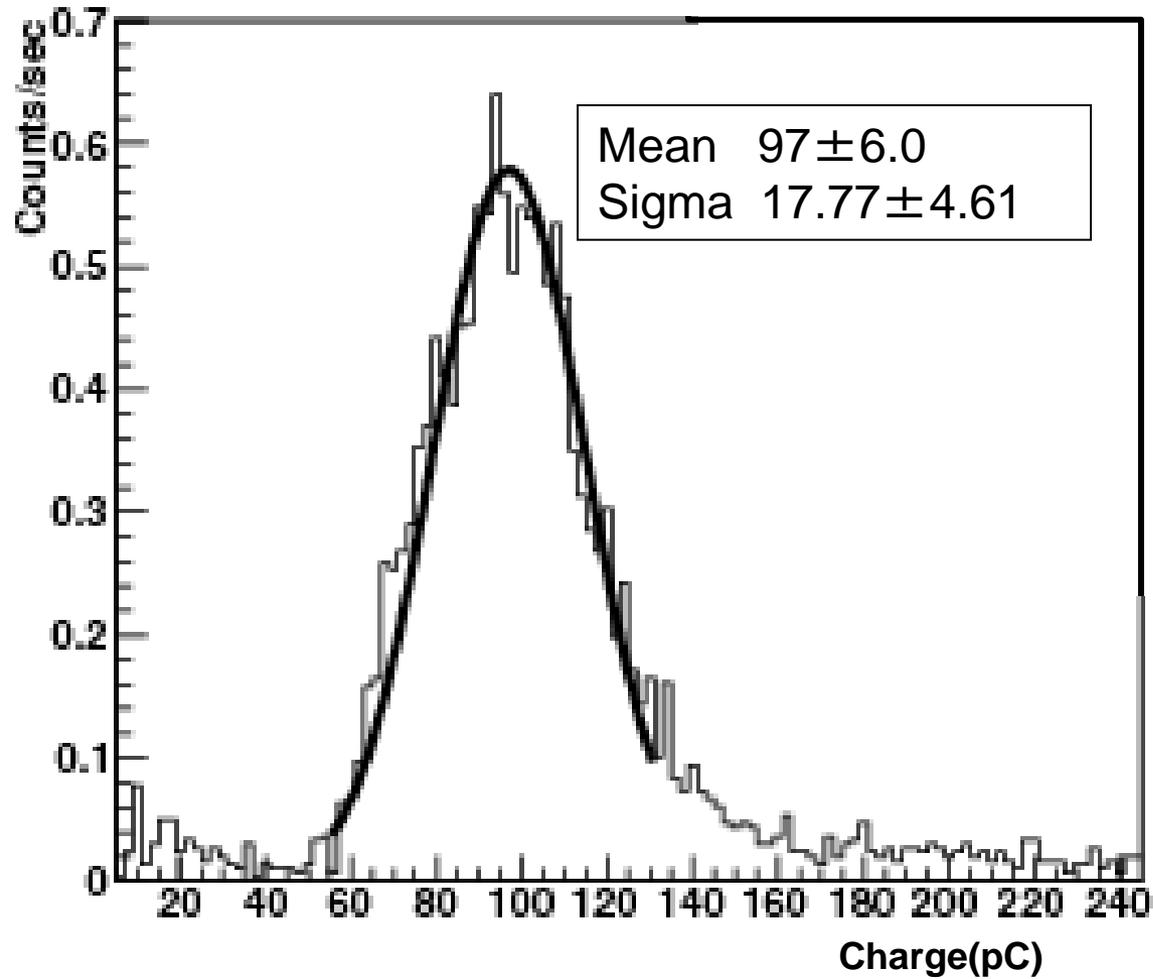
以下では代表で 415V ch0 について

FADCの波形から電荷量を求める



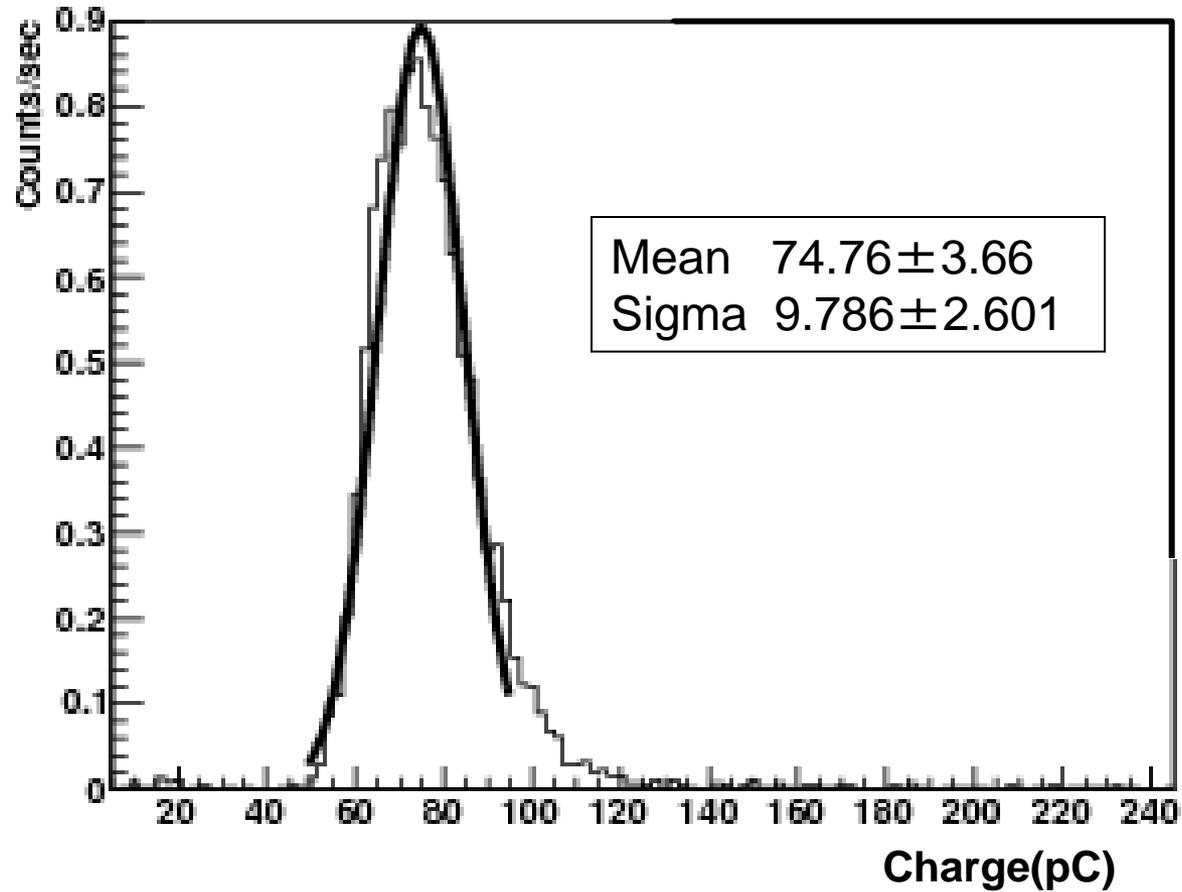
ヒストグラム (^{133}Ba)

ch0

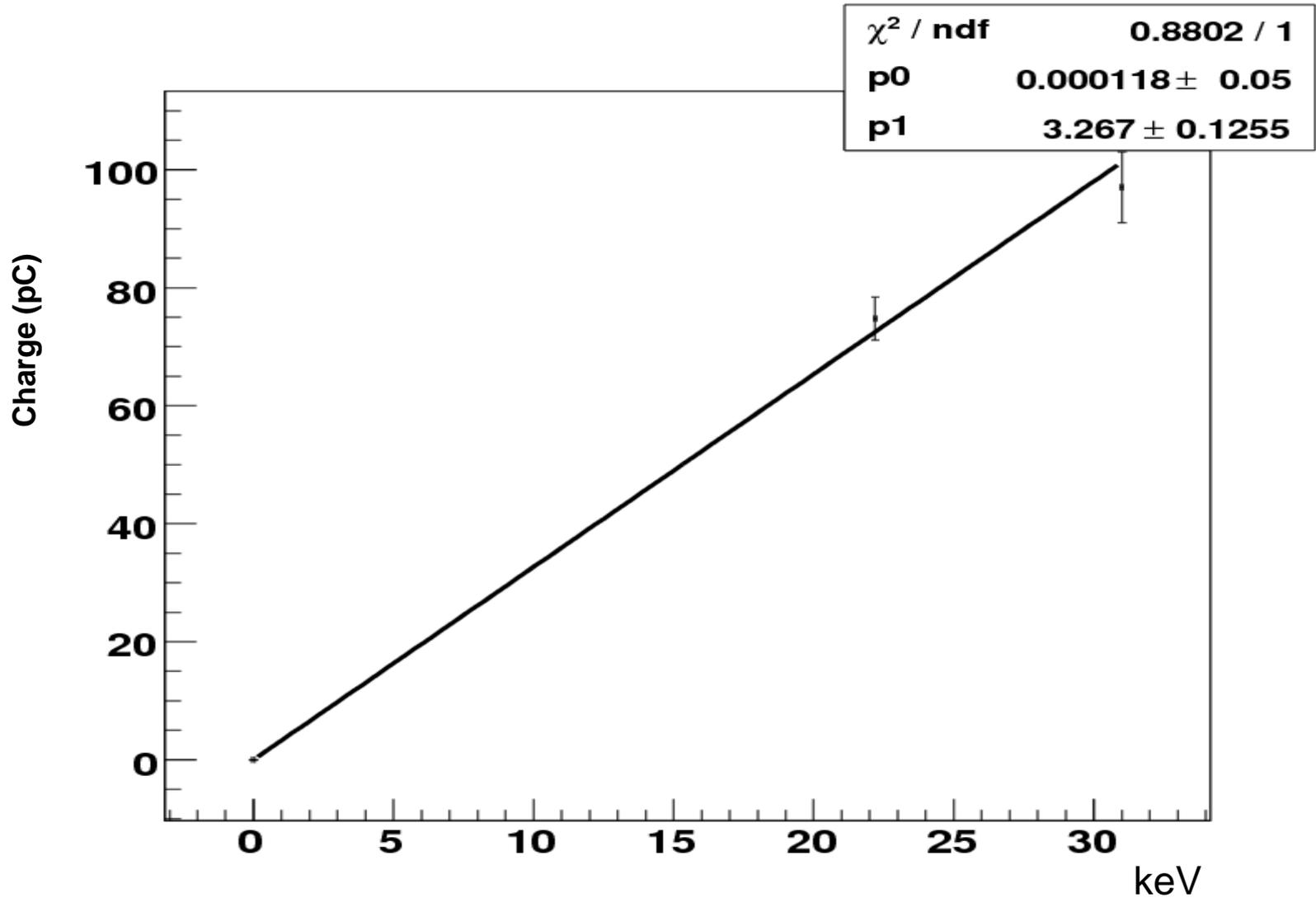


ヒストグラム (^{109}Cd)

ch0



エネルギー較正



増幅率の求め方

アノード 415V ch0 の場合

Ar+C ₂ H ₆ のW値	23.6 eV
エネルギーと電荷の比例関係	3.27 pC/keV
素電荷量	1.60 × 10 ⁻⁷ pC

全体の増幅率

$$3.27 \text{ pC/keV} \times \frac{23.6 \times 10^{-3} \text{ keV}}{1.60 \times 10^{-7} \text{ pC}} = 4.82 \times 10^5$$

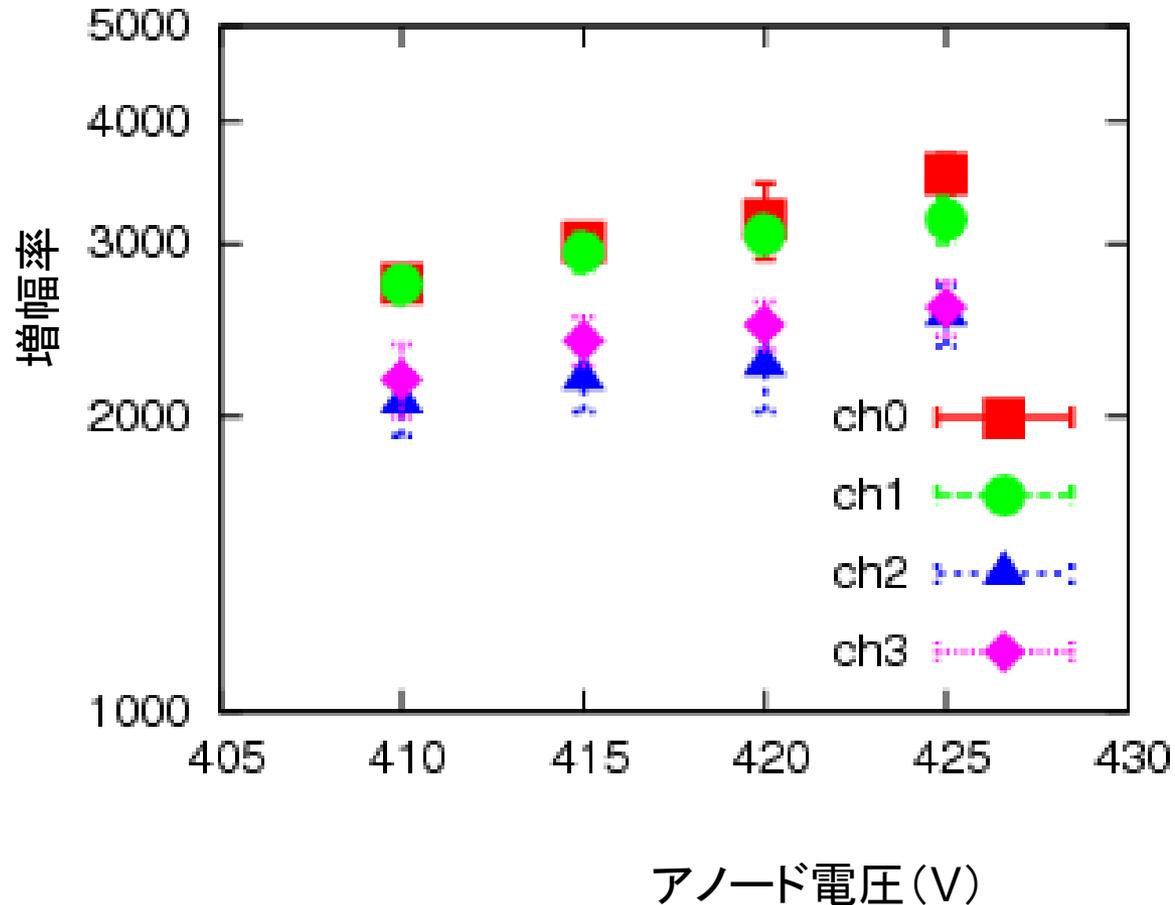
ASDの増幅率 160(既知)

∴ μ-PIC+GEMの増幅率

$$4.82 \times 10^5 / 160 = 3.01 \times 10^3$$

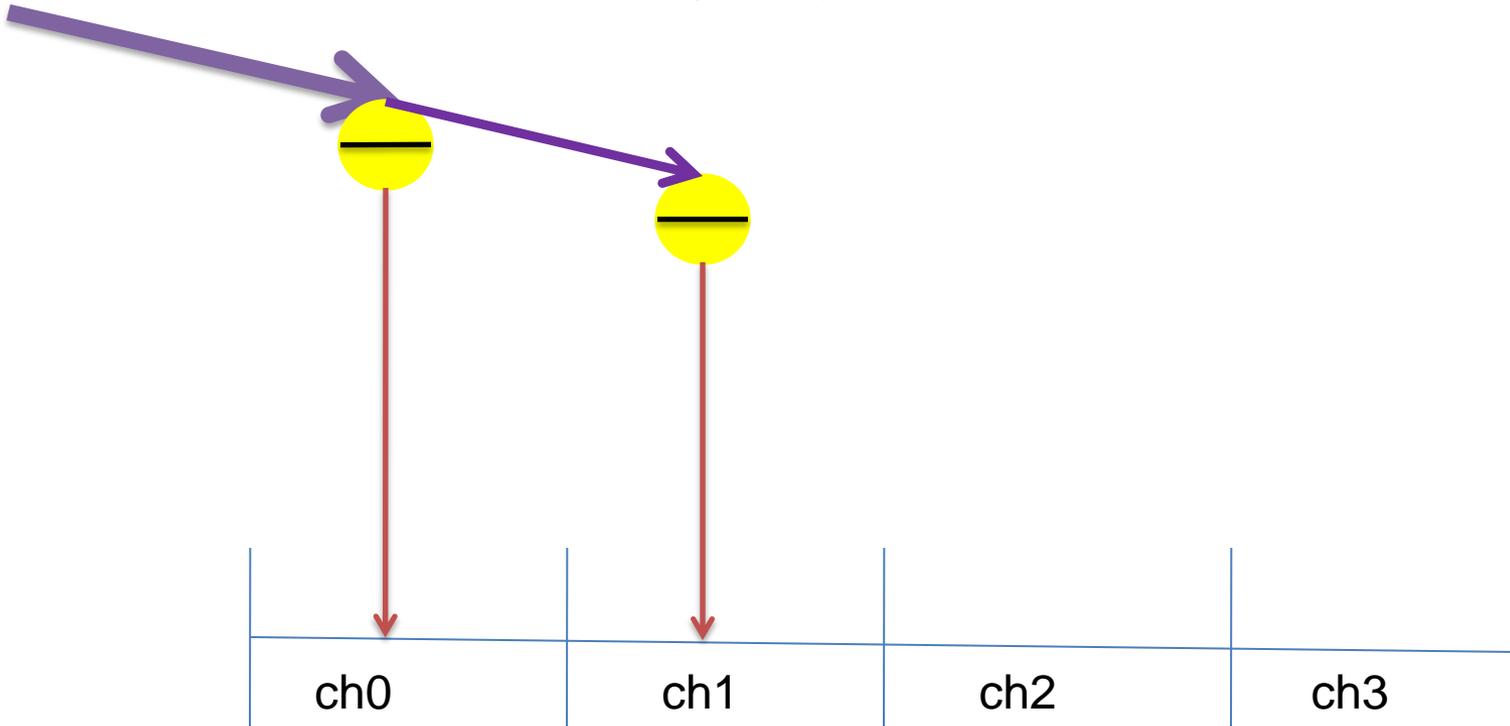
増幅率は約3000

chごとの増幅率



ゲイン補正

chごとの増幅率を用いて、1イベントの全エネルギースペクトルを求めた (SUM)

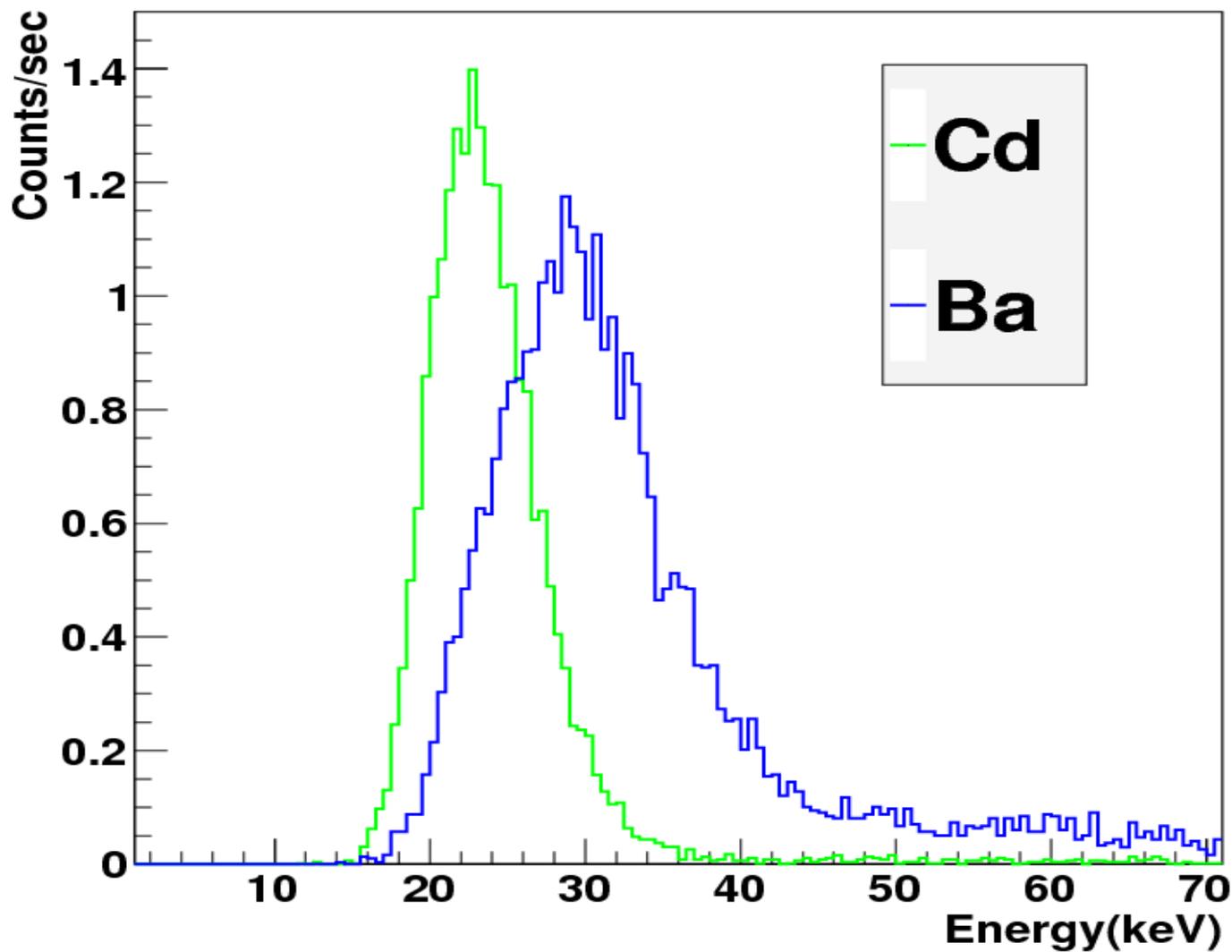


イベントごとにそれぞれ増幅率を加味して足し合わせる

SUMデータ

ゲイン補正有

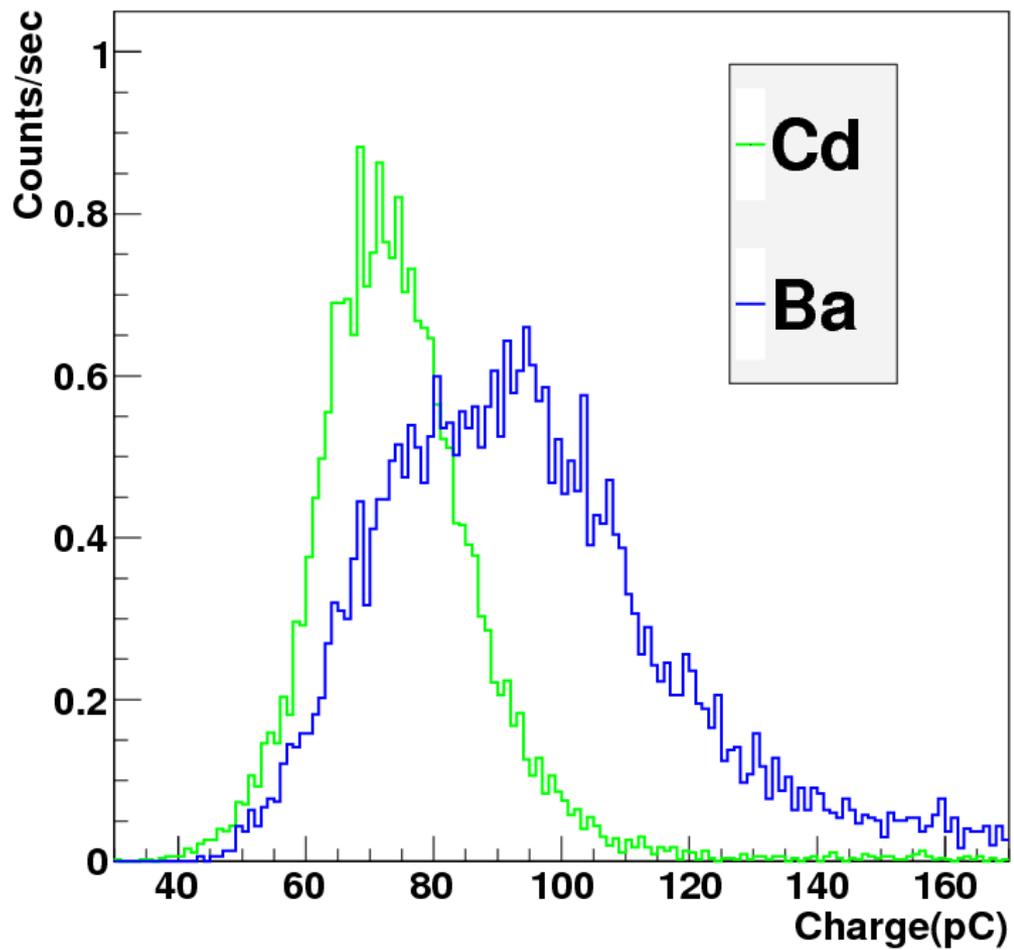
spectrum



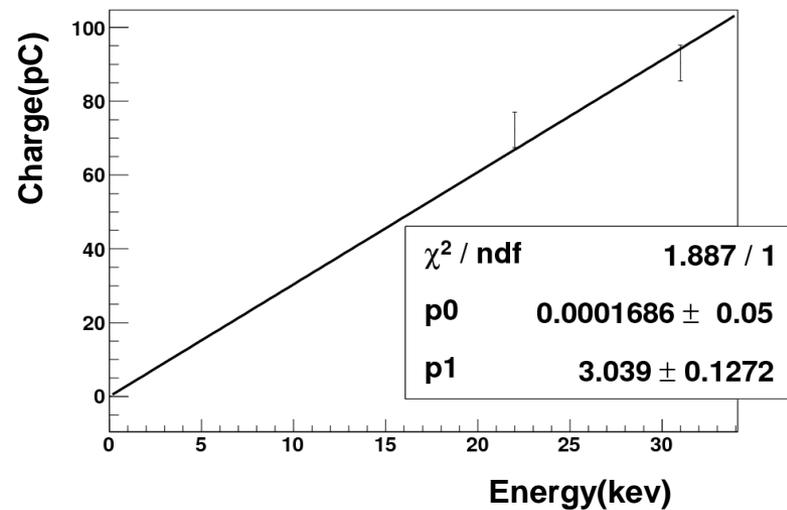
SUMデータ

ゲイン補正無

spectrum



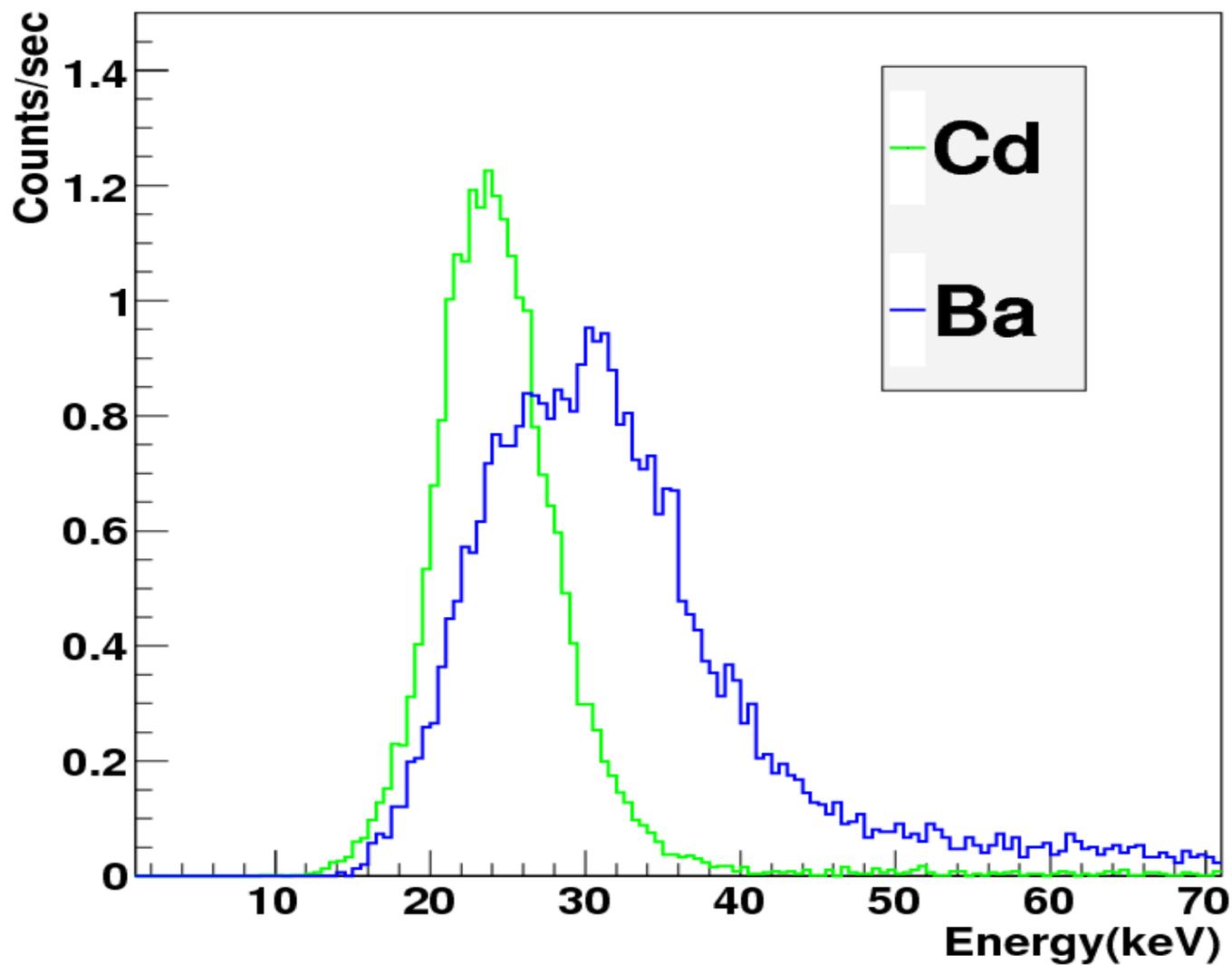
エネルギー較正



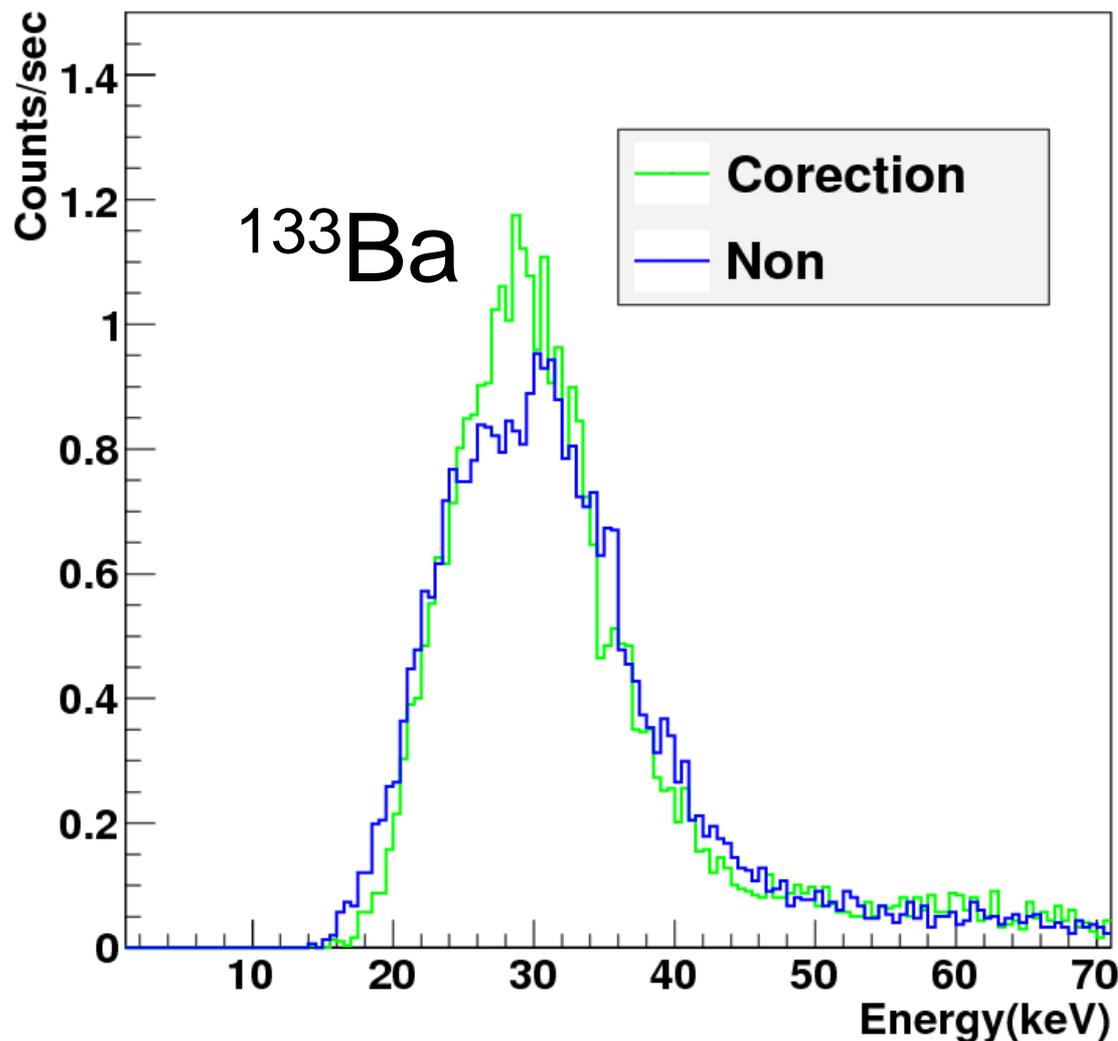
SUMデータ

ゲイン補正無

spectrum



spectrum



ゲイン補正前

mean:29.59±1.55

sigma: 6.614±1.682

分解能(FWHM)

$= (2.355 \times 6.614 / 29.59) \times 100$

=52.6%

ゲイン補正後

mean:29.24±1.41

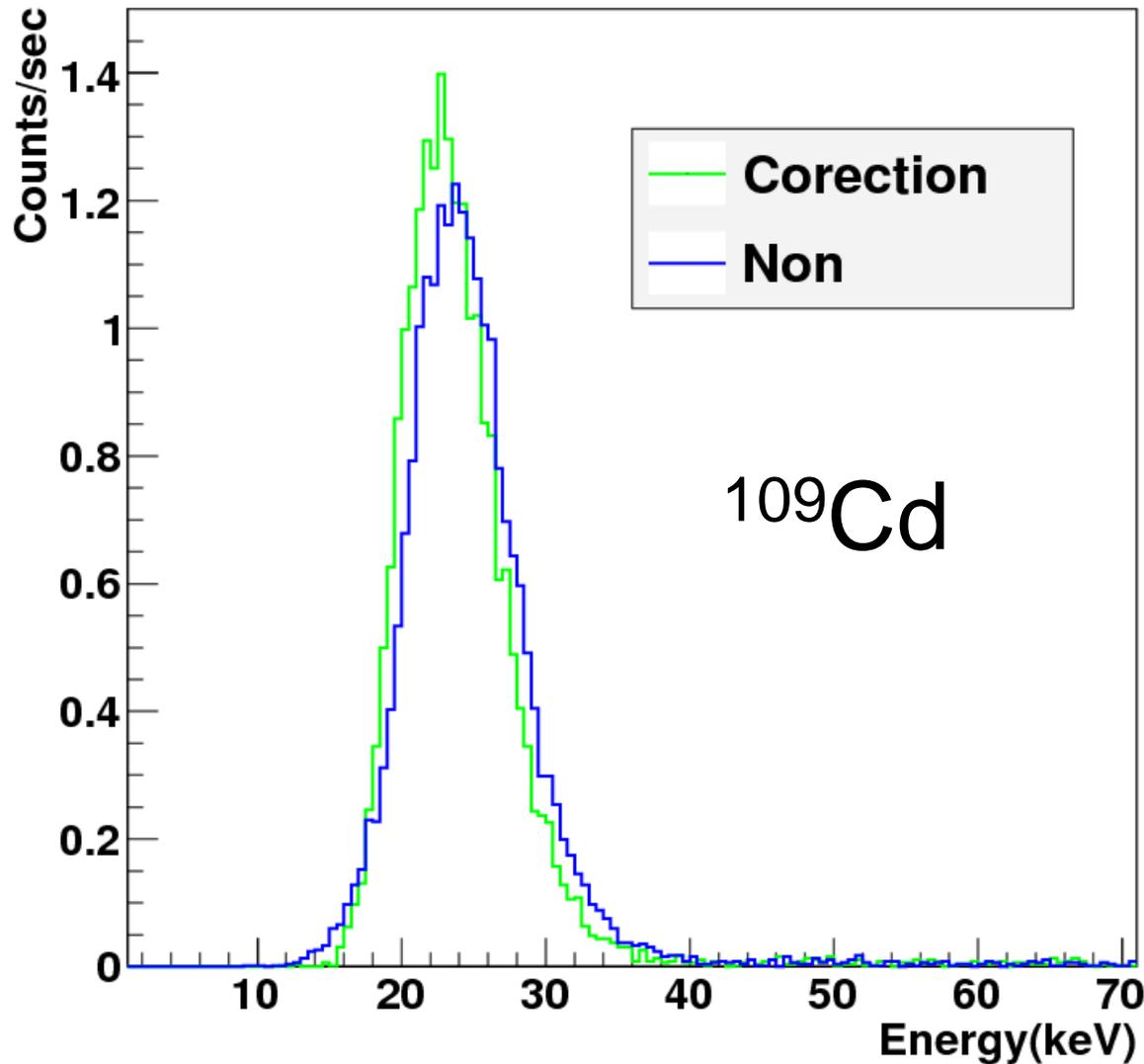
sigma:5.917±1.571

分解能(FWHM)

$= (2.355 \times 5.917 / 29.24) \times 100$

=47.7%

spectrum



ゲイン補正前

mean: 23.95 ± 1.02

sigma: 3.332 ± 0.914

分解能 (FWHM)

$= (2.355 \times 3.332 / 23.95) \times 100$

= 32.8%

ゲイン補正後

mean: 22.8 ± 1.2

sigma: 2.766 ± 1.022

分解能 (FWHM)

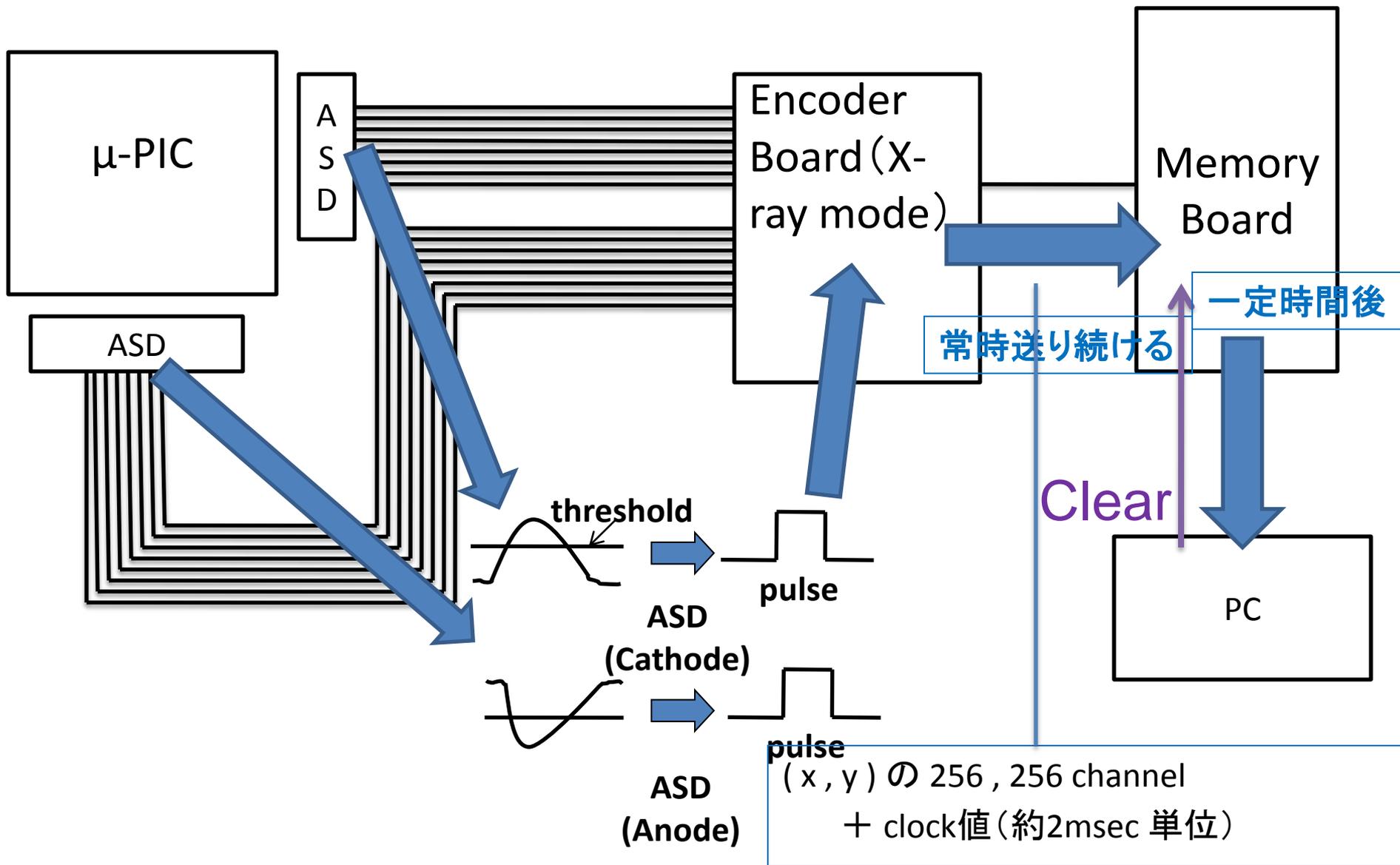
$= (2.355 \times 2.766 / 22.8) \times 100$

= 28.6%

3 二次元イメージング

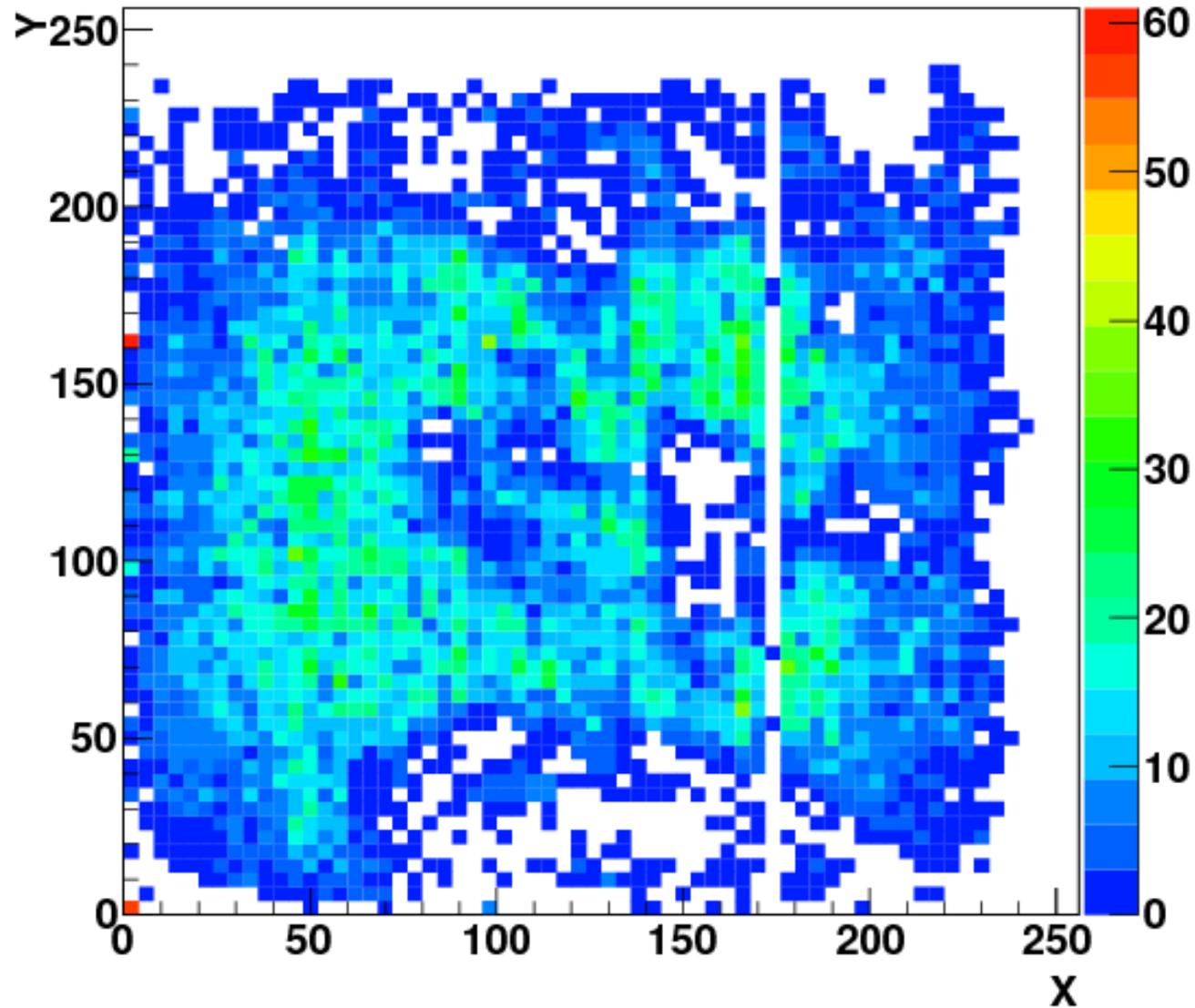
① channelと位置の対応

二次元イメージング (Xray mode)



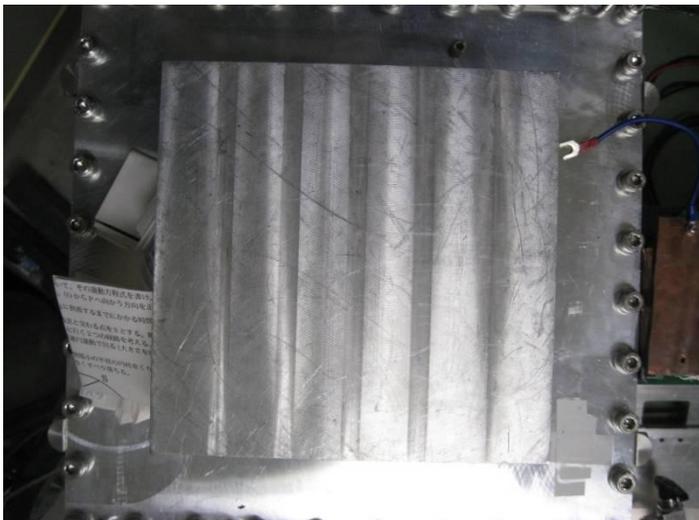
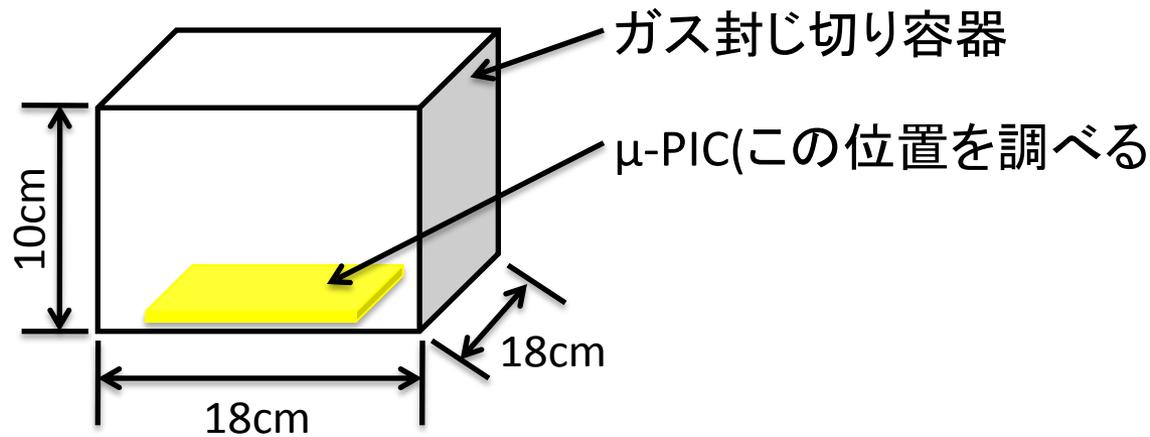
^{133}Ba によるイメージング

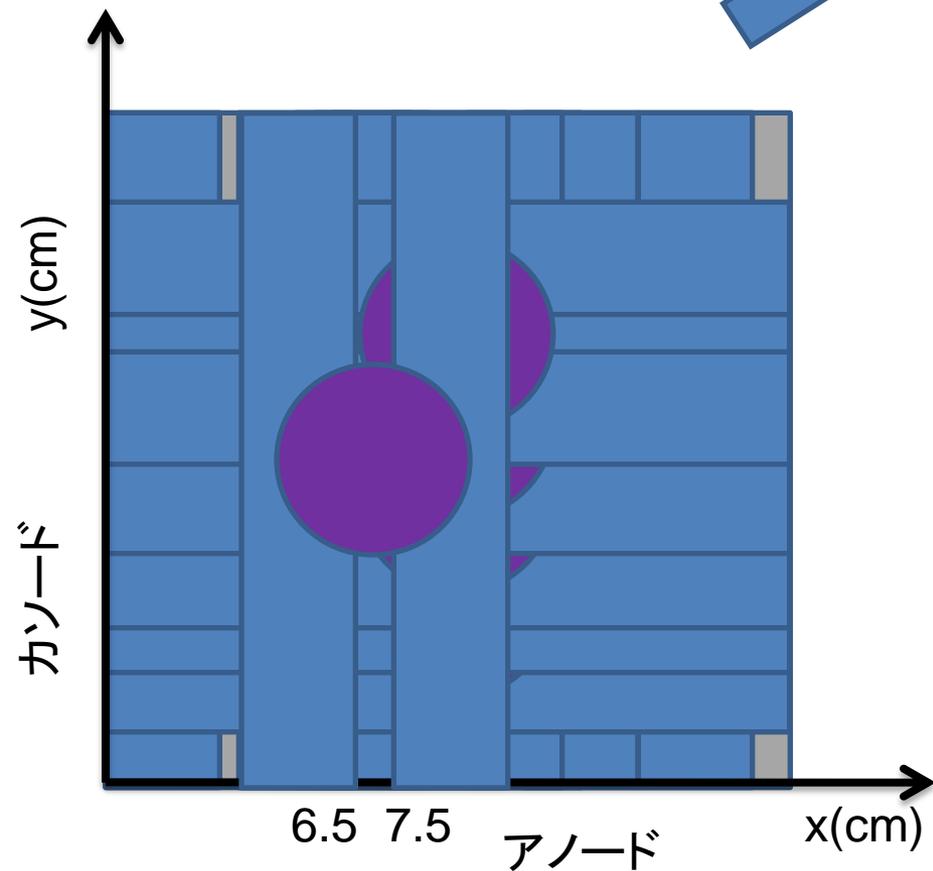
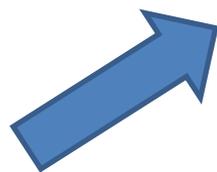
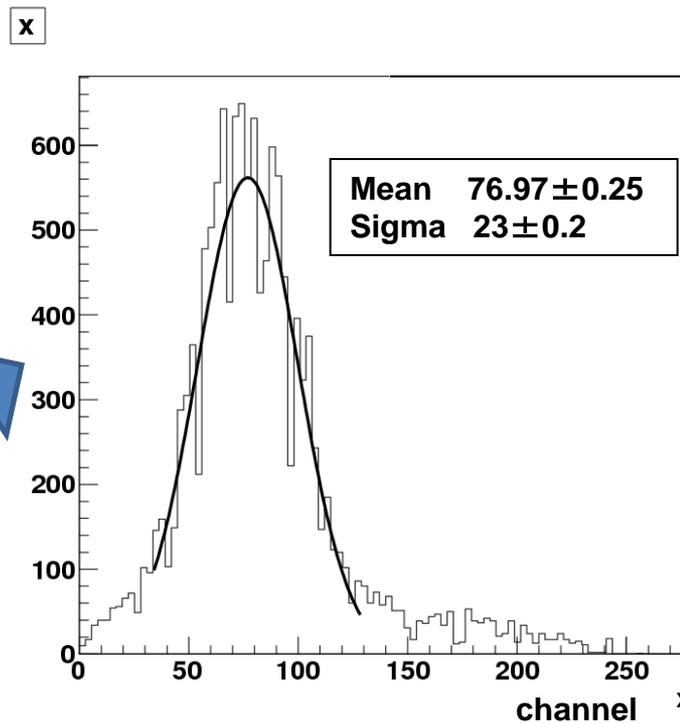
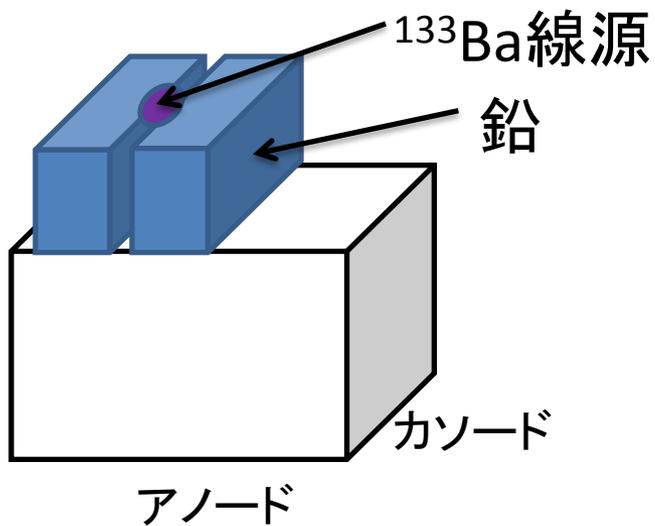
2D imaging



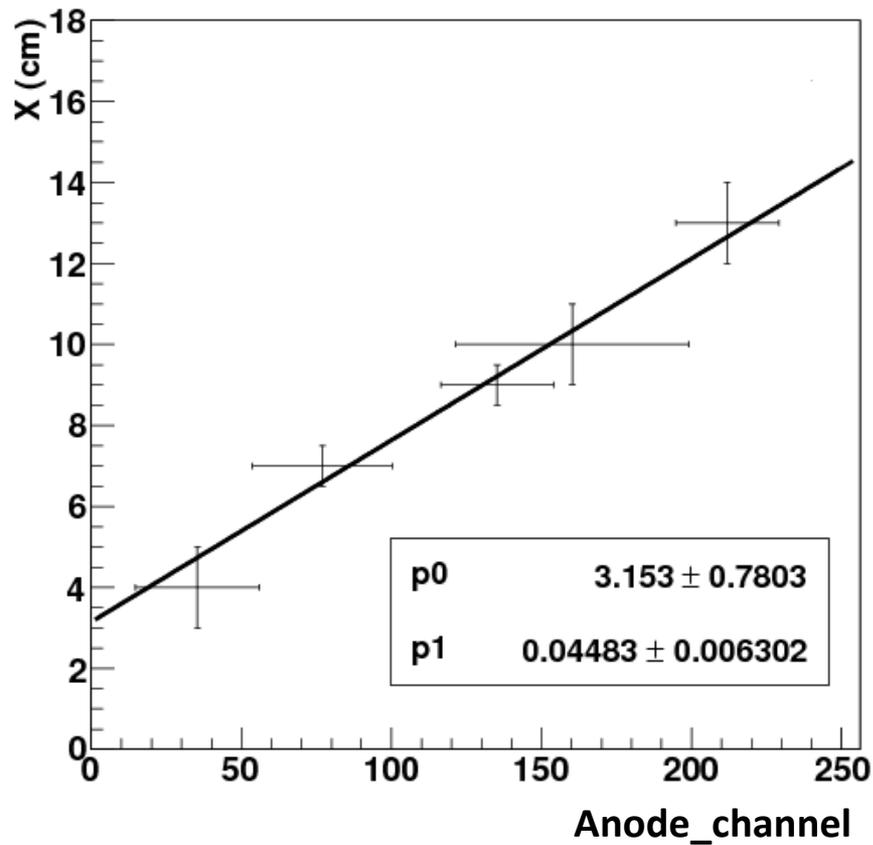
μ -PICの位置の調査

ガス封じ切り容器の中で μ -PICがどの位置にあるのかを調べた

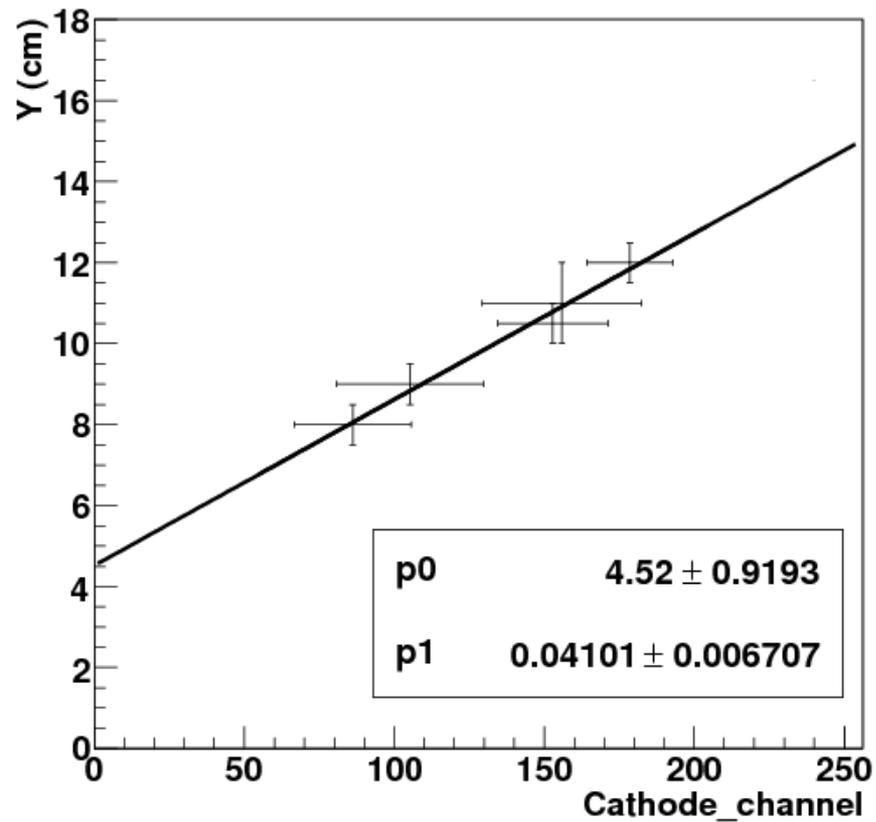




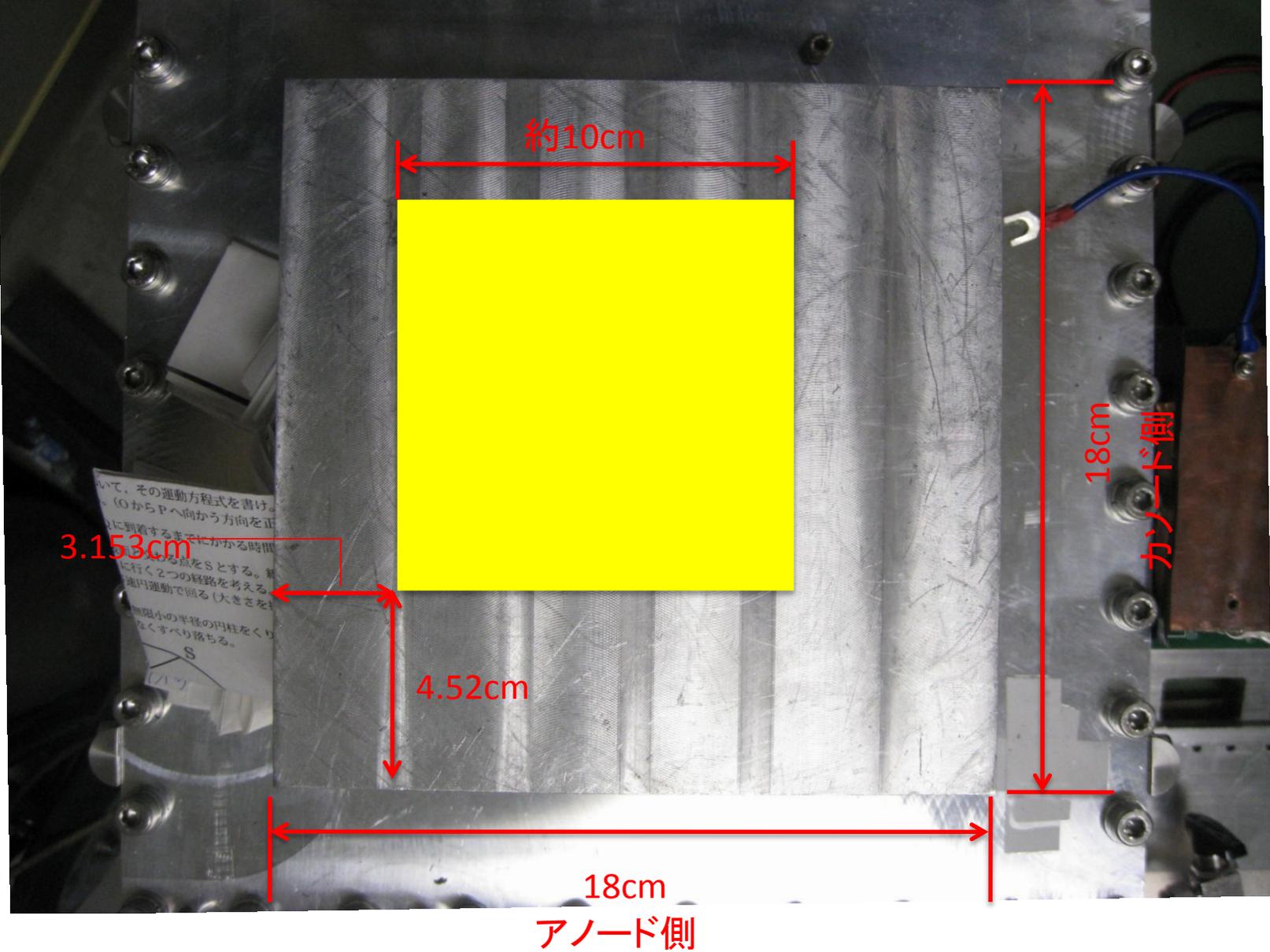
x方向(アノード側)6.5-7.5cmのとき



X方向(アノード側)の位置



Y方向(カソード側)の位置

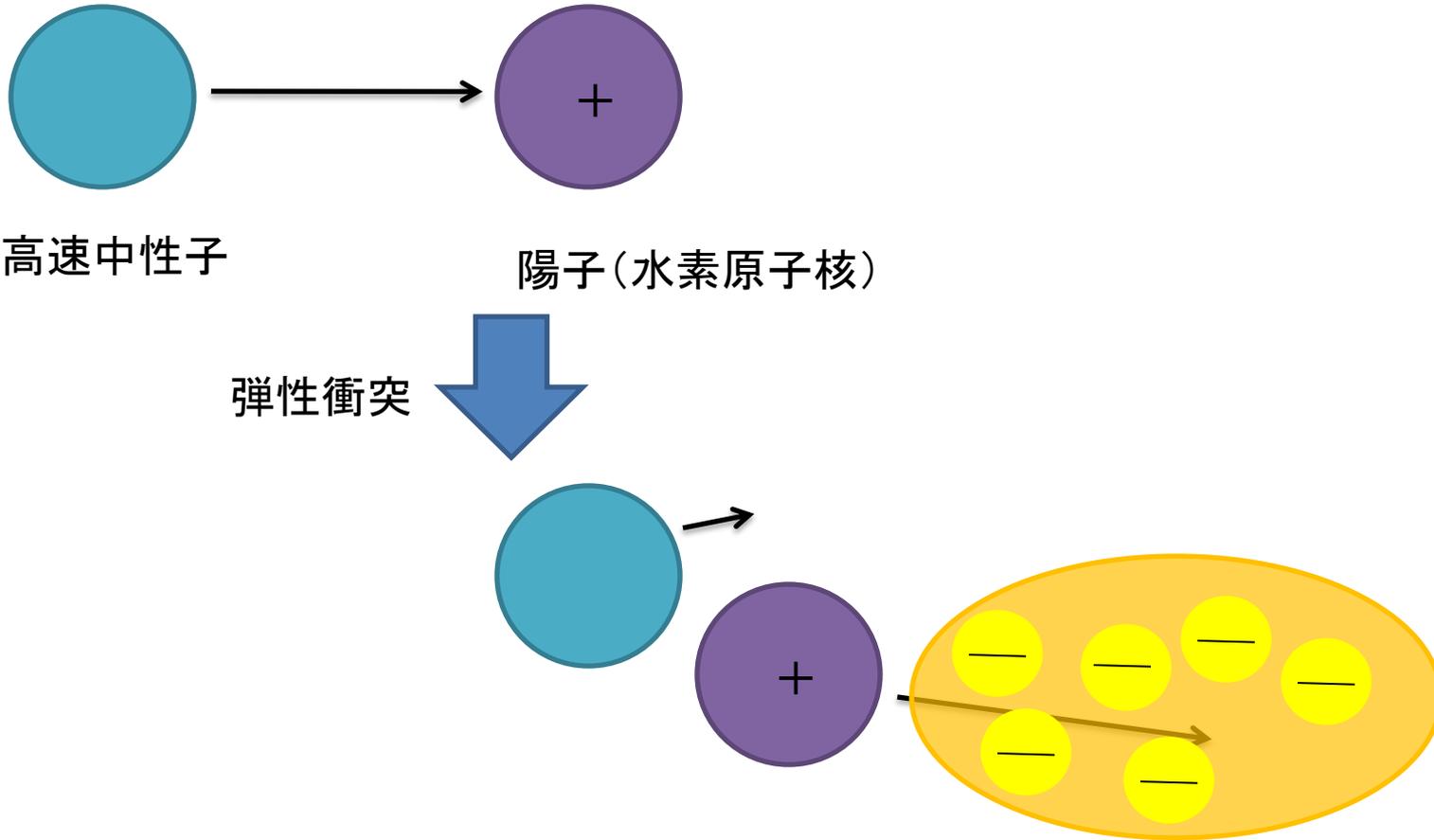


中央より左上に少しずれていたことが確認できた。

3 二次元イメージング

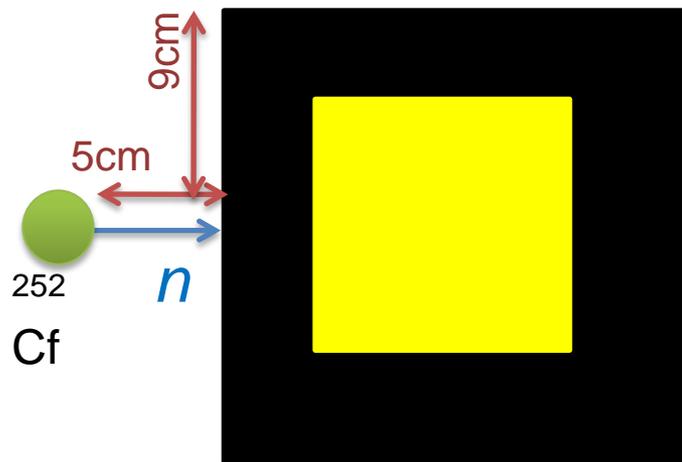
② n-p散乱の軌跡と散乱角

高速中性子線から、電子雲生成までの過程



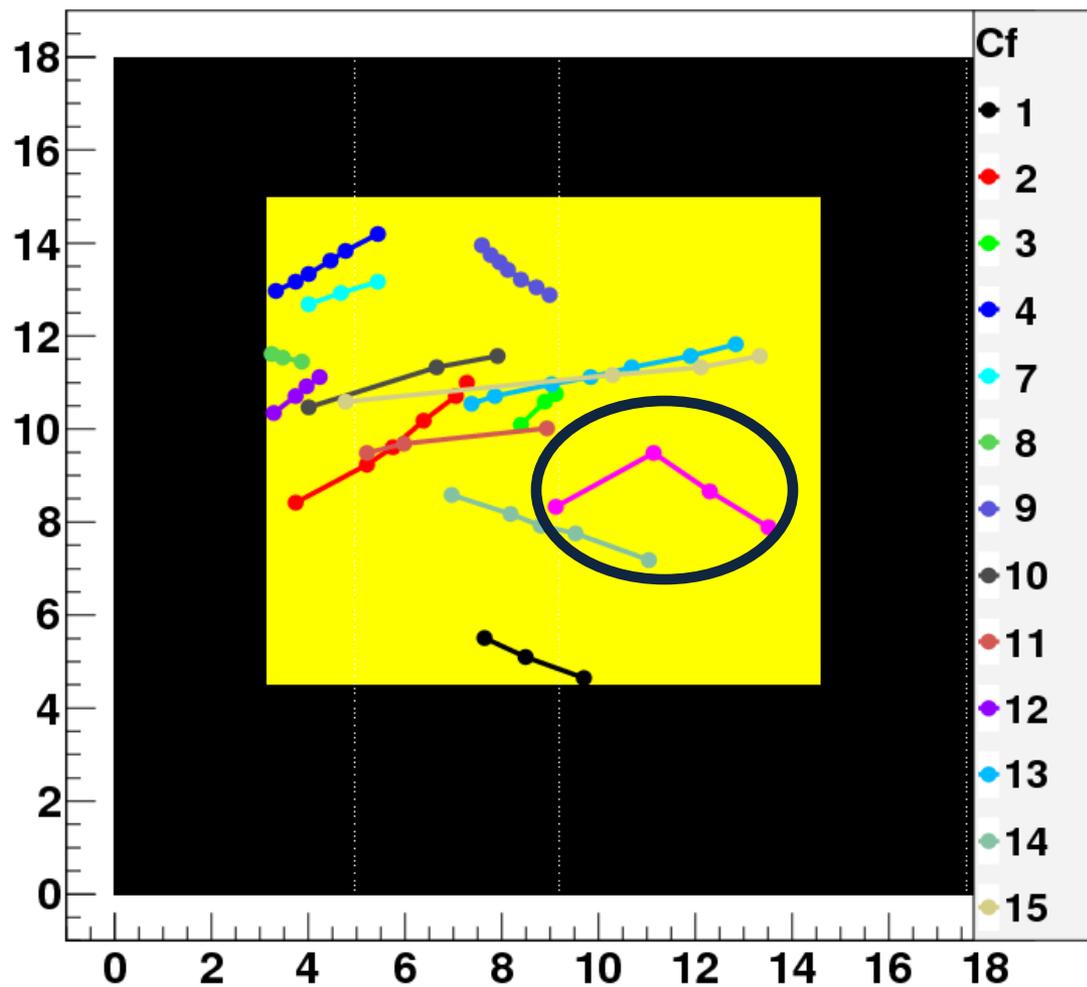
Xray mode  (x,y)情報 + clock数 (約2msec単位)

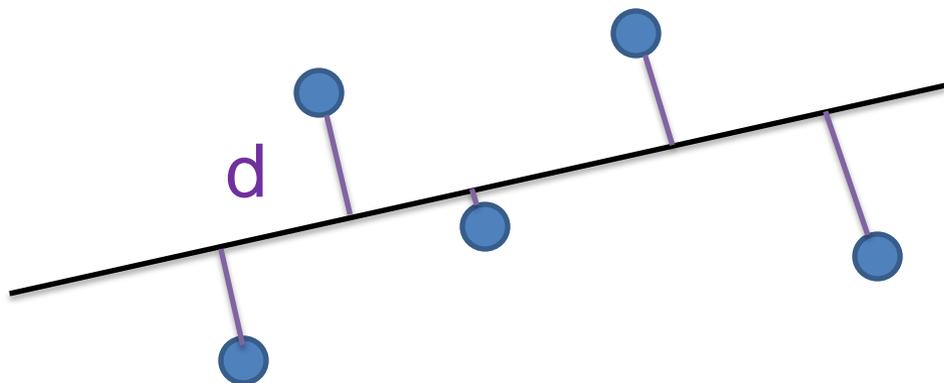
X	Y	clock
3	230	0
112	200	15
50	150	120
74	140	120
103	122	120
130	90	120
200	54	300
54	92	564
▪	▪	▪
▪	▪	▪



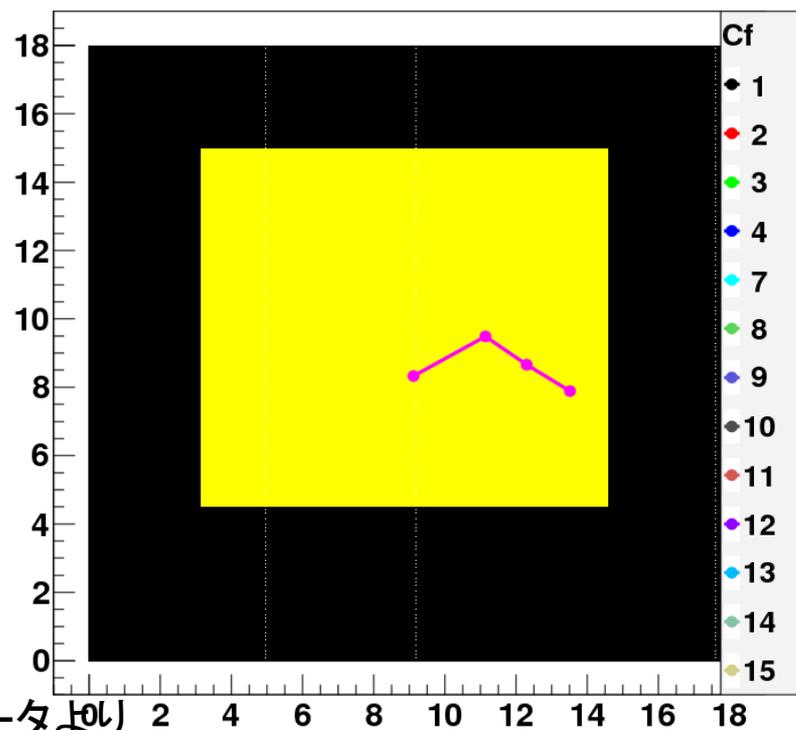
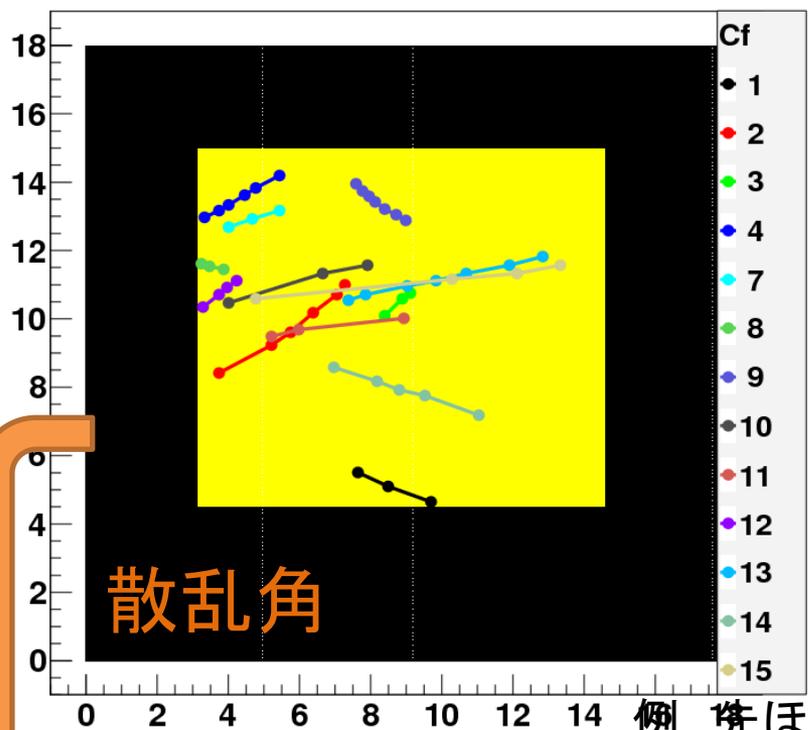
Setup

例 15データ分



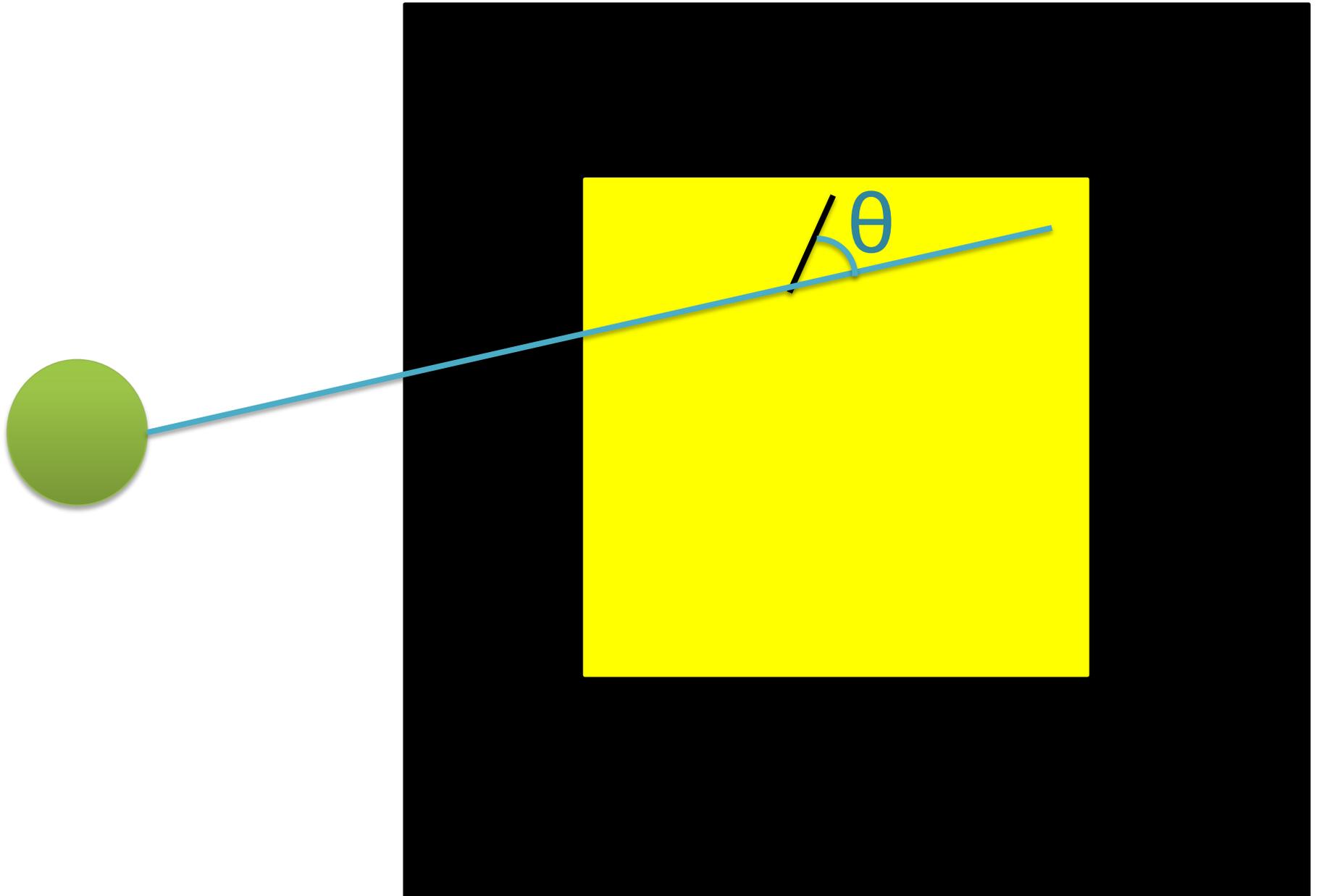


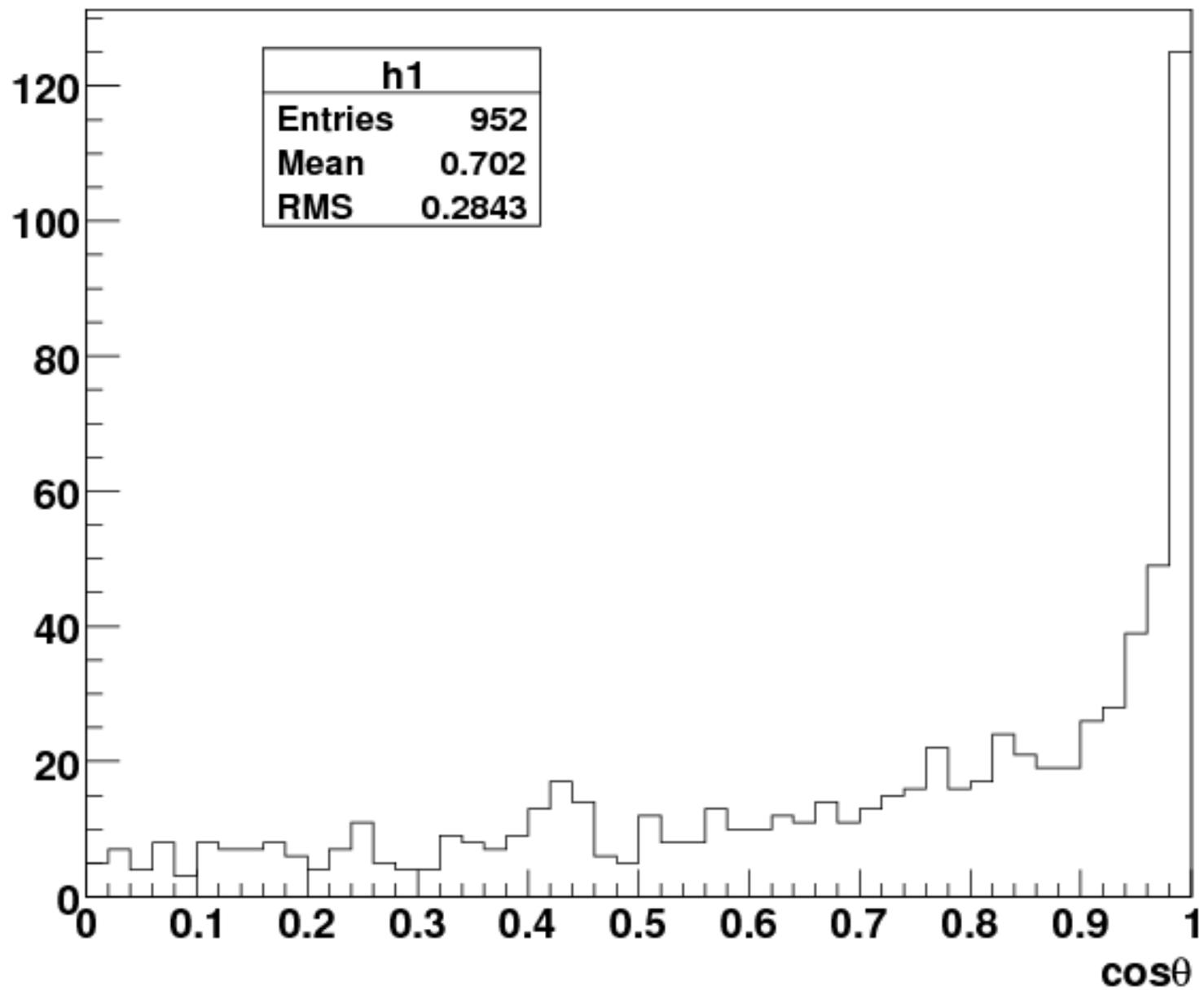
$$\bar{d} < 0.1 \text{ cm}$$



散乱角

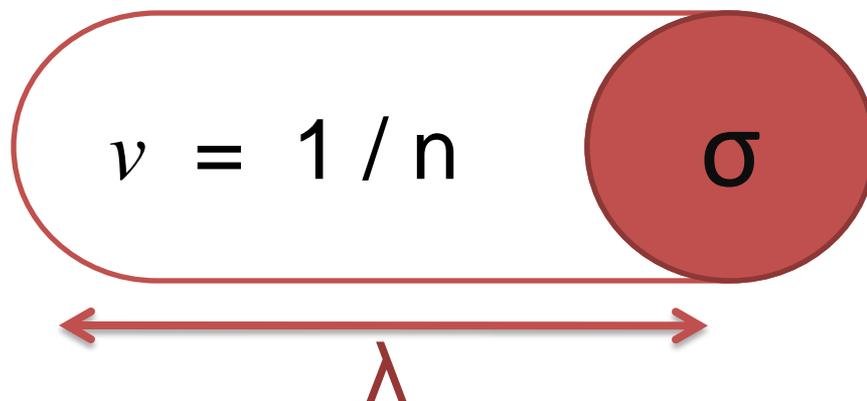
例 先ほどのデータより
OK(左) NG(右)





中性子-陽子散乱のシミュレーション

1. 散乱までの距離について



Ar : C₂H₆ = Balance : 7.74%

標準状態1molの体積
= 22400 (cm³)

陽子個数密度 n (個/cm³)

$$= 6.02 \times 10^{23} \times 0.0774 \times 6 / 22400 = 1.25 \times 10^{19} \text{ (個/cm}^3\text{)}$$

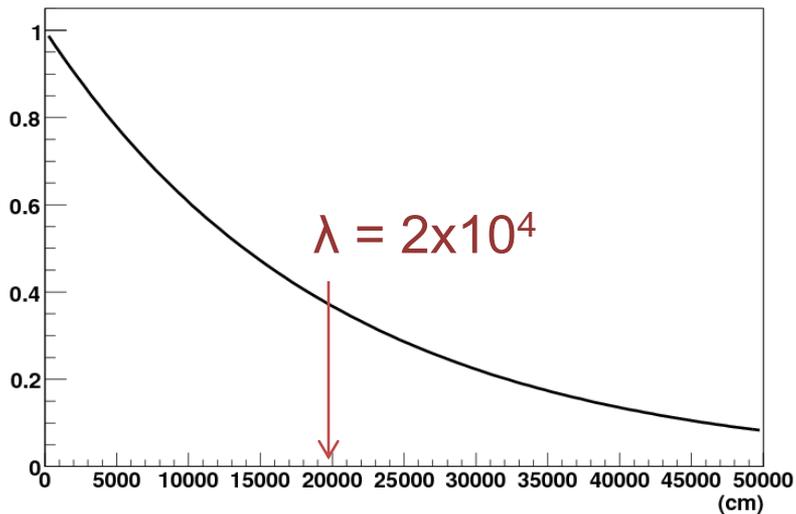
散乱断面積 σ (cm²) ($E_n = 1\text{MeV}$ に対して)

$$= 4 \text{ (barn)} = 4 \times 10^{-24} \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 1 / (n \cdot \sigma) \\ &= 2 \times 10^4 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

Distribution

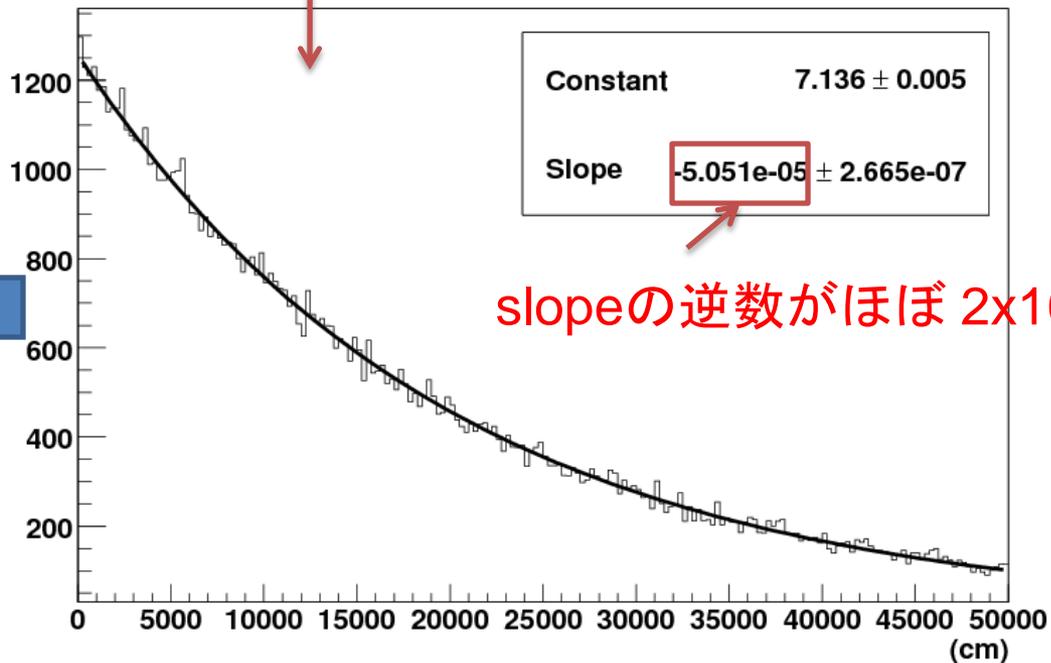
分布関数 $f(r) = \exp(-\frac{r}{\lambda})$



乱数 Random [0,1] に対して
 $\text{Random} = 1 - \exp(-\frac{r}{\lambda})$
を満たす r を求める。
 $\therefore r = -\lambda \ln(1 - \text{Random})$

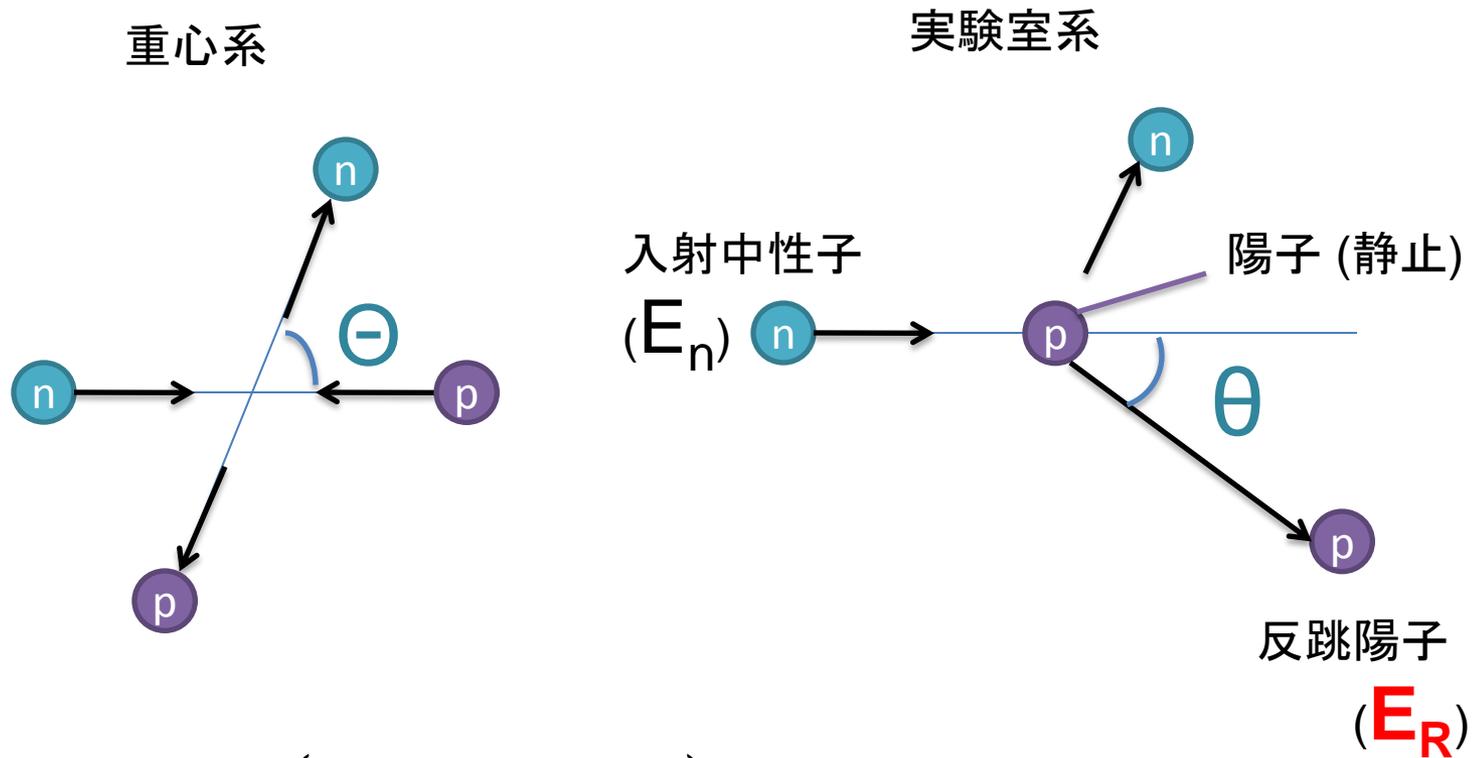
0~10cmで衝突する確率は

約 0.05%



slopeの逆数がほぼ 2×10^4

2. 散乱角の大きさについて



$$E_R = \frac{(1 - \cos \Theta)}{2} E_n = \cos^2 \theta \times E_n$$

$P(E_R)$ については

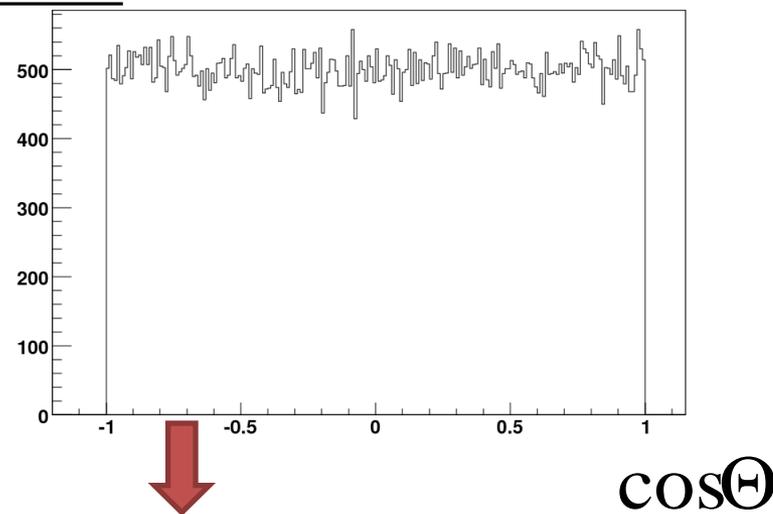
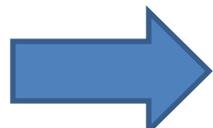
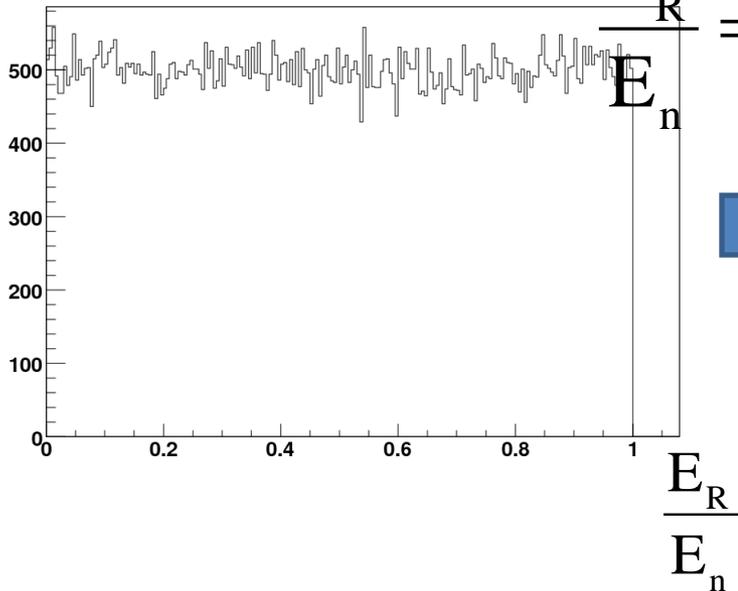
$$P(E_R) = \frac{1}{E_n} = \text{一定}$$

が成り立つ

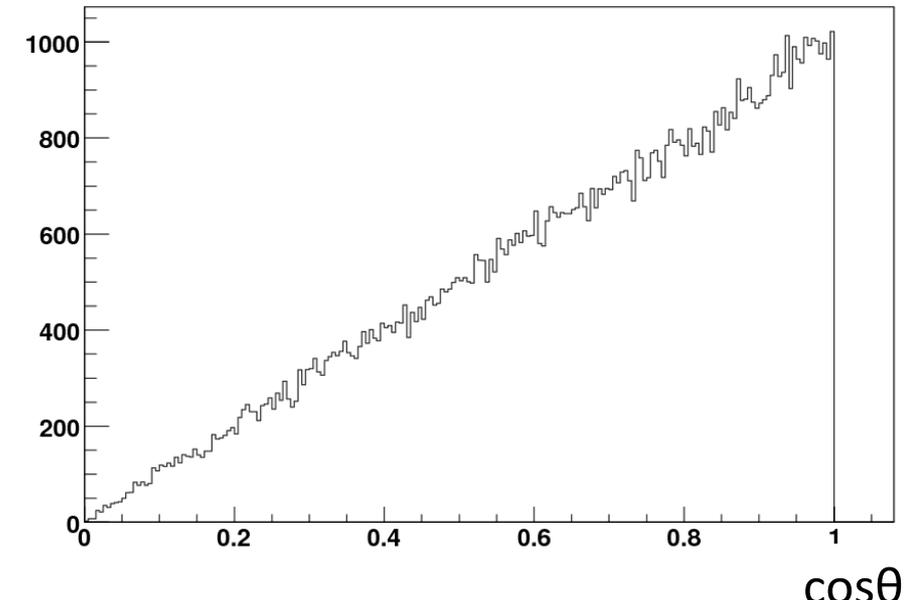
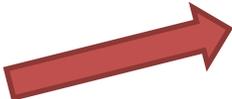
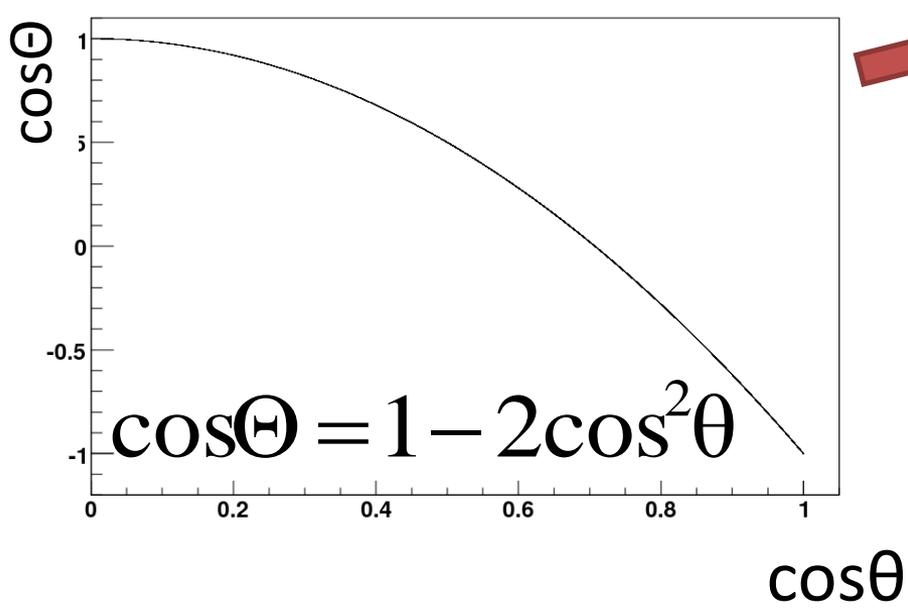
エネルギー分布



$$\frac{E_R}{E_n} = \frac{(1 - \cos\Theta)}{2}$$



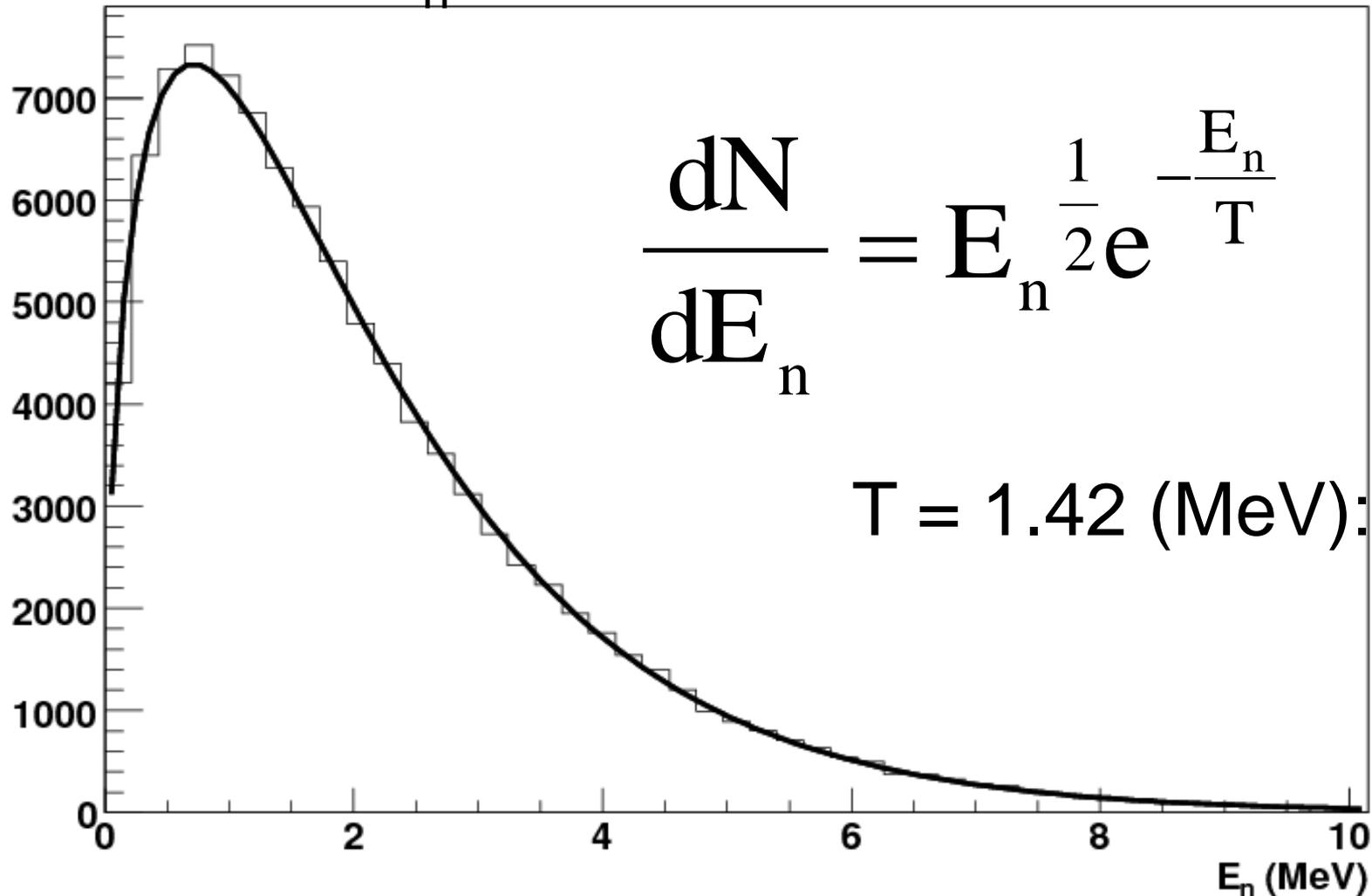
cosθの分布

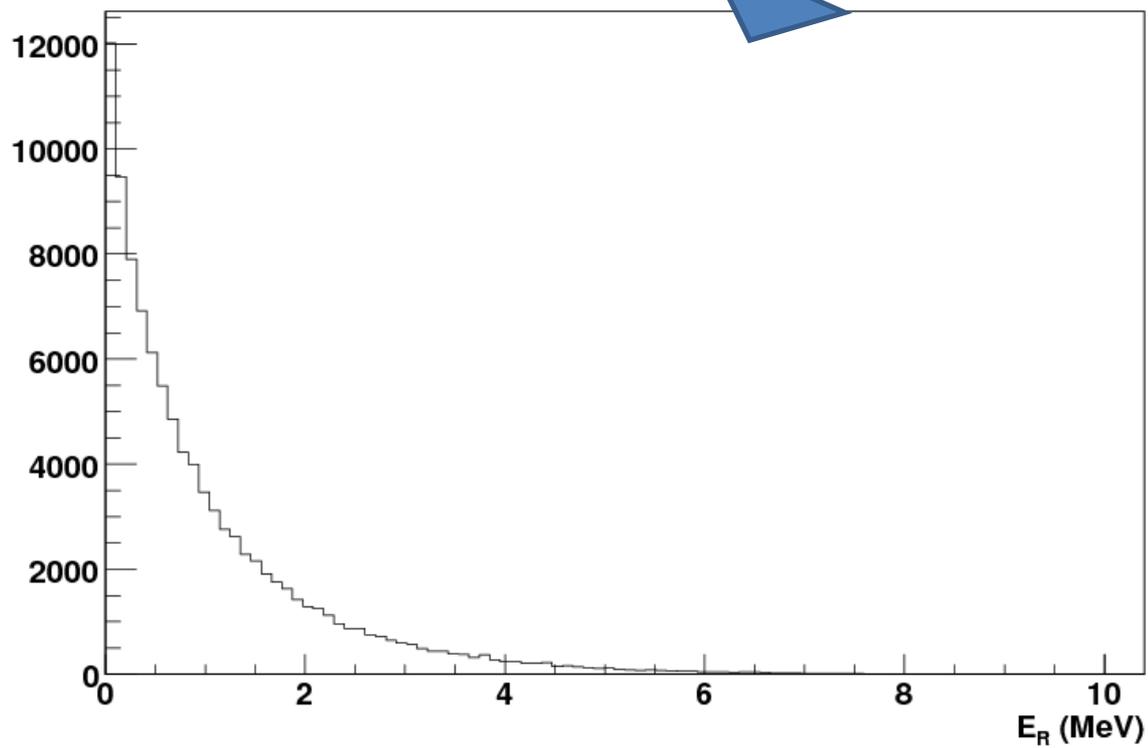
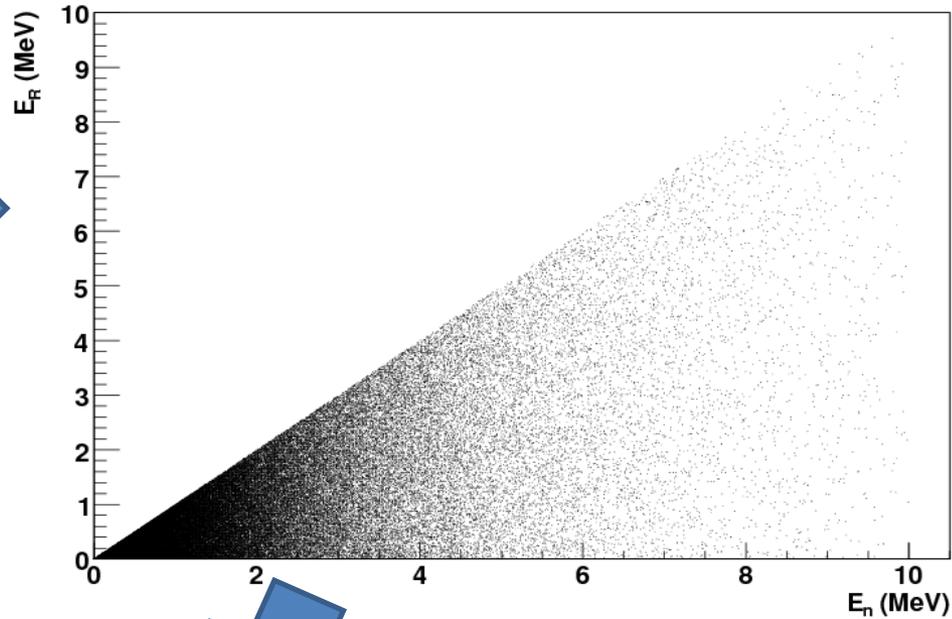
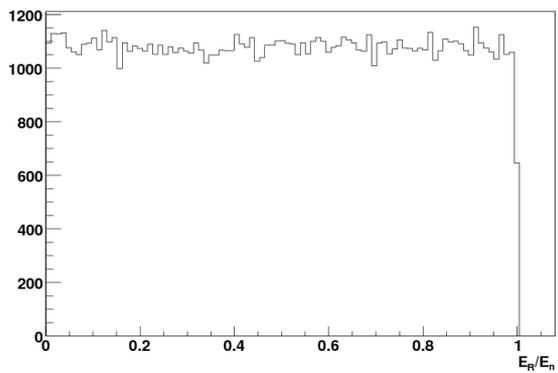


注. E_R が小さすぎると、検出できない

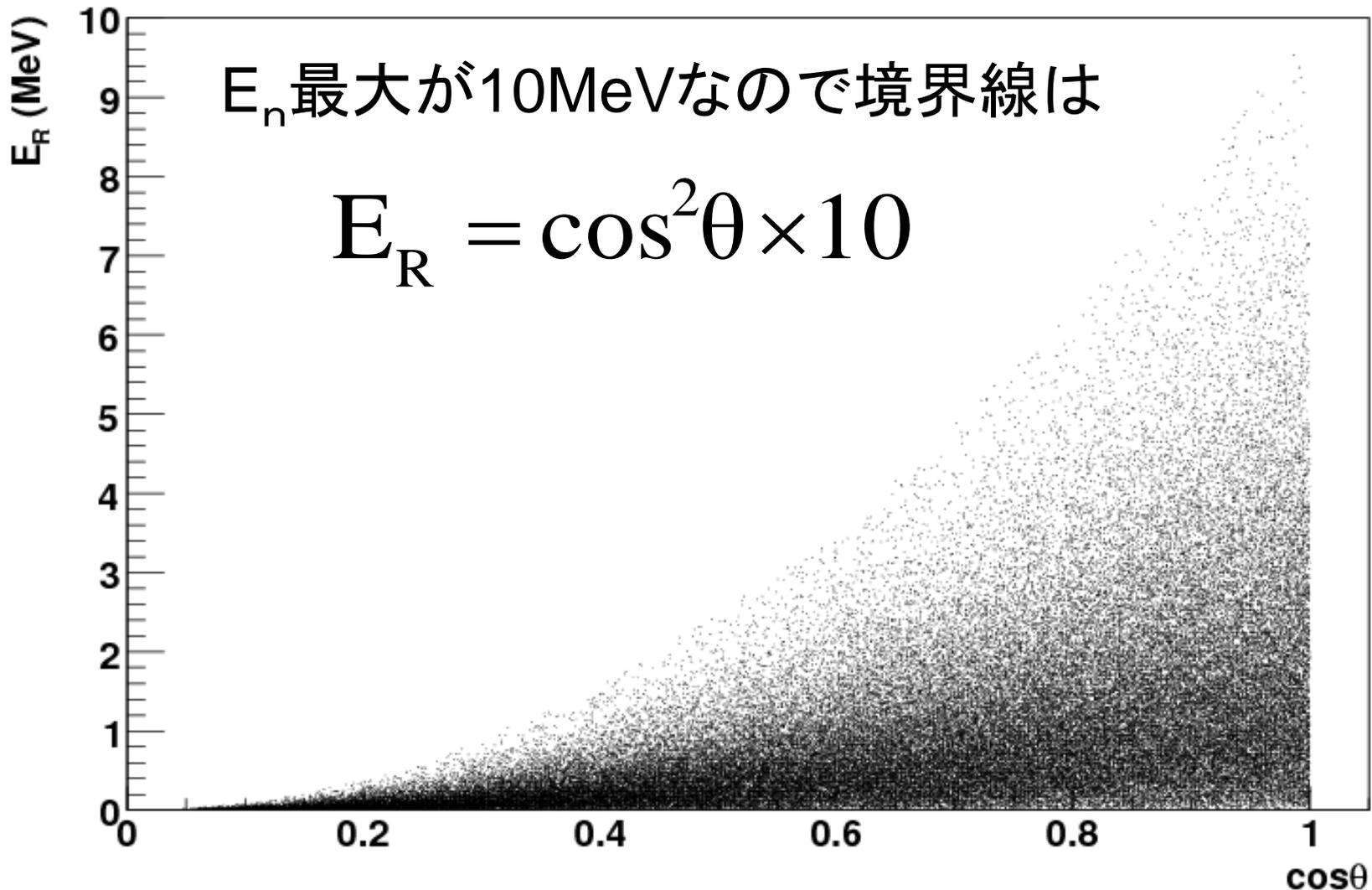
+

E_n にも分布がある

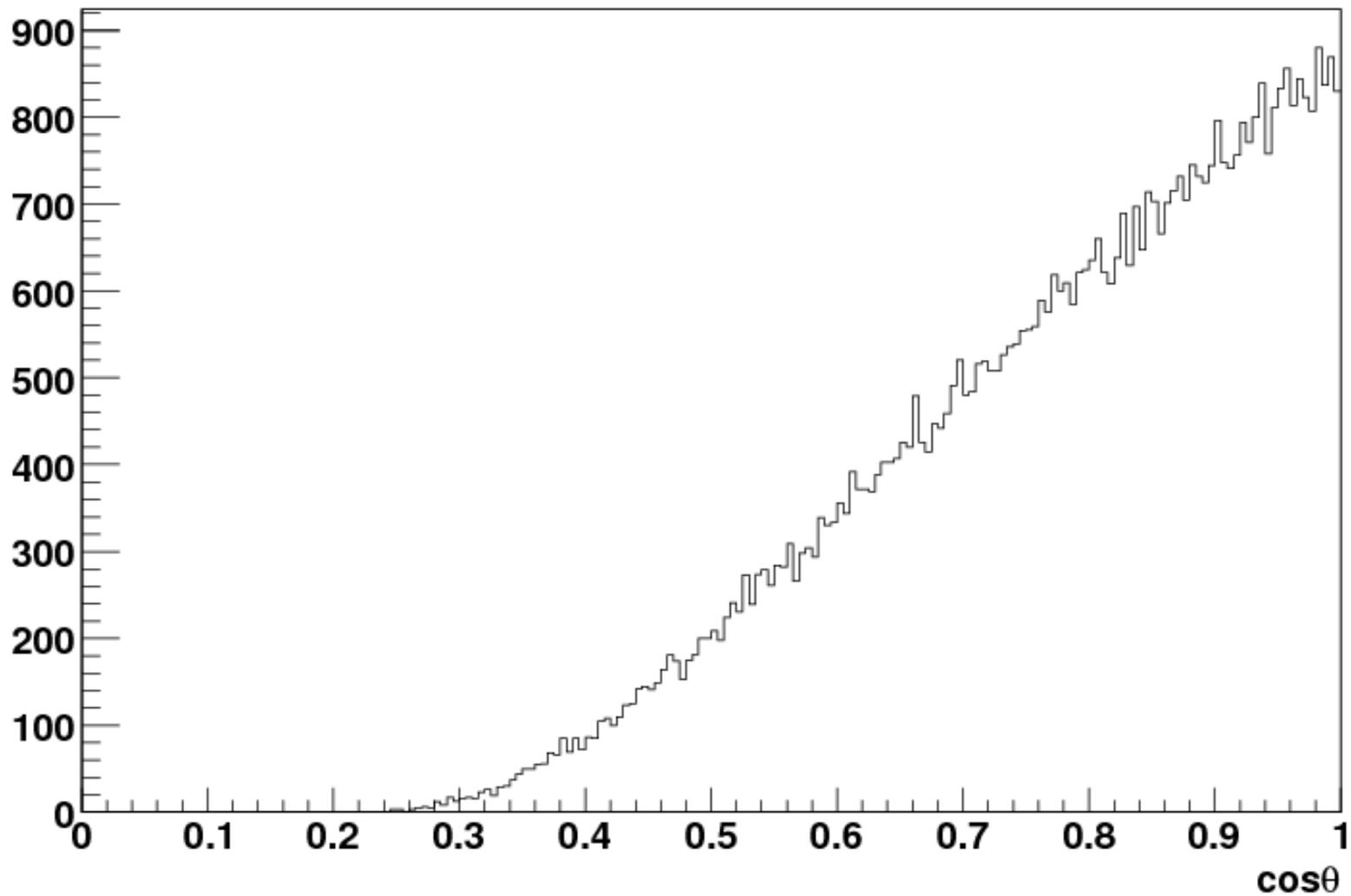




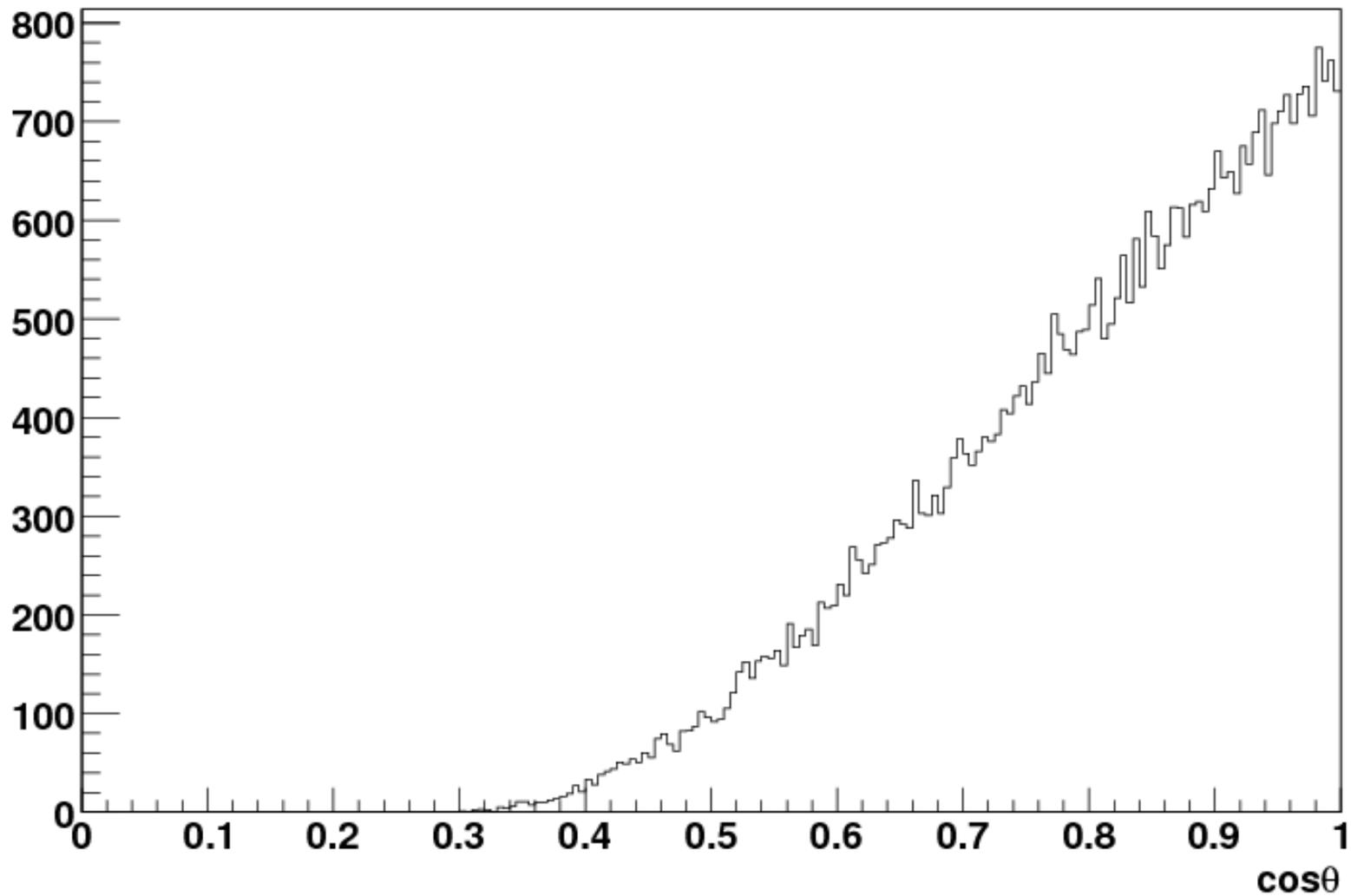
E_R と散乱角の分布 $E_R = \cos^2\theta \times E_n$



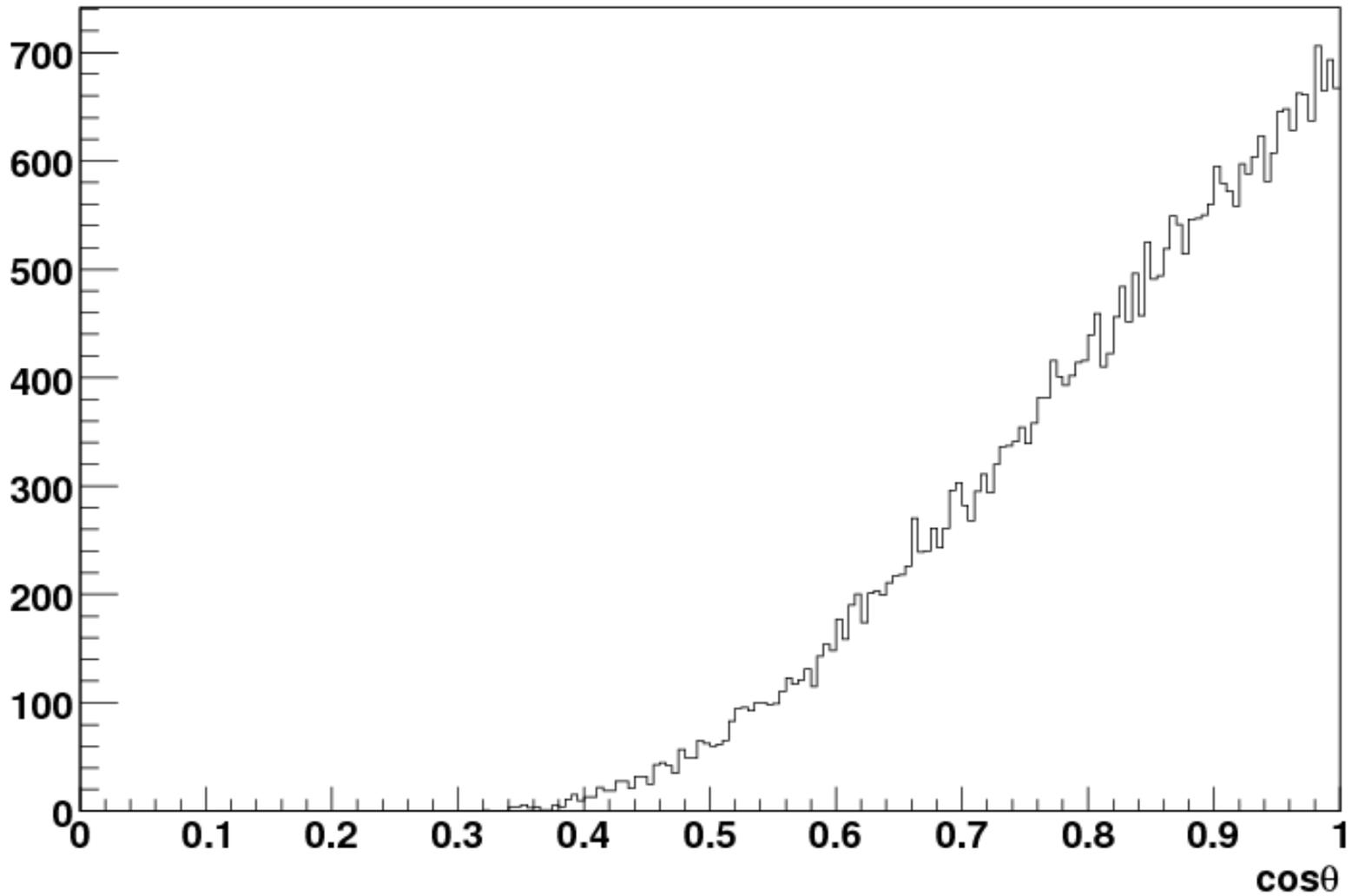
$\cos\theta$ ($E_R > 0.5\text{MeV}$)



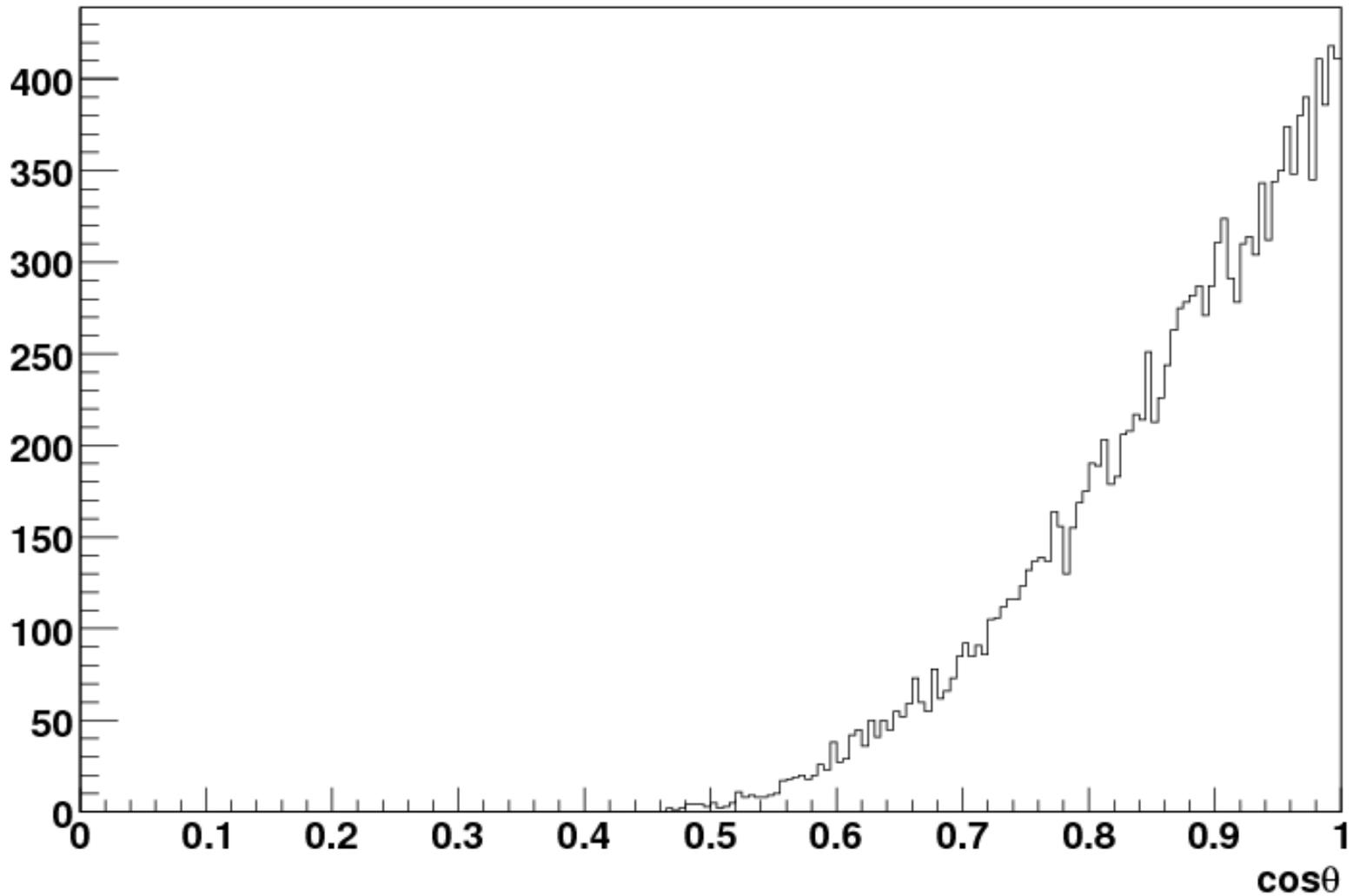
$\cos\theta$ ($E_R > 0.8\text{MeV}$)

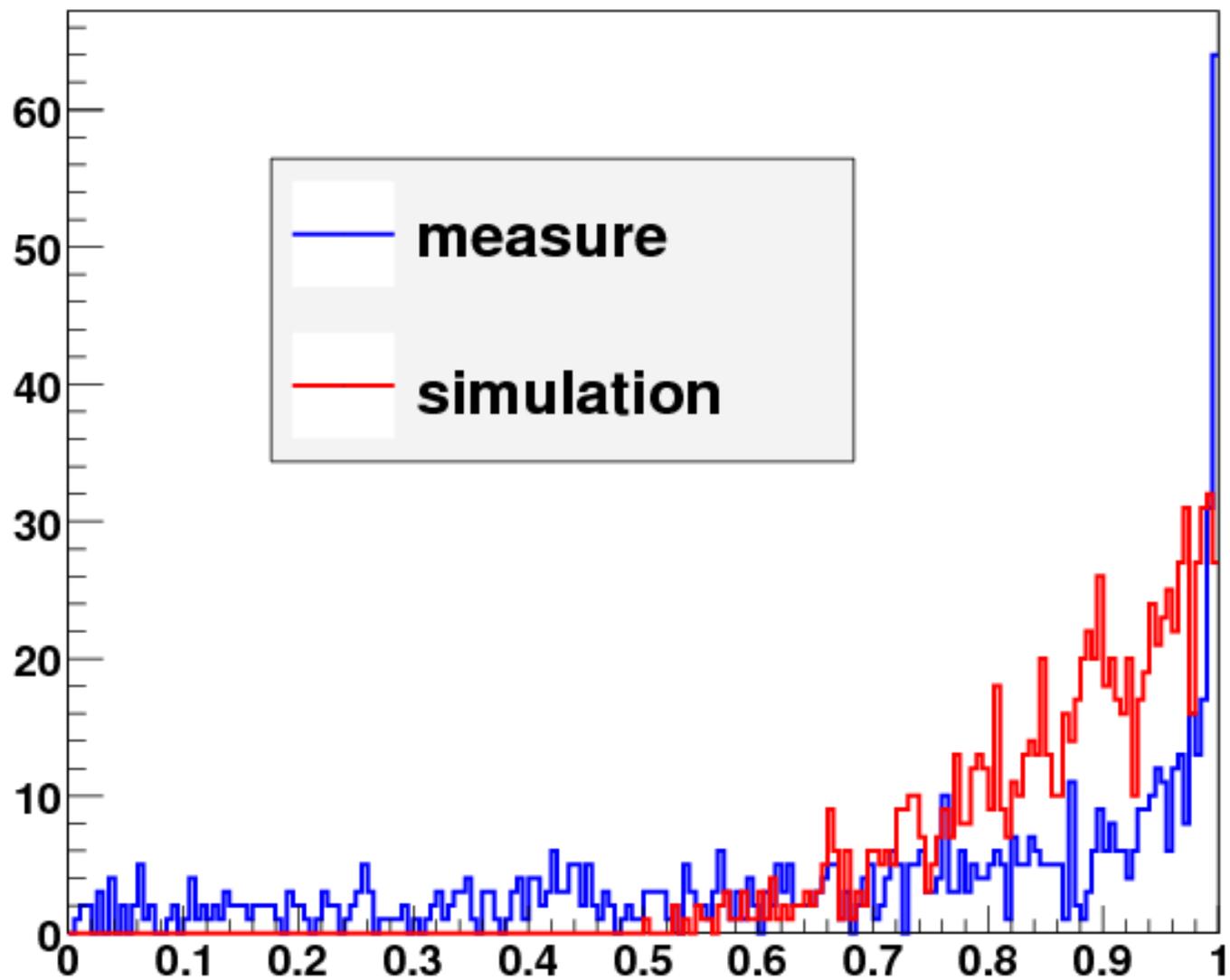


$\cos\theta$ ($E_R > 1.0\text{MeV}$)



$\cos\theta$ ($E_R > 2.0\text{MeV}$)





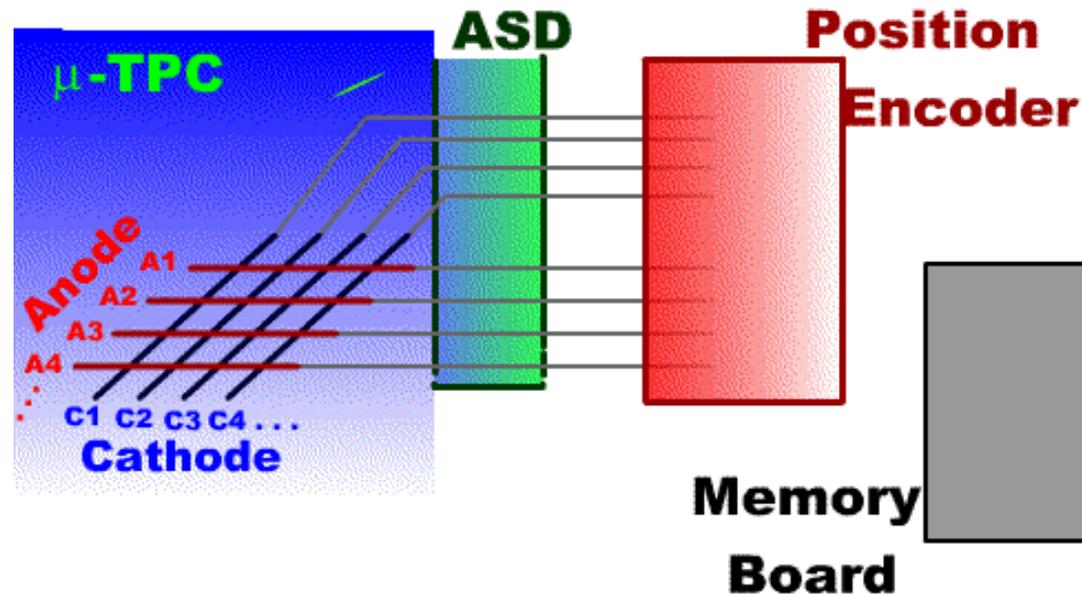
4 おまけ

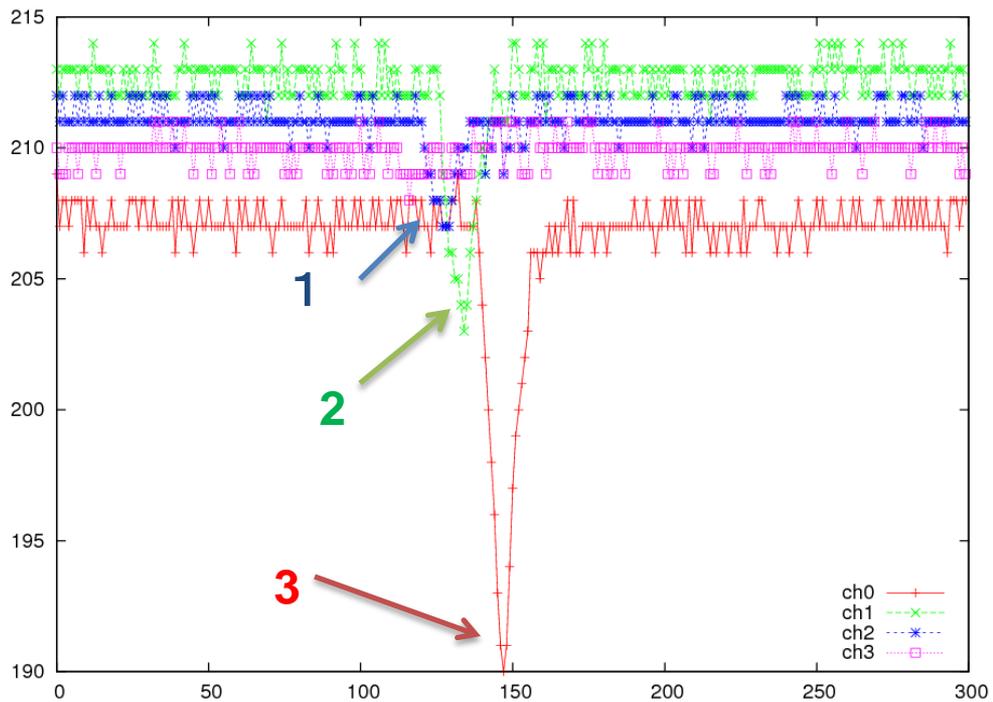
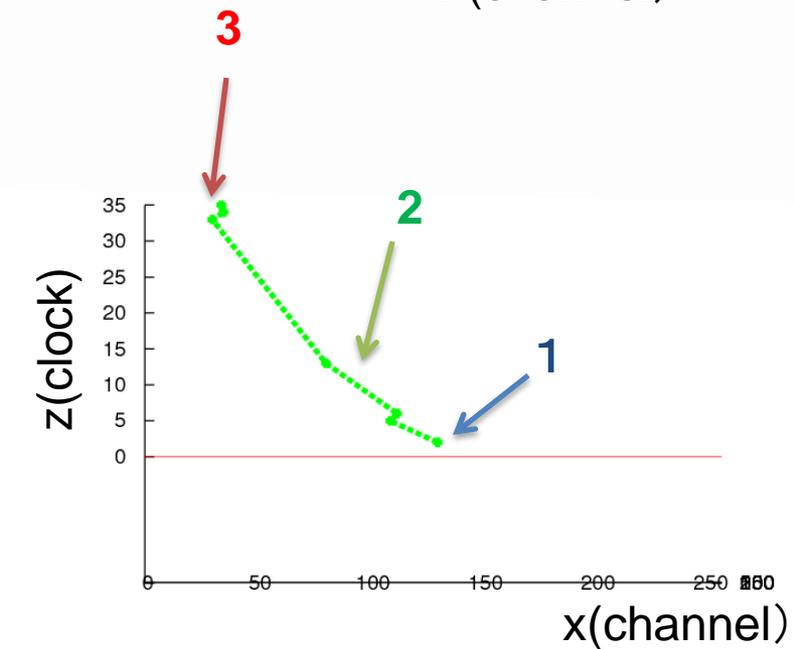
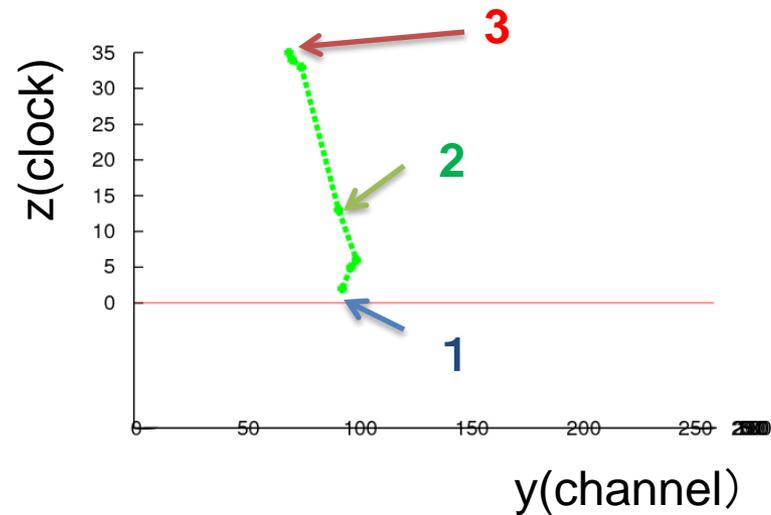
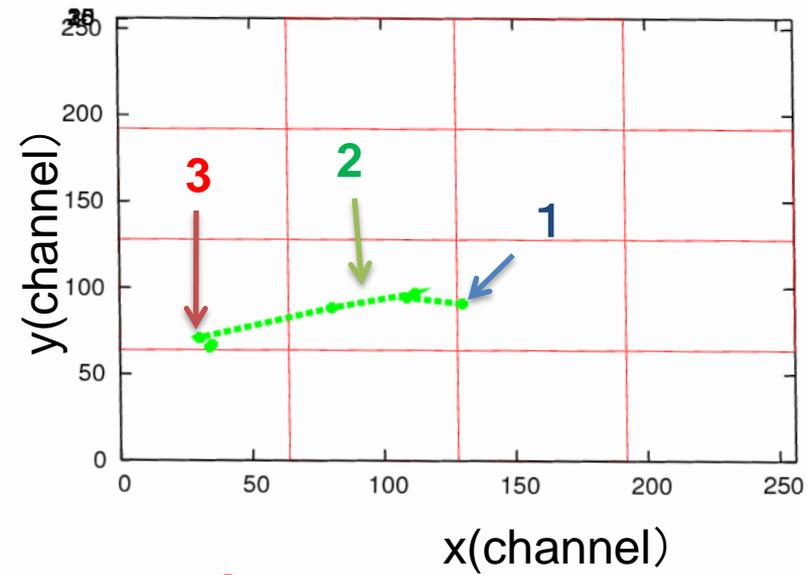
三次元トラッキング

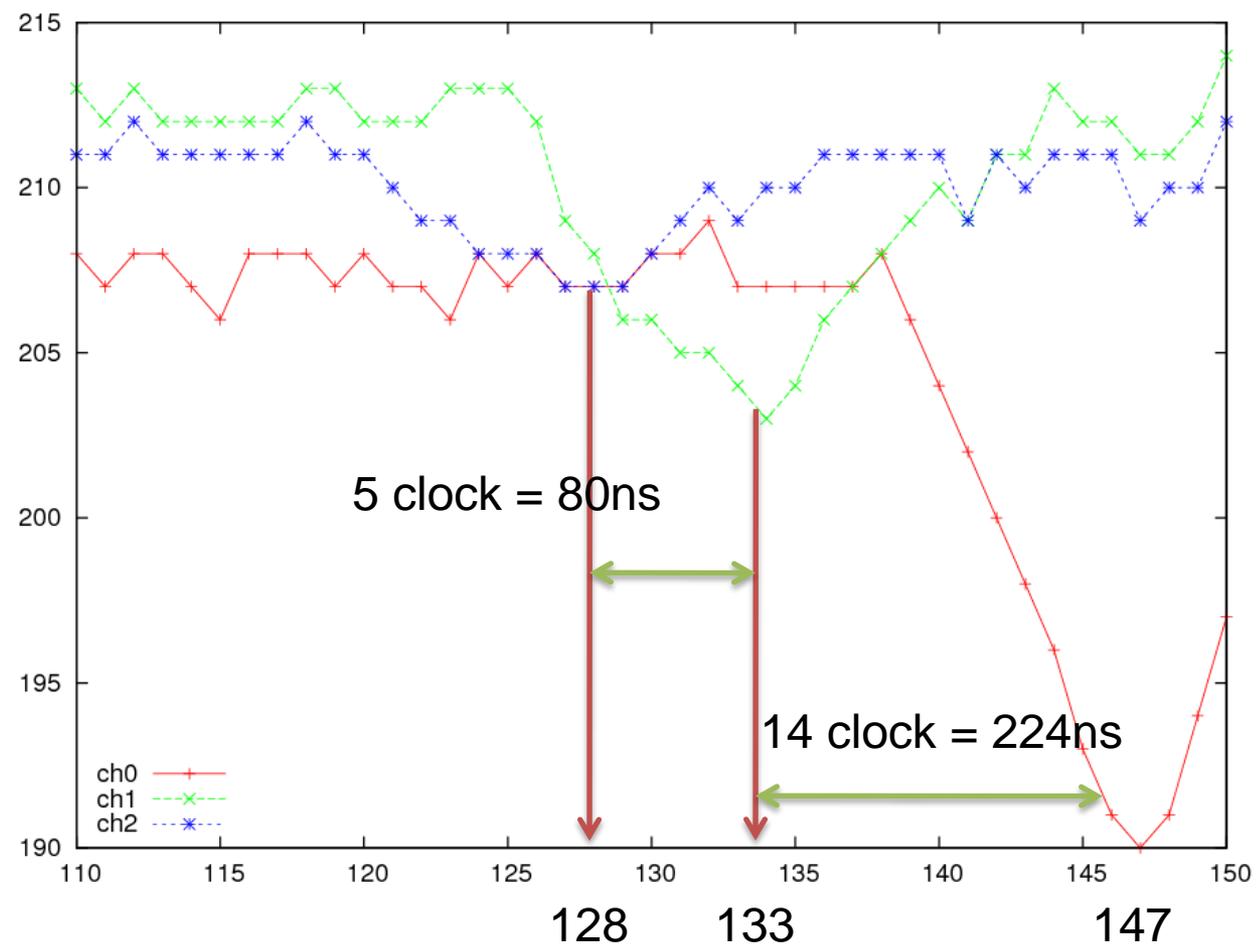
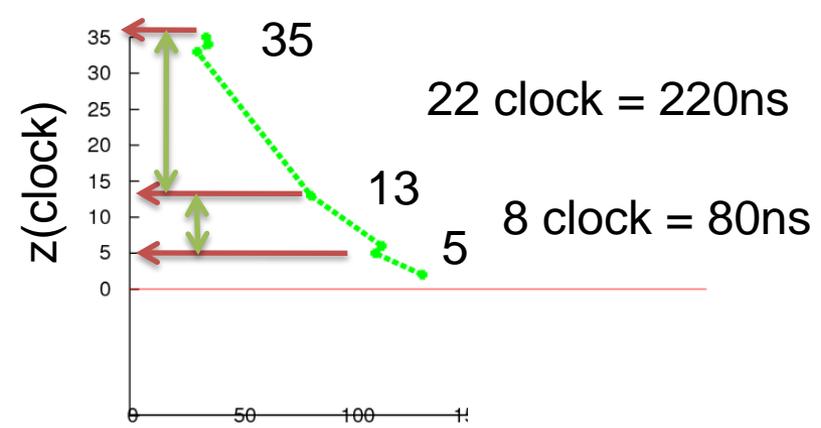
TPC mode

- Xray mode + Discriminatorからのトリガ信号
- x , y , clock (10nsec単位) , FADC波形

clock情報からは、プロット間の**相対的な**高さが得られる。







まとめ

- ・ ガス増幅率 → 電圧との関係
- ・ ゲイン補正 → 分解能の向上
- ・ 二次元イメージング
 - 位置 → channelとの対応
 - n-p散乱 → 散乱角の分布
- ・ 三次元トラッキング → FADCと
ENCORDERの
相関

おしまい

予備スライド