

課題演習A2

オルソポジトロニウムの寿命測定

古村 翔太郎

新谷 俊了

杉下 宗太郎

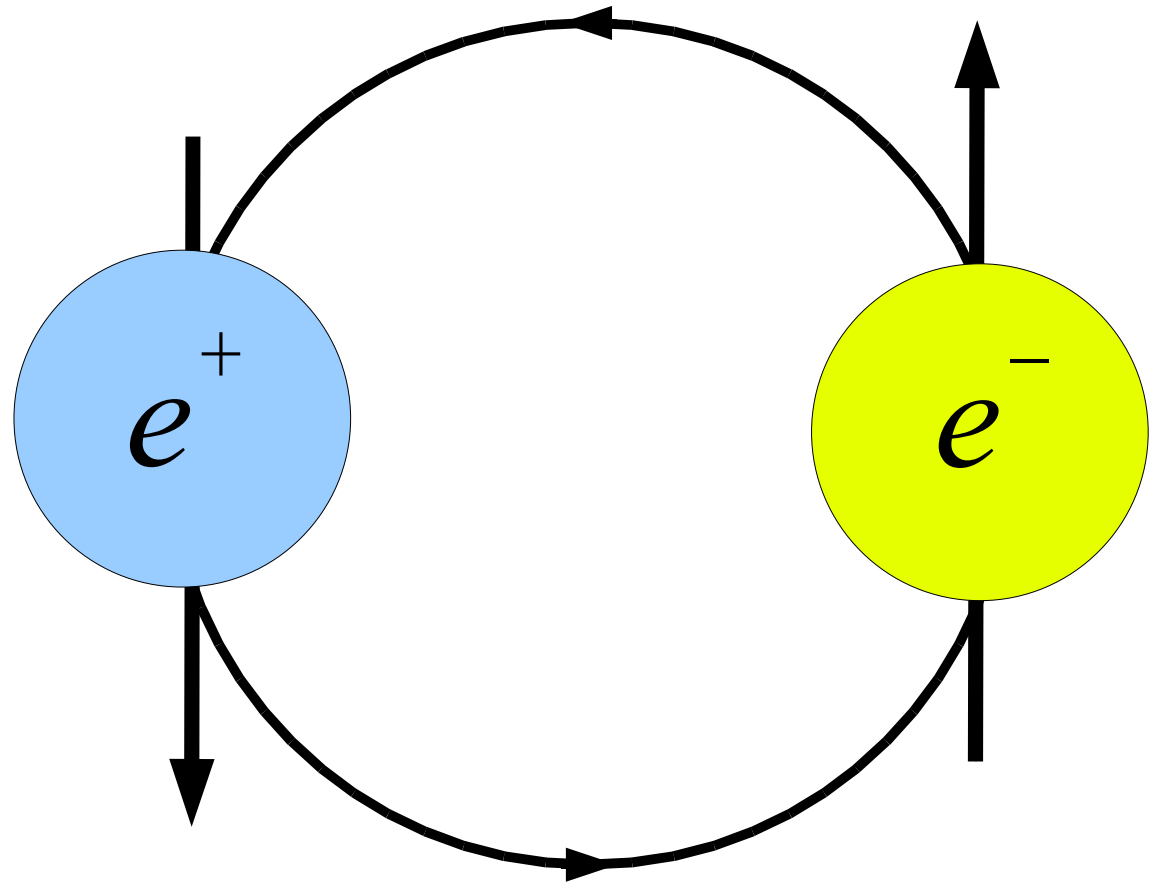
富上 皓介

実験目的

オルソポジトロニウムの真空中の平均寿命を測定し、
QEDから予測される寿命と比較する

ポジトロニウムとは

- ポジトロニウム(Ps)とは、電子と陽電子が電磁相互作用により束縛された系のこと



ポジトロニウムとは

- パラポジトロニウム(p-Ps)

全スピン:0

主に 2γ 崩壊し、そのエネルギーは511[keV]

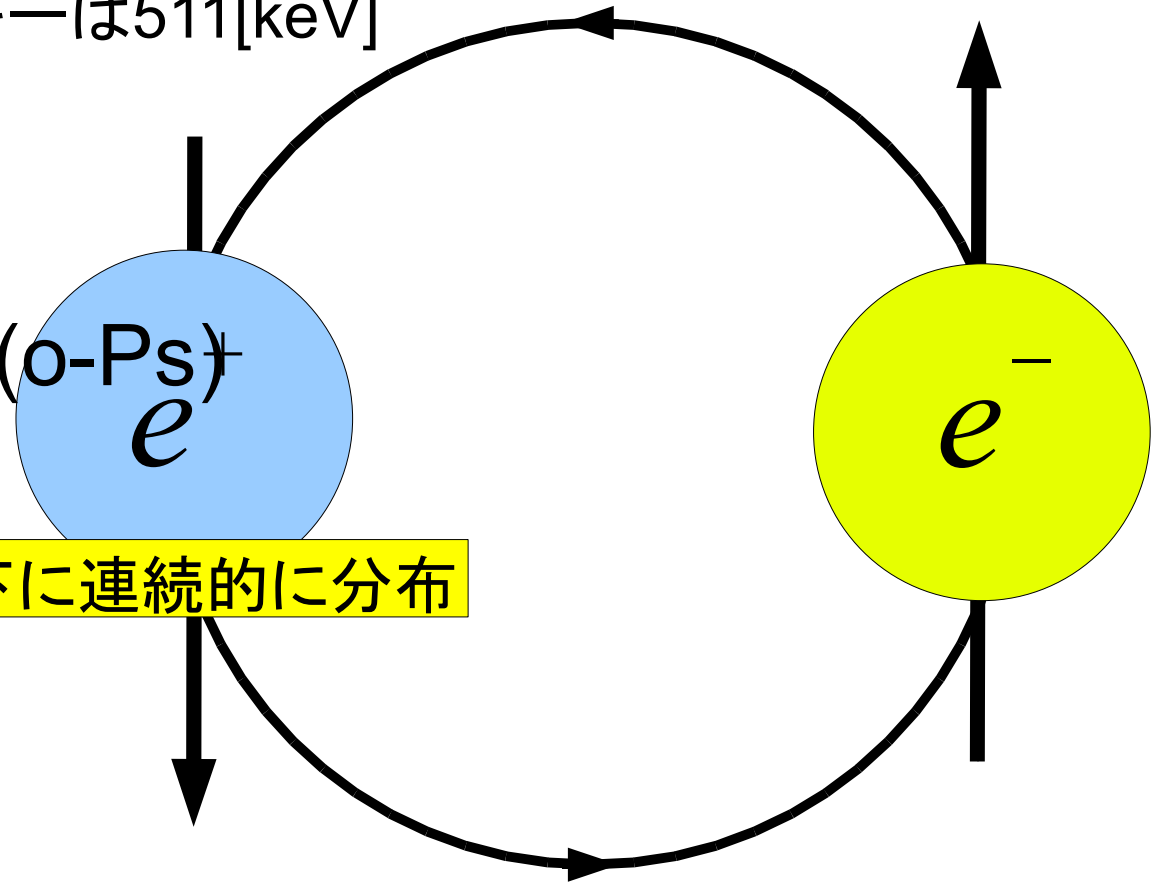
寿命:125ps

- オルソポジトロニウム(o-Ps)
 e^+

全スピン:1

主に 3γ 崩壊し、511[keV]以下に連続的に分布

寿命:142ns



o- Ps の寿命

寿命の式

$$N(t) = N_0 \exp(-\Gamma t)$$

Γ : 崩壊率

$$\text{寿命: } \tau = \frac{1}{\Gamma}$$

単位時間あたりに崩壊する粒子数

$$N'(t) = \frac{N_0}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

o-Psの寿命に関わる反応

- pick-off反応 : Psが他の原子と衝突する際に、Ps外の電子とPs内の陽電子が対消滅し γ 線を放出する反応
- スピン交換反応 : Ps内の電子や陽電子が外部の原子の不対電子とスピンを交換する。このとき、o-Psはp-Psに変化し寿命に影響を及ぼしてしまう
- 化学反応 : 酸化反応などの反応が起こり、これも寿命に影響を及ぼす。

o-Psの寿命に関わる反応

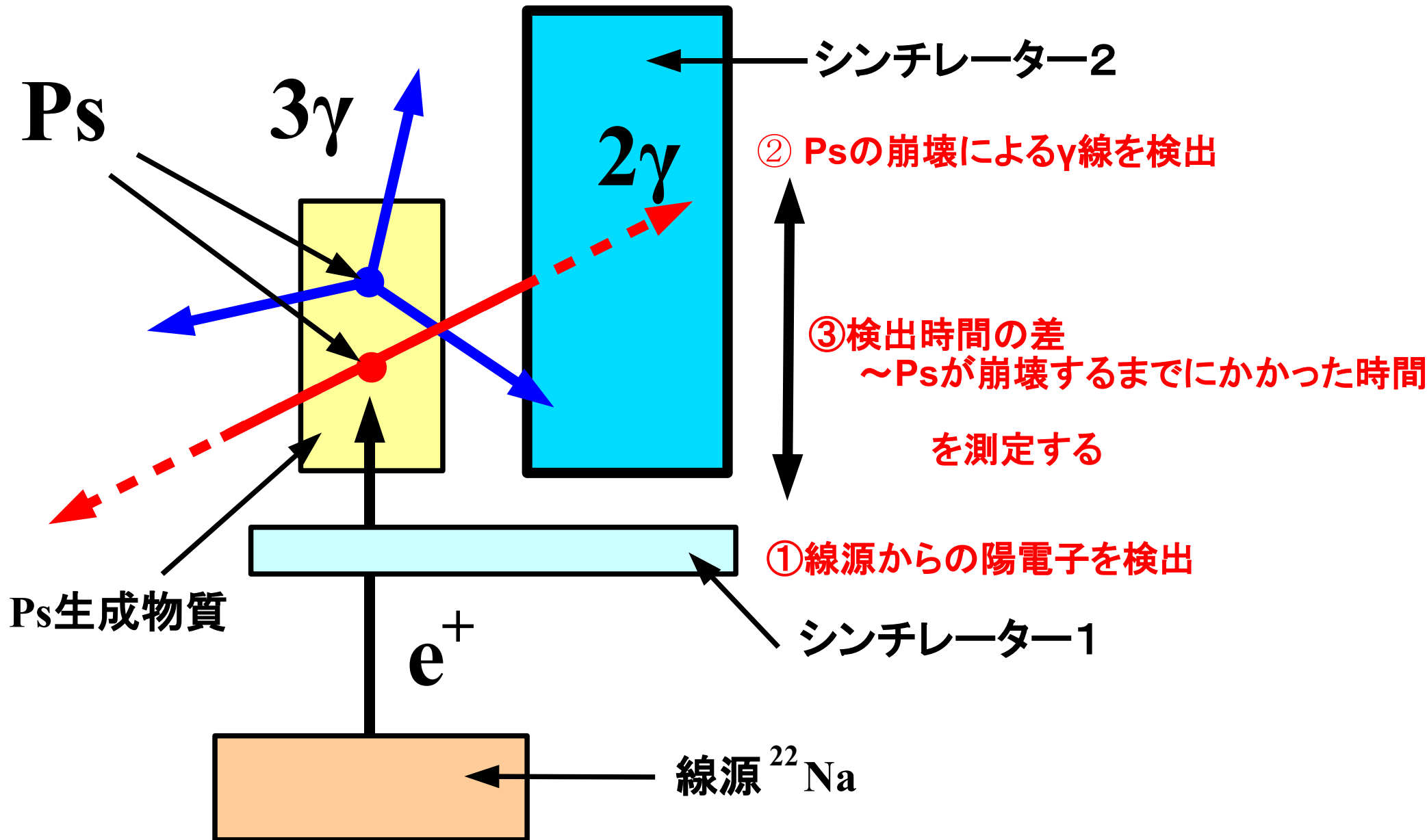
これらの反応を考慮すると(2.2)式の崩壊率について、純粋なo-Psによる項を $\Gamma_{3\gamma}$ 、その他のpick off等による項を Γ_{ex} とすると、全崩壊率 Γ_{total}

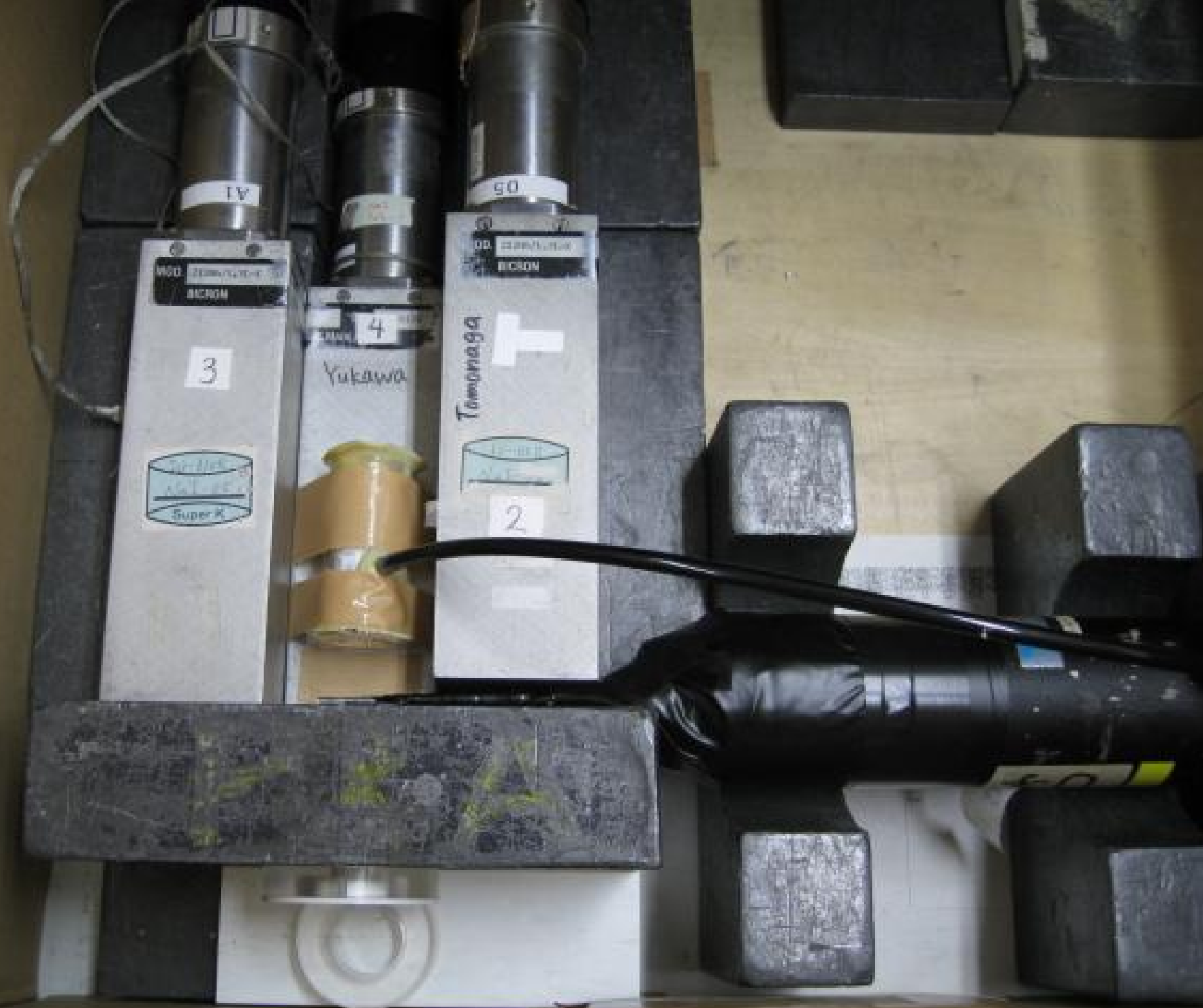
$$\Gamma_{total} = \Gamma_{3\gamma} + \Gamma_{ex}$$

と書け、寿命 τ_{total} は、
$$\tau_{total} = \frac{1}{\Gamma_{total}} = \frac{1}{\Gamma_{3\gamma} + \Gamma_{ex}}$$

となり、純粋な寿命よりも短くなってしまふ。

実験の原理





A1

VIDEO CAMERA
BICRON

3

Super-K

4

Yukawa

Tominaga

2

Super-K

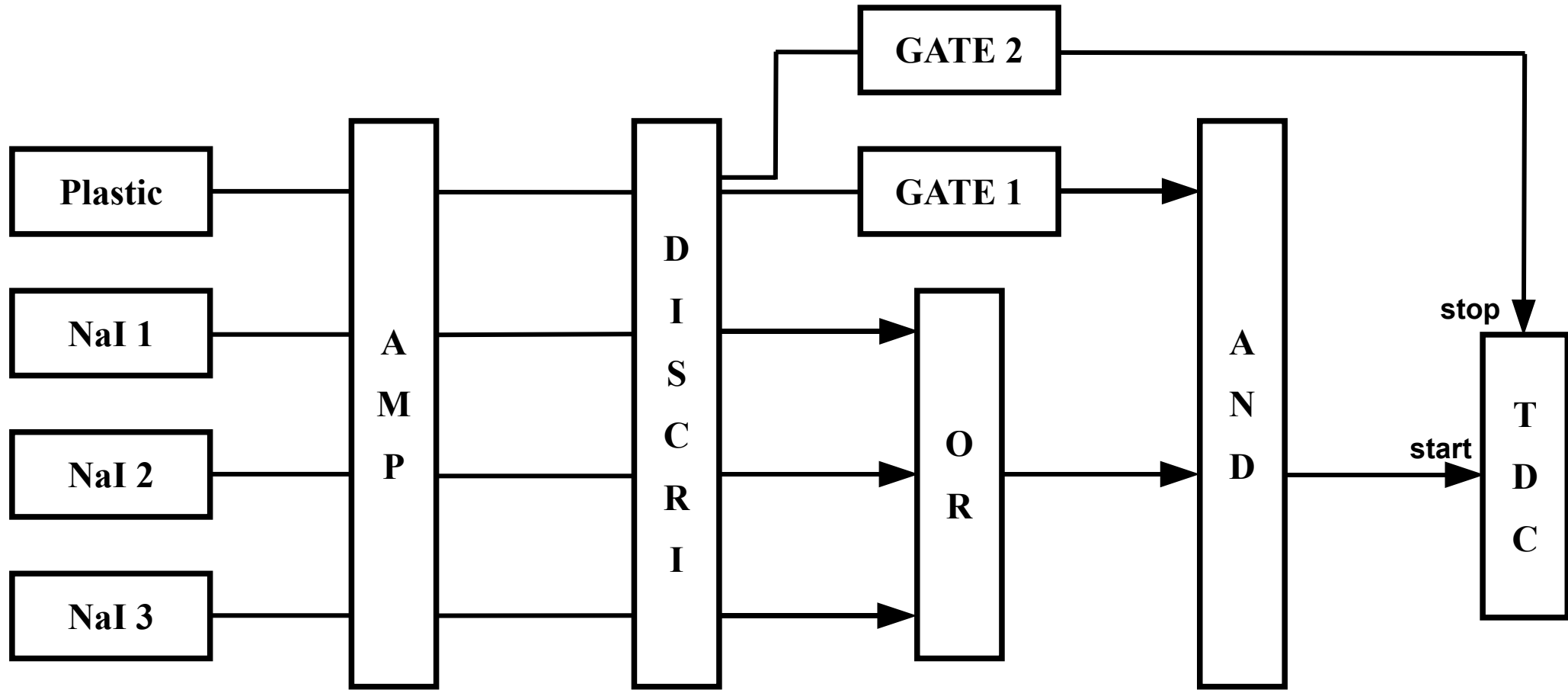
VIDEO CAMERA
BICRON

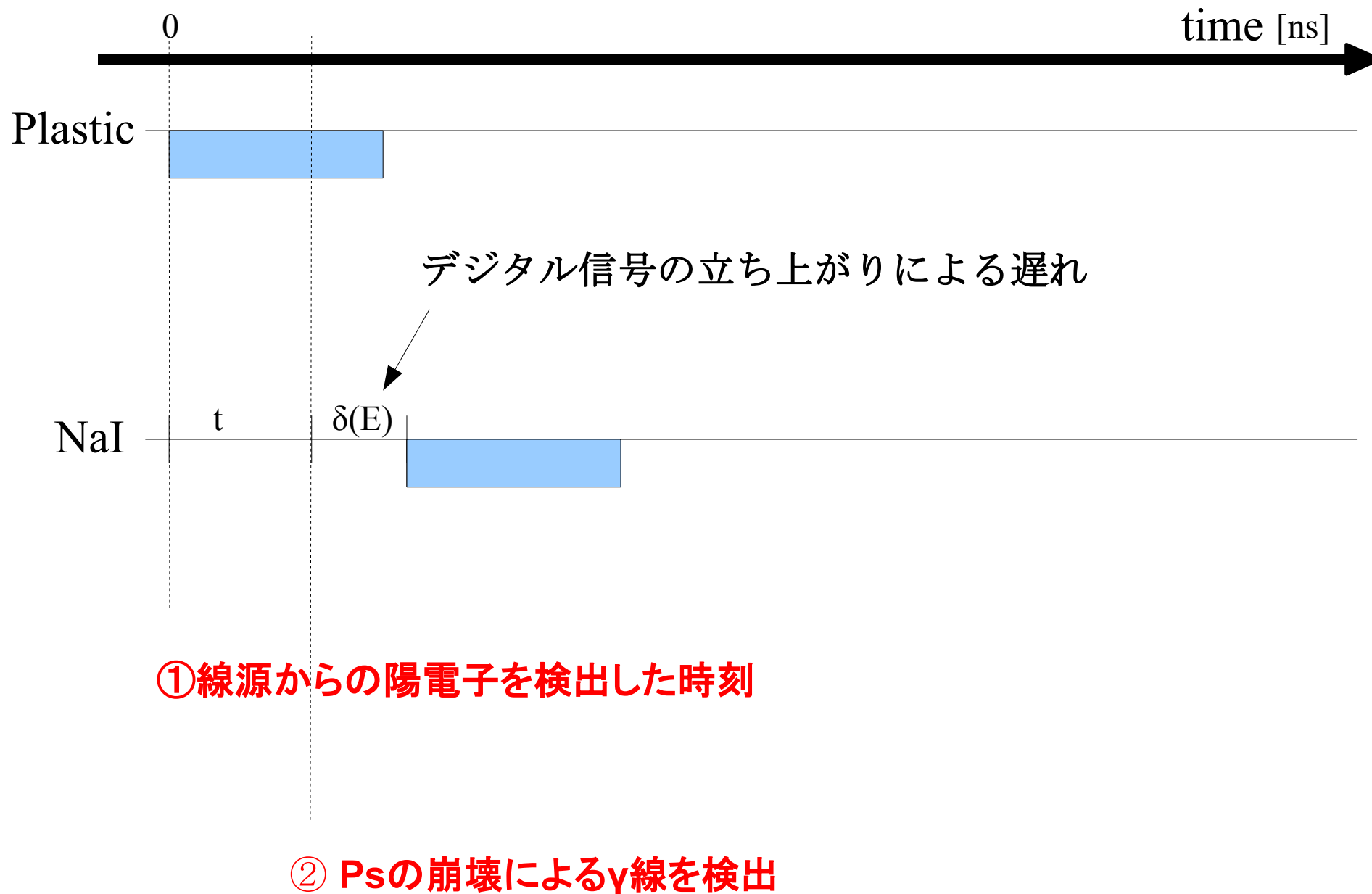
05

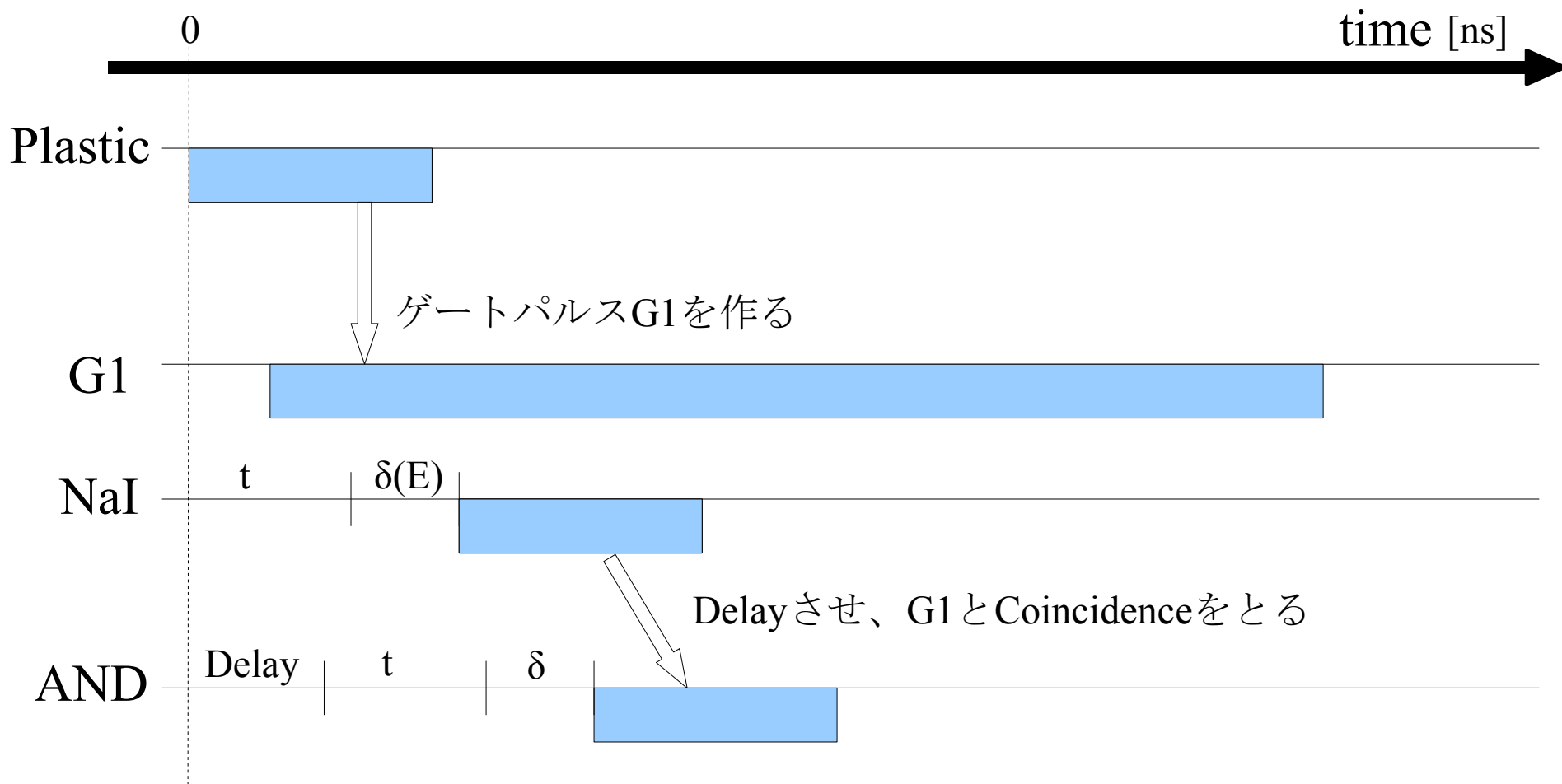
60

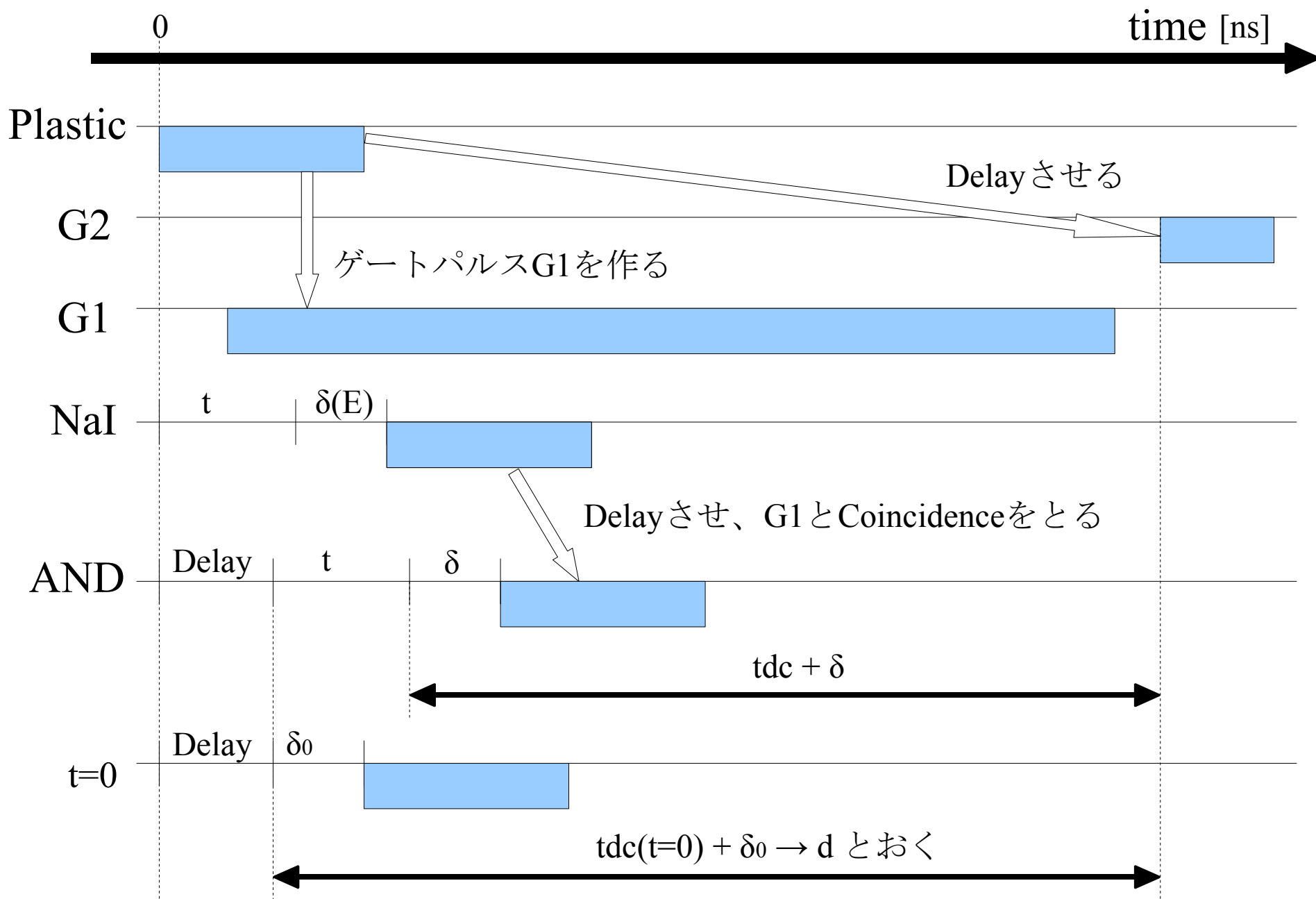


回路图



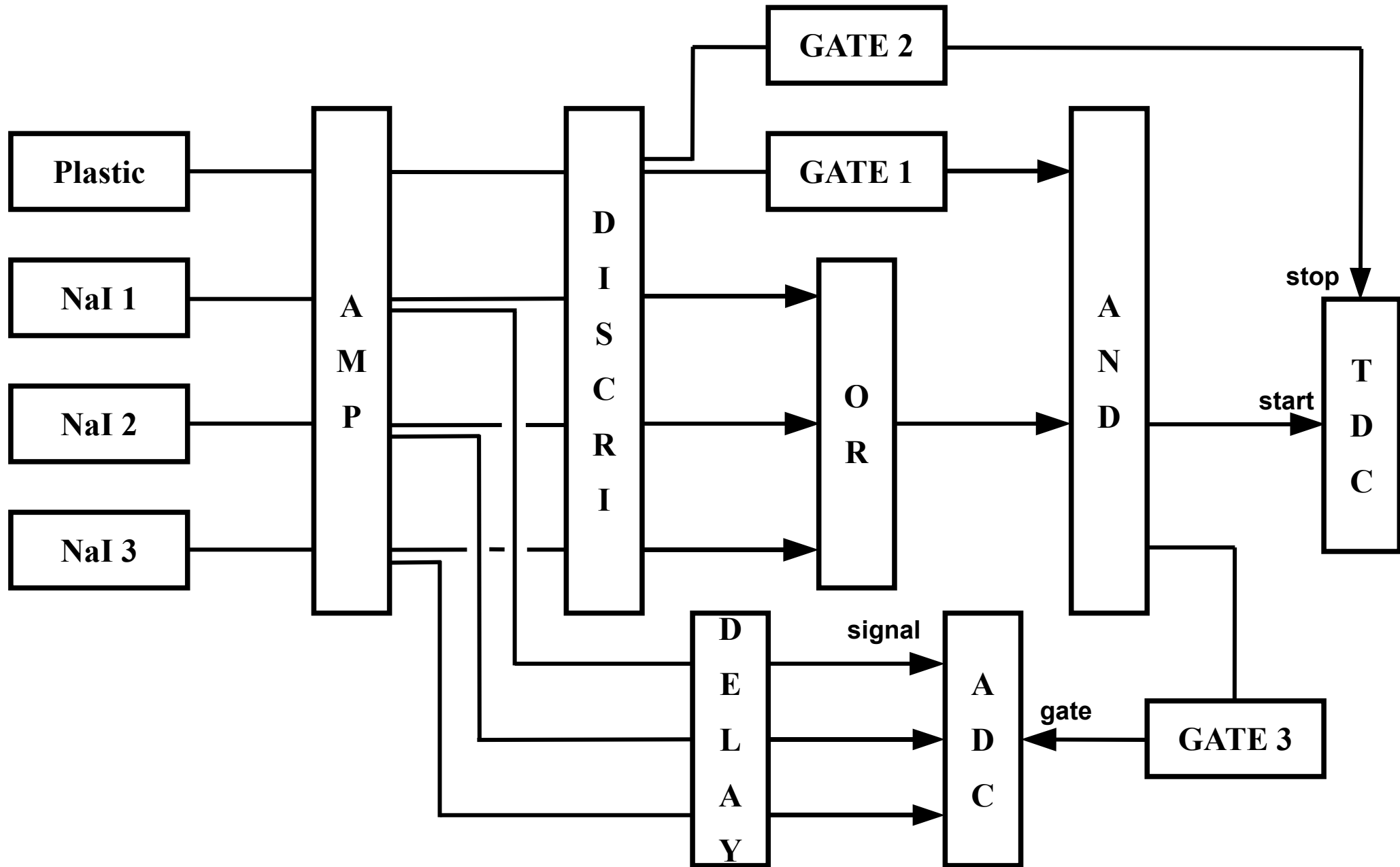






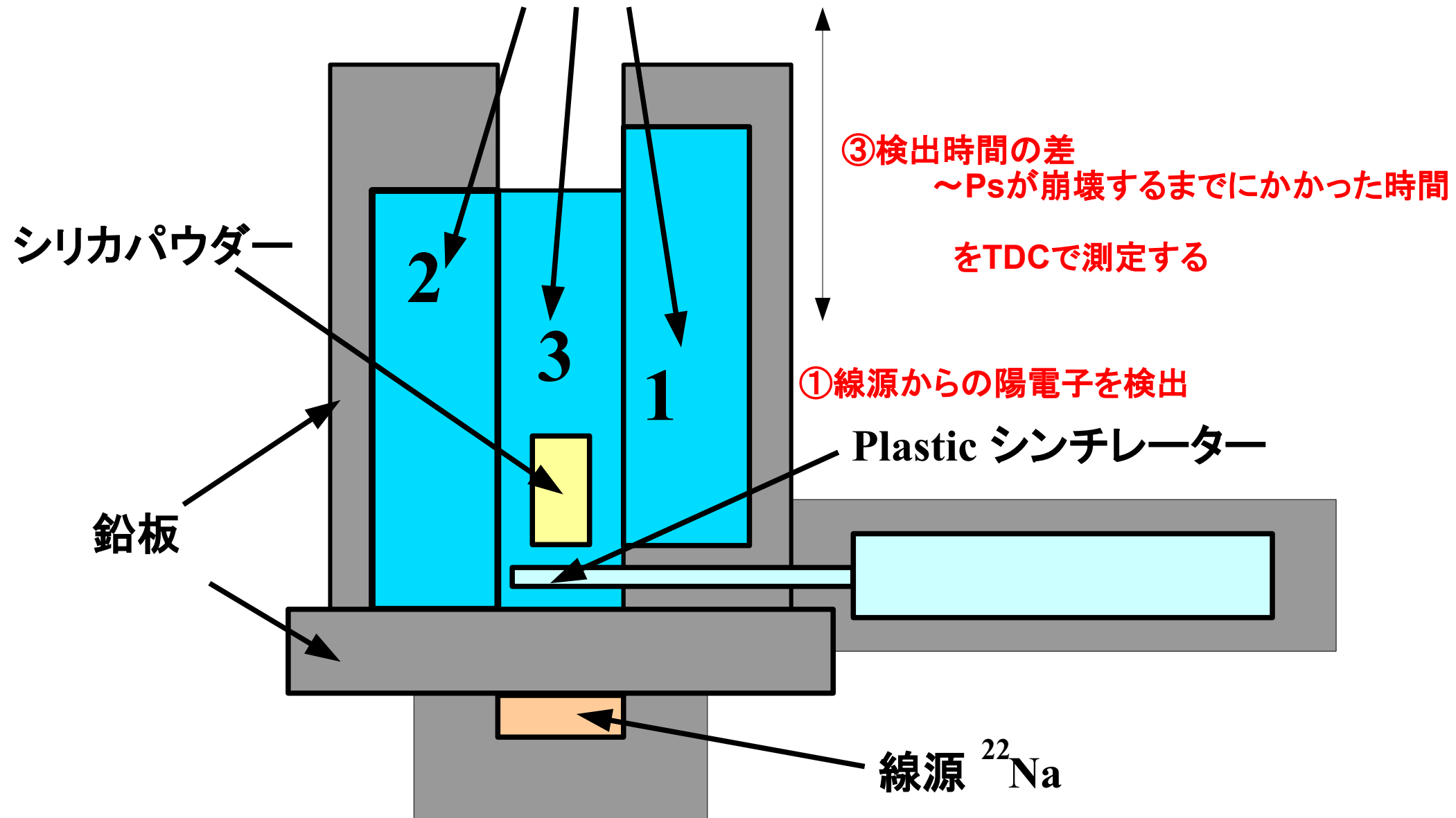
**Psが崩壊するまでに
かかった時間**

回路图



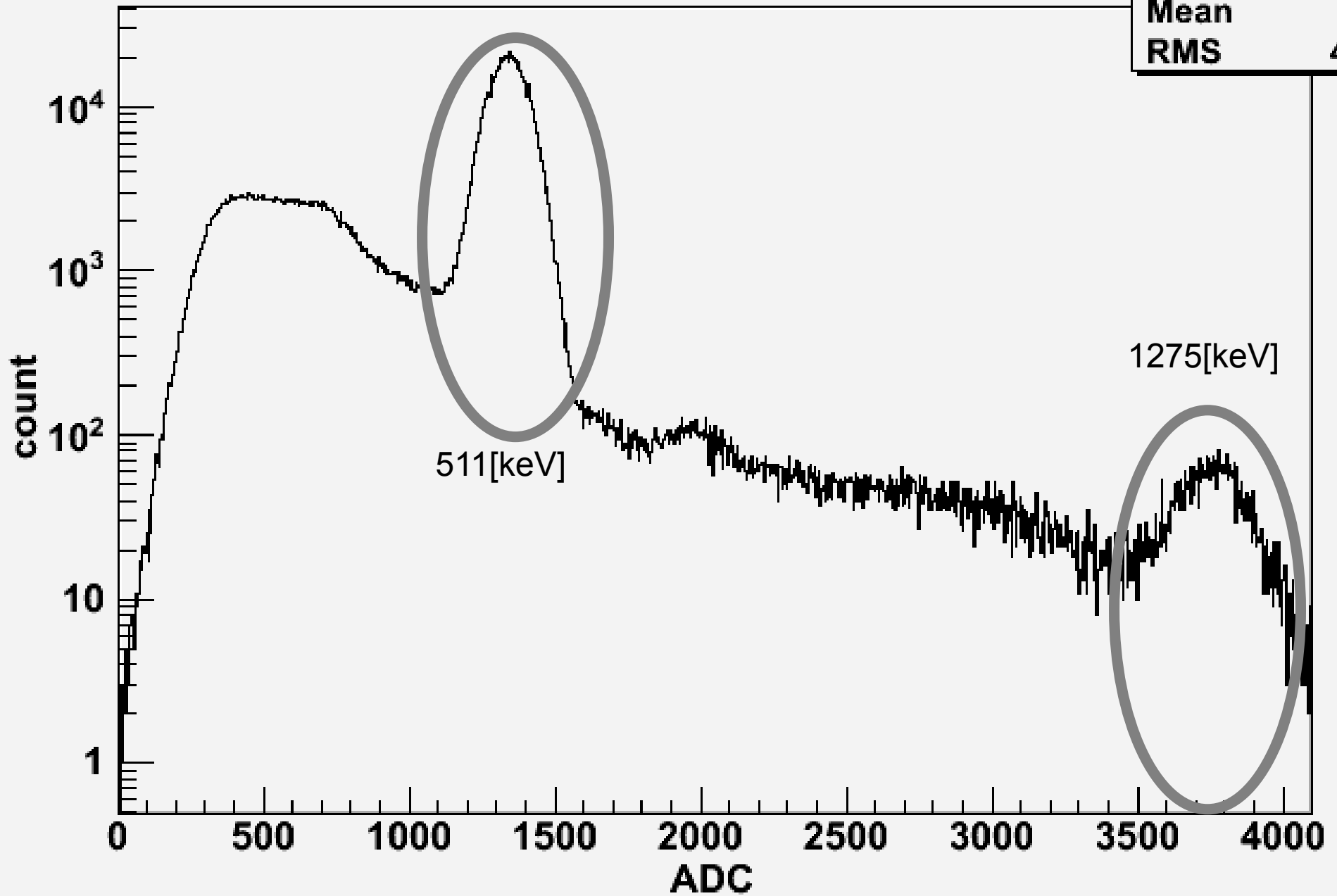
実験装置のセットアップ

NaI シンチレーター ② Psの崩壊によって出てくる γ 線を検出



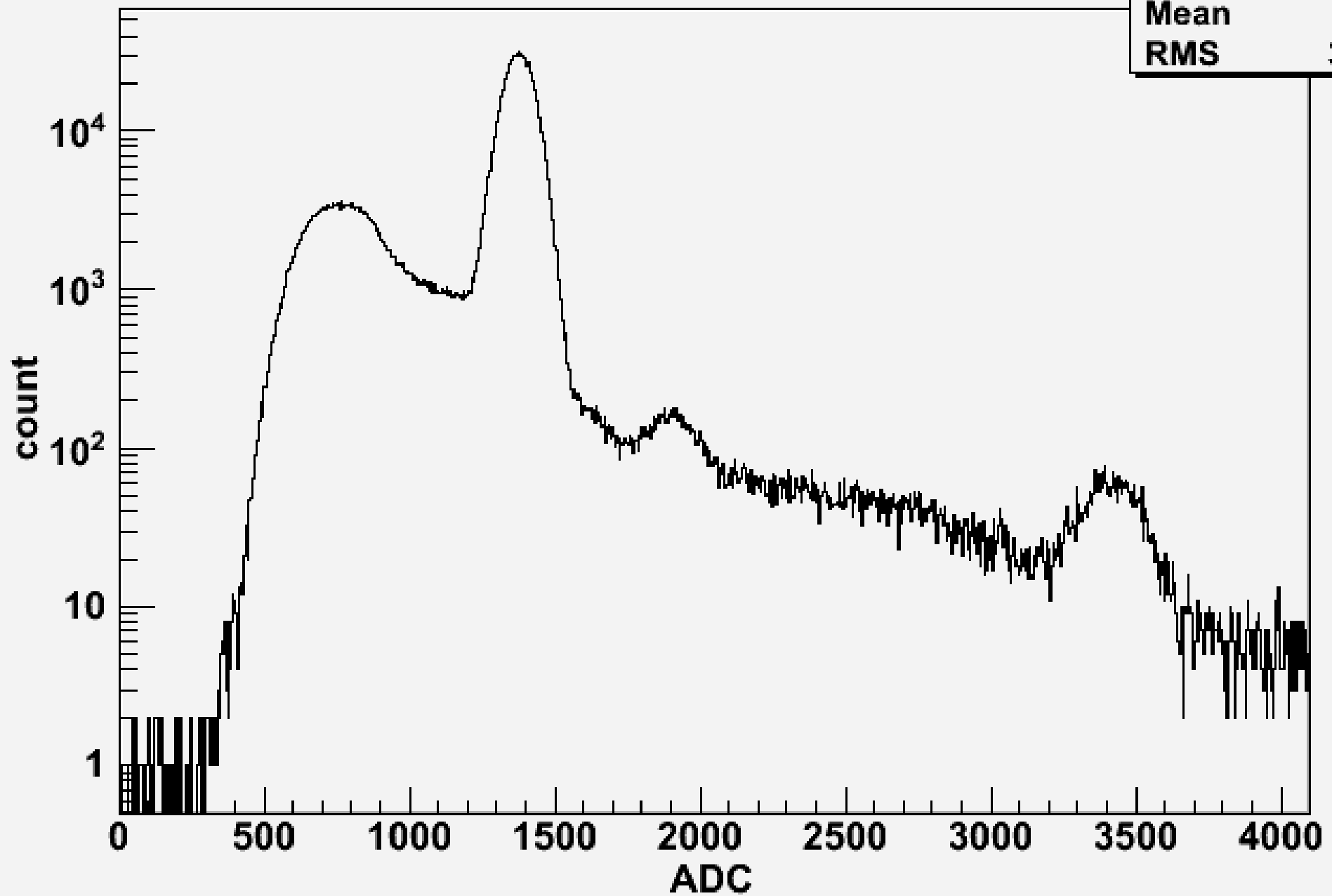
Nal 1 ADC histogram

info.	
Entries	1328230
Mean	1134
RMS	439.4



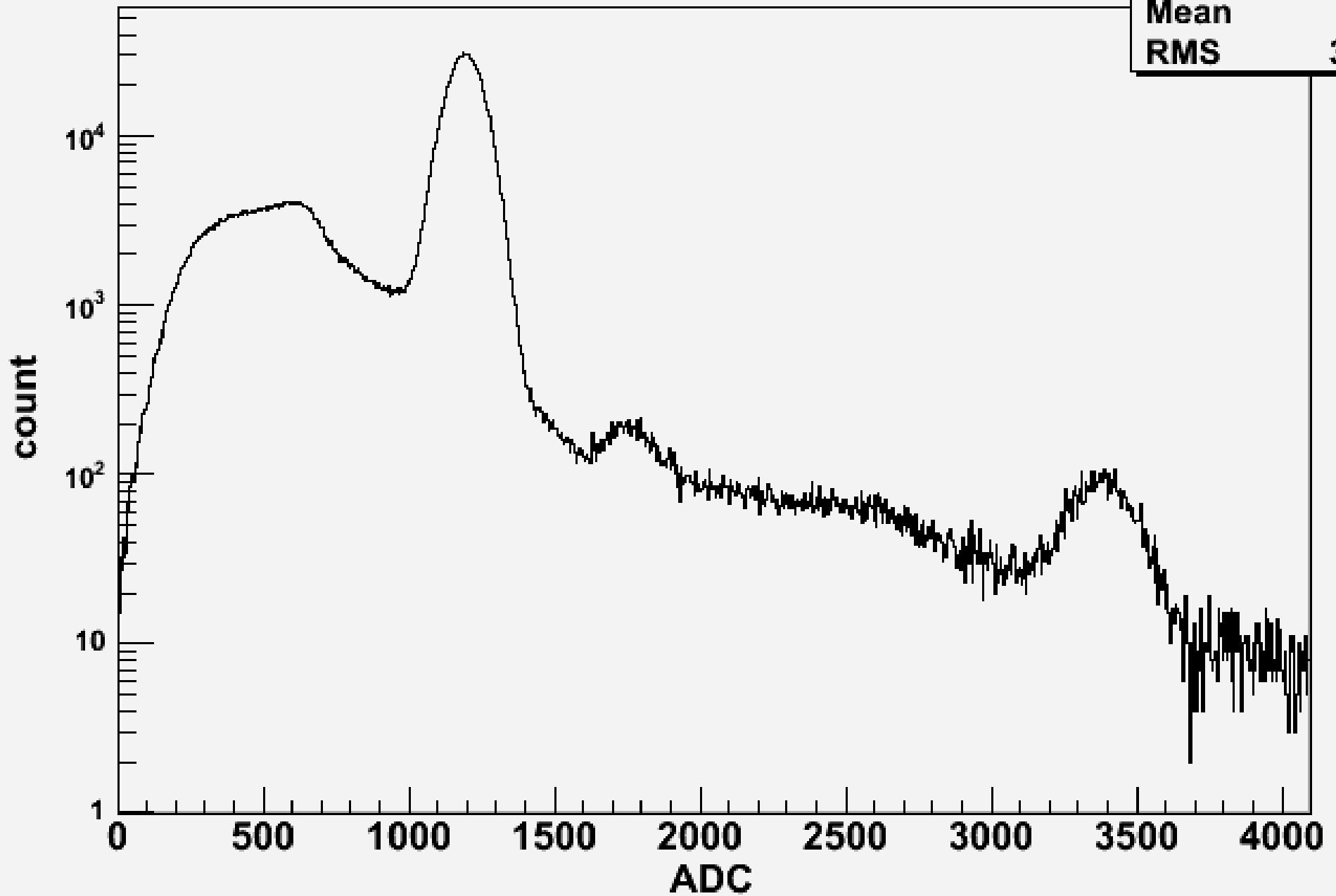
Nal 2 ADC histogram

info.	
Entries	1412430
Mean	1266
RMS	316.5

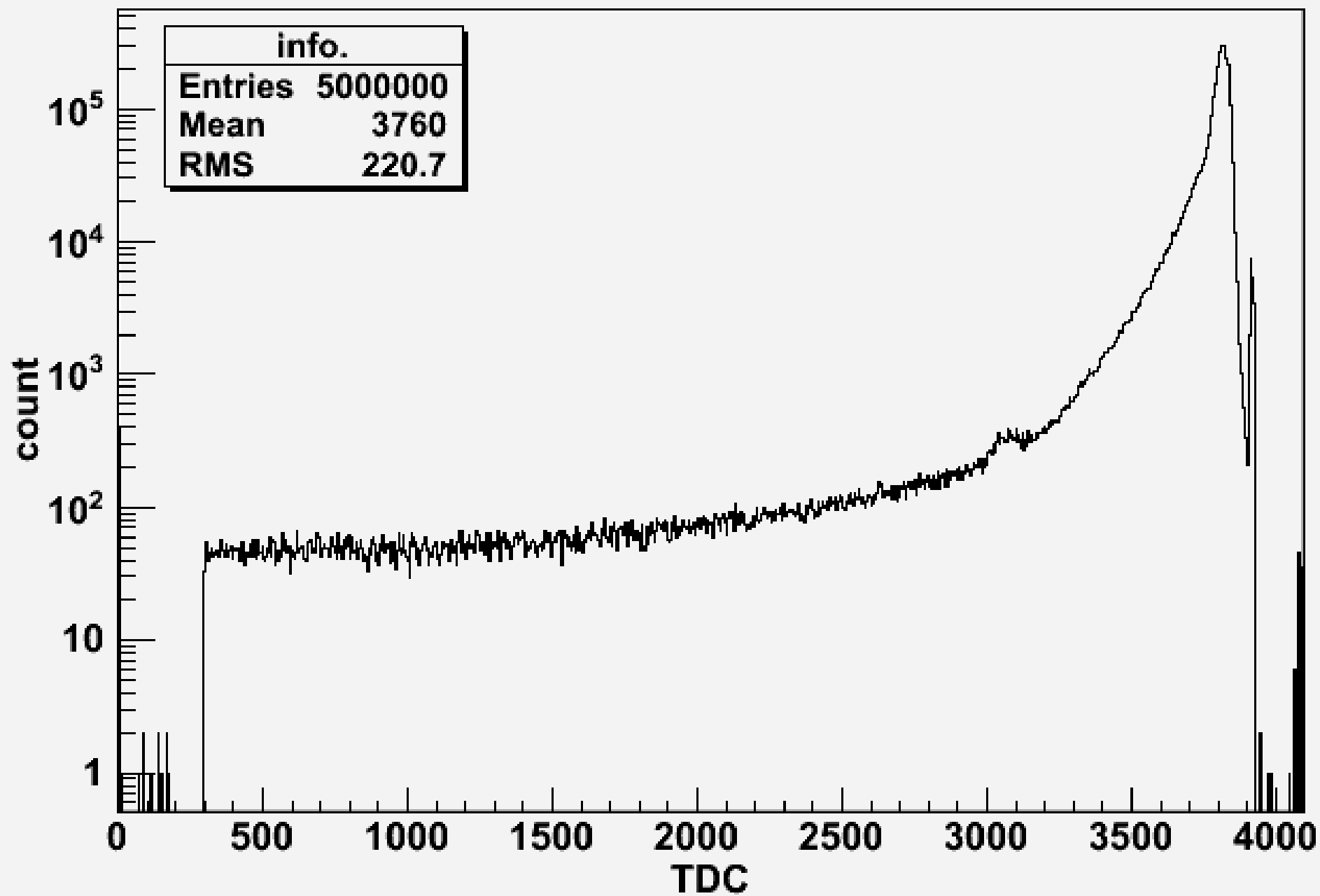


NaI 3 ADC histogram

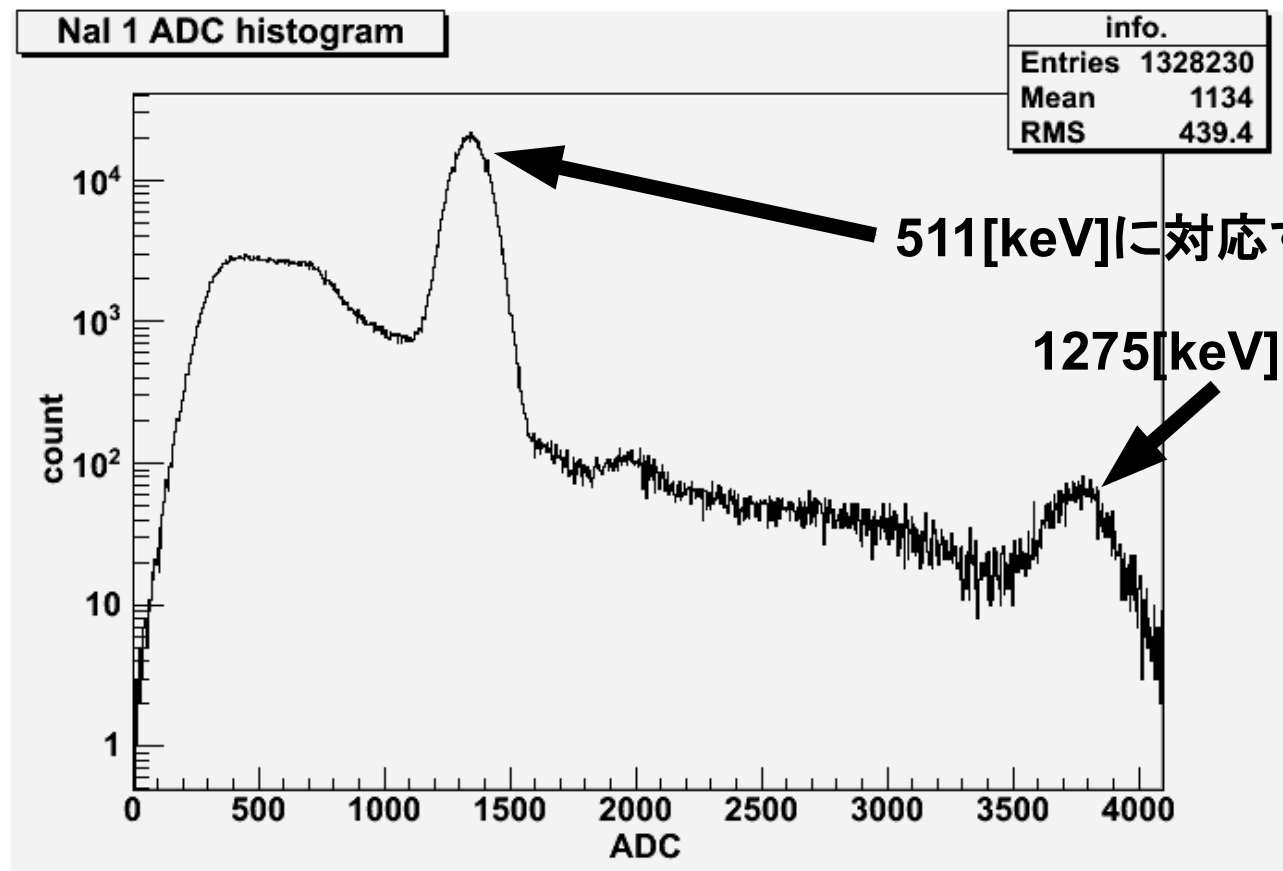
info.	
Entries	1837140
Mean	1025
RMS	393.7



TDC histogram



ADCキャリブレーション



$$energy [keV] = a (ADC + b)$$

	a	b
NaI 1	0.31605	276.02
NaI 2	0.37430	-11.82
NaI 3	0.35002	266.81

TDCキャリブレーション

- 異なる時間間隔をTDCで測定

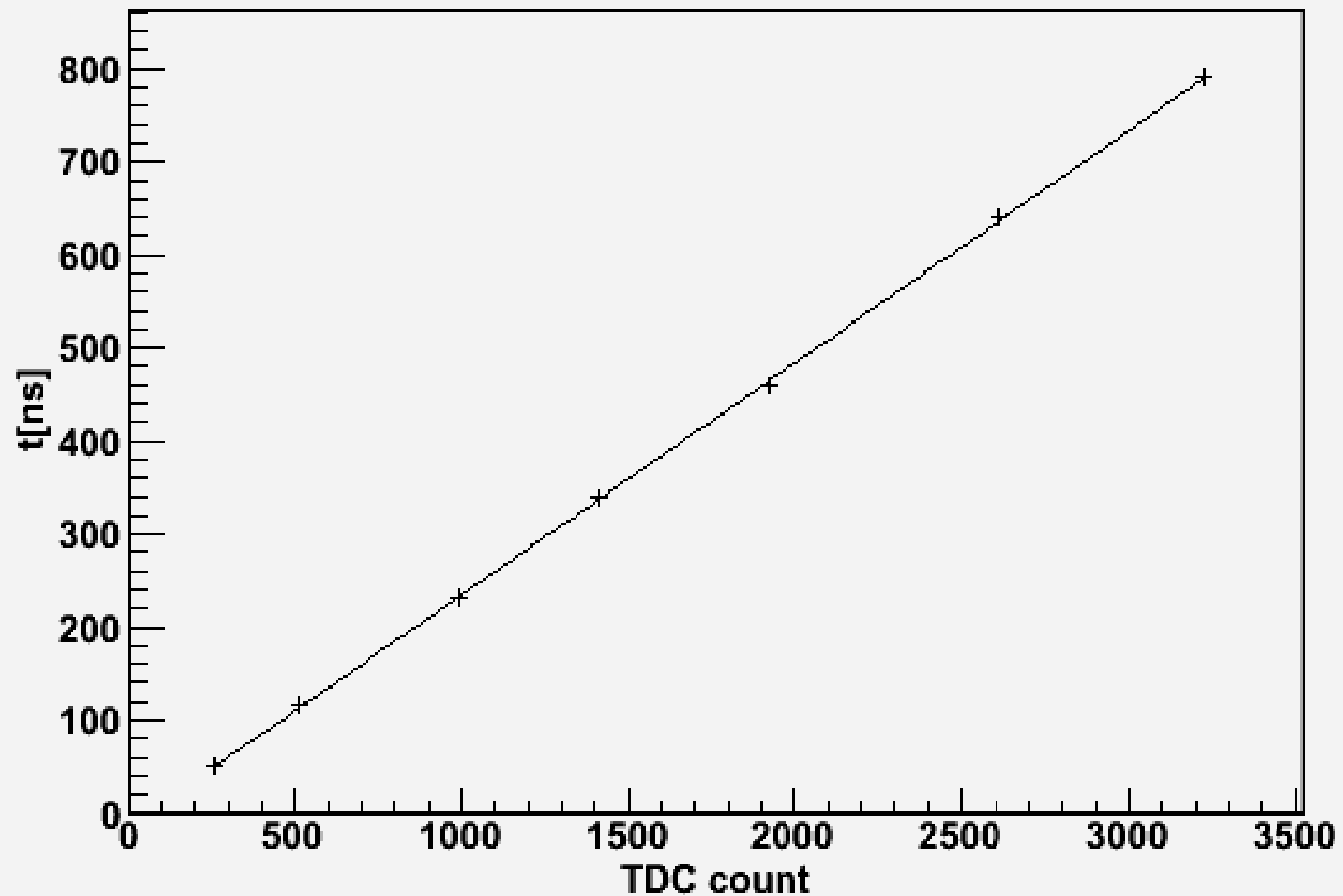
TDC [count]	262	516	990	1412	1918	2611	3225
時間間隔 [ns]	52	116	232	336	460	640	790

$$tdc [ns] = A * TDC + B$$

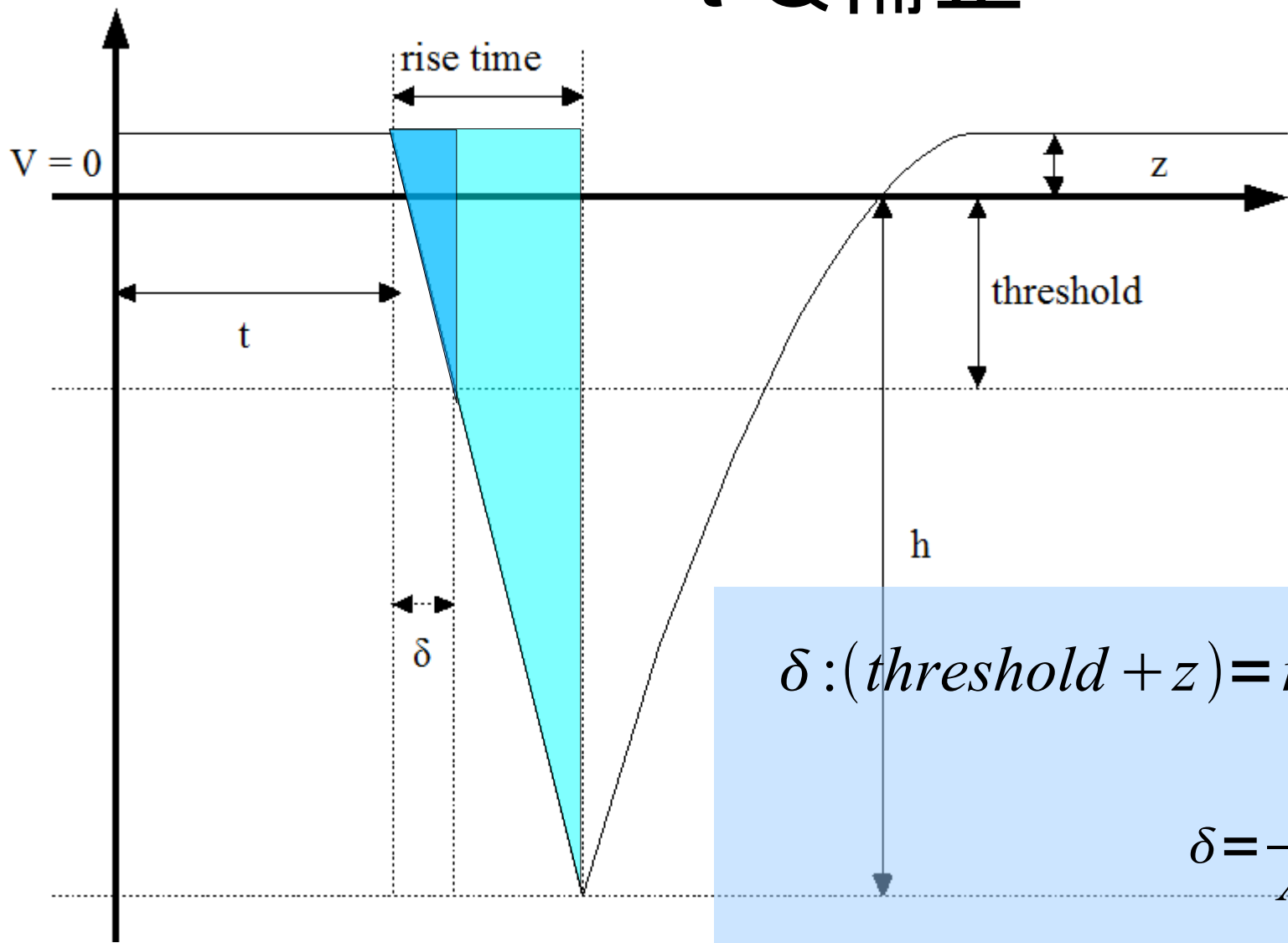
$$= (0.249241 \pm 0.000963831) * TDC - (14.0145 \pm 1.79222)$$

TDCキャリブレーション

TDC calibration



t-Q補正

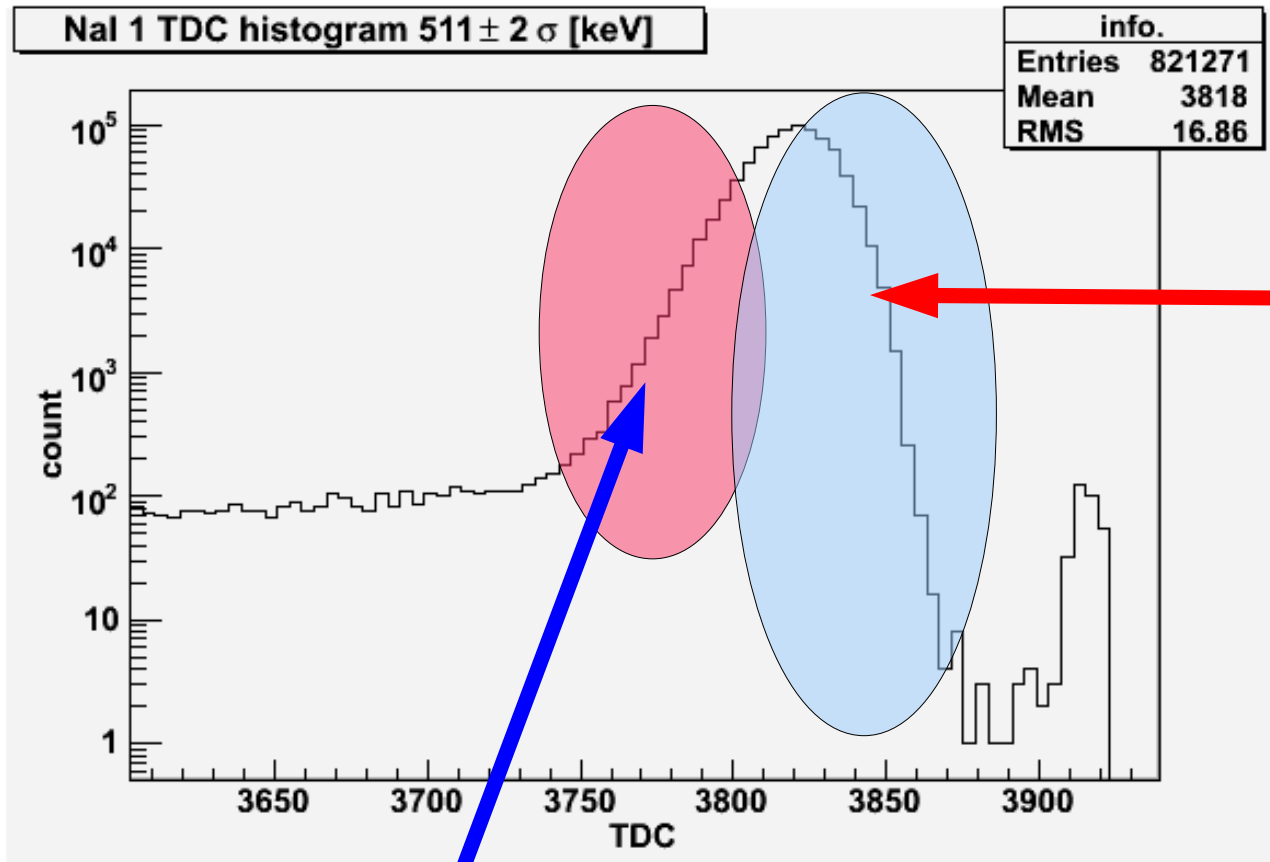


$$\delta : (\text{threshold} + z) = \text{rise time} : (z + h)$$

$$\delta = \frac{c}{ADC + b}$$

$$t = d - tdc - \delta = d - \frac{c}{ADC + b} - tdc$$

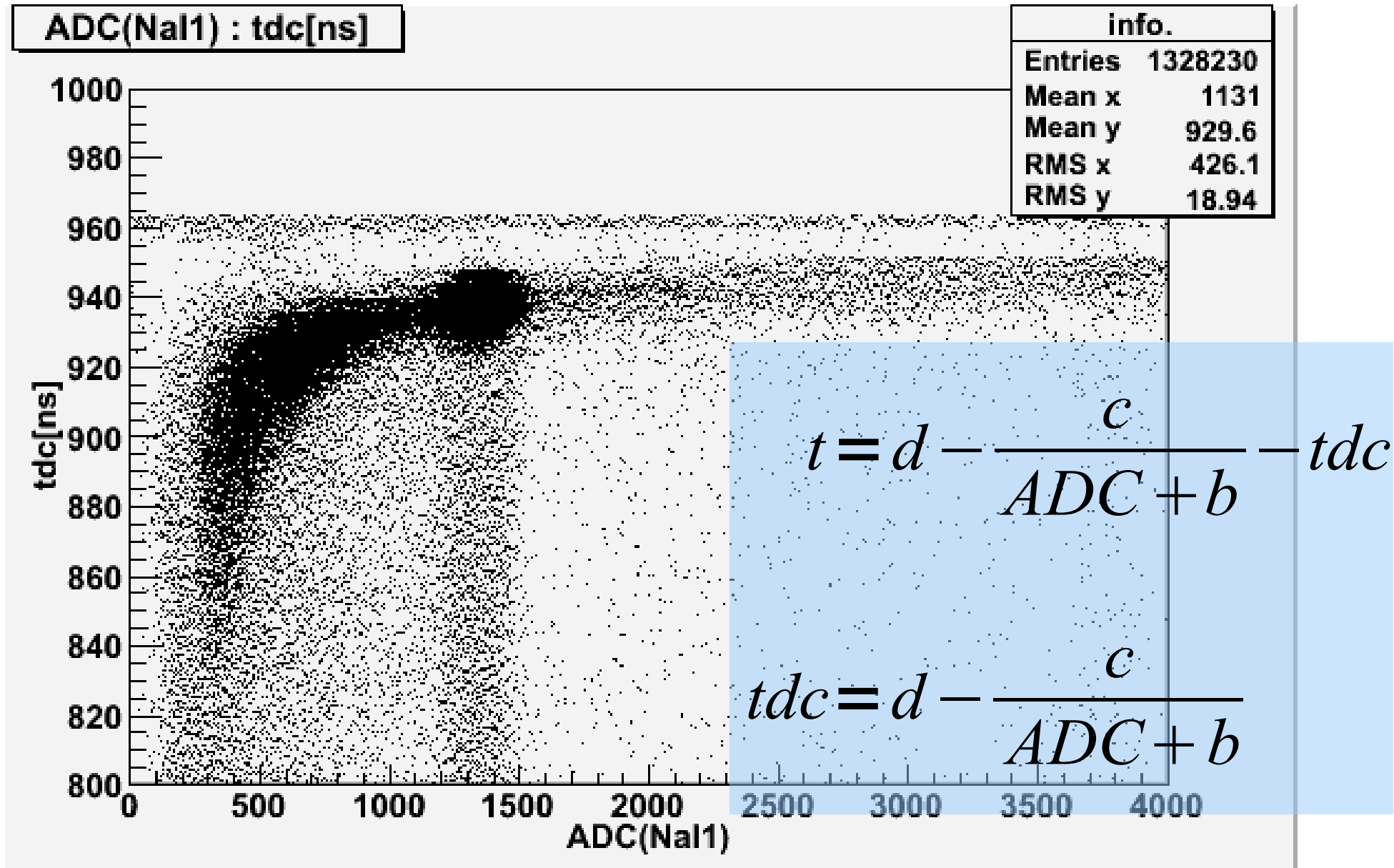
時刻 $t=0$ に対応するTDC範囲



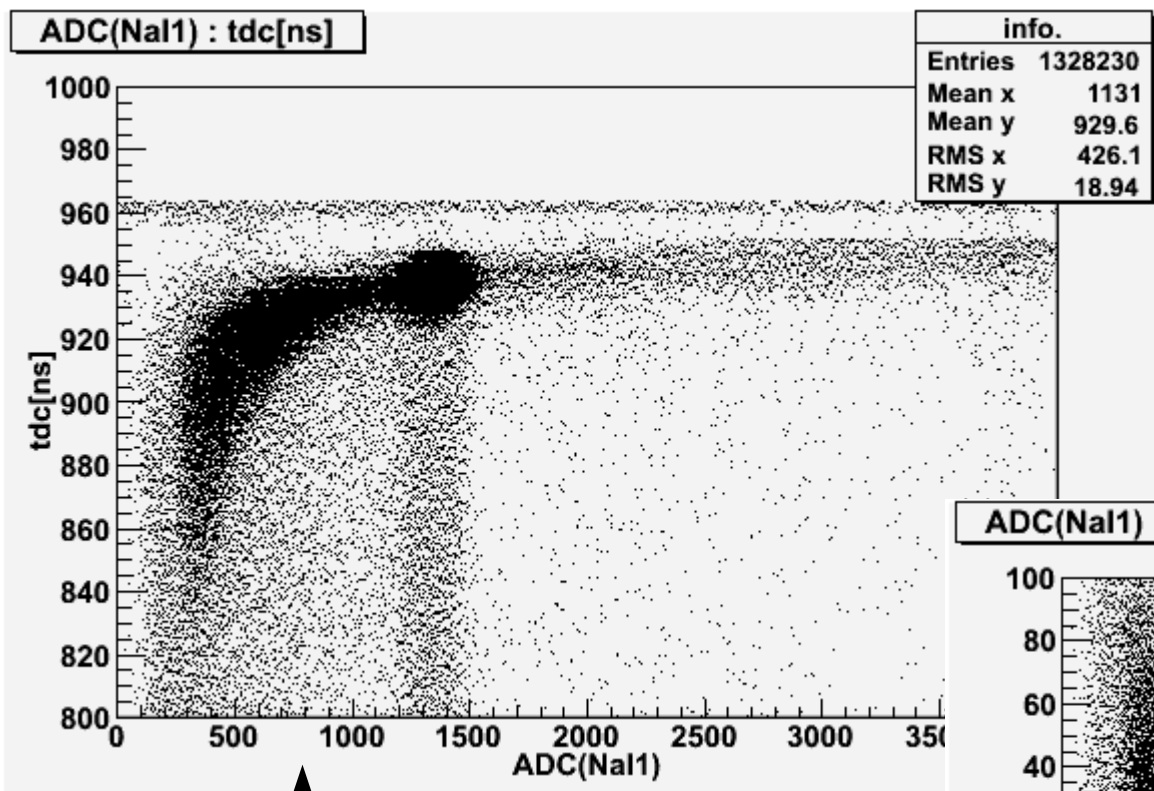
時刻0[ns]の崩壊イベント

o-Psなど寿命が0[ns]でなく、
時刻0[ns]以降に崩壊したイベントを含んでいる

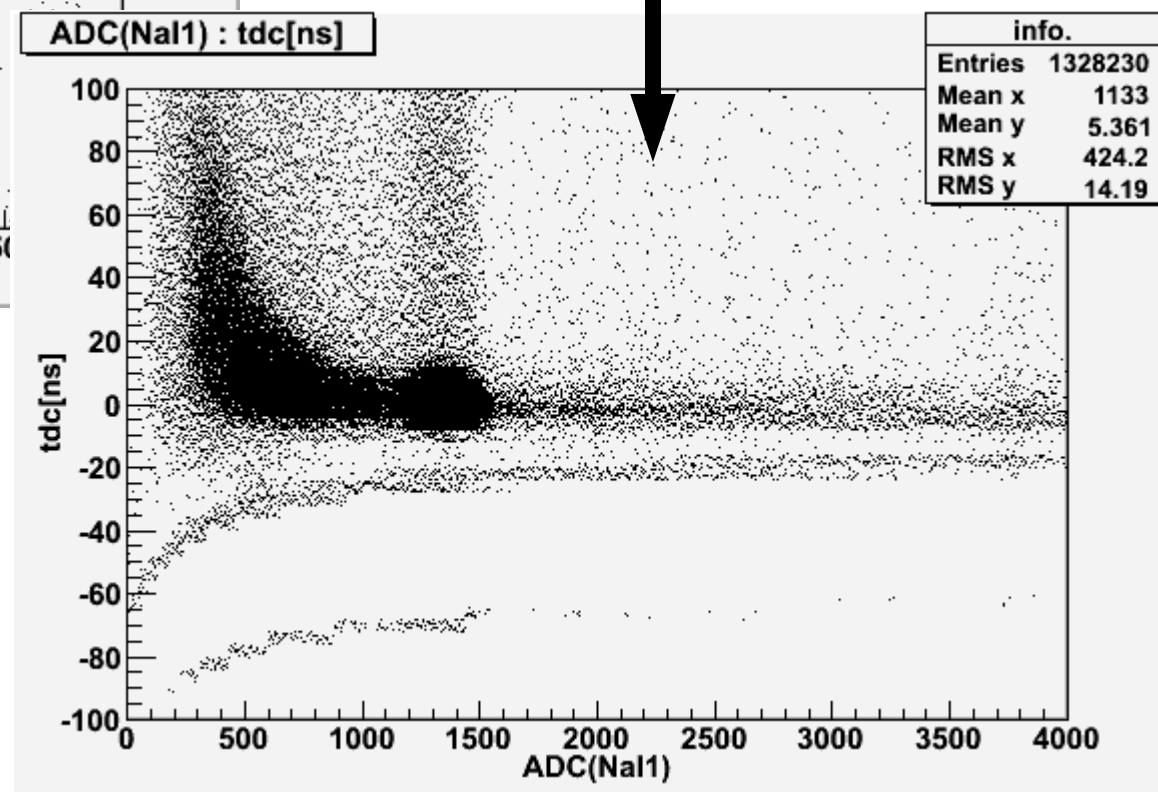
補正δを求めるためのフィッティング



t-Q補正前・後

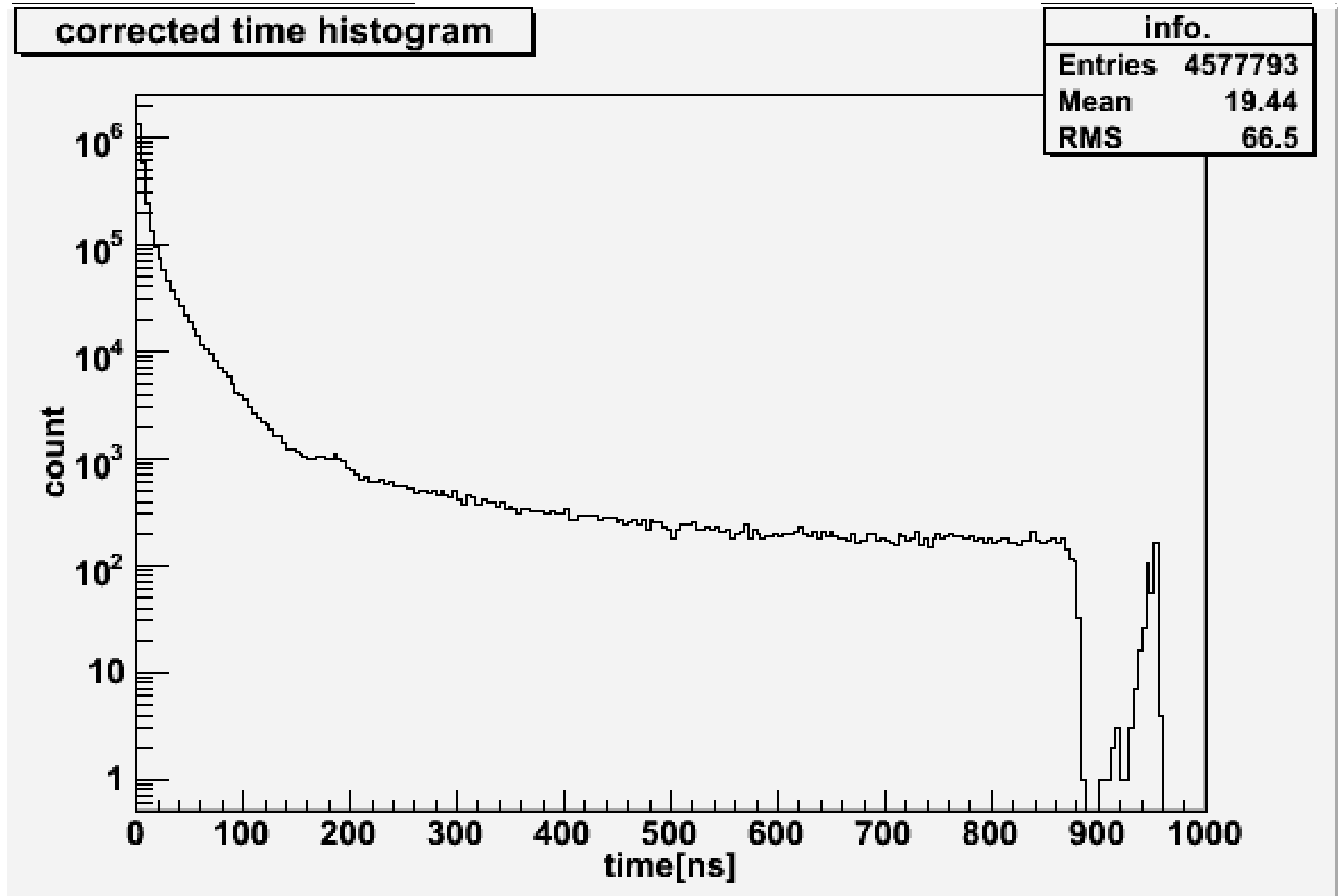


補正前



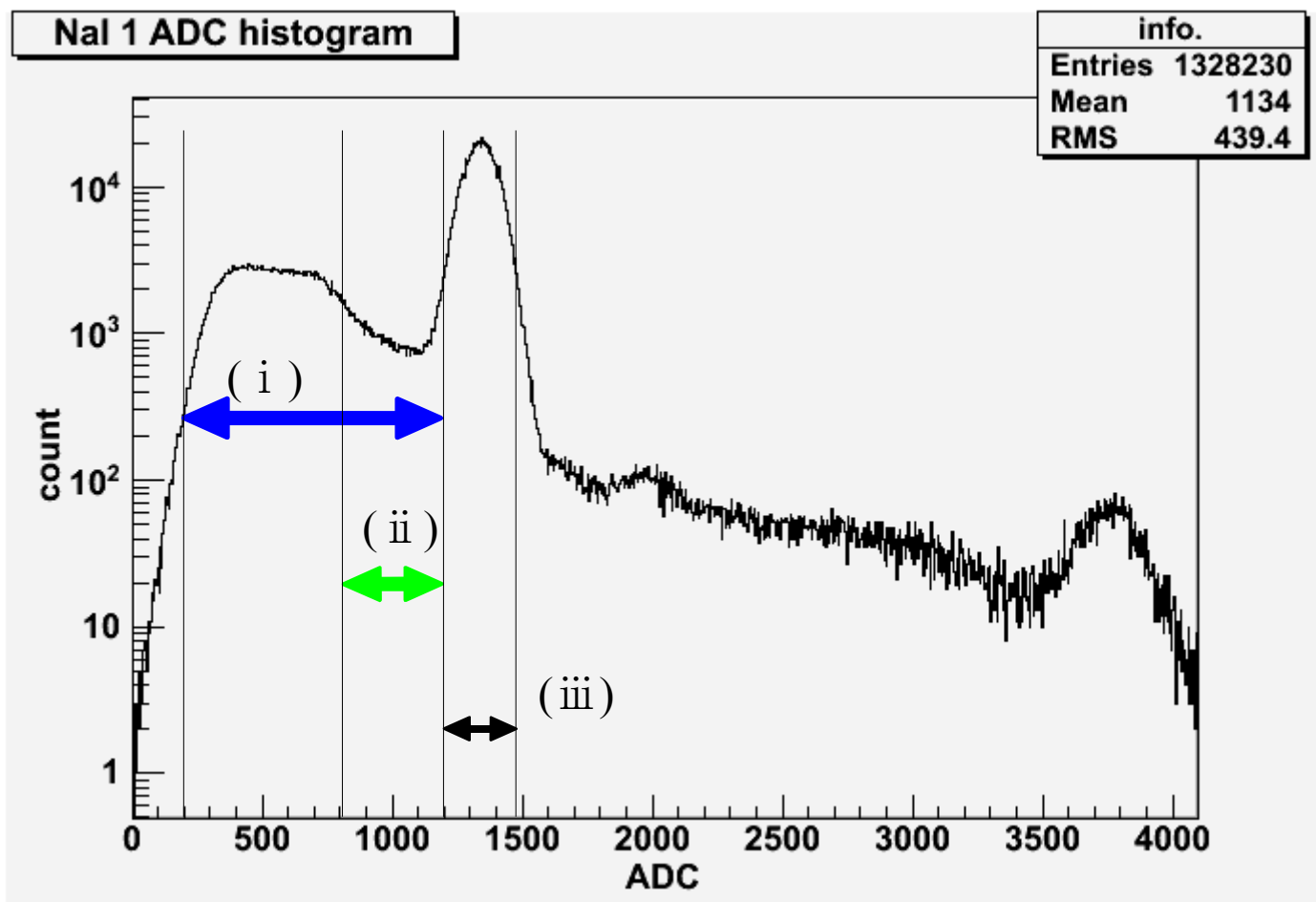
t-Q補正後のTDCヒストグラム

全エネルギー領域



エネルギーによる制限

- 3γ イベントと 2γ イベントはそのエネルギー分布が異なるため、寿命をより正確に求めるには適切なエネルギー領域を決定することが重要。



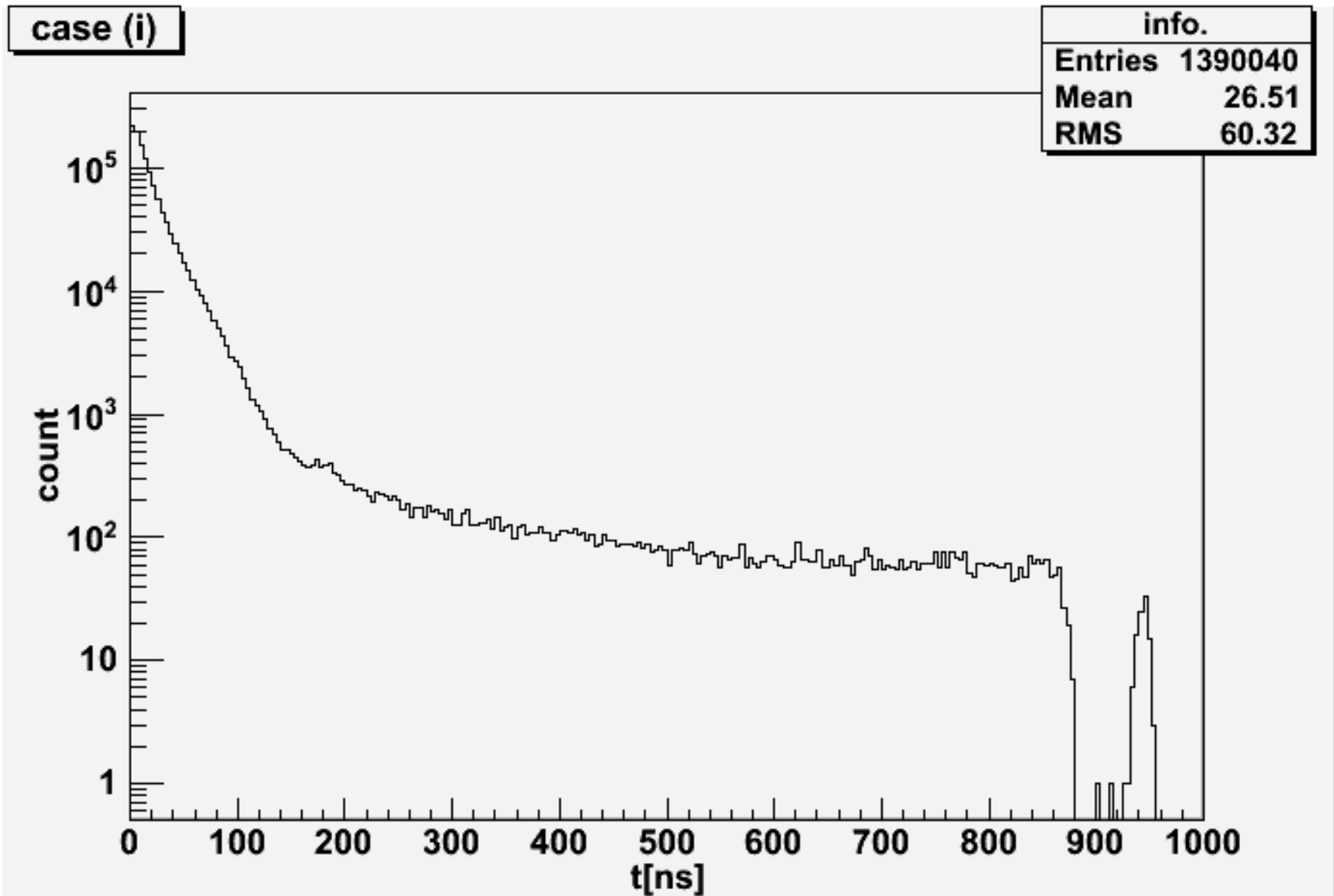
(i) 2γ 由来のコンプトン散乱を含むが、イベント数の確保を優先する

(ii) 2γ 由来のイベントを出来るだけ除去する

(iii) o-Psの 2γ 崩壊をみる

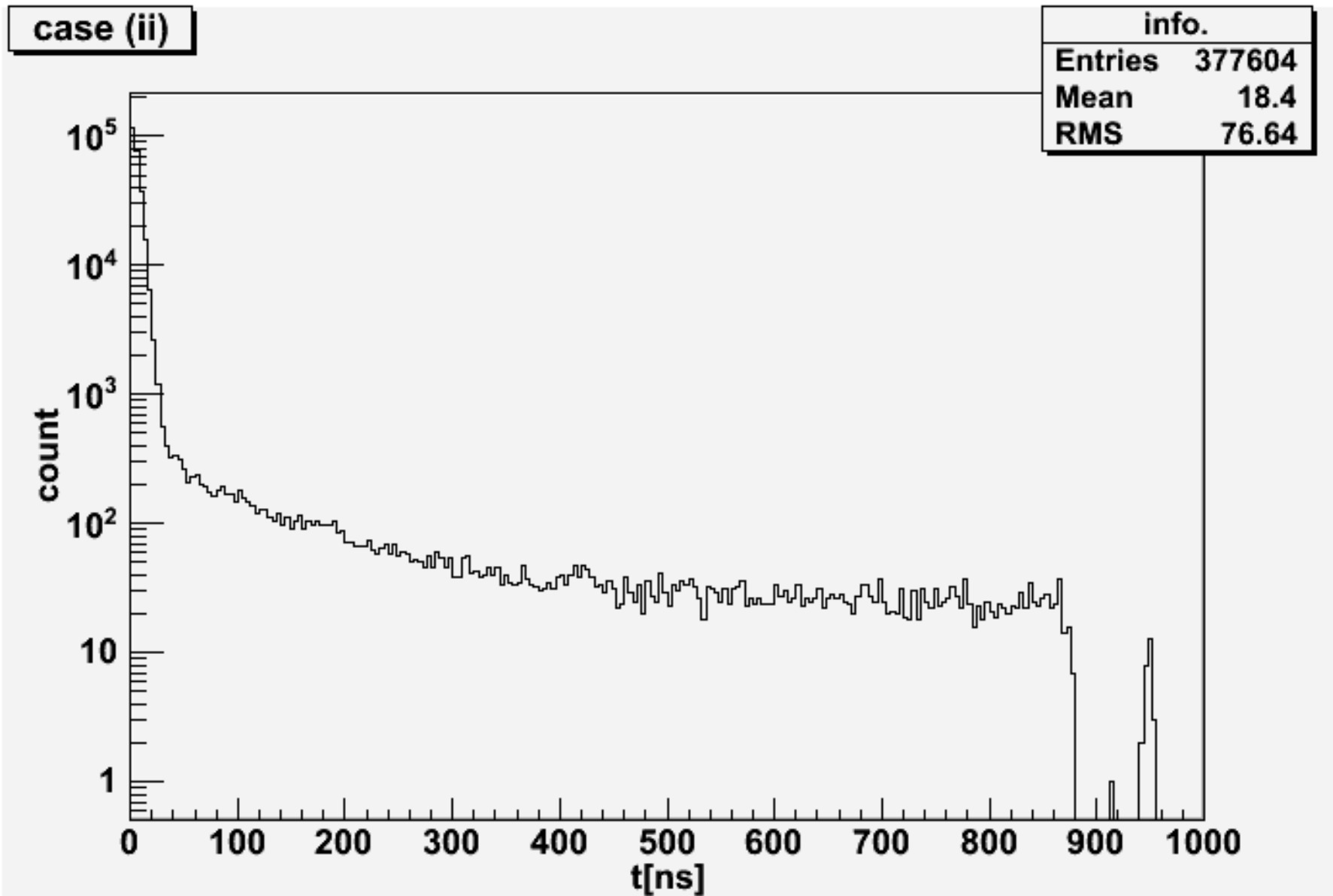
Case (i)

DiscriminatorのThreshold level から 2γ 主領域下端



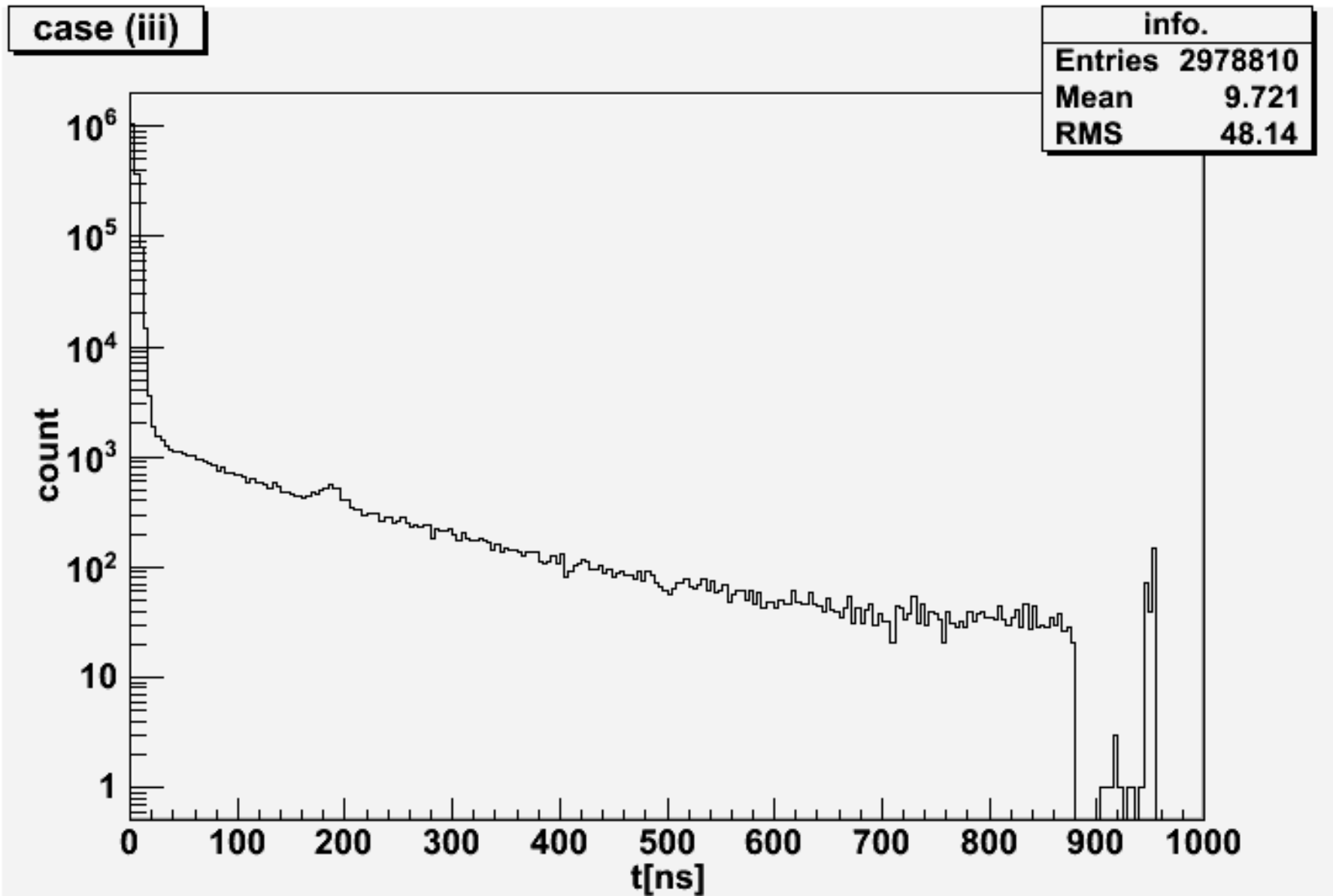
Case (ii)

Compton edge (341[keV])から 2γ 主領域下端



Case (iii)

2γ 主領域



フィッティングの設定

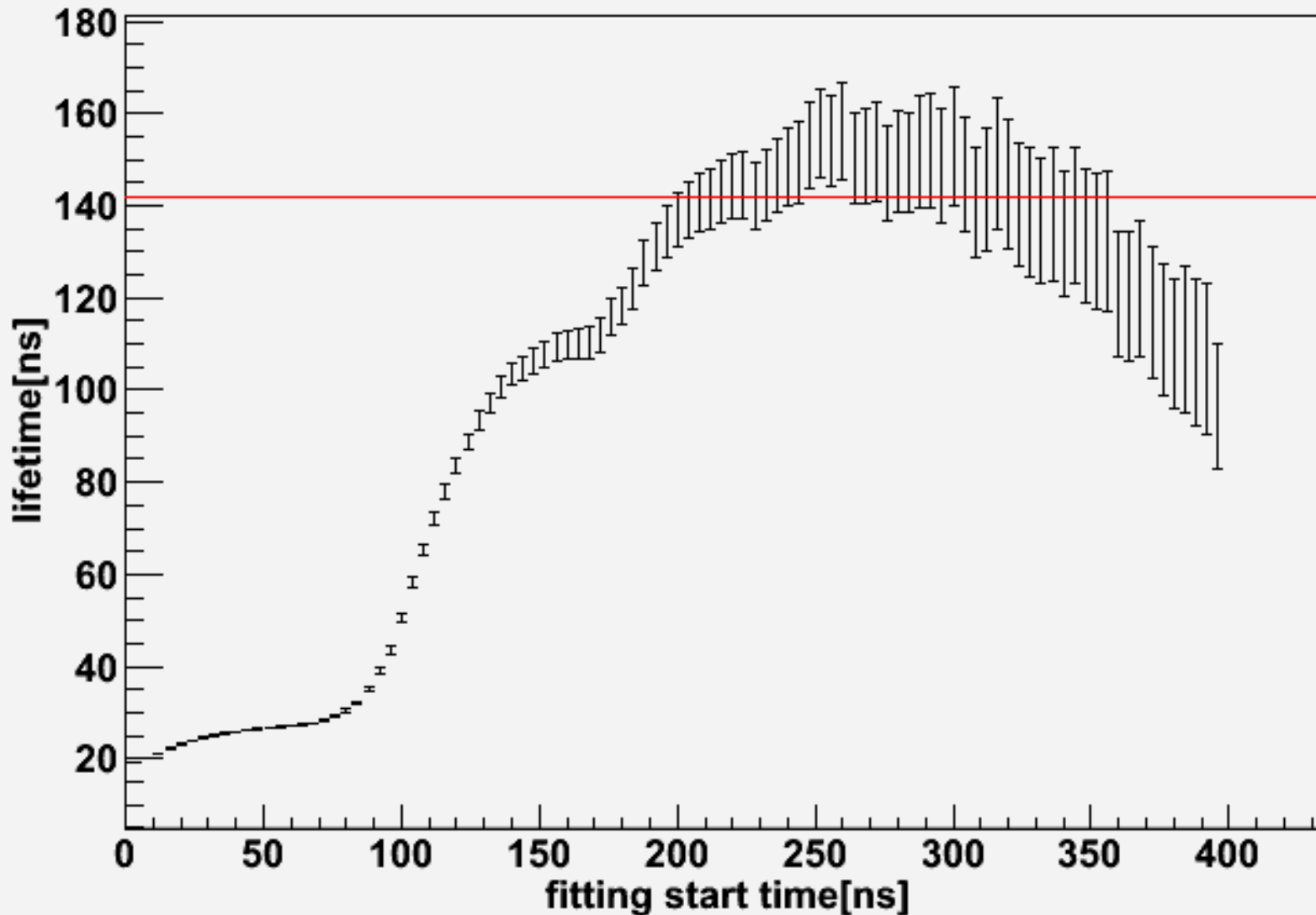
$$N'(t) = N'_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_{total}}\right)$$

フィッティング終了時刻を860[ns]として、開始時刻を0[ns]から396[ns]まで4[ns]刻みで変えて行った。

Case (i)

DiscriminatorのThreshold level から 2γ 主領域下端

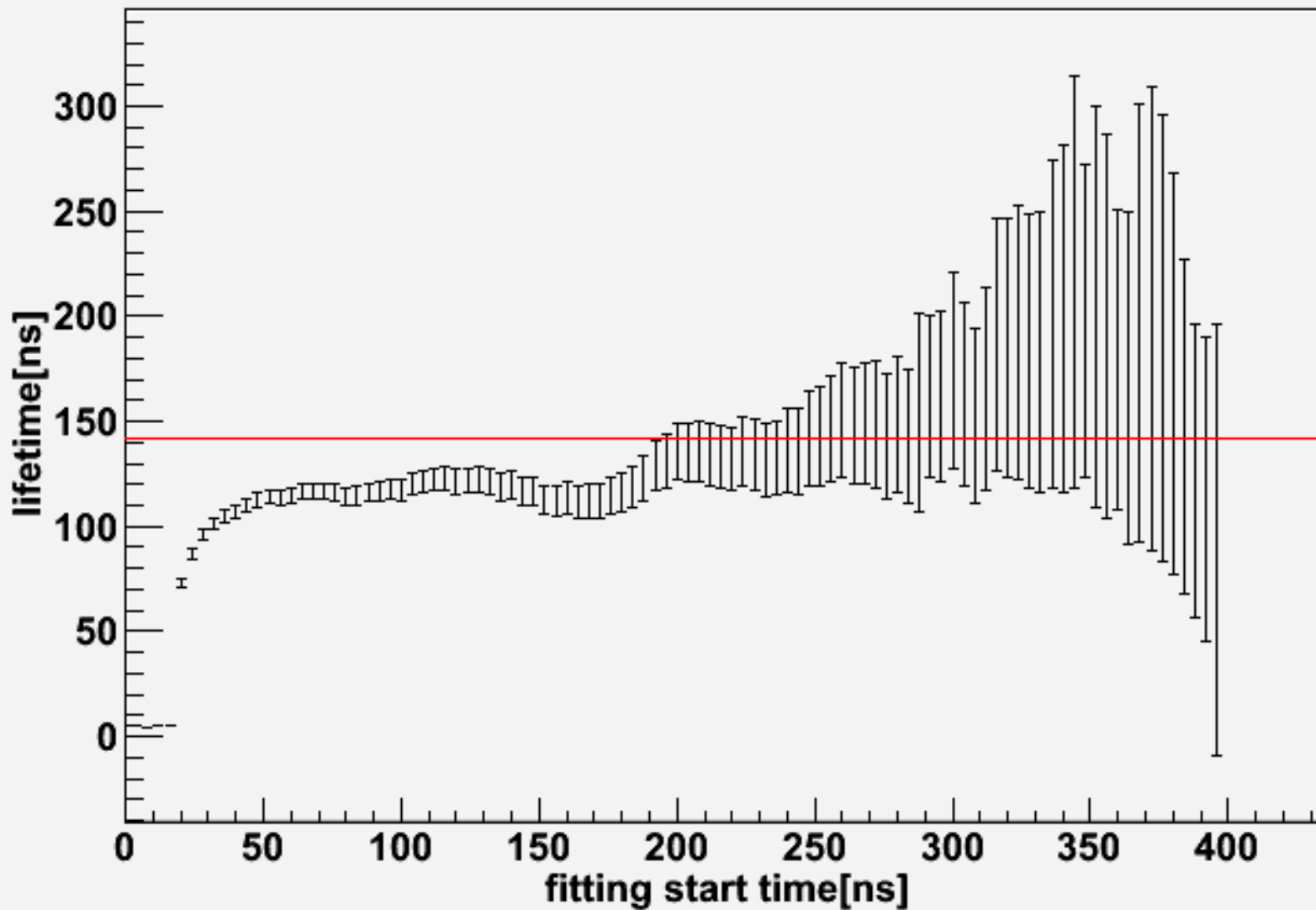
(i) lifetime with error bar



Case (ii)

Compton edge (341[keV])から 2γ 主領域下端

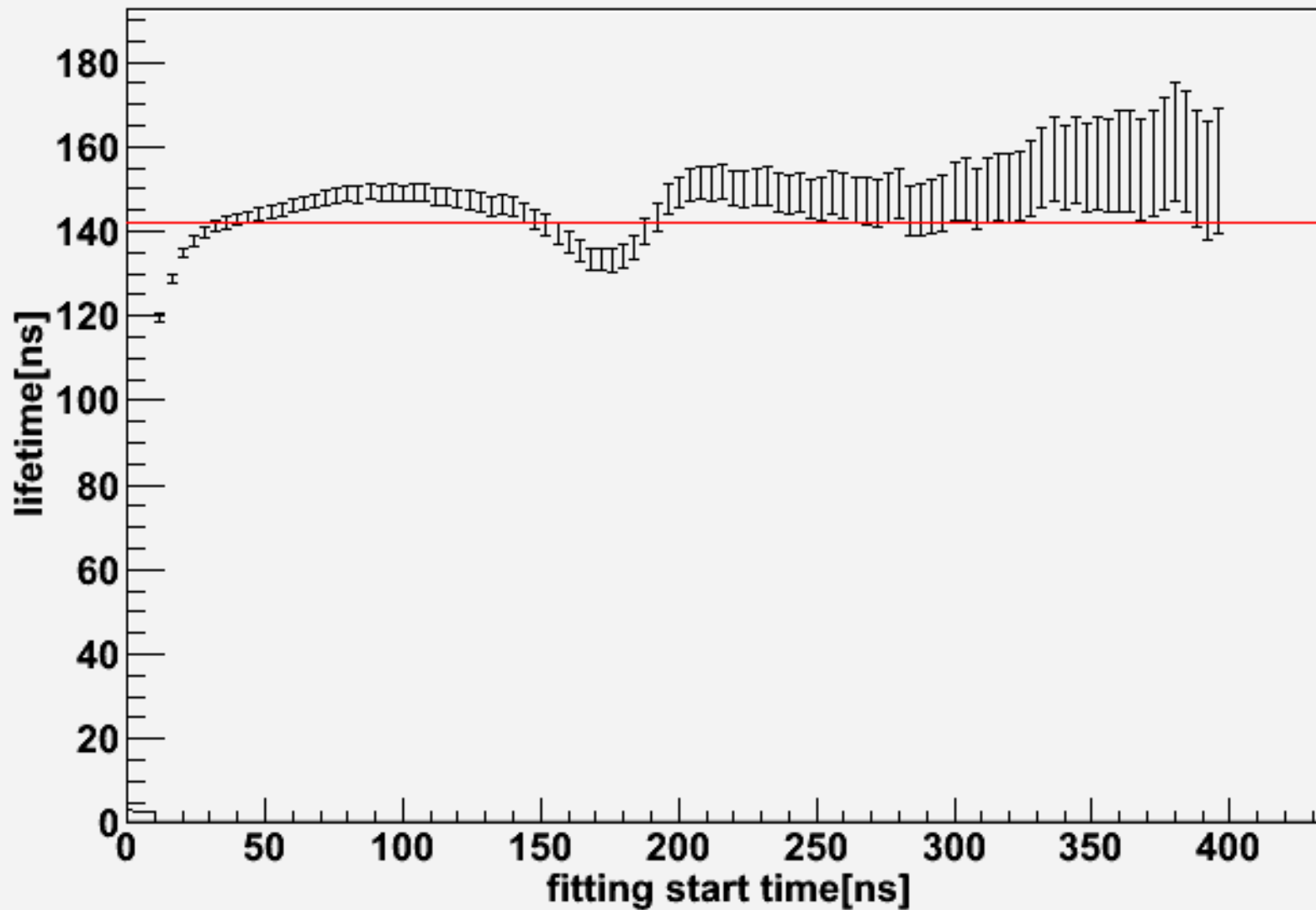
(ii) lifetime with error bar



Case (iii)

2 γ 主領域

(iii) lifetime with error bar



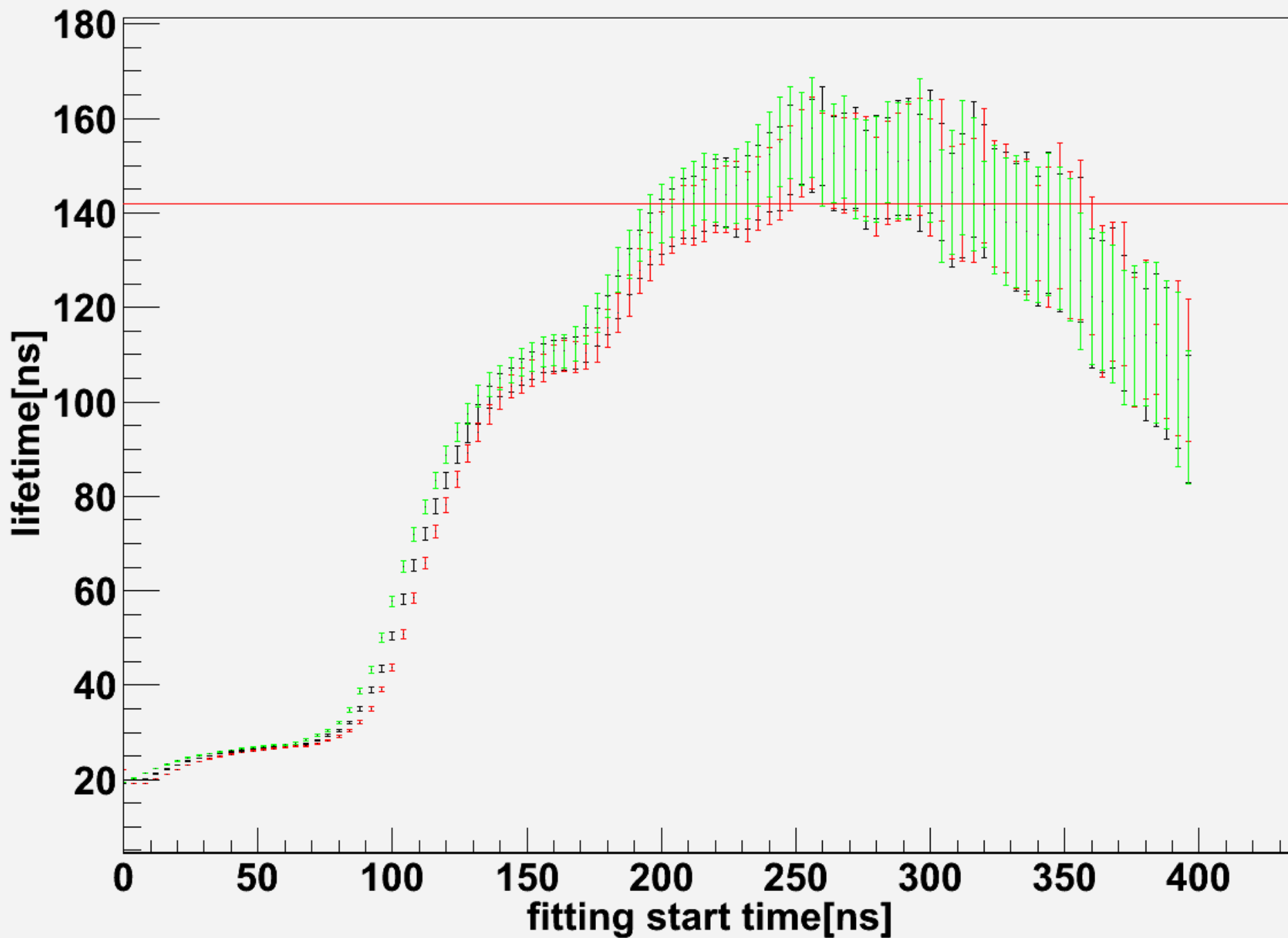
誤差について

$$t = d + \frac{c}{ADC + b} - A \cdot TDC - B$$

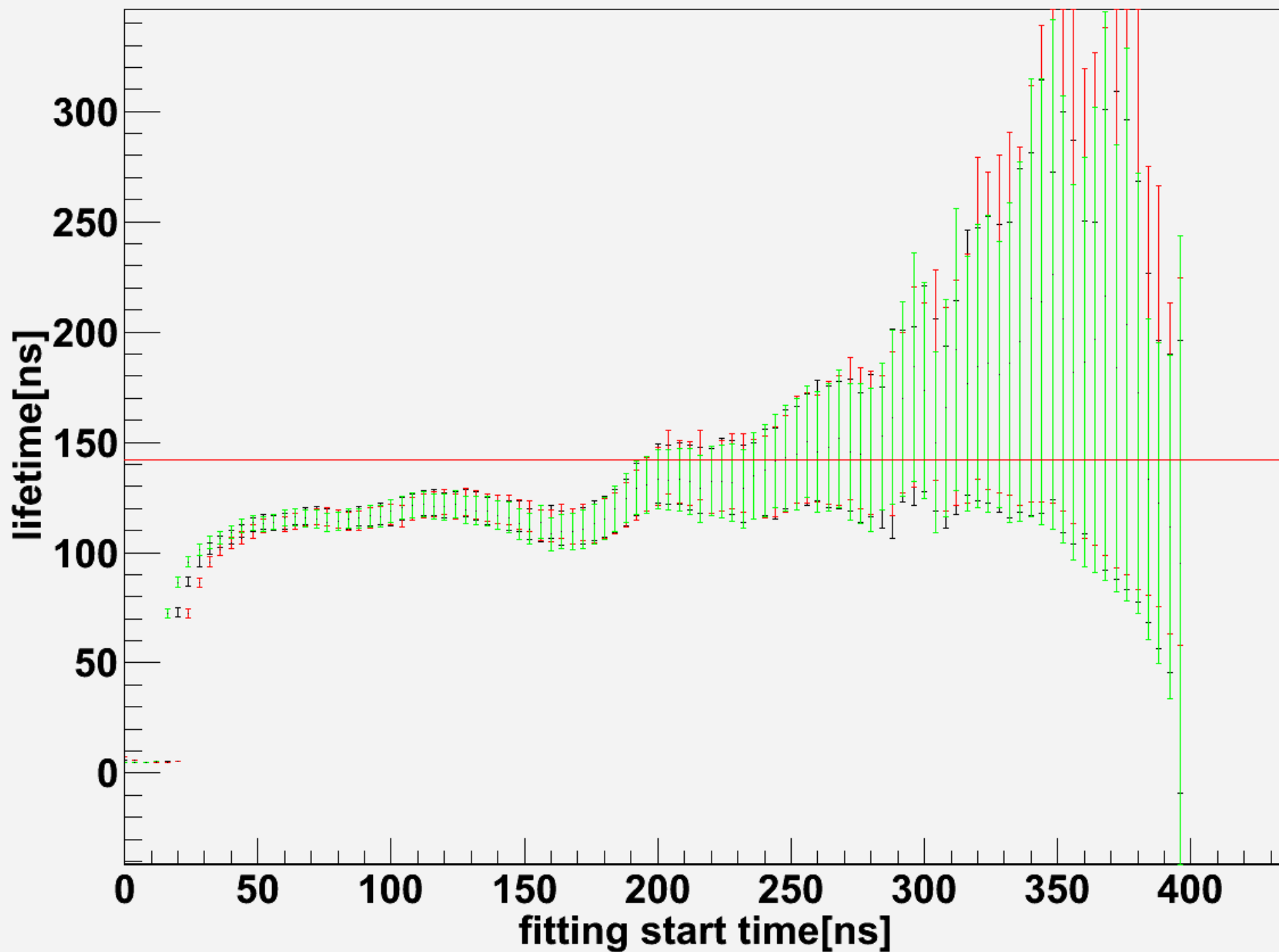
d,c,b,A,Bの誤差の影響

$$e_t^2 = e_d^2 + \frac{c^2 e_b^2}{(ADC + b)^4} + \frac{e_c^2}{(ADC + b)^2} + (TDC)^2 e_A^2 + e_B^2$$

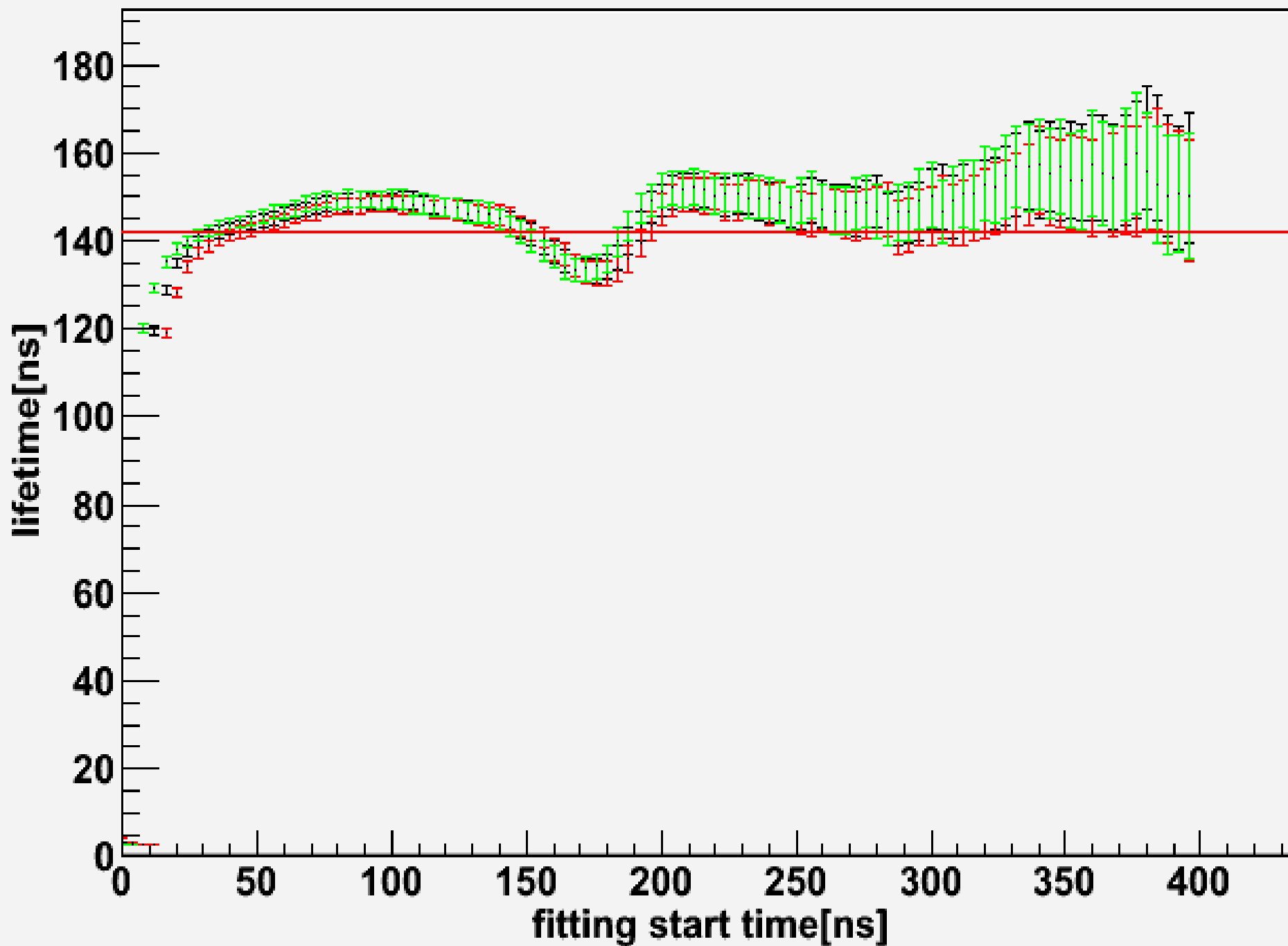
(i) error estimation



(ii) error estimation



(iii) error estimation

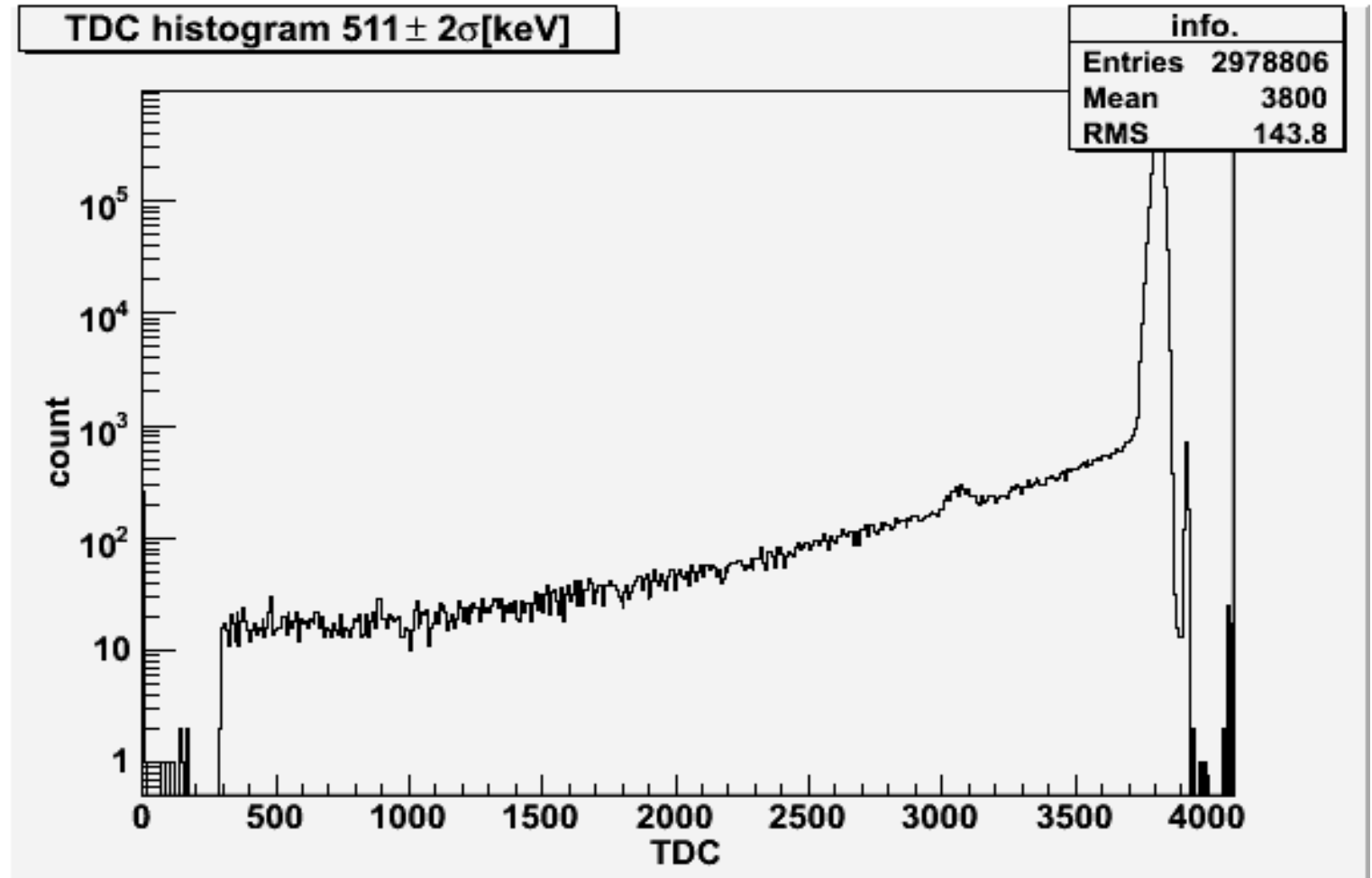


上記の誤差による影響は～数ns

fittingによる誤差のほうが主要

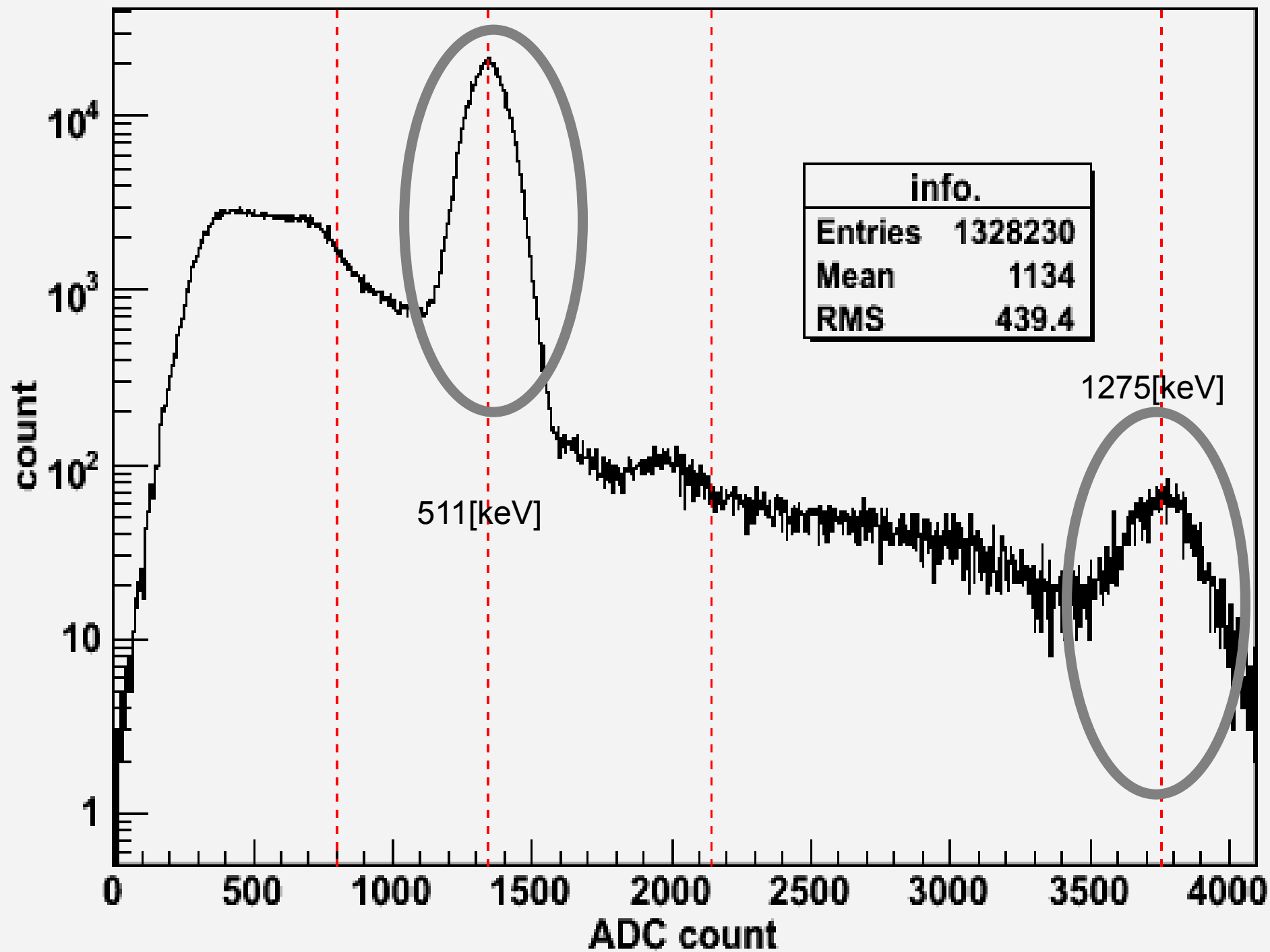
反省点

- ・コブ
- ・統計数
- ・t-Q補正



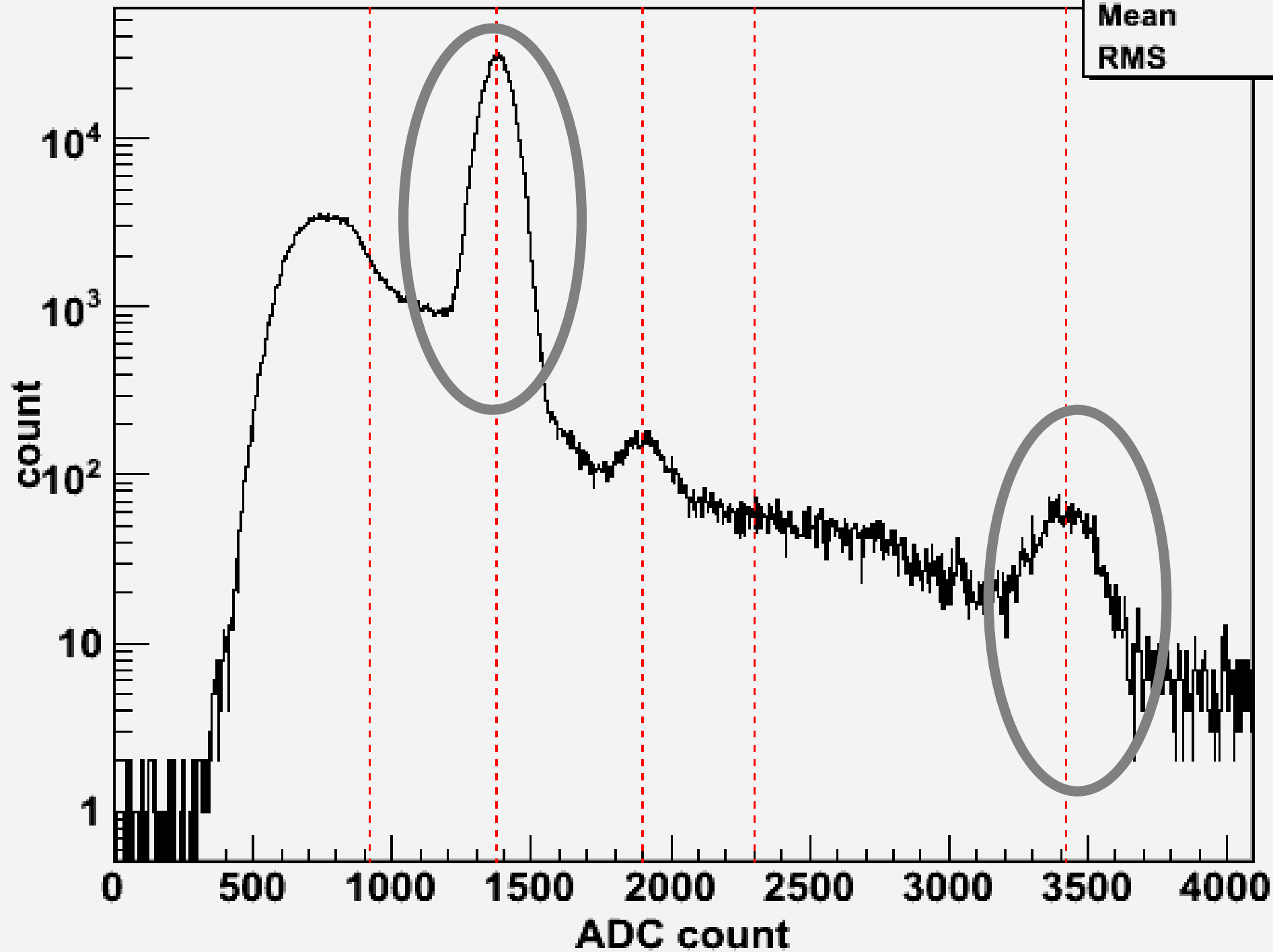
end

NaI1 ADC histogram



NaI2 ADC histogram

info	
Entries	1412430
Mean	1266
RMS	316.5



NaI3 ADC histogram

info	
Entries	1837140
Mean	1025
RMS	393.7

