

# $\mu^-$ 粒子の寿命測定

---

2020年 2月 21日 (金) 卒業研究発表

奈良女子大学 高エネルギー物理学研究室 B4 下総七海

# 目次

---

背景と目的

宇宙線・ $\mu$ 粒子

測定原理とセットアップ

$\mu$ 粒子の寿命測定

まとめ

# 背景と目的

---

## 背景

先行研究において、昨年より磁石を用いた $\mu^-$ 粒子寿命測定器が導入された。

## 目的

1.  $\mu$ 粒子の電荷を区別し、 $\mu^-$ 粒子の平均寿命を測定する。  
測定されるイベント数を増やして  $\mu^-$  粒子の平均寿命測定の精度を高める。
2. 電荷の区別をしない、 $\mu$ 粒子の平均寿命を測定する。

# 宇宙線・ $\mu$ 粒子

宇宙線・・・宇宙空間から絶えず飛来する高エネルギーの放射線

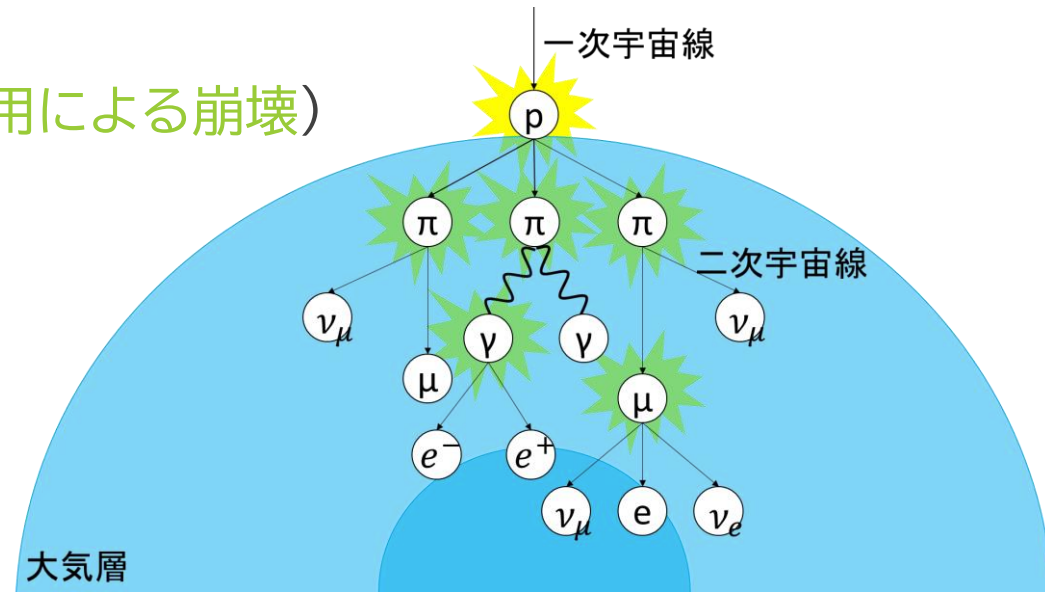
- ✓一次宇宙線:大気圏に入射する前の宇宙線(主に陽子と $\alpha$ 粒子)
- ✓二次宇宙線:大気中の原子核と相互作用して生成された粒子

$\pi$ 中間子・・・二次宇宙線の一種、高速の陽子と大気中の原子核との衝突により生成

- ✓ $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  (平均寿命: $0.84 \times 10^{-16} \text{ s}$  電磁相互作用による崩壊)
- ✓ $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
- ✓ $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  (平均寿命: $2.60 \times 10^{-8}$  弱い相互作用による崩壊)

## $\mu$ 粒子

- ✓ $\pi$ 中間子の崩壊により生成
- ✓地表に届く宇宙線のほとんどが $\mu$ 粒子
- ✓弱い相互作用により崩壊(平均寿命: $2.2 \times 10^{-6} \text{ s}$ )



# μ粒子の崩壊

最低次の崩壊幅Γに放射補正を加えた式

$$\Gamma = \frac{1}{\tau_{\mu^-}} = \frac{G_F^2 m^5}{192\pi^3} F(x) \left(1 + \frac{3m_\mu^2}{5M_W^2}\right) \left[1 + H_1(x) \frac{\hat{\alpha}(m_\mu)}{\pi} + H_2(x) \frac{\hat{\alpha}^2(m_\mu)}{\pi^2}\right]$$

ここで、

$$x = \frac{m_e^2}{m_\mu^2}$$

$$F(x) = 1 - 8x + 8x^3 - x^4 - 12x^2 \ln(x) = 0.999813$$

$$H_1(x) = \frac{25}{8} - \frac{\pi^2}{2} - (9 + 4\pi + 12 \ln(x))x + 16\pi^2 x^{\frac{3}{2}} + o(x^2) = -1.8079$$

$$H_2(x) = \frac{156815}{5184} - \frac{518}{81}\pi^2 - \frac{895}{36}\zeta(3) + \frac{67}{720}\pi^4 + \frac{53}{6}\pi^2 \ln 2 - \frac{5}{4}\pi^2 \sqrt{x} + o(x) = 6.7$$

$$\hat{\alpha}(m_\mu)^{-1} = \alpha^{-1} - \frac{2}{3\pi} \ln\left(\frac{m_\mu}{m_e}\right) + \frac{1}{6\pi} = 135.9$$

$$G_F = 1.16637 \times 10^{-5} (GeV^{-2})$$

以下の定数を代入すると、  
真空中のμ粒子の平均寿命を  
求めることができる

$$\tau_\mu = 2.197 \times 10^{-6} (sec)$$

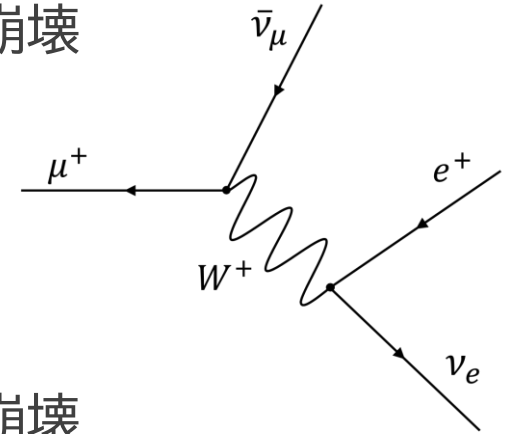
## μ粒子の寿命測定

- ✓ 基本的な物理パラメータフェルミ結合定数 $G_F$ を実験的に求める最も精密な方法

✓ 真空中でのμ粒子の崩壊

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$



✓ 物質中でのμ粒子の崩壊

μ<sup>+</sup>粒子は物質中で原子核に捕獲されない

→真空中の崩壊と同様

μ<sup>-</sup>粒子は物質中の原子核に捕獲される

→真空中とは寿命が異なる

# $\mu^-$ 粒子の崩壊と寿命～物質中～

$\mu^-$  粒子は物質中でミュオン原子を生成

(ミュオン原子: 原子中の電子が  $\mu^-$  に置き換わったもの)

原子核に束縛された  $\mu^-$  のその後の過程

1. 束縛軌道上での崩壊(真空中の崩壊と同様)
2. 原子核捕縛(原子核内の陽子が  $\mu^-$  を吸収、中性子に変化し  $\nu$  を放出)  
→  $\mu^-$  の寿命が見かけ上縮まったことになる

物質中の  $\mu^-$  粒子の寿命

$\mu^-$  が他のものに  
変化する Total の確率

原子核捕縛  
の確率

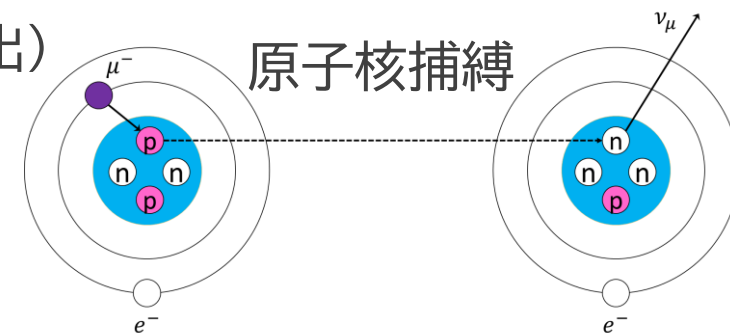
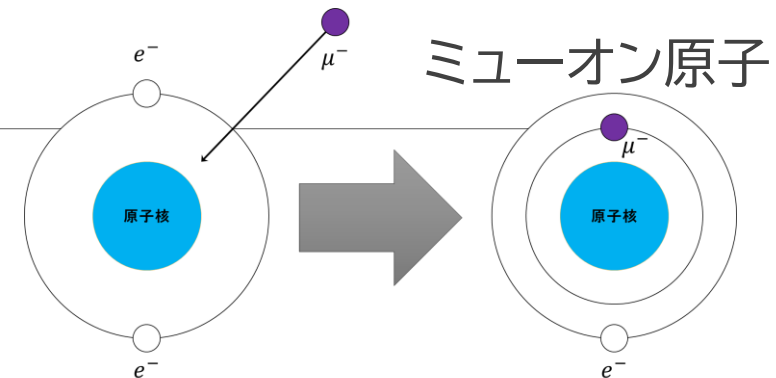
軌道上での崩壊  
の確率

$$P_{\mu^- \text{ total}} = P_{\text{capture}} + P_{\text{decay}}$$

$$\rightarrow \frac{1}{\tau_{\mu^-}} = \Lambda_{\text{cap}} + \frac{1}{\tau_{\mu^+}}$$

$\Lambda_{\text{cap}}$  (Capture rate: 原子核捕縛が起こる割合)

が大きいほど  $\mu^-$  の寿命は短くなる

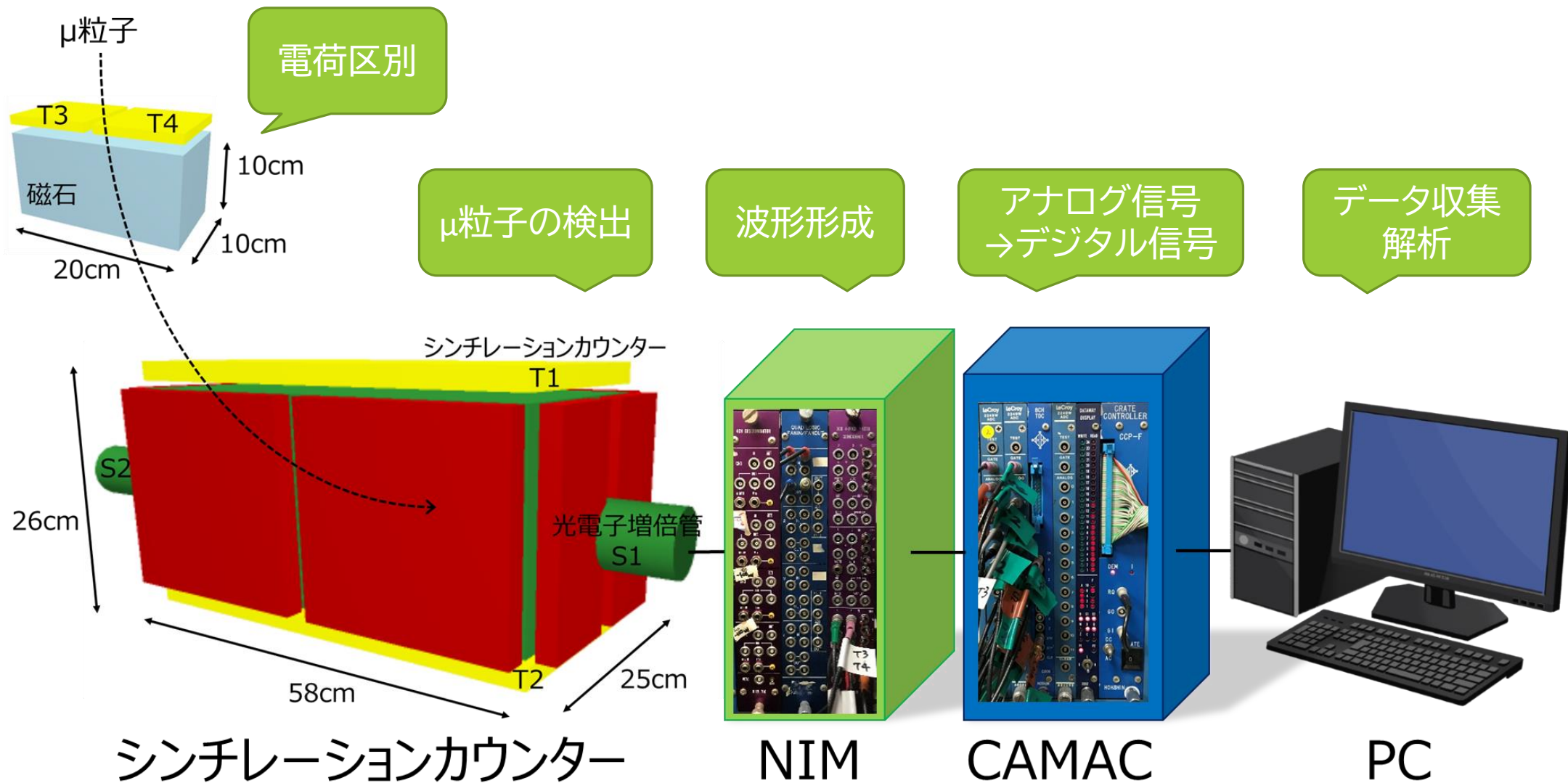


本実験のプラスチックシンチレーターは  
ポリスチレン( $[C_6H_5CHCH_2]_n$ )製  
→ C の Capture rate より求められる文献値

$$\tau_{\mu^-} = 2.02 \pm 0.02 \mu\text{s}$$

$$(\tau_{\mu} = 2.19703 \pm 0.000021 \mu\text{s})$$

# 測定原理とセットアップ～計測全体の流れ～



# シンチレーションカウンター

シンチレーションカウンターは、シンチレーターと光電子増倍管を組み合わせた放射線検出器の一種である。

## プラスチックシンチレータ

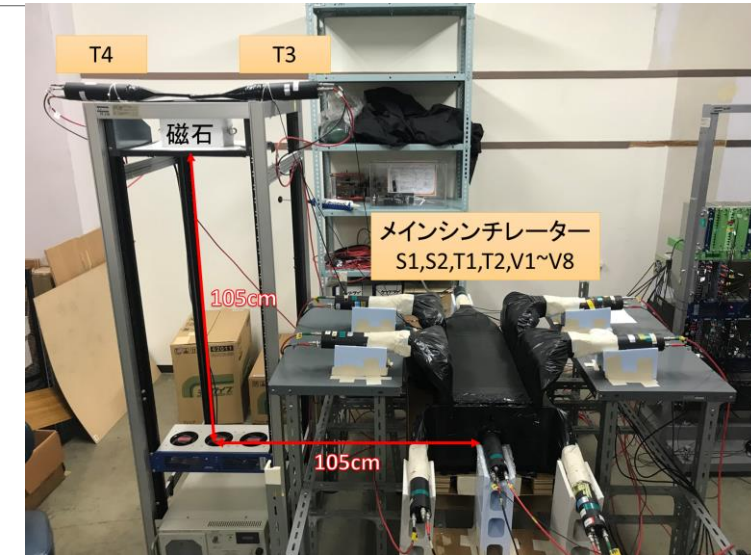
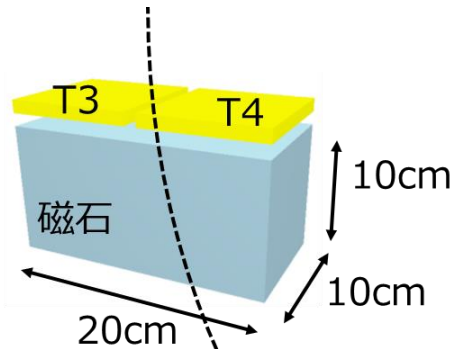
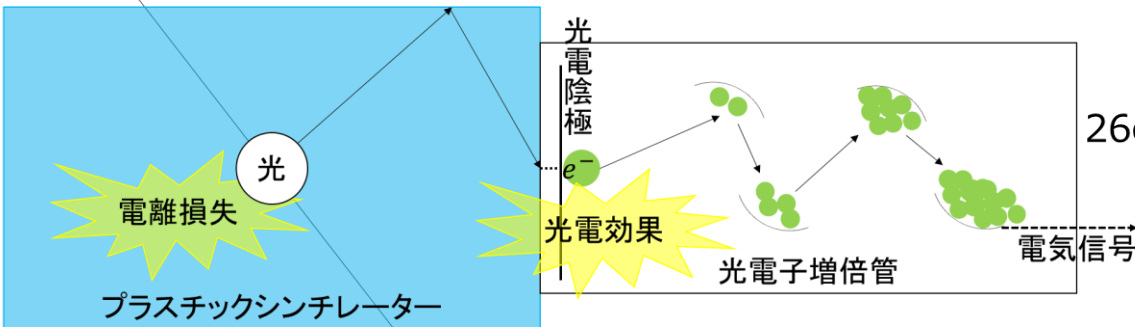
- 荷電粒子が通過
- シンチレータを構成する原子・分子を励起
- シンチレーション光を放出

## 光電子増倍管 (PMT: PhotoMultiplier Tube)

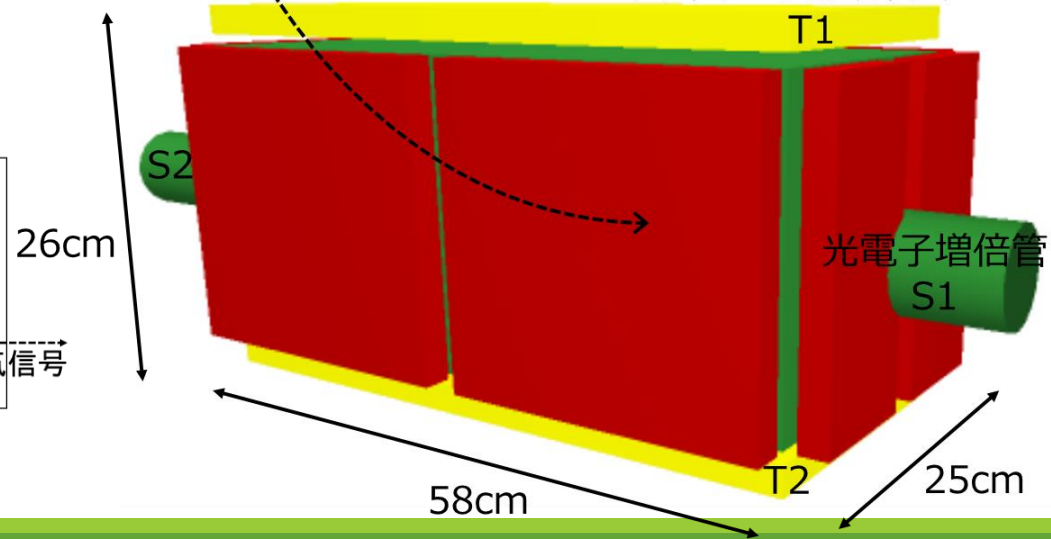
微弱な光を電気信号に変換する装置

- 入射した光を電子に変換(光電面)
- 電子を増幅(ダイノード)
- 電子を電流として取り出す(陽極)

荷電粒子



シンチレーションカウンター

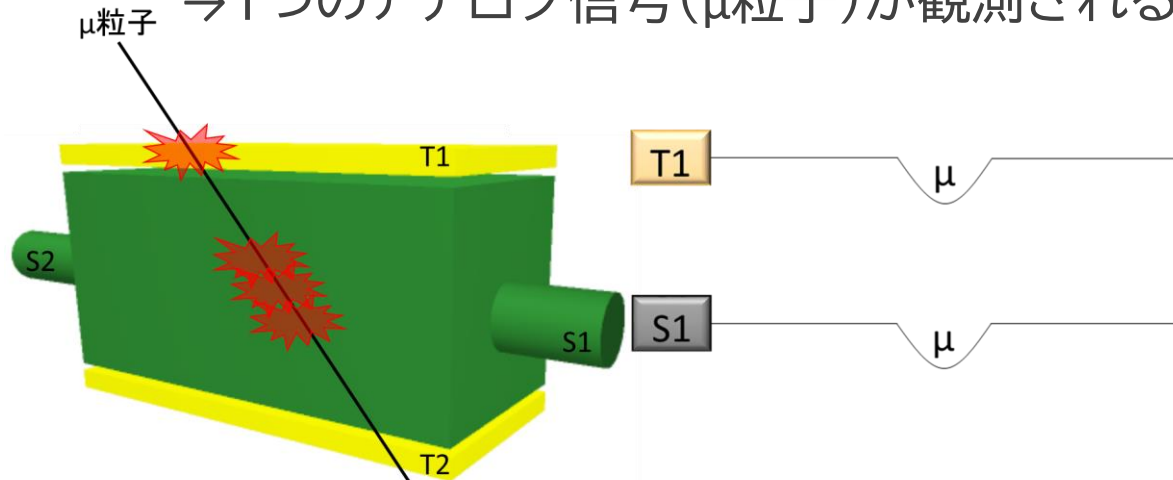




# $\mu$ 粒子崩壊の識別の仕方

$\mu$ 粒子がメインシンチレーターを通過

→1つのアナログ信号( $\mu$ 粒子)が観測される



トリガーカウンター

いくつかのカウンターを用いて信号が来たと判断

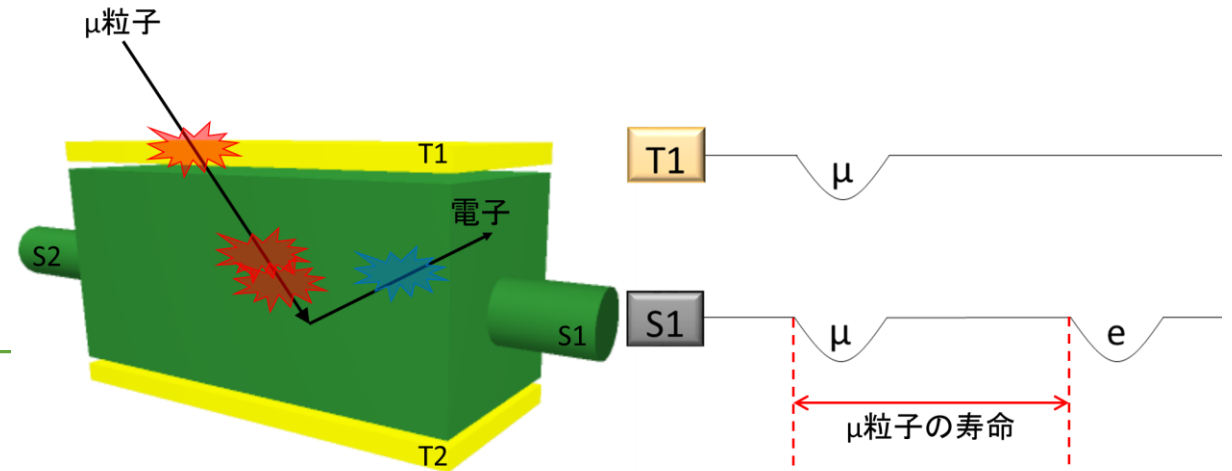
- シンチレーションカウンターT1
- 光電子増倍管(メインシンチレーター)S1

T1とS1のコインシデンス(トリガー信号)がON

→ $\mu$ 粒子が上部からメインシンチレーターに入射したとする

$\mu$ 粒子がメインシンチレーター内で崩壊し電子を放出

→2つのアナログ信号(1つ目: $\mu$ 粒子、2つ目:電子)が観測される



# NIMモジュール

NIMモジュールはある条件の信号が入力されたときにロジック信号を出すようなモジュールのことで、NIM信号のパルスの大きさは0.7Vで一定である。

## Discriminator

- Threshold(閾値)を超えた時刻を起点
- アナログ信号→ロジック信号

## G.G(Gate and delay Generator)

- 出力パルスの時間幅
- Delay Time  
を任意に調節可能



## Coincidence = AND回路

- 複数の信号を入力
- 重なった時刻を起点としてロジック信号を出力

## Fan-in Fan-out = OR回路

- 複数の信号を入力
- 一つでも入力されたときロジック信号を出力

## Delay

- ある一定時間信号を遅らせる

# CAMACモジュール

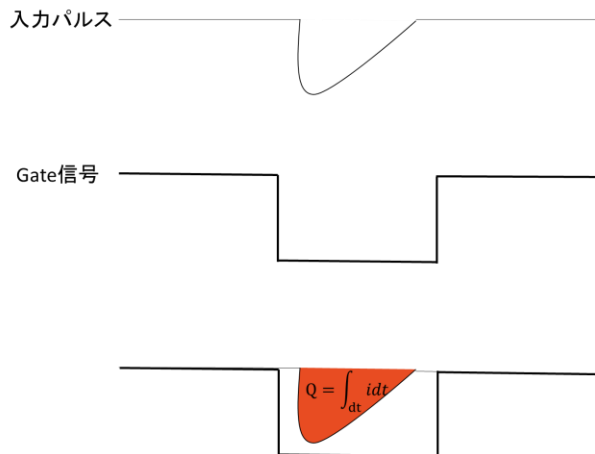
CAMAC(Computer Aided Measurement And Control)  
アナログ入力信号を値に数値化  
アドレス(住所)とファンクション(動作)を指定

ADC(Analog to Digital Converter)  
アナログ電気信号をデジタル電気信号  
に変えるモジュール

- Vモード:ピーク電圧を数値化
- Qモード:信号を時間積分して数値化  
(本実験で使用)

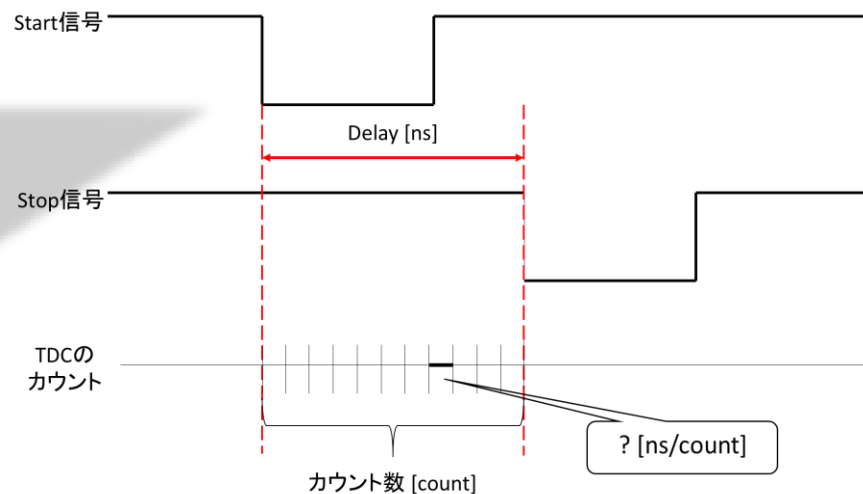
測定される電荷量 $Q$ ( $i$ :信号の電流)

$$Q = \int_{dt} idt$$

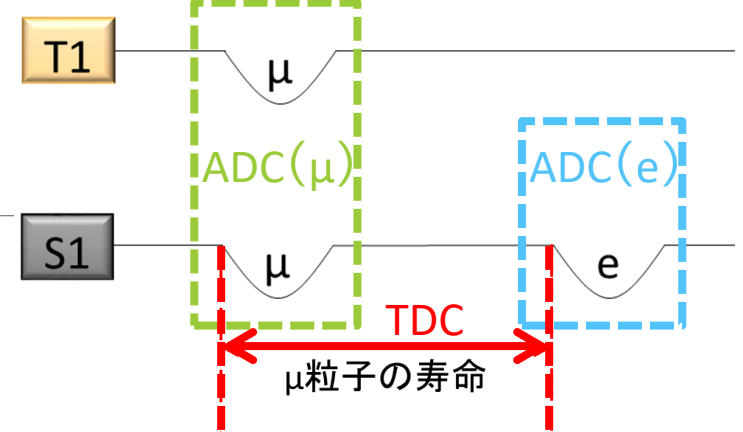
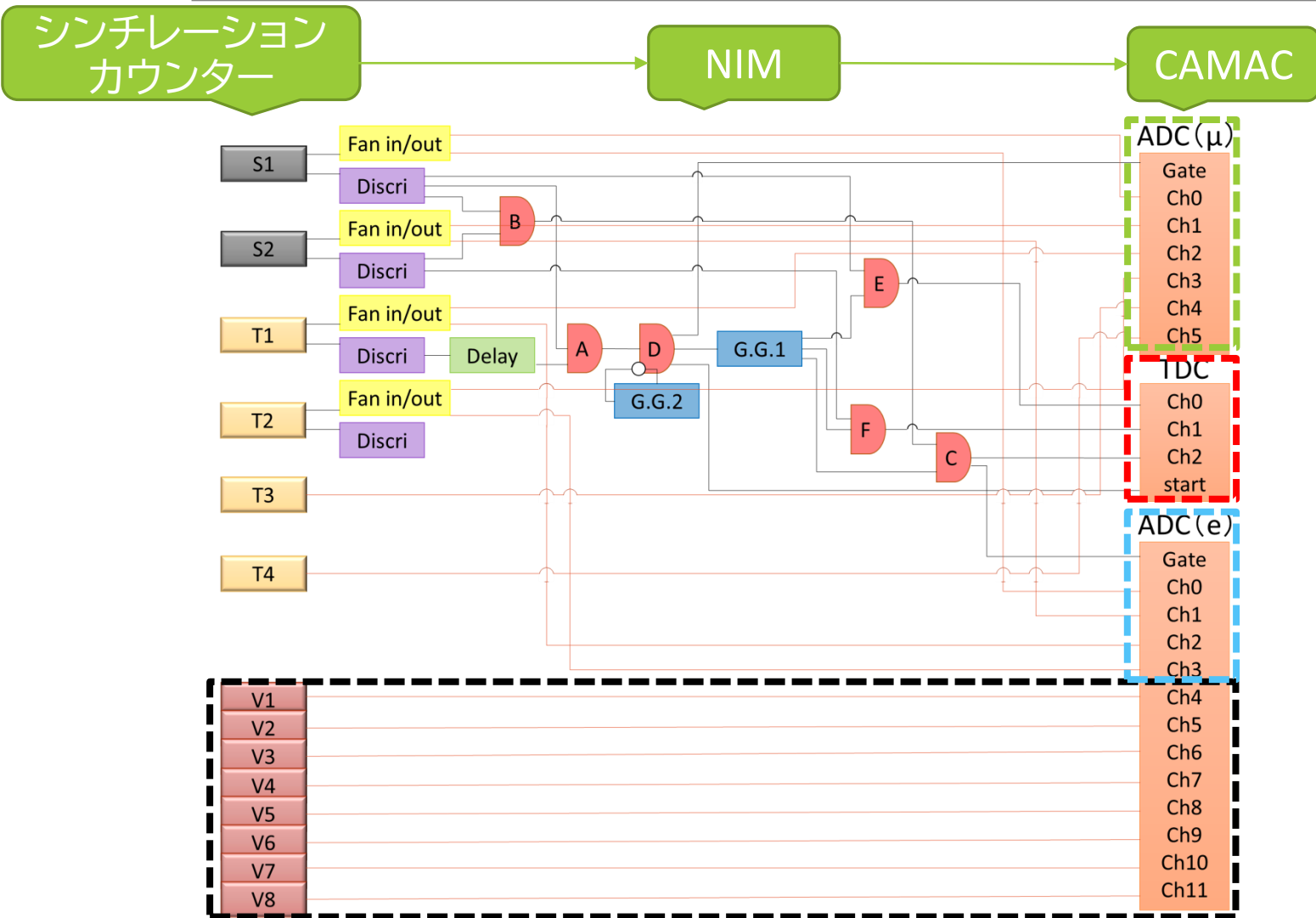


TDC(Time to Digital Converter)  
時間というアナログ量をデジタル信号  
に変換するモジュール

Start信号が入力されてから、Stop信号  
が入力されるまで、一定の時間間隔  
でカウントを刻み、そのカウント数で  
時間間隔を表す



# エレクトロニクスの全体図



$\mu$ 粒子のエネルギー損失測定

$\mu$ 粒子が入射してから崩壊し電子を放出するまでの時間測定

崩壊後の電子のエネルギー測定

メインシンチレーターから電子が飛び出していないことを確認 (今回使用せず)

# 寿命測定の実験原理

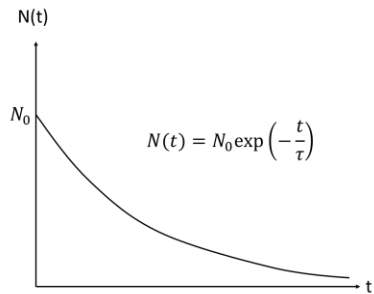
μ粒子崩壊の時間的振る舞いは  
放射線崩壊の指数関数法則に従う。

$N(t)$ : 時刻  $t$  に崩壊せずに残っている粒子の個数

$N_0$ : 初期時刻  $t_0$  での粒子の個数

$\tau$ : 粒子の平均寿命

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

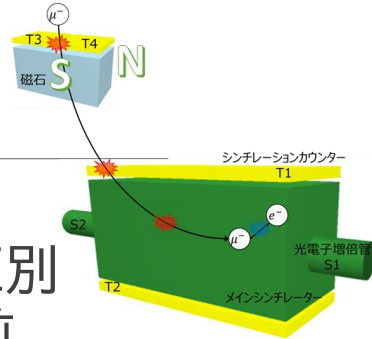


実験で得たTDC分布を Fit する実験式

$$y(t) = p_0 \exp\left(-\frac{t}{p_1}\right)$$

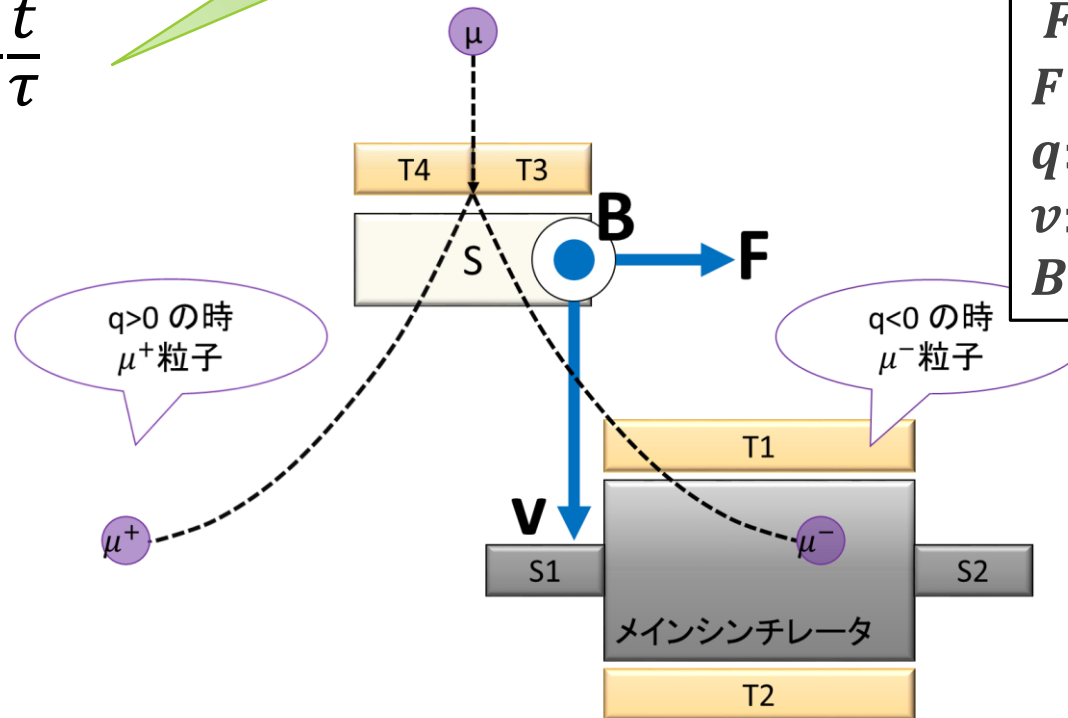
## 電荷の区別

- ローレンツ力により電荷を区別
- 磁石による磁場  $B$  は奥 → 手前
- 今回測定する粒子はマイナスの電荷 → 力  $F$  は向かって右向きにかかる



$$F = q(v \times B)$$

$F$ : 粒子にかかる力  
 $q$ : 粒子の電荷  
 $v$ : 入射粒子の速度  
 $B$ : 磁石の作る磁束密度



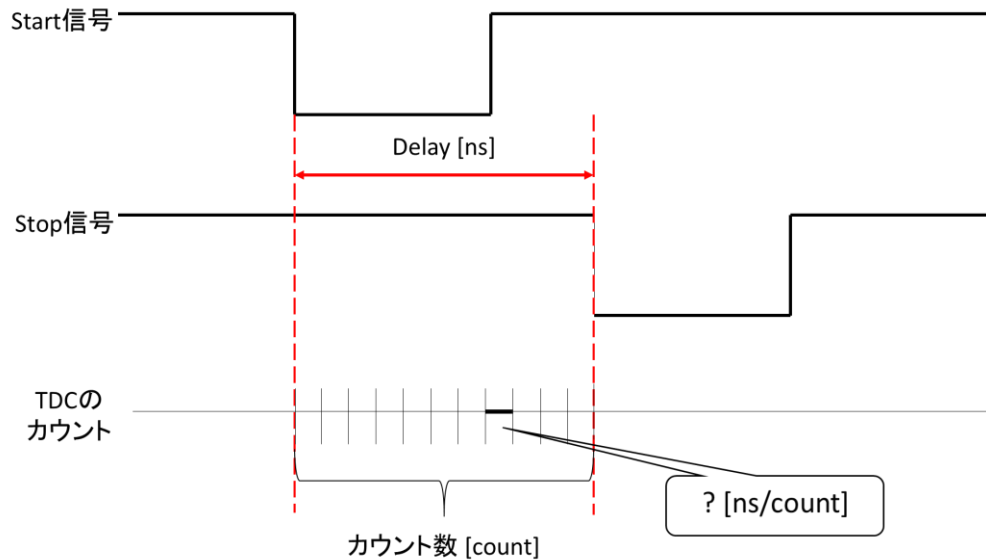
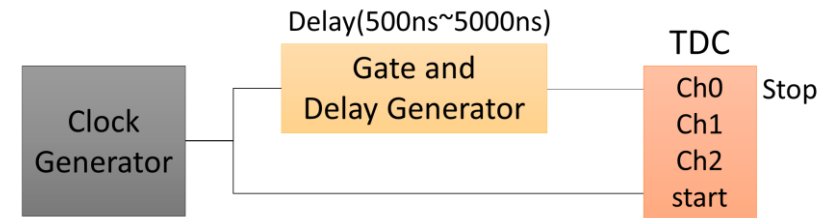
$q > 0$  の時  $\mu^+$  粒子

$q < 0$  の時  $\mu^-$  粒子

# TDC時間較正

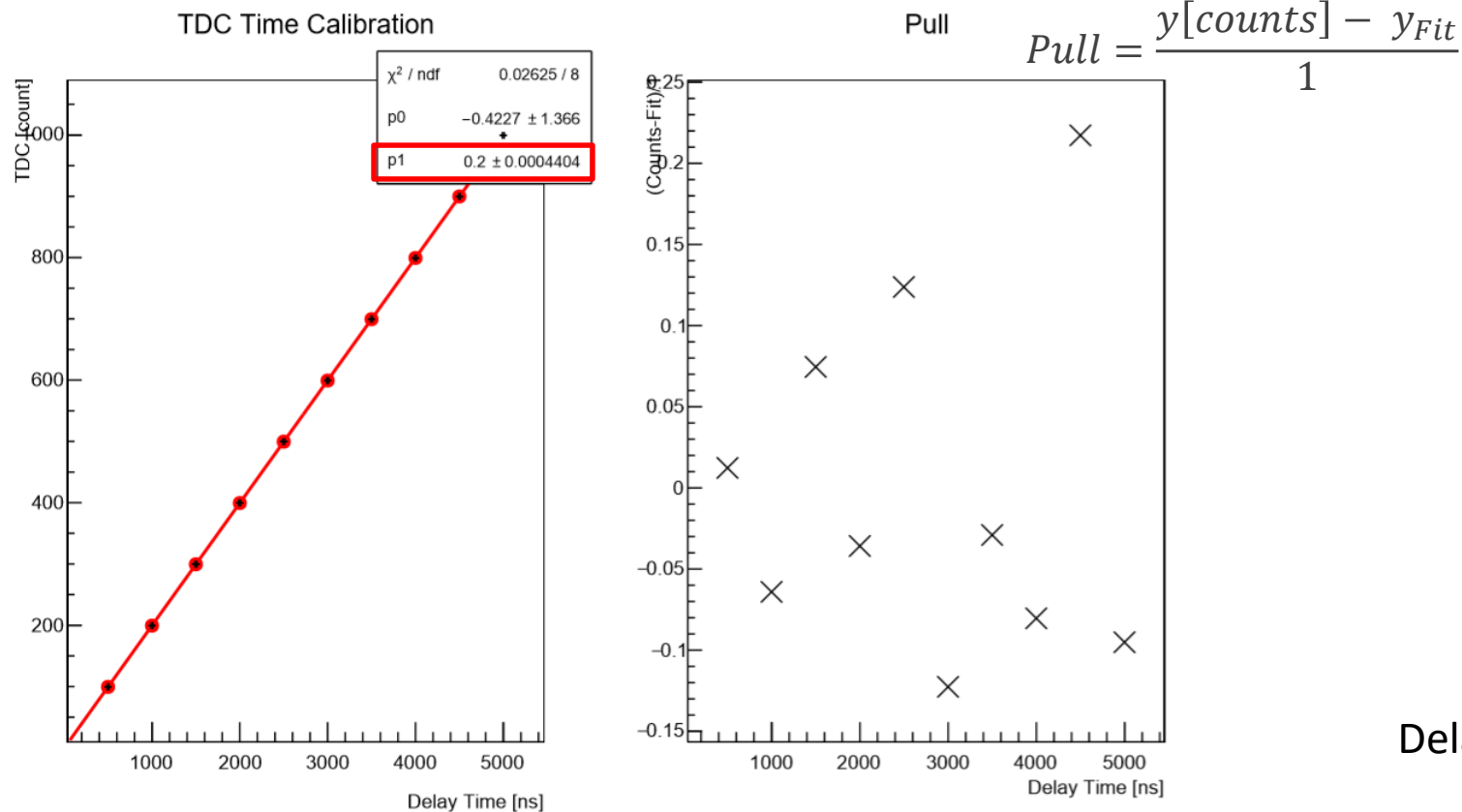
得られたTDCカウント数 $p_1$ を秒に換算 → TDCカウントと実際の時間との対応を調べる

- Start信号: Clock Generatorで作成したパルス(100Hz)
- Stop信号: 作成したパルスを任意の時間だけDelayさせたもの



Start信号→Stop信号の間の  
✓ Delayさせた時間  
(500nsから5000nsまで500nsずつ)  
✓ TDCで測定したカウント数  
(1000イベントの平均値)  
の関係を調べた  
→TDC 1カウント当たりの時間  $\alpha$ [ns] を算出

# TDC時間較正



Delay time [ns]	TDC [count]
500 ± 10	99.590 ± 0.013
1000 ± 10	199.514 ± 0.018
1500 ± 10	299.653 ± 0.012
2000 ± 10	399.543 ± 0.016
2500 ± 10	499.703 ± 0.013
3000 ± 10	599.457 ± 0.017
3500 ± 10	699.551 ± 0.014
4000 ± 10	799.500 ± 0.016
4500 ± 10	899.798 ± 0.014
5000 ± 10	999.486 ± 0.015

Delay time の読み取り誤差は10ns

- 線形近似  $y = b + ax$  ( $x, y$ : 変数、 $a, b$ : 定数) でFitした
- 1/傾き  $a$  がTDC 1カウント当たりの時間  $\alpha$  に相当:  $1/a = \alpha = 5.000 \pm 0.011 [\text{ns}/\text{count}]$   
 $\rightarrow \tau [\text{ns}] = p_1 [\text{count}] \times \alpha [\text{ns}/\text{count}] = \text{TDC カウント数 } p_1 \times 5.000 [\text{ns}]$

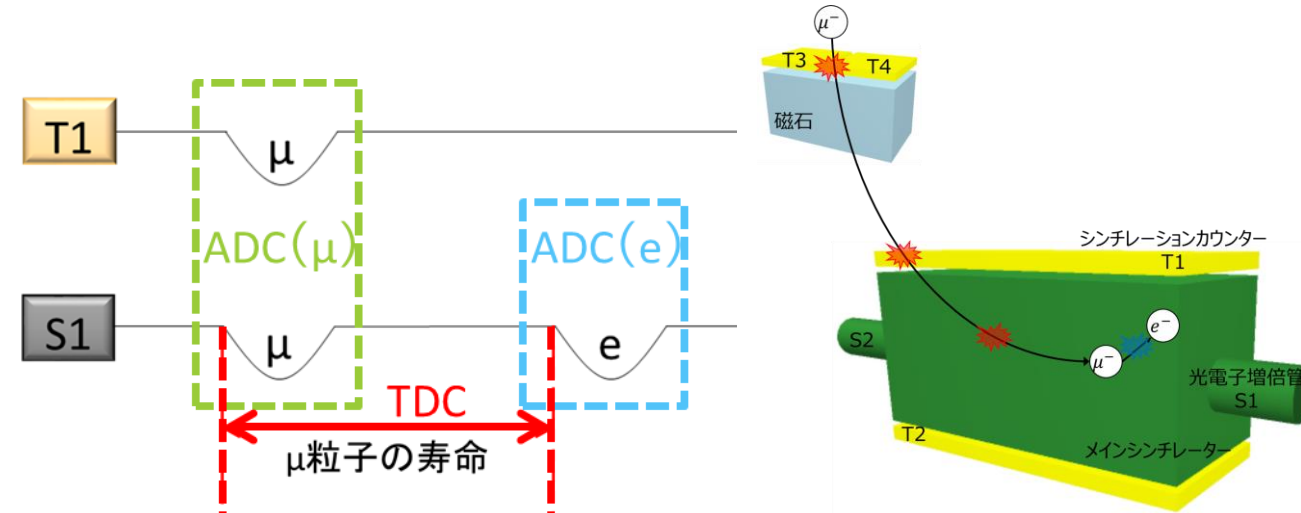
# μ粒子の寿命測定～イベントの選定条件～

## 電荷の区別なし

1. μ粒子がメインシンチレーターに入射  
トリガーカウンター(T1とS1)のコインシデンスがON  
→ データ取得できているイベント
2. μ粒子がメインシンチレーター内で崩壊  
放出された電子を検出  
→ ADC(e)で取得したS1が鳴っているとみなされる  
TDCがタイムアウトしていない  
→タイムアウトすると4000以上の戻り値を示す  
→TDCカウント数が4000以下である

## 電荷の区別あり

1. μ粒子が磁石を通過  
μ粒子が磁石を通過し、電荷の区別がされている  
→T3かT4が鳴っているとみなされる
2. μ<sup>-</sup>粒子がメインシンチレーターに入射
3. μ<sup>-</sup>粒子がメインシンチレーター内で崩壊





# イベントの選定～ $\mu$ 粒子が磁石を通過～

磁石を通過し、電荷の区別がつけられたイベント

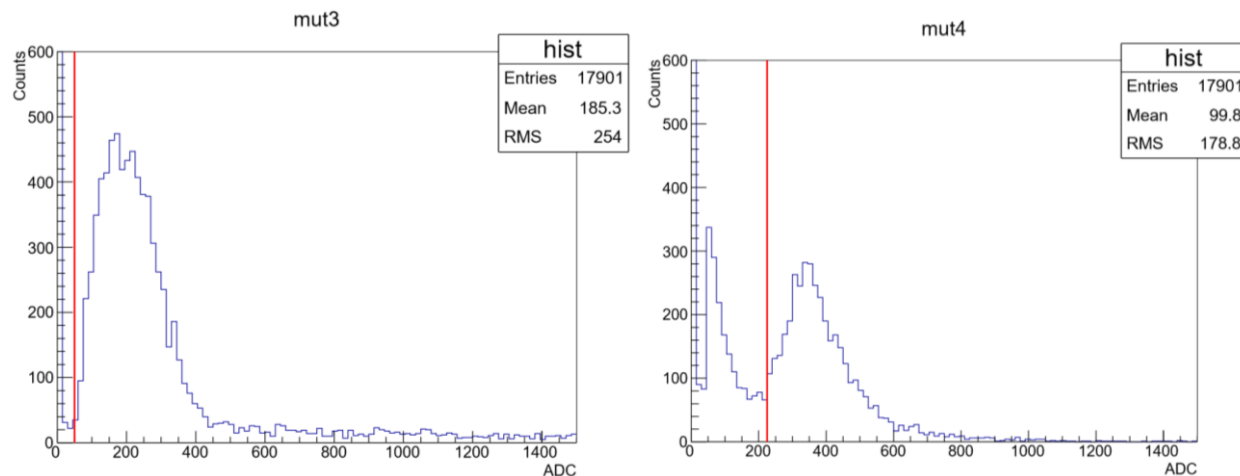
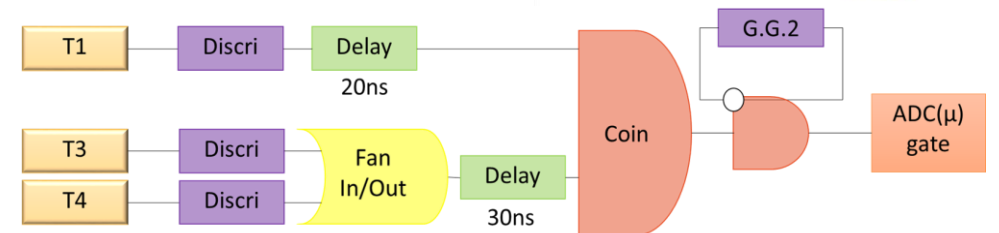
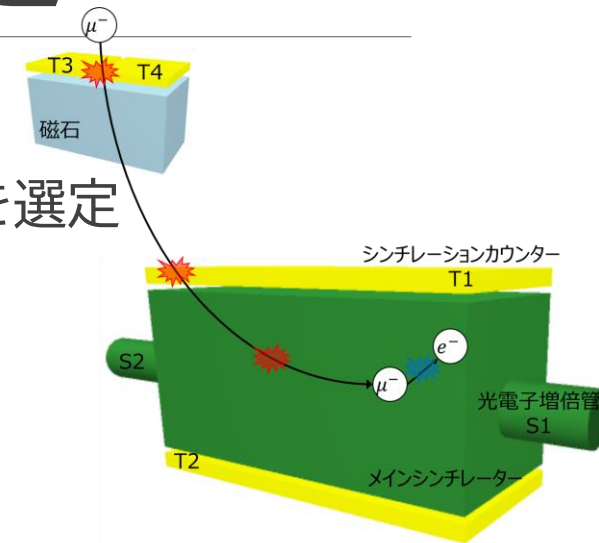
→磁石上部に設置されたT3またはT4が鳴っているとみなされるイベントを選定

➤ADC( $\mu$ )のGate信号の変更

T1 と T3 or T4 をトリガーカウンターとする

➤データ収集プログラムの変更

$\mu$ 粒子の崩壊にかかわらずデータを収集する

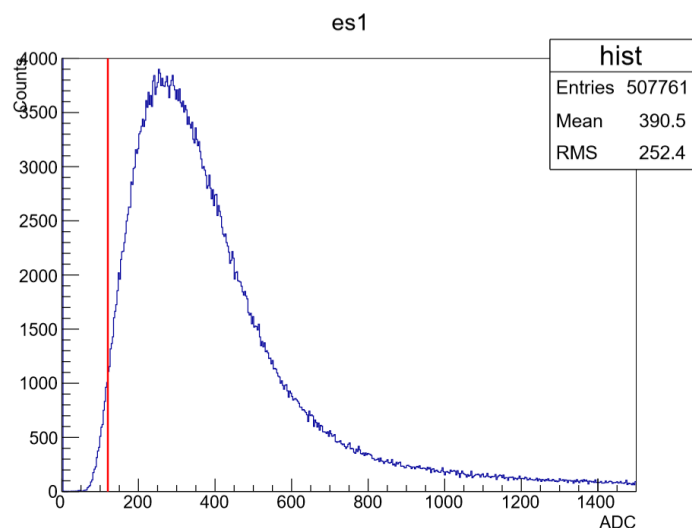


T3のADC値が50以上  
 またはT4のADC値が225以上の時  
 → $\mu$ 粒子がT3,T4(磁石)を通過したとみなす  
 TCut mag =  $50 < mut3 \ || \ 225 < mut4$

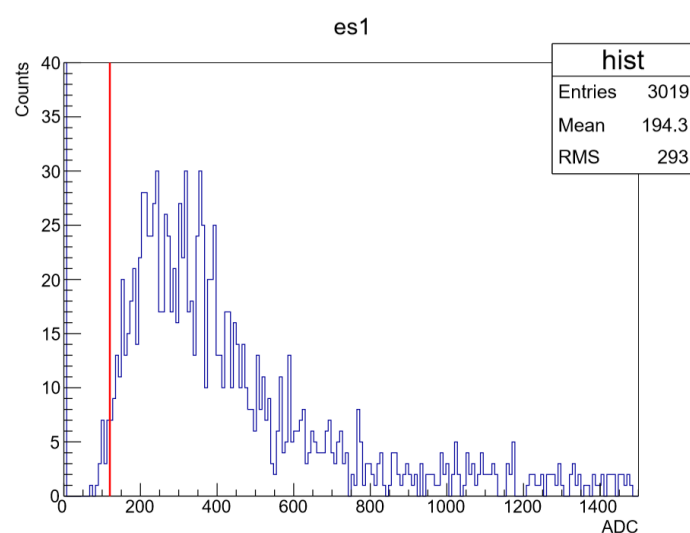
# イベントの選定～ $\mu$ 粒子がメインシンチ内で崩壊～

放出された電子を検出しているイベント

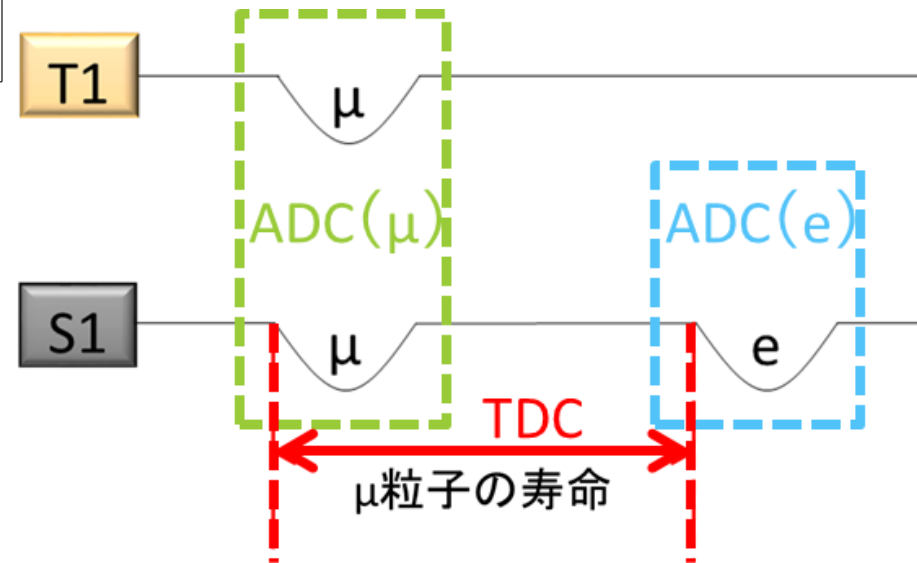
→ ADC(e)で取得したS1が鳴っているとみなされるイベントを選定(es1のADC分布)



取得した全イベント



「磁石を通過」の選定後



S1のADC(e)値が120以上

→ $\mu$ 粒子がメインシンチレーター内で崩壊し、電子を放出したとみなす

TCut decay =  $120 < es1$  &&  $tdc2 < 4000$

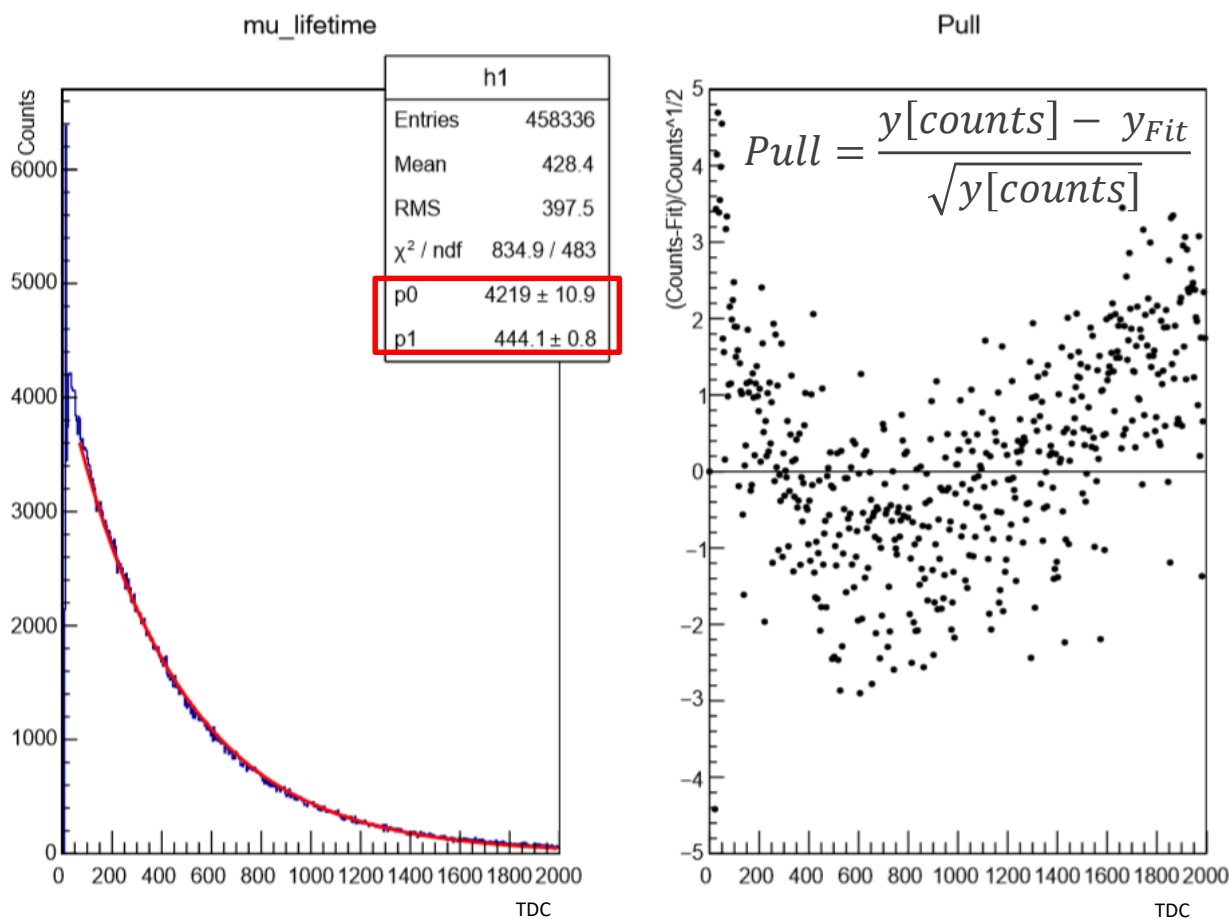
# 測定結果

測定したデータ(イベント数)

	測定期間	測定時間	取得した 全イベント数	$\mu$ (電荷区別なし) 選定後イベント数	$\mu^-$ (電荷区別あり) 選定後イベント数
今年度	'19/11/13~ '20/02/17	1,388 h	507,761	458,336	1,253
昨年度	'19/01/10~ '19/02/26	336 h	386,521	238,543	856
	2018+2019	2,109 h	776,465	696,879	1,674

# $\mu$ 粒子の平均寿命～TDC分布とFit関数～

$y(t) = p_0 \exp(-\frac{t}{p_1})$  でFit する(Fit範囲:60~2000)



全イベント数:507,761→選定後:458,336イベント

- $p_1 = 444.1 \pm 0.8$  [count]
  - $\tau[\text{ns}] = p_1[\text{count}] \times \alpha[\text{ns/count}]$   
 $= 444.1 \times 5.000 = 2.2205 \mu\text{s}$
  - $\frac{\delta\tau}{\tau} = \sqrt{\left(\frac{\delta\alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\delta p_1}{p_1}\right)^2}$   
 $= \sqrt{\left(\frac{0.011}{5.000}\right)^2 + \left(\frac{0.8}{444.1}\right)^2} = 0.028$
- $\therefore \delta\tau = 2.2205 \mu\text{s} \times 0.028 = 0.0063 \mu\text{s}$

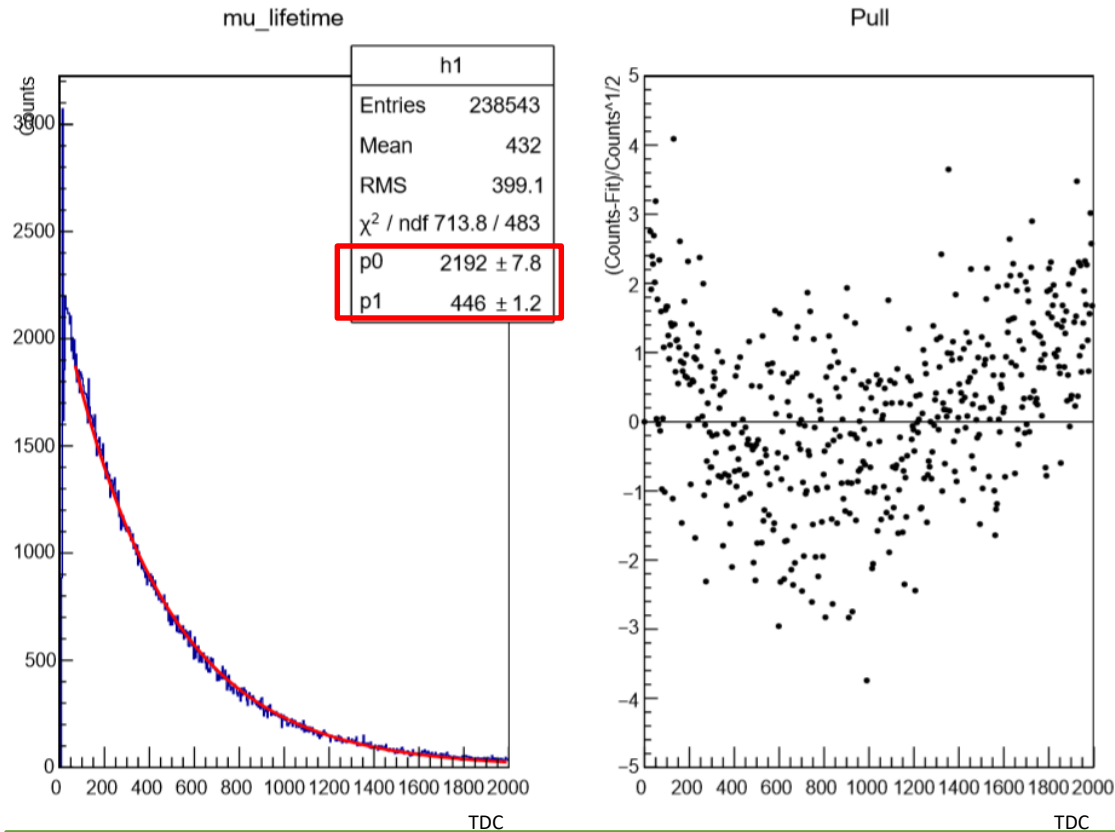
$$\tau_\mu = 2.221 \pm 0.006 \mu\text{s}$$

(文献値:  $\tau_\mu = 2.19703 \pm 0.000021 \mu\text{s}$ )

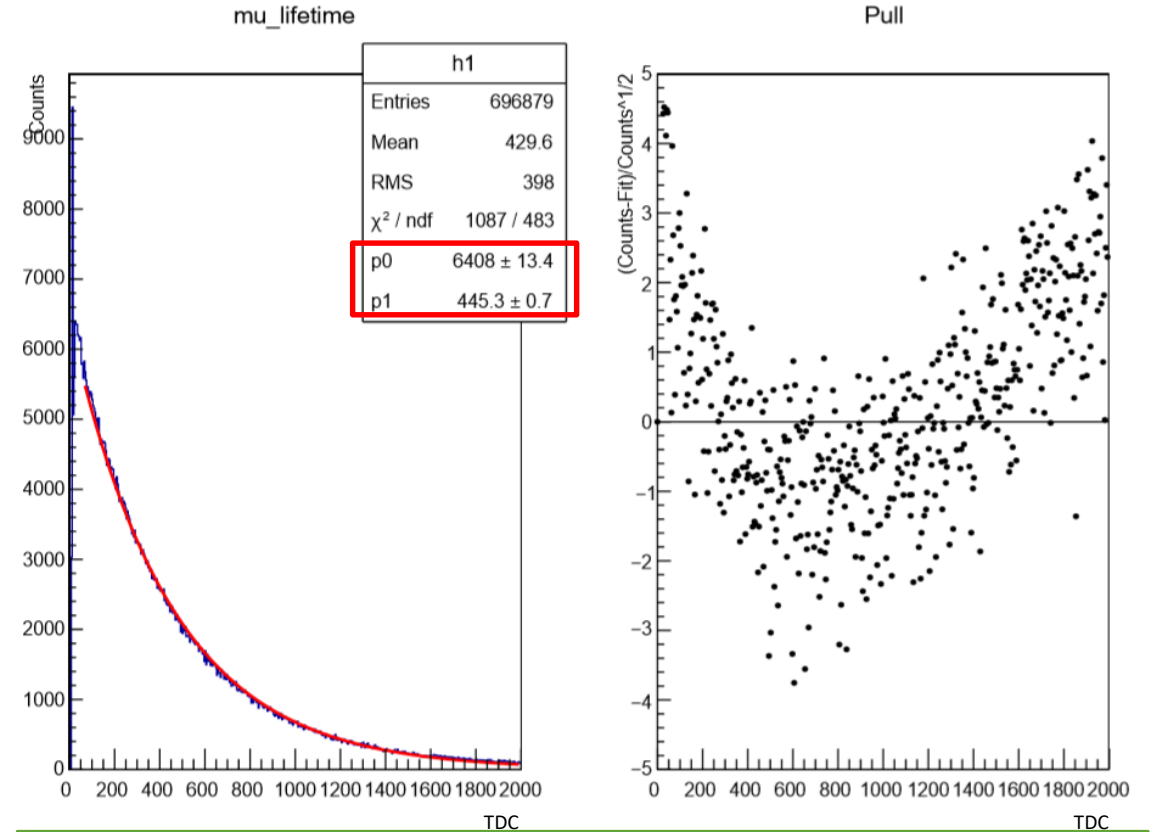
2019/11/13~2020/02/17(1388時間)測定したデータ

# μ粒子の平均寿命～先行実験との比較～

2018年度のデータ



2018年度+2019年度のデータ



$$\tau_{\mu} = 2.230 \pm 0.008 \mu\text{s}$$

2018/01/10~2019/02/26(336時間)測定したデータ  
全イベント数:268,704→選定後:237,685イベント

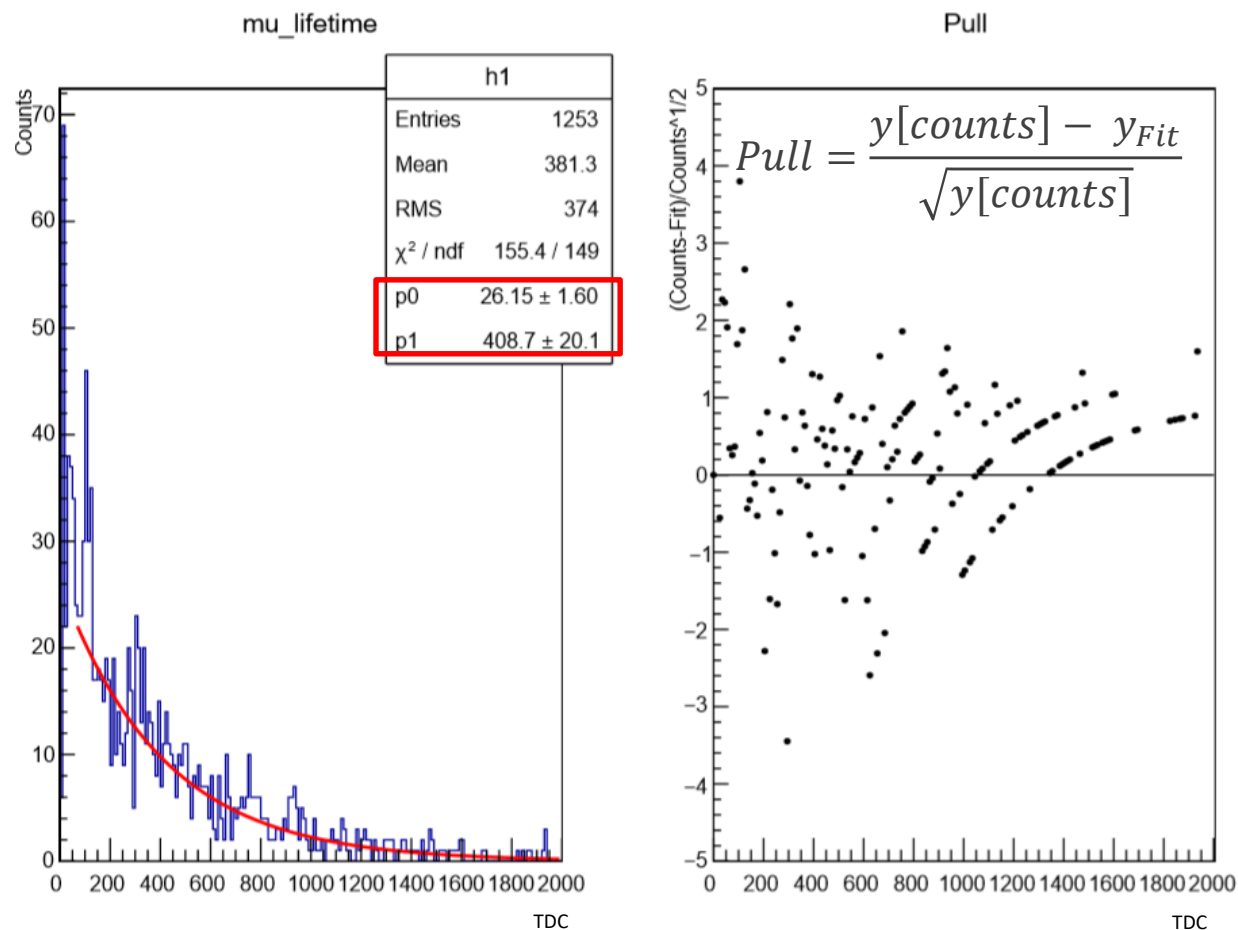
$$\tau_{\mu} = 2.227 \pm 0.006 \mu\text{s}$$

2018/01/10~2020/02/17(1674時間)測定したデータ  
全イベント数:776,465→選定後:694,766イベント

# $\mu^-$ 粒子の平均寿命～TDC分布とFit関数～

$y(t) = p_0 \exp(-\frac{t}{p_1})$  でFit する(Fit範囲:60~2000)

全イベント数:507,761→選定後:1,253イベント



➤  $p_1 = 408.7 \pm 20.1$  [count]

➤  $\tau[\text{ns}] = p_1[\text{count}] \times \alpha[\text{ns/count}]$   
 $= 408.7 \times 5.000 = 2.0435 \mu\text{s}$

➤  $\frac{\delta\tau}{\tau} = \sqrt{\left(\frac{\delta\alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\delta p_1}{p_1}\right)^2}$   
 $= \sqrt{\left(\frac{0.011}{5.000}\right)^2 + \left(\frac{20.1}{408.7}\right)^2} = 0.049$

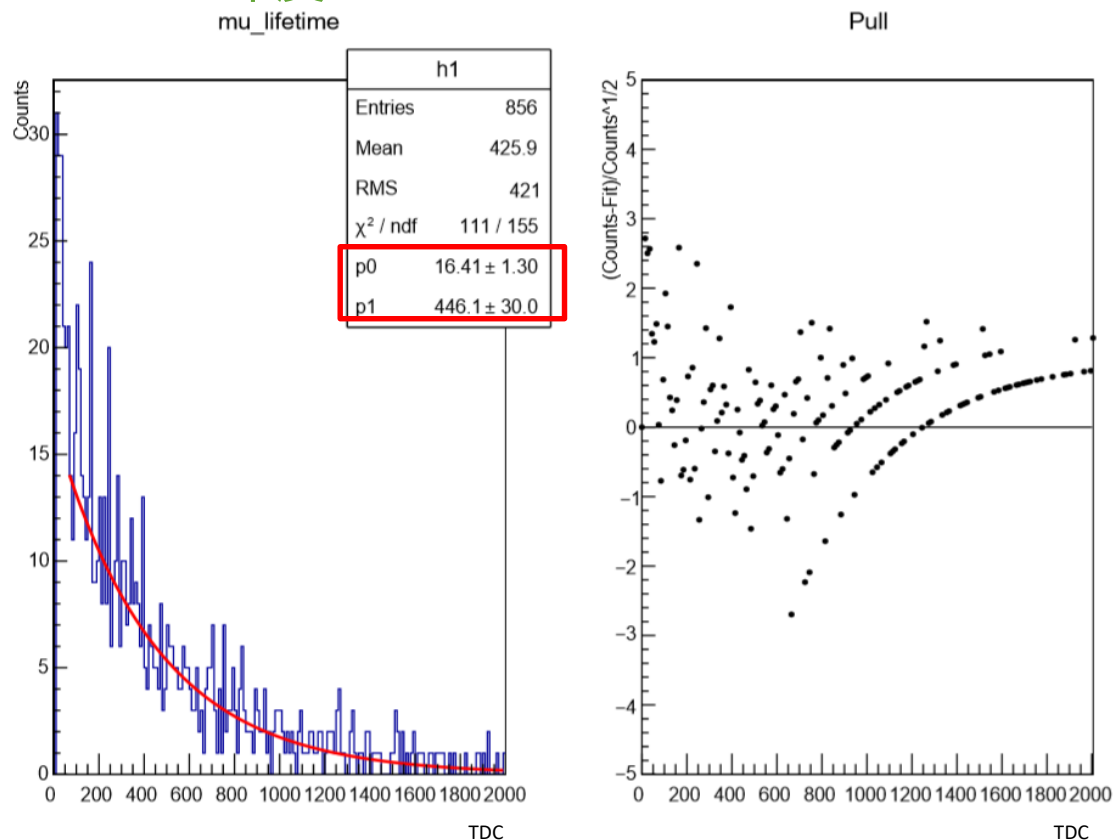
∴  $\delta\tau = 2.0435 \mu\text{s} \times 0.049 = 0.1006 \mu\text{s}$

$\tau_{\mu^-} = 2.04 \pm 0.10 \mu\text{s}$   
 (文献値:  $\tau_{\mu^-} = 2.02 \pm 0.02 \mu\text{s}$ )

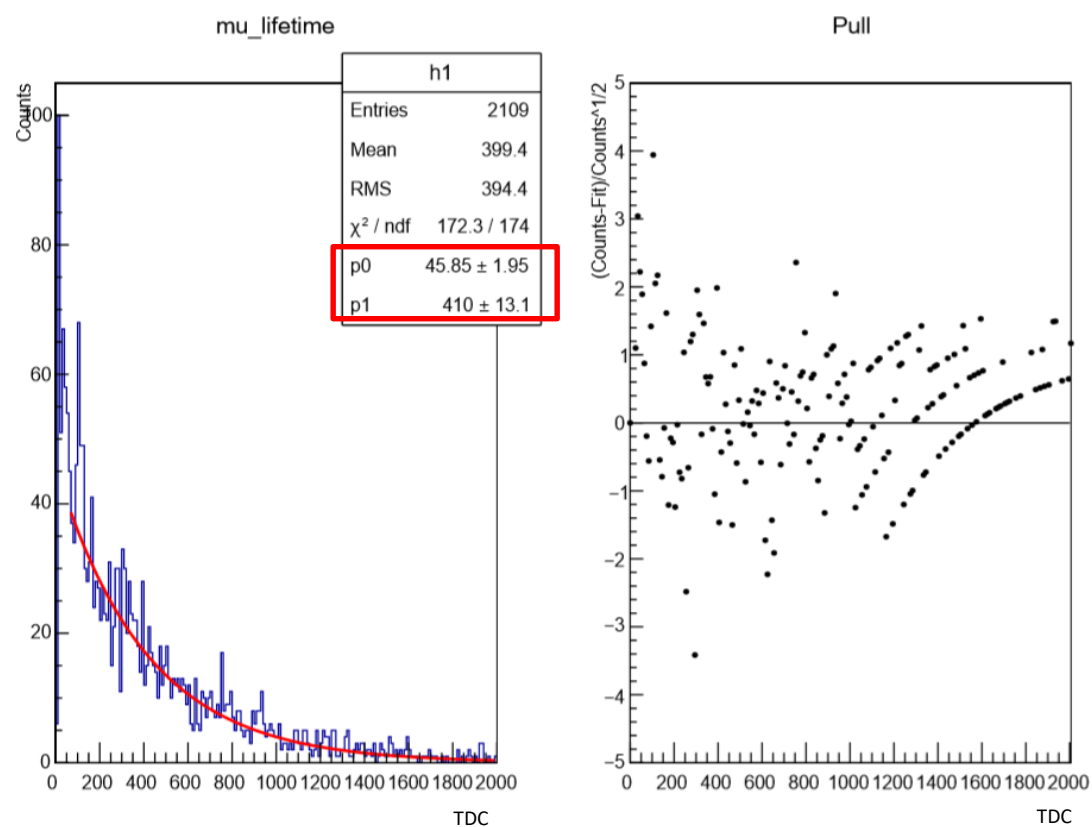
2019/11/13~2020/02/17(1388時間)測定したデータ

# $\mu^-$ 粒子の平均寿命～先行実験との比較～

2018年度のデータ



2018年度+2019年度のデータ



$$\tau_{\mu^-} = 2.23 \pm 0.15 \mu\text{s}$$

2018/01/10~2019/02/26(336時間)測定したデータ  
全イベント数:268,704→選定後:856イベント

$$\tau_{\mu^-} = 2.05 \pm 0.07 \mu\text{s}$$

2018/01/10~2020/02/17(1674時間)測定したデータ  
全イベント数:776,465→選定後:2,109イベント

# まとめ

---

## $\mu^-$ 粒子の平均寿命

$$\tau_{\mu^-} = 2.04 \pm 0.10 \mu s$$

(文献値:  $\tau_{\mu^-} = 2.02 \pm 0.02 \mu s$ )

→誤差の範囲で一致

## 今後の課題

- ✓選定後のイベント数1253(1388時間測定)  
→効率を高めるセットアップの検討
- ✓ $\mu^+$ 粒子の平均寿命の測定



おまけ

---

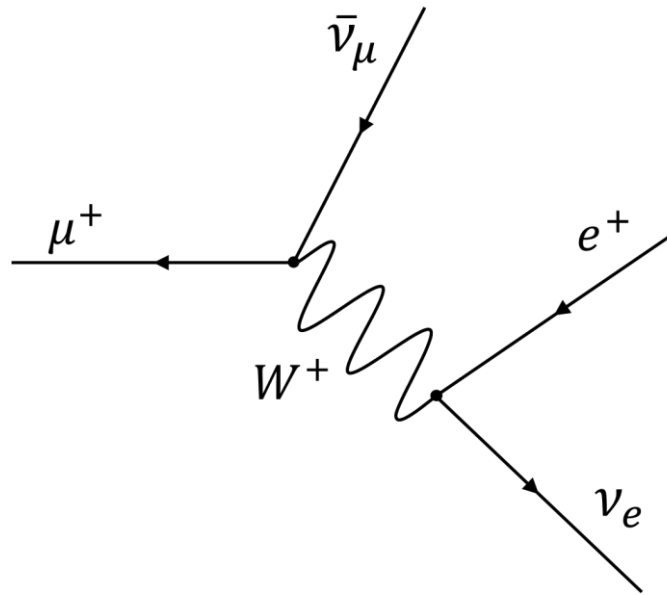
# まとめ

測定期間	測定時間	取得した 全イベント数	$\mu$ (電荷区別なし) $\tau_{\mu}[\mu s]$ (イベント数)	$\mu^{-}$ (電荷区別あり) $\tau_{\mu^{-}}[\mu s]$ (イベント数)
'19/11/13~ '20/02/17	1,388 h	507,761	$2.221 \pm 0.006$ (458,336)	$2.04 \pm 0.10$ (1,253)
'19/01/10~ '19/02/26	336 h	386,521	$2.230 \pm 0.008$ (238,543)	$2.23 \pm 0.15$ (856)
2018+2019	2,109 h	894,282	$2.227 \pm 0.006$ (696,879)	$2.05 \pm 0.07$ (1,674)
文献値			$2.19703$ $\pm 0.000021$	$2.02 \pm 0.02$

# $\mu$ 粒子の崩壊～真空中～

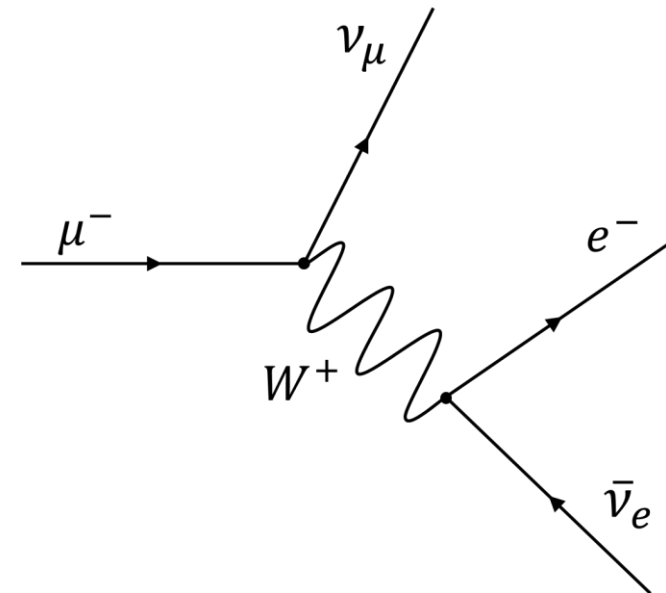
## $\mu^+$ 粒子の崩壊

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$



## $\mu^-$ 粒子の崩壊

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$



物質中の崩壊は...

$\mu^+$ 粒子は物質中で原子核に捕獲されない  
→真空中の崩壊と同様

$\mu^-$ 粒子は物質中の原子核に捕獲される  
→真空中とは寿命が異なる

# “Total nuclear capture rates for negative muons”

35

TOTAL NUCLEAR CAPTURE RATES FOR NEGATIVE MUONS

2217

TABLE III. Compendium of total muon capture results for light nuclei. ( $Z_{\text{eff}}$  is taken from Ref. 77. When underlined it is an estimate.)

Z ( $Z_{\text{eff}}$ )	Element	Mean life (ns)	Total capture rate ( $s^{-1}$ )	Huff factor	Refs.
Positive muon					
1 (1.0)	$^1\text{H}^{\mu}$	2197.03 $\pm$ 0.04	420 $\pm$ 20	1.00	4,5
	$^1\text{H}^{\mu}$	2194.903 $\pm$ 0.066	420 $\pm$ 60	1.00	34
2 (1.98)	$^3\text{He}$	2194.53 $\pm$ 0.11	470 $\pm$ 29	1.00	36
			2170 + 170 (-430)		37
	$^4\text{He}$		2140 $\pm$ 200		38
			336 $\pm$ 75		39
			375 + 30 (-300)		37
3 (2.94)	$^6\text{Li}$	2173 $\pm$ 5	364 $\pm$ 46	60	
		2175.3 $\pm$ 0.4	6100 $\pm$ 1400	1	
		2177.0 $\pm$ 2.0	4680 $\pm$ 120	1.00	6
		2194 $\pm$ 4	4180 $\pm$ 450	a	
3	$^7\text{Li}$	2186.8 $\pm$ 0.4	1800 $\pm$ 1100	1	
		2188.3 $\pm$ 2.0	2260 $\pm$ 120	6	
		2140 $\pm$ 20	1810 $\pm$ 440	a	
		2156 $\pm$ 10	18 $\pm$ 10 $\times$ 10 <sup>3</sup>	1.00	40
4 (3.89)	Be	2169.0 $\pm$ 1.0	10 $\pm$ 2 $\times$ 10 <sup>3</sup>	1	
		2162.1 $\pm$ 2.0	5.9 $\pm$ 0.2 $\times$ 10 <sup>3</sup>	7	
		2082 $\pm$ 6	7.4 $\pm$ 0.5 $\times$ 10 <sup>3</sup>	a	
		2070.7 $\pm$ 3.0	26.5 $\pm$ 1.5 $\times$ 10 <sup>3</sup>	1.00	1
		2102 $\pm$ 6	27.8 $\pm$ 0.7 $\times$ 10 <sup>3</sup>	a	
5 (4.81)	$^{10}\text{B}$	2096.1 $\pm$ 3.0	21.8 $\pm$ 1.6 $\times$ 10 <sup>3</sup>	1	
		2020 $\pm$ 20	21.9 $\pm$ 0.7 $\times$ 10 <sup>3</sup>	a	
		2020 $\pm$ 20	44 $\pm$ 10 $\times$ 10 <sup>3</sup>	1.00	40
6 (5.72)	C	2043 $\pm$ 3	36 $\pm$ 4 $\times$ 10 <sup>3</sup>	53	
		2041 $\pm$ 5	37.3 $\pm$ 1.1 $\times$ 10 <sup>3</sup>	41	
		2040 $\pm$ 30	36.1 $\pm$ 1.0 $\times$ 10 <sup>3</sup>	42	
		2025 $\pm$ 4	37 $\pm$ 7 $\times$ 10 <sup>3</sup>	43	
		2035 $\pm$ 8	39.7 $\pm$ 1.3 $\times$ 10 <sup>3</sup>	1	
		2060 $\pm$ 30	36.5 $\pm$ 2.0 $\times$ 10 <sup>3</sup>	27	
		2030.0 $\pm$ 1.6	30.3 $\pm$ 7 $\times$ 10 <sup>3</sup>	44	
		2040 $\pm$ 10	37.6 $\pm$ 0.4 $\times$ 10 <sup>3</sup>	7	
		2029 $\pm$ 3	35.2 $\pm$ 2.0 $\times$ 10 <sup>3</sup>	73	
		2026.3 $\pm$ 1.5	37.7 $\pm$ 0.7 $\times$ 10 <sup>3</sup>	29	
		$^{13}\text{C}$	2045 $\pm$ 2	38.8 $\pm$ 0.5 $\times$ 10 <sup>3</sup>	a
				33.8 $\pm$ 0.4 $\times$ 10 <sup>3</sup>	29

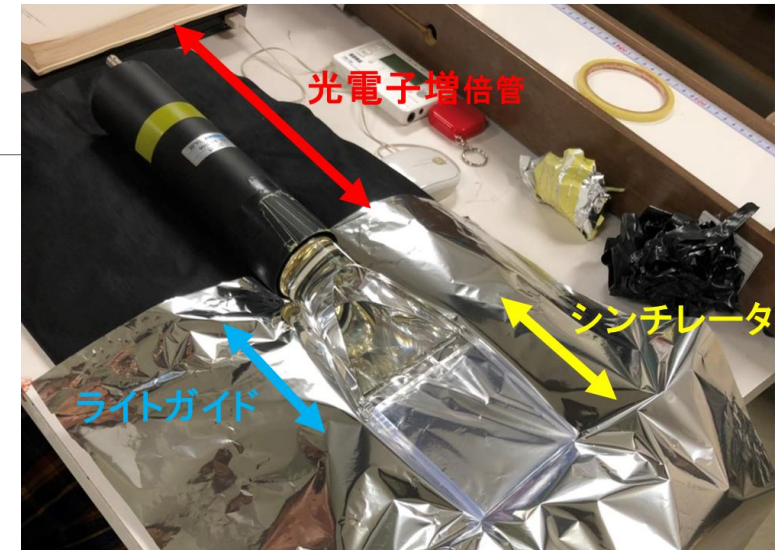
## 参考文献

T.Suzuki and D.F.Measday

PhysReview C,35.2212,1987

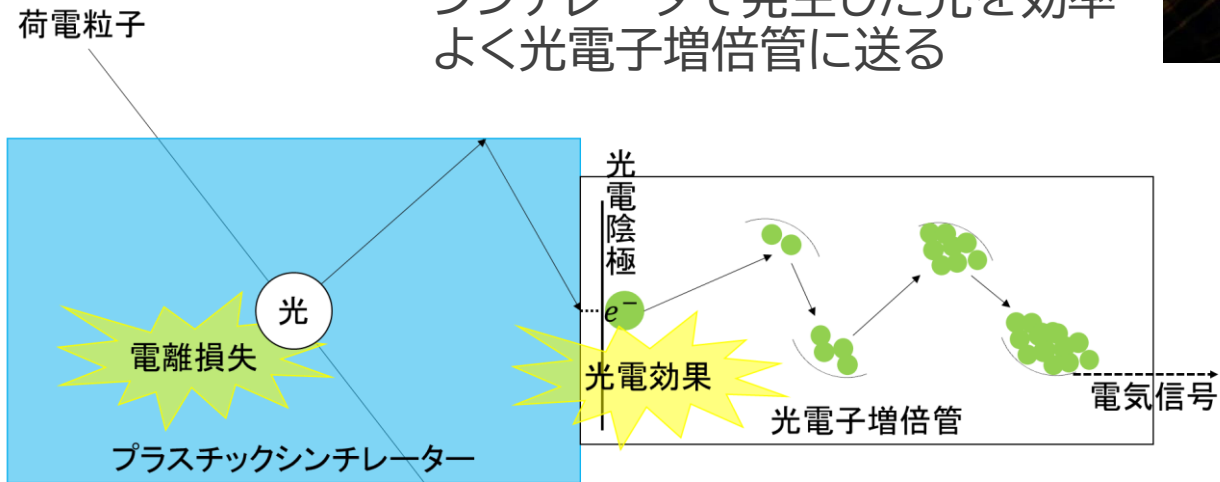
# シンチレーションカウンター

シンチレーションカウンターは、シンチレーターと光電子増倍管を組み合わせた放射線検出器の一種である。



## ライトガイド

シンチレータで発生した光を効率よく光電子増倍管に送る



## プラスチックシンチレータ

- 荷電粒子が通過
- シンチレータを構成する原子・分子を励起
- シンチレーション光を放出

## 光電子増倍管 (PMT: PhotoMultiplier Tube)

微弱な光を電気信号に変換する装置

- 入射した光を電子に変換(光電面)
- 電子を増幅(ダイノード)
- 電子を電流として取り出す(陽極)

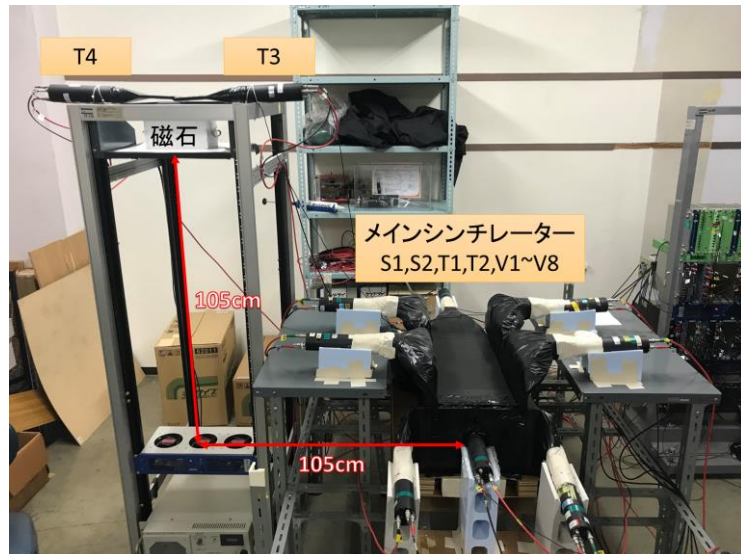
# シンチレーションカウンター

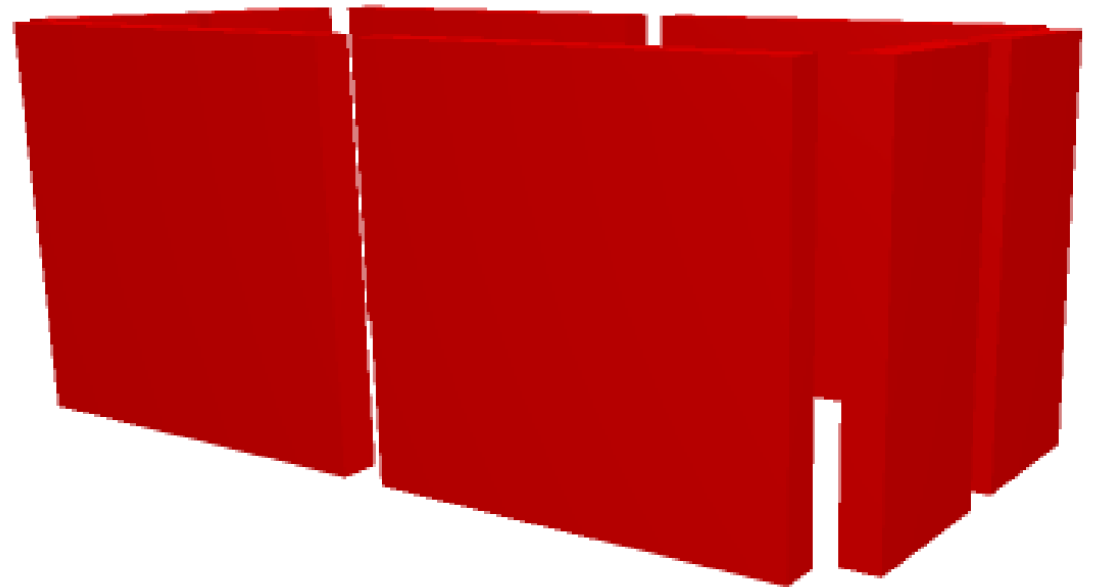
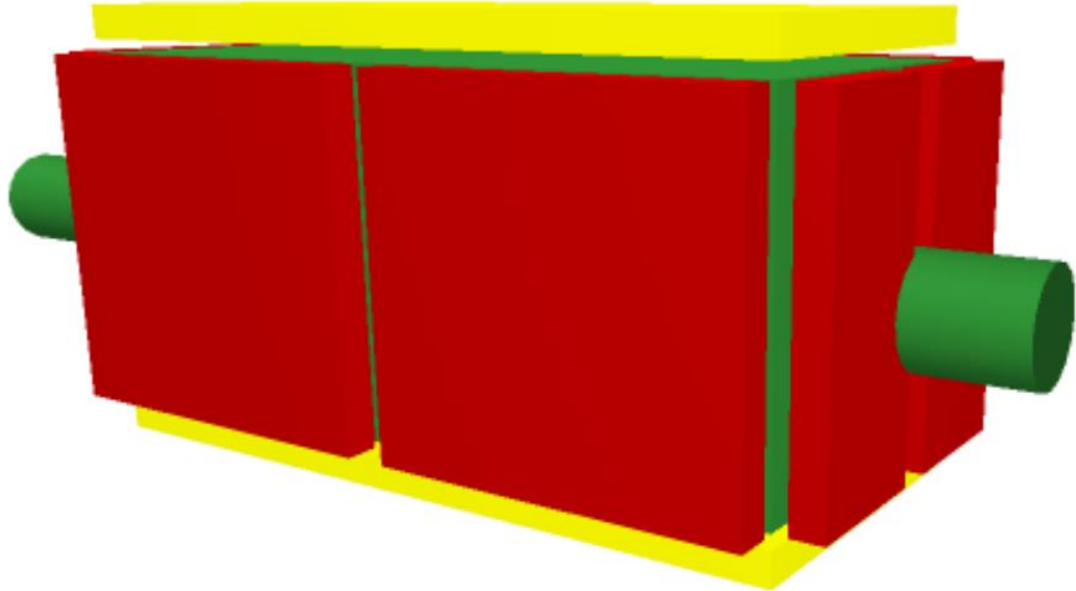
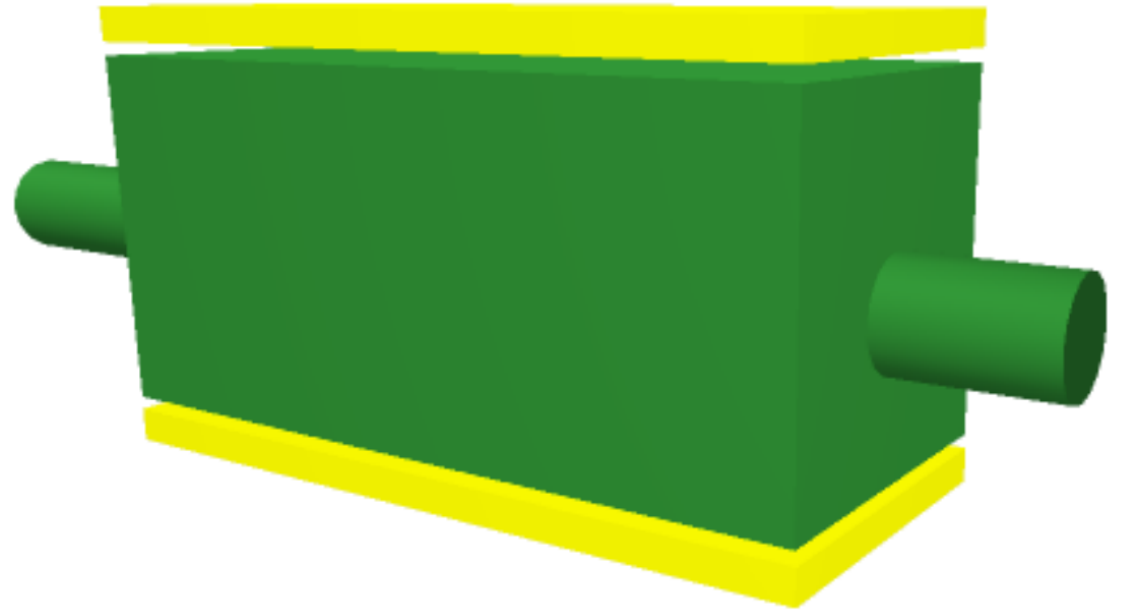
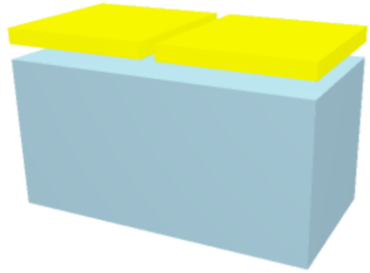
## シンチレーションカウンターのサイズ

名称	横幅 (mm)	縦幅 (mm)	奥行き (mm)	個数 (個)	
(S1,S2)	580	260	250	2	
プラスチック	T1,T2	582	10	250	2
シンチレーター	T3,T4	100	10	100	2
	V1,V2,V5,V6	131	250	10	4
	V3,V4,V7,V8	280	261	10	4
ライトガイド					12
光電子増倍管					14

## シンチレーションカウンターの仕様

カウンター	PMT 型番	HV(V)	HV(ch)	閾値 (mV)	ペDESTアル (ADC( $\mu$ ))	ペDESTアル (ADC(e))
S1	H161	2050	1	160	109	58
S2	H161	2050	2	300	98	63
T1	H161	2250	3	100	89	56
T2	H195	1770	4	100	85	60
T3	H7195	1800	13	200	20	
T4	H3983	1800	14	100	97	
V1	H161	1970	5			67
V2	H7195UV	1660	6			63
V3	H161	1870	7			57
V4	H161	2440	8			63
V5	H161	2400	9			65
V6	H161	2030	10			64
V7	H7195	2210	11			66
V8	H161	2025	12			80



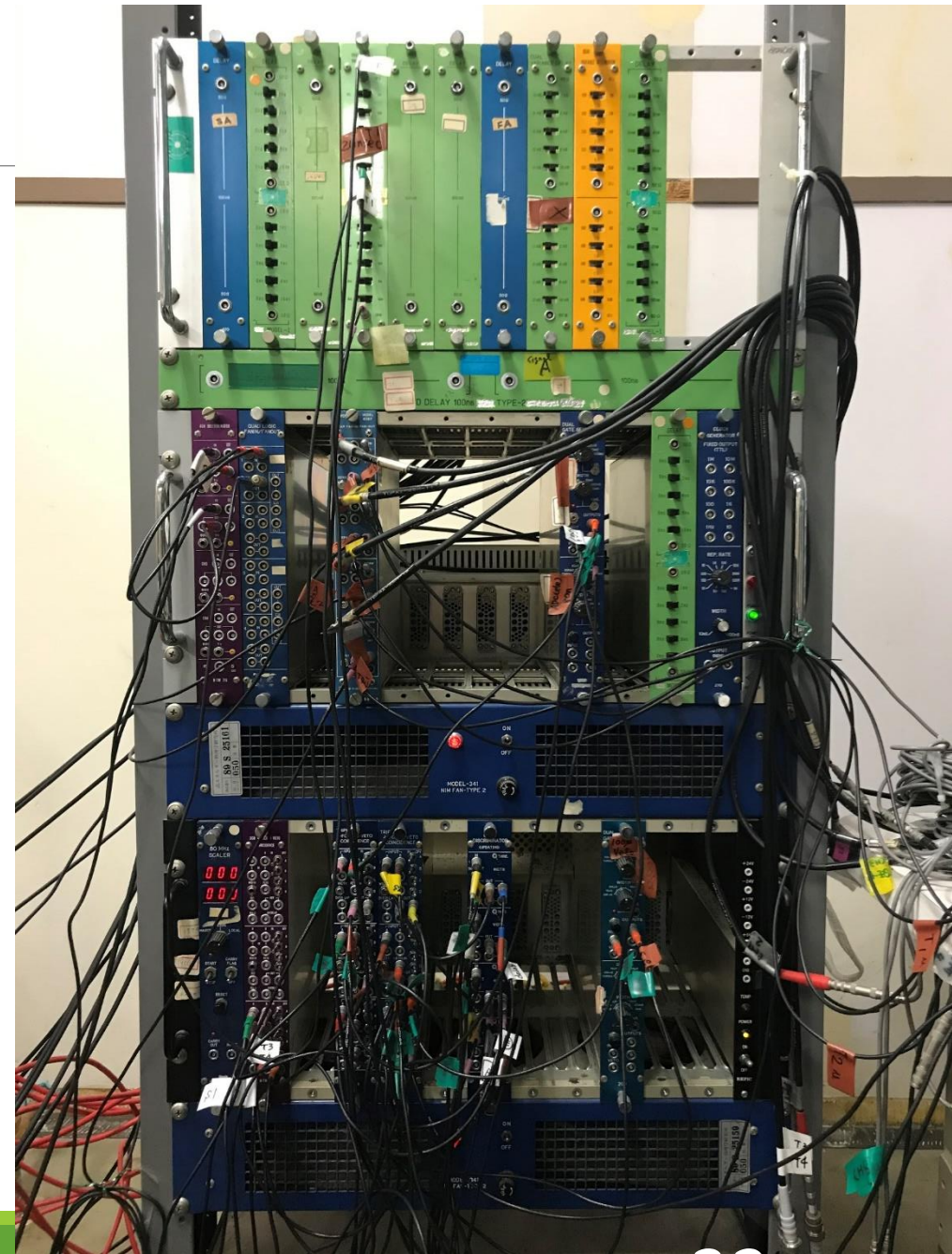


# NIMモジュール

## NIM規格

NIMとは、AECにおいて1960年代に制定された「放射線測定モジュール標準規格TID-20893」に準拠したエレクトロニクス規格。

NIMモジュールはある条件の信号が入力されたときにロジック信号を出すようなモジュールのことで、NIM信号のパルスの大きさは0.7Vで一定である。

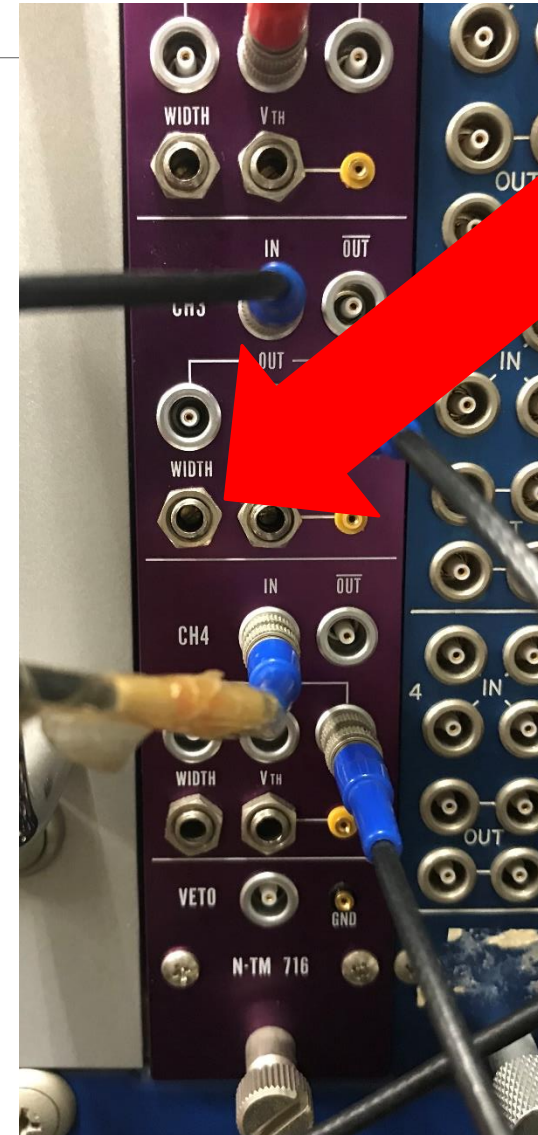




# NIMモジュール

## Discriminator

ある一定の電圧(threshold:しきい値)を超えるアナログ信号が入力されたとき、その電圧を超えた時刻を起点としてデジタルのクジック信号を出力する装置。



“WIDTH”をマイナスドライバーで回すと、信号の幅を変えられる。

“V<sub>TH</sub>”をマイナスドライバーで回すと、しきい値を変えられる。隣の黄色い部分に電圧計の赤、本体のグランドに黒で電圧を測る。

# NIMモジュール

## Delay

アナログ信号を決まった時間遅らせる装置。



# NIMモジュール

Coincidence = AND回路

複数のロジック信号が重なったとき、重なった時刻を起点として、ある一定の時間幅を持つロジック信号を出力する装置。

入力端子A~D  
それぞれON/OFFできる



# NIMモジュール

G.G (Gate and delay Generator)

信号が入力されたとき、ロジック信号を出力するモジュール。出力するパルスの時間幅とDelay Timeを任意に調節できる。設定できる。



# NIMモジュール

Fan-in Fan-out = OR回路

入力信号が一つでも入力されたときロジック信号を出力する。



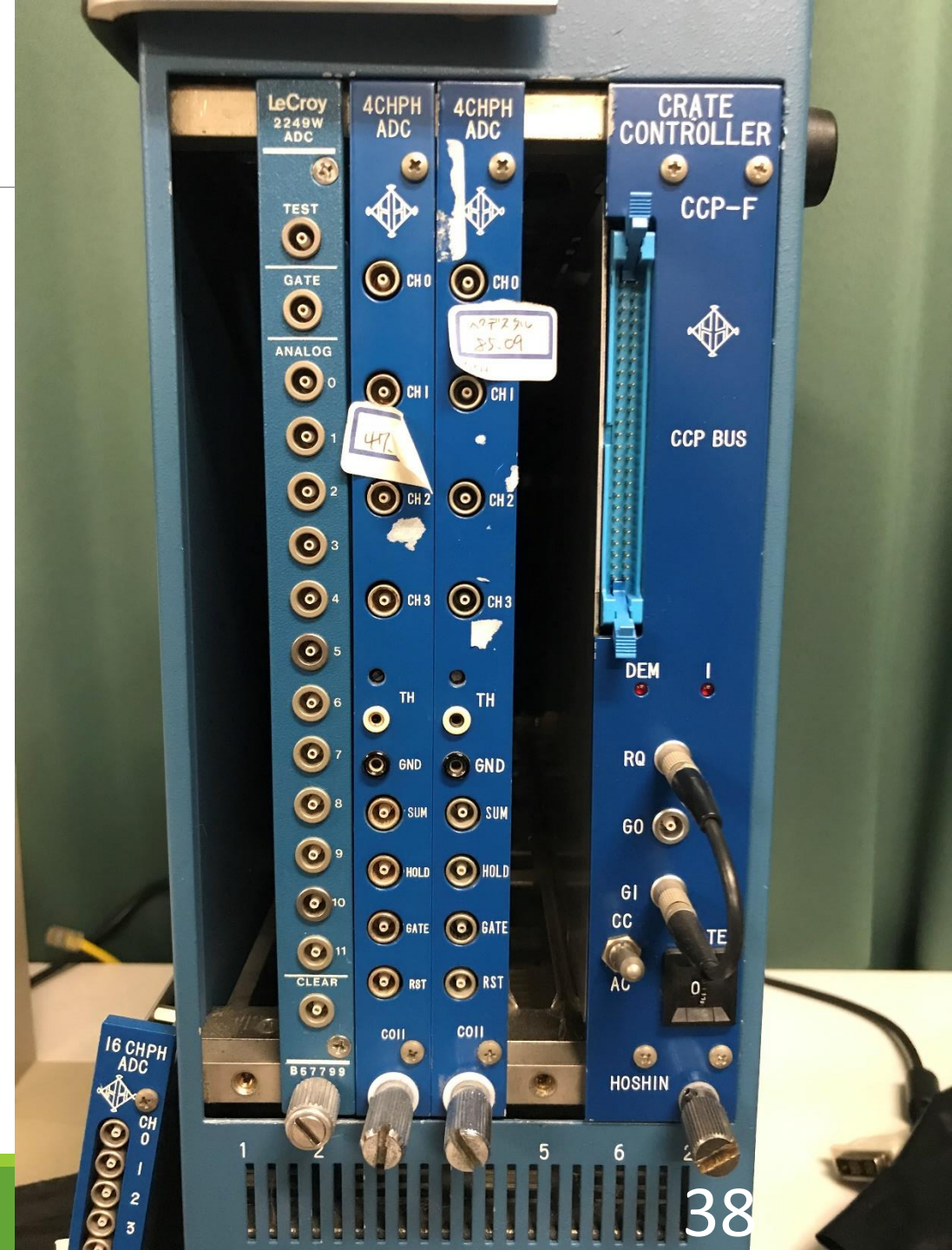
# CAMAC

## CAMAC規格

CAMAC(Computer Aided Measurement And Control)

アナログ入力信号を値に数値化するエレクトロニクスのシステム規格

PCなどの計算機からCAMACの命令はアドレス(住所)とファンクション(動作)を指定する。



# CAMAC

---

## ✓アドレス

CAMACの指定・・・C,N,A,Fの4つの数字で指定する。

C:クレーン番号(本実験で用いるクレーンは1台なのでC=1)

N:ステーション番号(クレーンの左端から順に数える)

A:モジュール内のサブアドレス

F:動作(Function)

## ✓ファンクション(動作)

今回主に使用したファンクションを記載する。

F(0): Read Data

F(2): Read and Clear Data

F(8): Test LAM

F(9): Clear Data

F(10): Clear LAM

F(24): Disable LAM

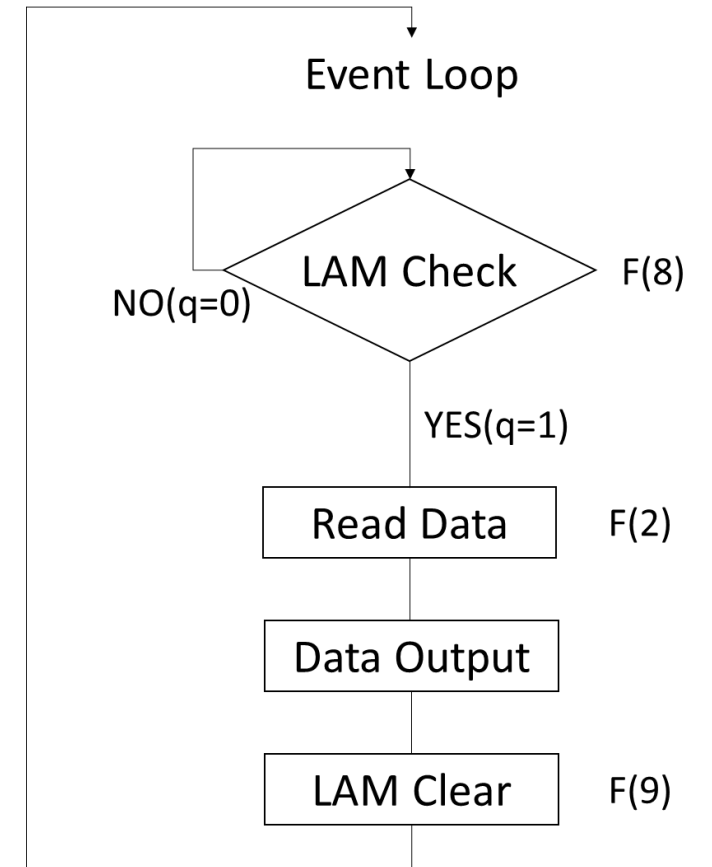
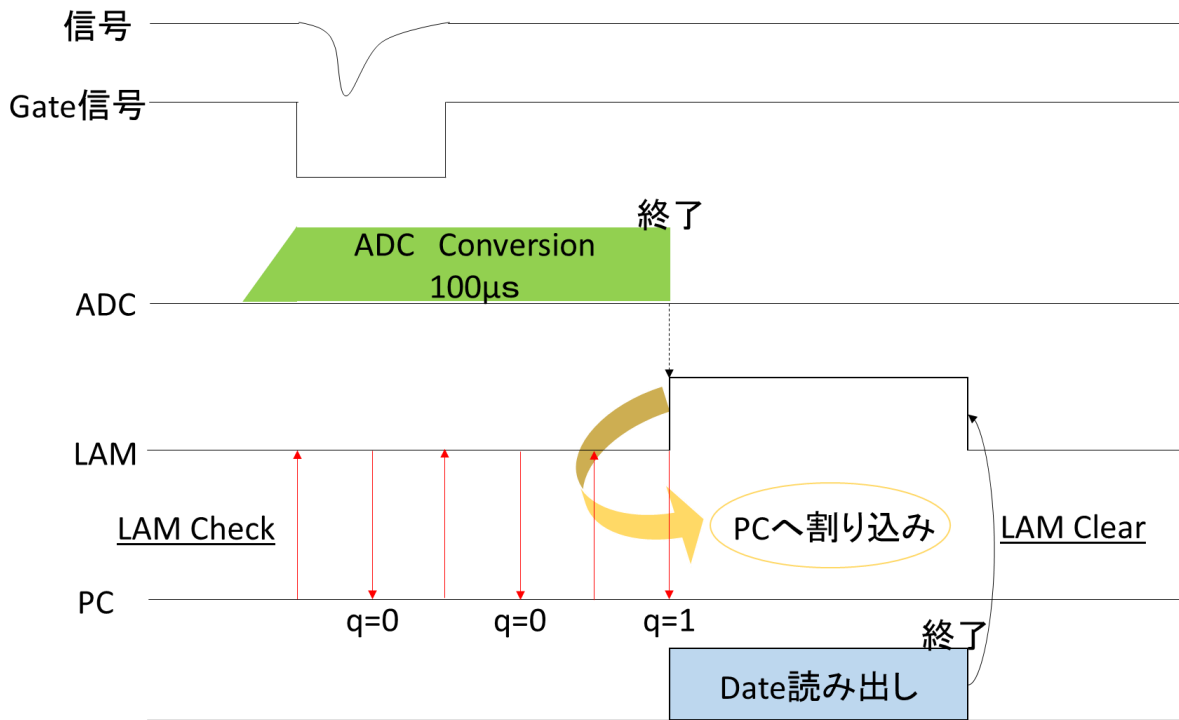
F(26): Enable LAM

F(27): Test status

# CAMAC

## LAM (Look At Me)

モジュールからデータが読み出し可能になったことをPC側に知らせる信号のこと。





# CAMAC

今回実験で扱うプラスチックシンチレータは速い(数ns)ため(発光の減衰時間が短い)、ピークの電圧値を取ることができないためQモードを使用している。無機シンチ(CsI,NaI)は遅い(数 $\mu$ s)のでVモードでもピークの高さをとらえることができる。

ADC(Analog to Digital Converter)

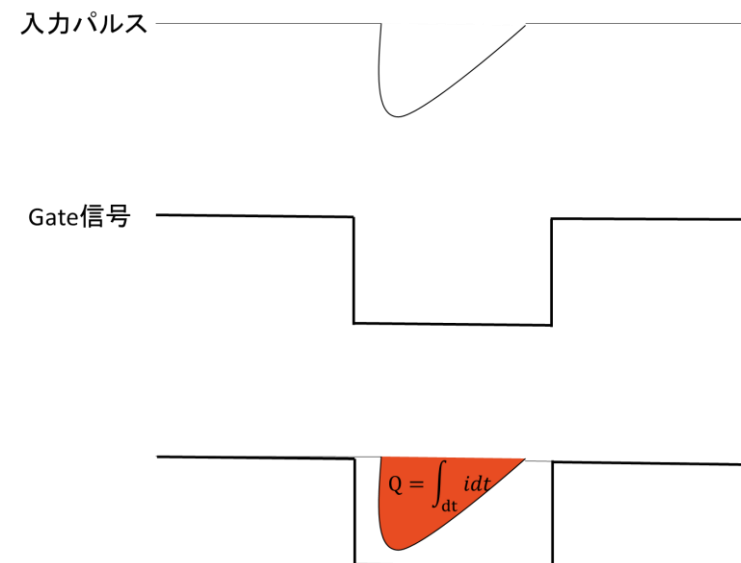
アナログ電気信号をデジタル電気信号に変えるモジュール。

- Vモード(ピークホール型ADC): Gateパルスが開いている間に入ってきた信号のピーク電圧を数値化するもの。
- Qモード(荷電積分型ADC): Gateパルスが開いている間に入ってきた信号を時間積分して数値化するもの。本実験で使用したのはQモード。

Qモードで測定される電荷量 $Q$ は、信号の電流を  $i$  とすると

$$Q = \int_{dt} i dt$$

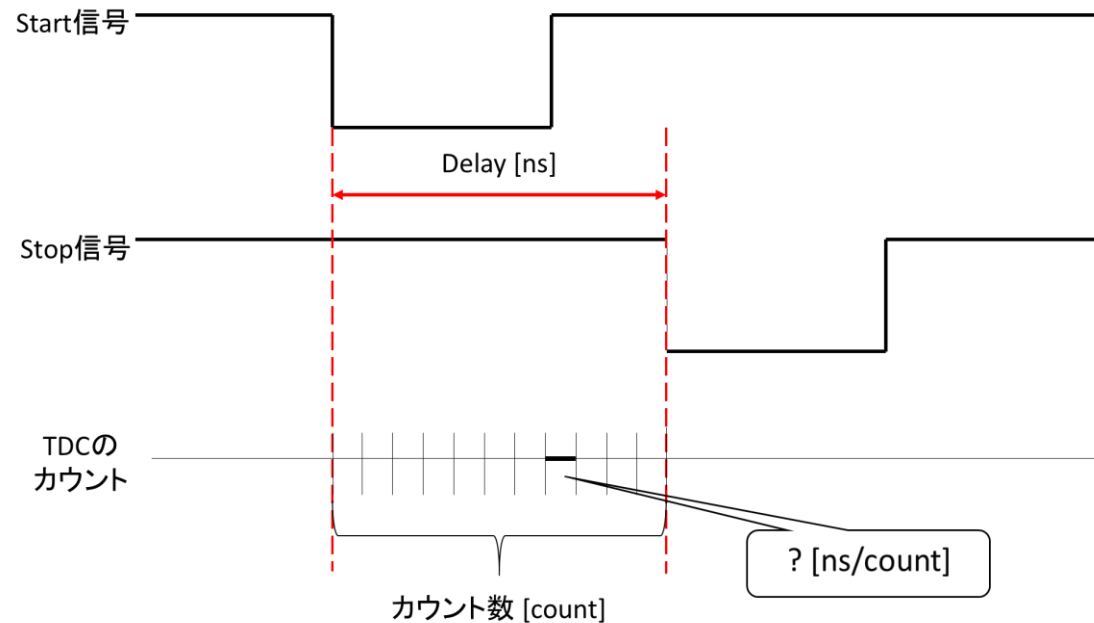
と表せ、以下の図の色部分の面積に相当する。



# CAMAC

## TDC(Time to Digital Converter)

時間というアナログ量をデジタル信号に変換する装置のこと。Start信号が入力されてから、Stop信号が入力されるまで、一定の時間間隔でカウントを刻み、そのカウント数で時間間隔を表す。



# CAMAC

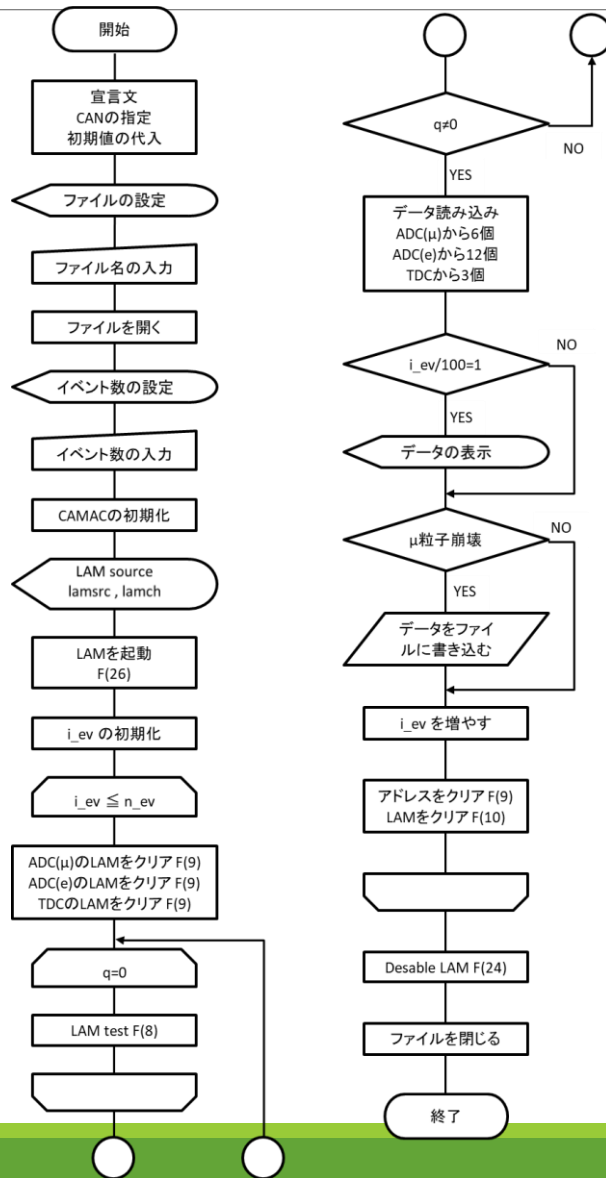
---

CC(Crete Controller)

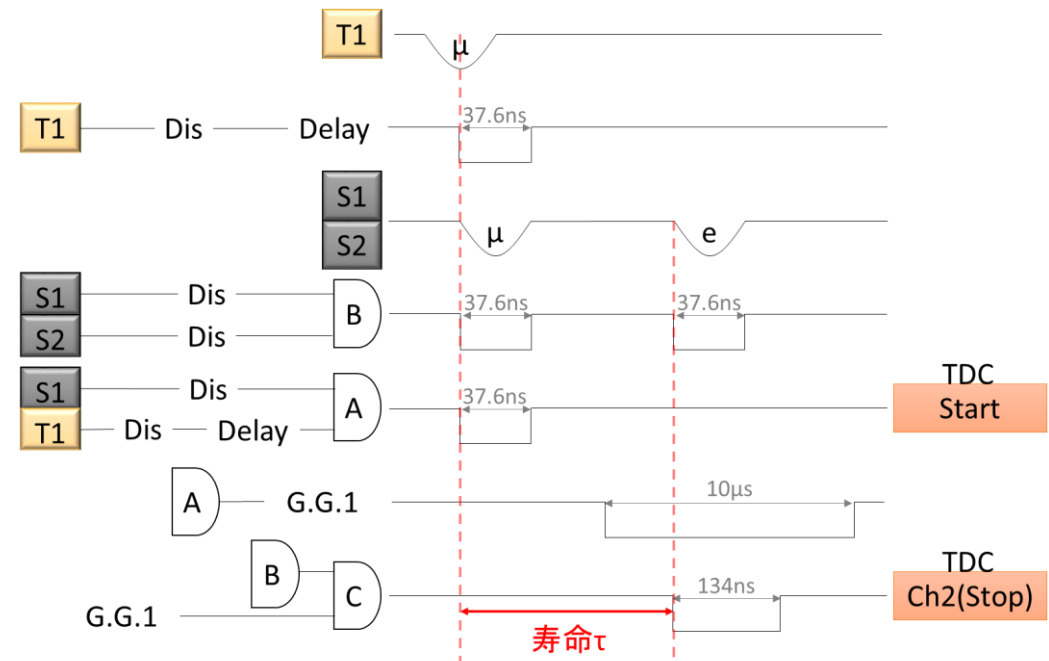
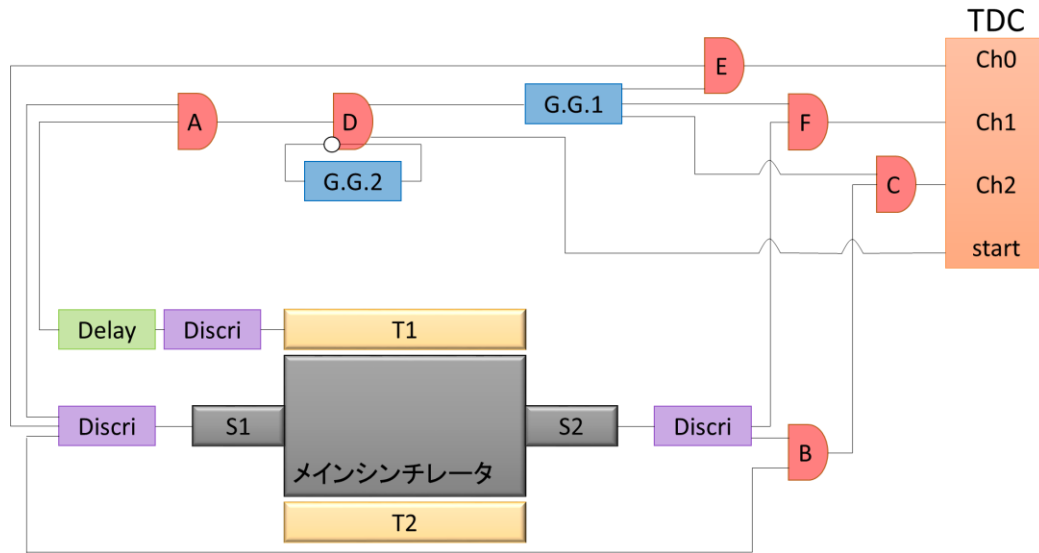
ADCやTDCなどを制御して、データ収集をPCなどで行うためのモジュール。

ADCやTDC等のモジュールの動作制御

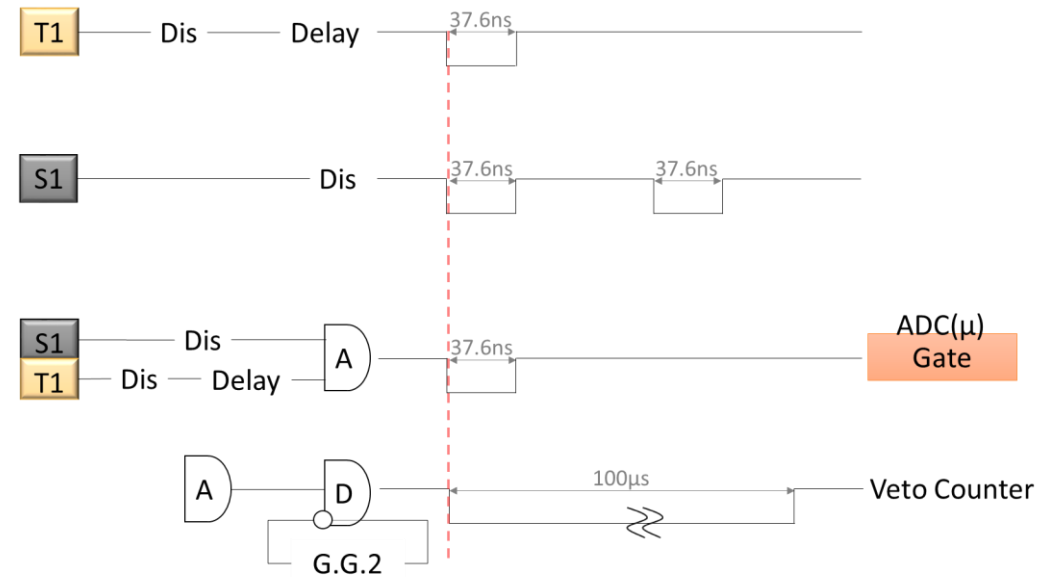
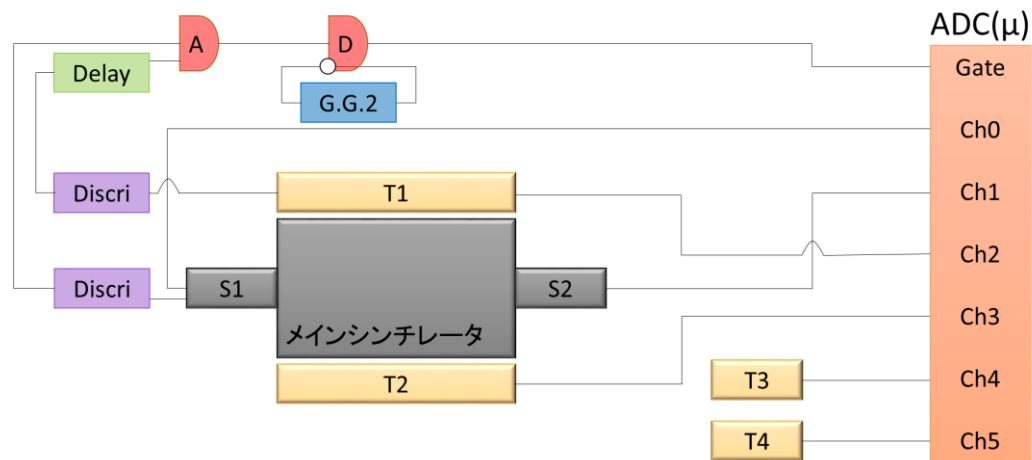
# データ収集プログラム



# TDCのセットアップ



# ADC( $\mu$ )のセットアップ



# ADC(e)のセットアップ

