

# 素粒子実験に用いる光子・荷電粒子検出器 (Photon and Charged Particle Detectors used in Particle Physics Experiments)

## [内容]

- 1.概要
- 2.Detectors
- 3.ADCとTDCの  
linearityのcalibration
- 4.まとめ

柴田研究室  
04\_2374\_6 水頭 慎一

# 1.概要

## 目的

高エネルギー素粒子実験で用いる検出器の使い方を、実際の粒子検出を通して学ぶ。その第一段階としてCAMAC-ADC, TDCを含む回路を組む。そして、鉛ガラスチェレンコフ検出器などについて学ぶ。

## 手順

- ・CAMACやNIMモジュールを用いて回路を組む
- ・CAMAC-ADCとTDCのlinearityのcalibration
- ・鉛ガラスチェレンコフ検出器を用いて測定(宇宙線など)

# 2. Detectors

・高エネルギーの素粒子実験では粒子 ( $>1\text{GeV}$ ) の測定に様々な検出器を使う。代表的なものとして、

- ・プラスチックシンチレータ

  - 時間分解能が数百psecと高く、扱いやすい

- ・マルチワイヤープロポーショナルチェンバー(MWPC),

  - Tracking

  - 空間分解能は数百 $\mu\text{m}$

- ドリフトチェンバー(DC),

  - Tracking

  - 空間分解能は数十 $\mu\text{m}$

- ・鉛ガラスチェレンコフ検出器

  - 電磁カロリメータ

がある。

# ・鉛ガラスチェレンコフ検出器

## ・チェレンコフ放射の原理

条件:  $v \geq \frac{c}{n}$        $\left( \begin{array}{l} v : \text{荷電粒子の速度} \\ n : \text{放射体の屈折率} \end{array} \right)$

チェレンコフ光は荷電粒子の進行方向に円錐状に放射される。  
このときの放射角  $\theta$  は、

$$\cos \theta = \frac{1}{n \beta} \quad \left( \beta = \frac{v}{c} \right)$$

放射体の屈折率から粒子の速度の下限がわかる。

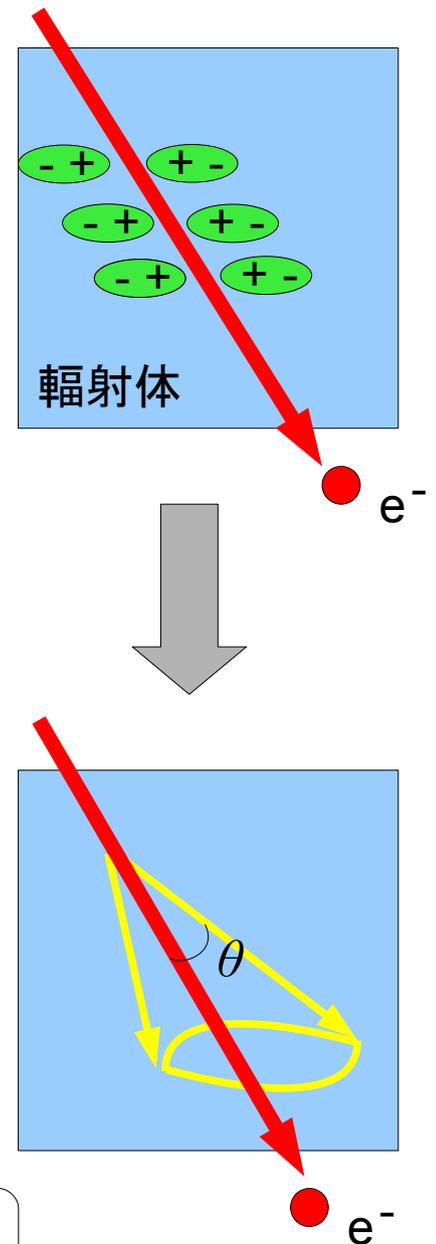
放射体には気体や固体が用いられる

(例: 鉛ガラスの屈折率  $n = 1.92$ )

## ・チェレンコフ放射によって出る光子の数 $N$

$$N = 2 \pi \alpha L \int \frac{\sin^2 \theta}{\lambda^2} d\lambda \quad \left( \begin{array}{l} \alpha : \text{微細構造定数} \\ L : \text{荷電粒子の通過距離} \end{array} \right)$$

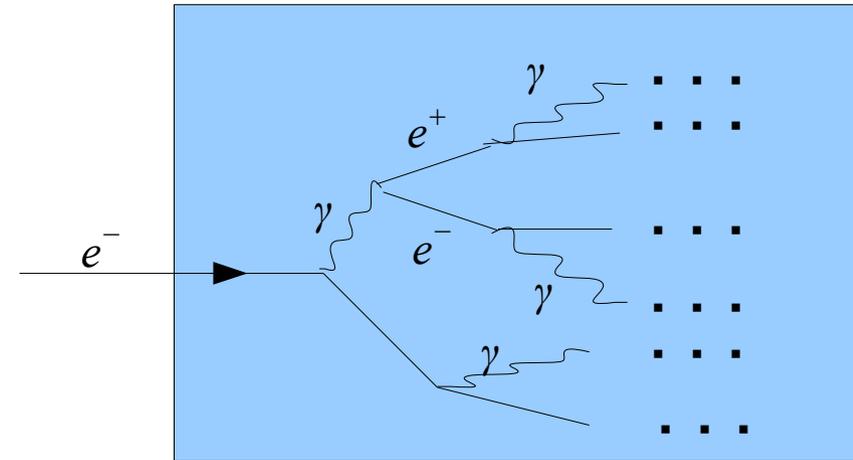
・チェレンコフ放射の時間変動は粒子の通過速度によるので非常に速く、検出器として時間分解能に優れている。



## ・電磁カロリメータとしての鉛ガラス ( $E = 1 \sim 20 \text{ GeV}$ )

### ・電磁シャワー

電子や陽電子が制動放射で  $\gamma$  線を放出  
↓  
 $\gamma$  線が電子・陽電子対を生成  
↓  
電子や陽電子が制動放射で  $\gamma$  線を放出  
⋮  
の繰り返しで電磁シャワーとなる



### ・電磁カロリメータ

電磁シャワー中の電子・陽電子のチェレンコフ光の総和を測定

↓  
入射粒子のエネルギーがわかる

測定にはRadiation length よりも大きな検出器が必要

( Radiation length: 電子のエネルギーが  $1/e$  になる厚さ )

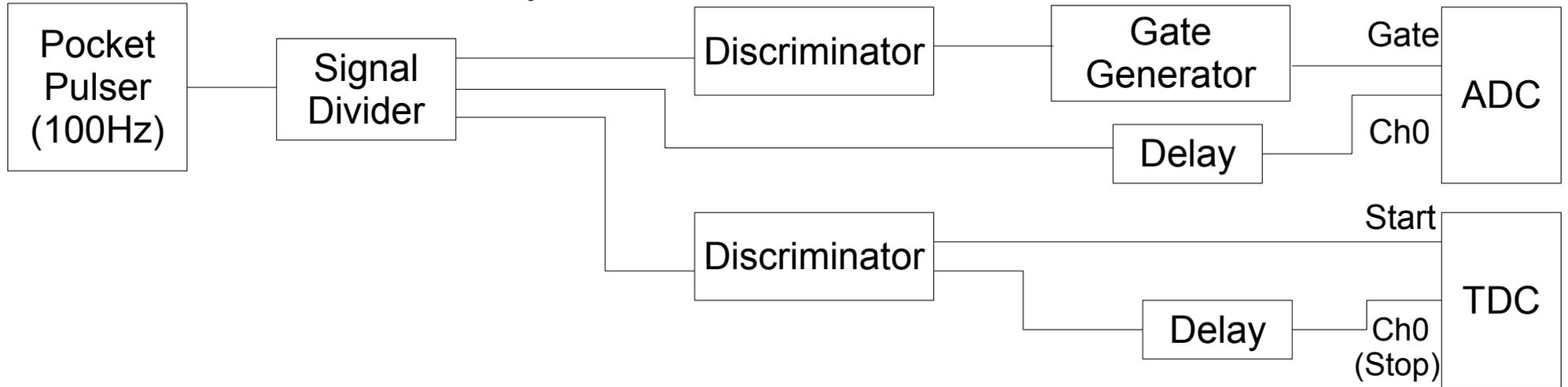
鉛ガラスのRadiation length  $X_0$  は小さく、カロリメータとして適している。

( 例 : HERMES 実験では、 $X_0 = 2.78 \text{ cm}$  の鉛ガラスが使用された )

# 3. TDCとADCのlinearityのcalibration

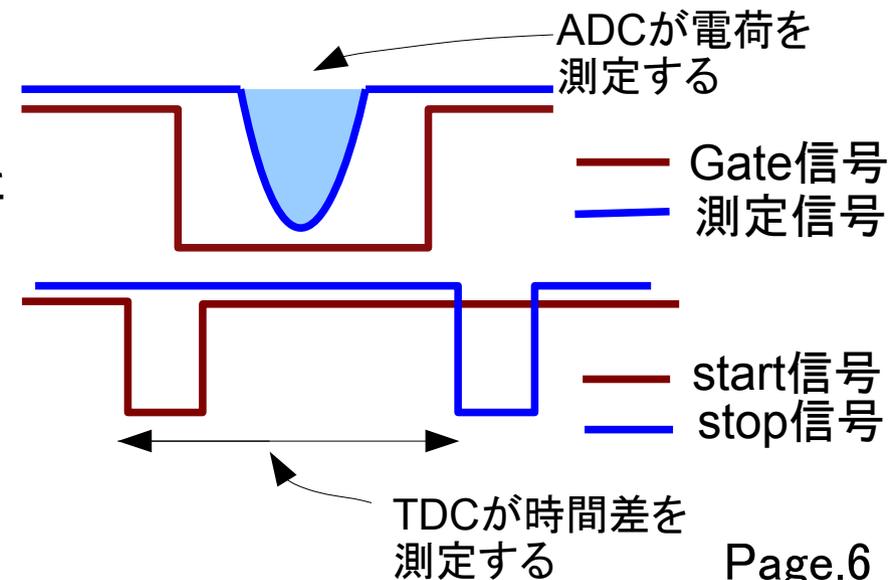
- ・検出器のエネルギー分解能, 時間分解能をそれぞれADC, TDCを用いて測定する。  
鉛ガラスチェレンコフ検出器には1~20GeVの広いDynamic Rangeが必要。  
時間情報も測定に使う。

→ADCとTDCのlinearityのcalibration



今回は入力信号としてパルサーを用いてADCとTDCのlinearityのcalibrationを行った。

- ・ADC ( Analog to Digital Converter )  
ADCではGate信号が来ているときに入力された信号の総電荷を測定する。
- ・TDC ( Time to Digital Converter )  
TDCでは2つの入力信号の時間差を測定する。

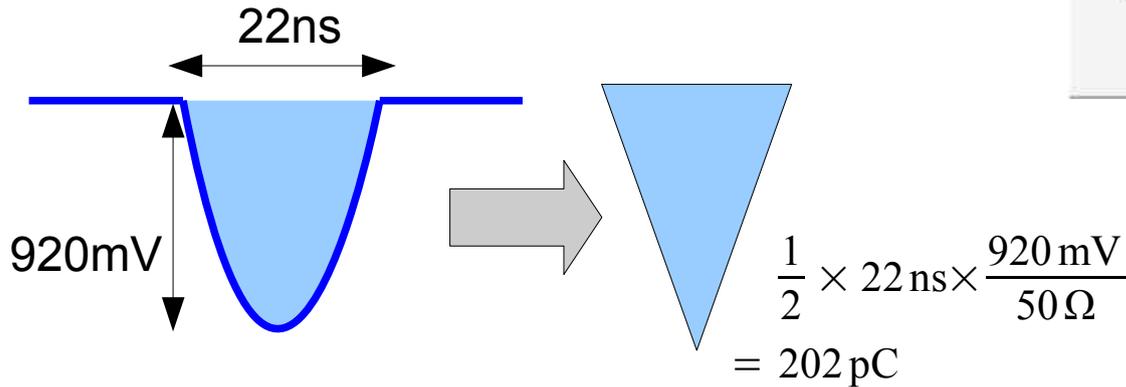


NIMモジュールと組み合わせて上図の回路を作り、ADCとTDCのlinearityのcalibrationを行った。

# ADC

ADC (LeCroy,2249W) の規格は次の通りである。

Full Scale Range	0~256pC
Number of Bits	10bit(1024channel)
High Sensitivity	0.25pC
Resistance	50Ω



・オシロスコープでパルス波を観測し、その波形を三角形に近似して電荷を概算した。

・パルスをAttenuatorに通した。  
ADCのchannel値は図2のようになった。

図2のグラフの  $\chi^2$  fit, 誤差の評価を今後行う。

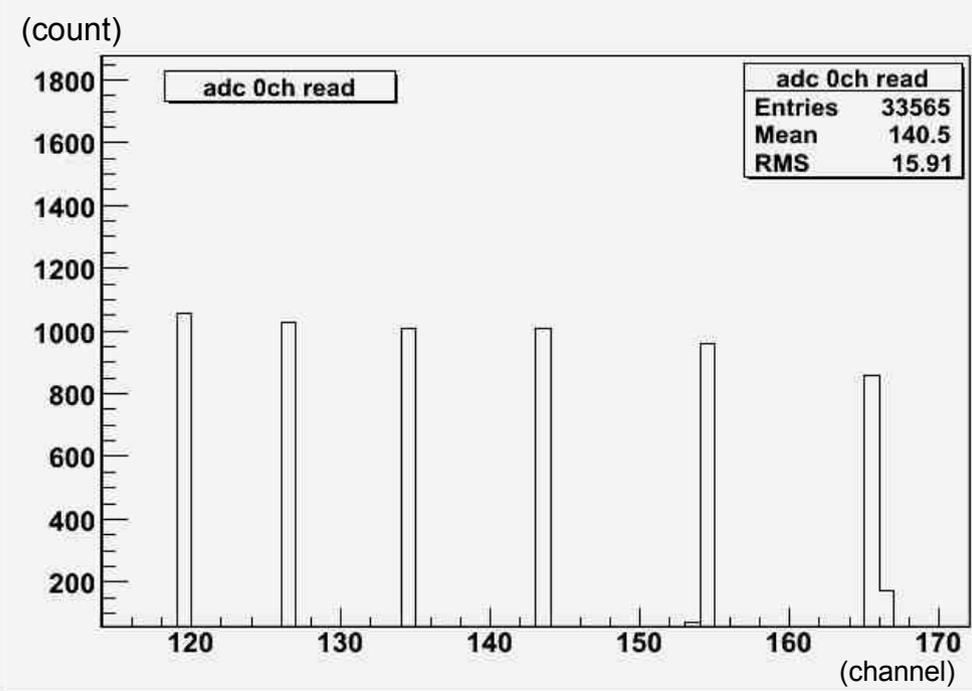


図1: 電荷を段階的に変更した場合のADCの値

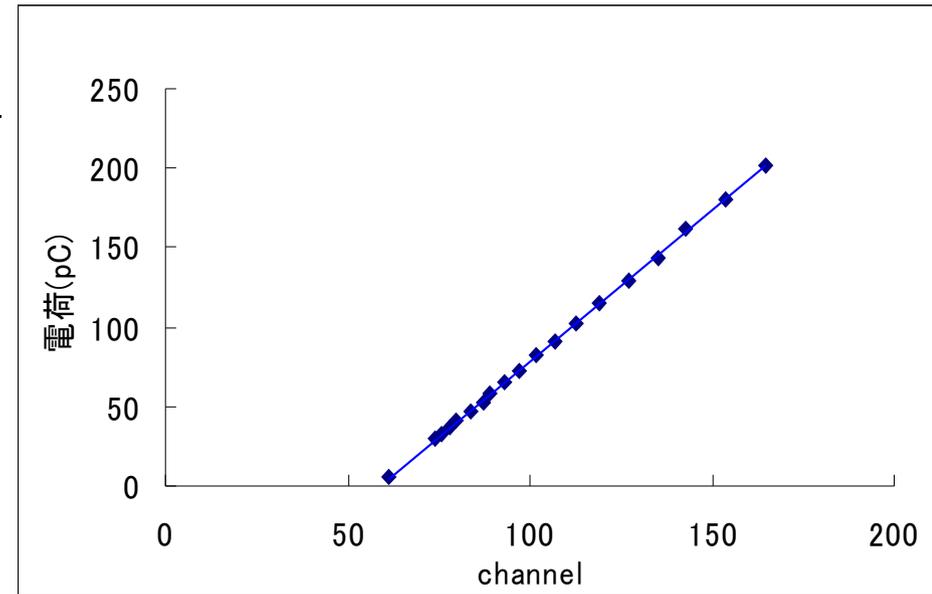


図2: 電荷とADCのchannel値

# ・TDC

TDC (LeCroy,2228A) の規格は次の通りである。

Time Range        0～100nsec  
Number of Bits    11bit (2048channel)  
Time Resolution    50psec

・始めに、規格内の時間差(0～100nsec)を作  
て測定してみたが、うまくcountがとれない  
数百nsecの時間差で測定してみたところ  
countがとれていた(図3)



今回用いたTDCは改造品であり、Offsetと  
Time Resolutionの値が規格と大きく違ったも  
のであるらしい。

・各時間差に対応したTDCのChannel値は図4  
のようになった。

時間差27nsec未満のものはcountがとれな  
かった。(Time Range: 27nsec～3665 nsec)

図4のグラフの  $\chi^2$  fit, 誤差の評価を今後行う。

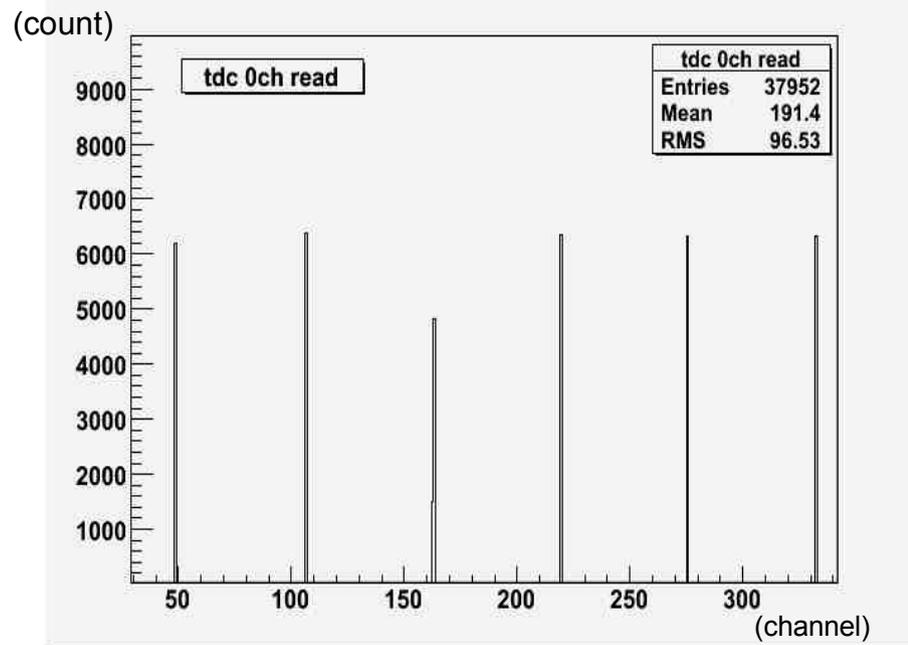


図3: delayを段階的に変更した時のTDCの値

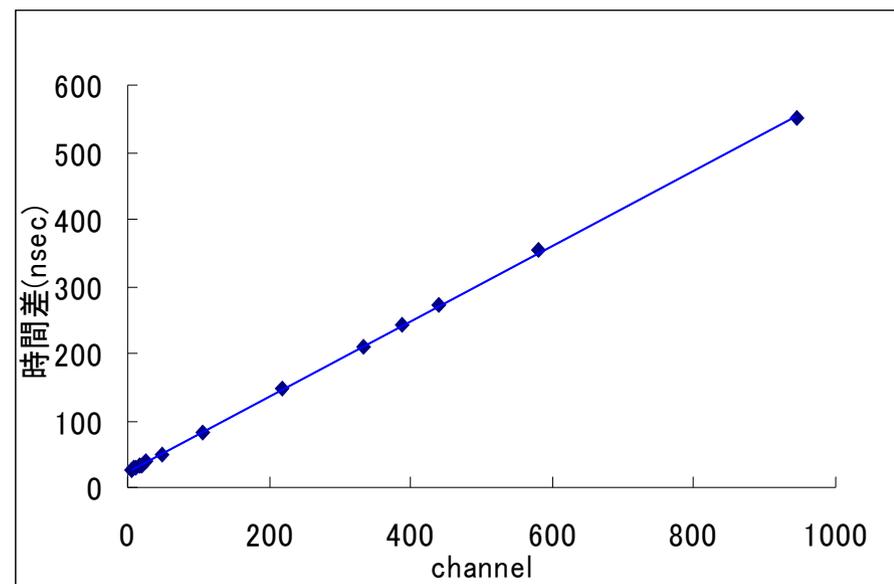
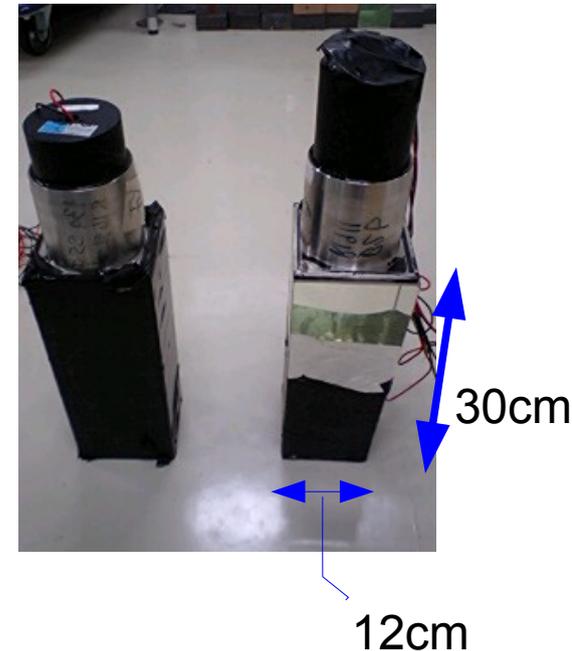


図4:時間差とTDCのchannel値

# 5.まとめ

- ・素粒子実験では、測定する粒子や物理量に応じて様々な性能を持った検出器を用いる。
- ・電磁カロリメータとしては鉛ガラスチェレンコフ検出器などが用いられる。
- ・CAMAC-ADC, TDCのlinearityのcalibrationを行った。
- ・今後の展望
  - ・CAMAC-ADC, TDCのスペクトル測定
  - ・鉛ガラスチェレンコフ検出器に付けるPMTや回路の予備実験
  - ・鉛ガラスチェレンコフ検出器を用いた測定実験(宇宙線など)
  - ・PHENIX 実験の高エネルギー陽子-陽子衝突における直接ガンマ線放出 ( $p + p \rightarrow \gamma + X$ ) のデータ解析などを行う。



## 参考文献:

- 「素粒子・原子核物理入門」B.Povh 他 (シュプリンガー・フェアラーク)
- 「放射線計測学」三浦 功 他 (裳華房)
- 「放射線測定」飯田 修一 他 (朝倉書店)
- 「Cerenkov radiation and its applications」J.V.Jelley (Pergamon Press)

