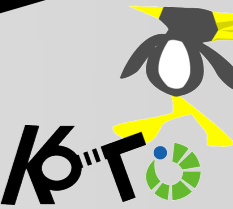


# K<sup>0</sup>T<sub>0</sub>実験における 荷電粒子検出器 (Charged Veto) の開発

京大理、KEK<sup>A</sup>

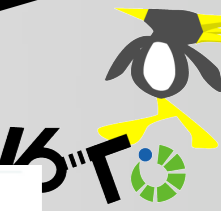
内藤大地、笹尾登、野村正<sup>A</sup>、南條創、森井秀樹  
塩見公志、河崎直樹、増田孝彦、前田陽祐、高橋剛  
他 K<sup>0</sup>T<sub>0</sub> Collaboration

# CONTENTS

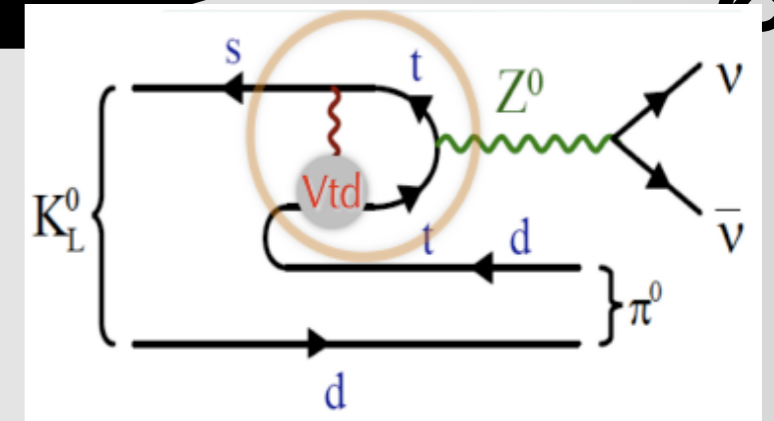


- **KOTO実験の概要**
- **Charged Vetoの概要**
- **プロトタイプCVの性能評価**
- **結論**

# -K<sup>0</sup>T0実験の概要-

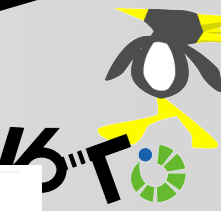


- K<sub>L</sub> → π<sup>0</sup> ν ν̄ 稀崩壊探索実験
- 実験目的
  - 小林益川理論(CKM)の精密検証
    - CKMでのCPの破れが η に比例(CKM行列の複素パラメータ)
    - Br(K<sub>L</sub> → π<sup>0</sup> ν ν) ∝ η<sup>2</sup>
    - ハドロン相互作用による理論的不定性が小さい
  - 新物理の探索
- KEK PSで行われたE391a実験のアップグレード実験
- J-PARC 大強度陽子シンクロトロン を用いて2011開始
- Br ≃ 2.5 × 10<sup>-11</sup>, 反応に関わる粒子が中性粒子  
→ 実験的困難



崩壊のダイアグラム

# -K<sup>0</sup>T0実験の概要-



- K<sub>L</sub> → π<sup>0</sup> ν ν̄ 稀崩壊探索実験

- 実験目的

- 小林益川理論(CKM)の精密検証

- CKMでのCPの破れがηに比例(CKM行列の複素パラメータ)

- Br(K<sub>L</sub> → π<sup>0</sup> ν ν) ∝ η<sup>2</sup>

- ハドロン相互作用による理論的不定性が小さい

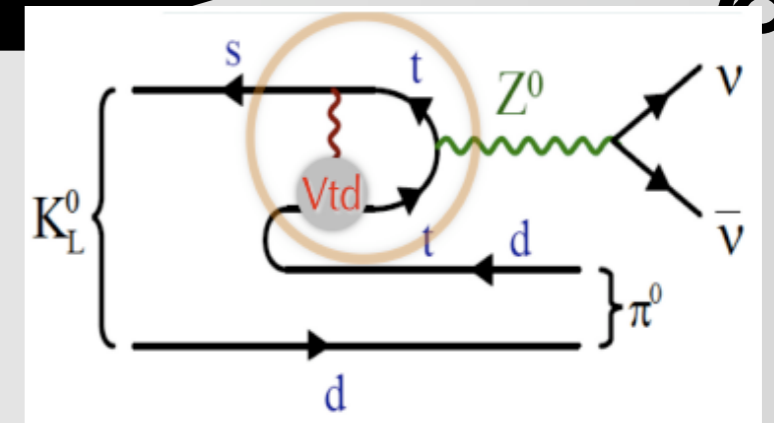
- 新物理の探索

**世界発の崩壊事象発見を目指す。**

- J-PARC 大強度陽子シンクロトロン を用いて2011開始

- Br ≃ 2.5 × 10<sup>-11</sup>, 反応に関わる粒子が中性粒子

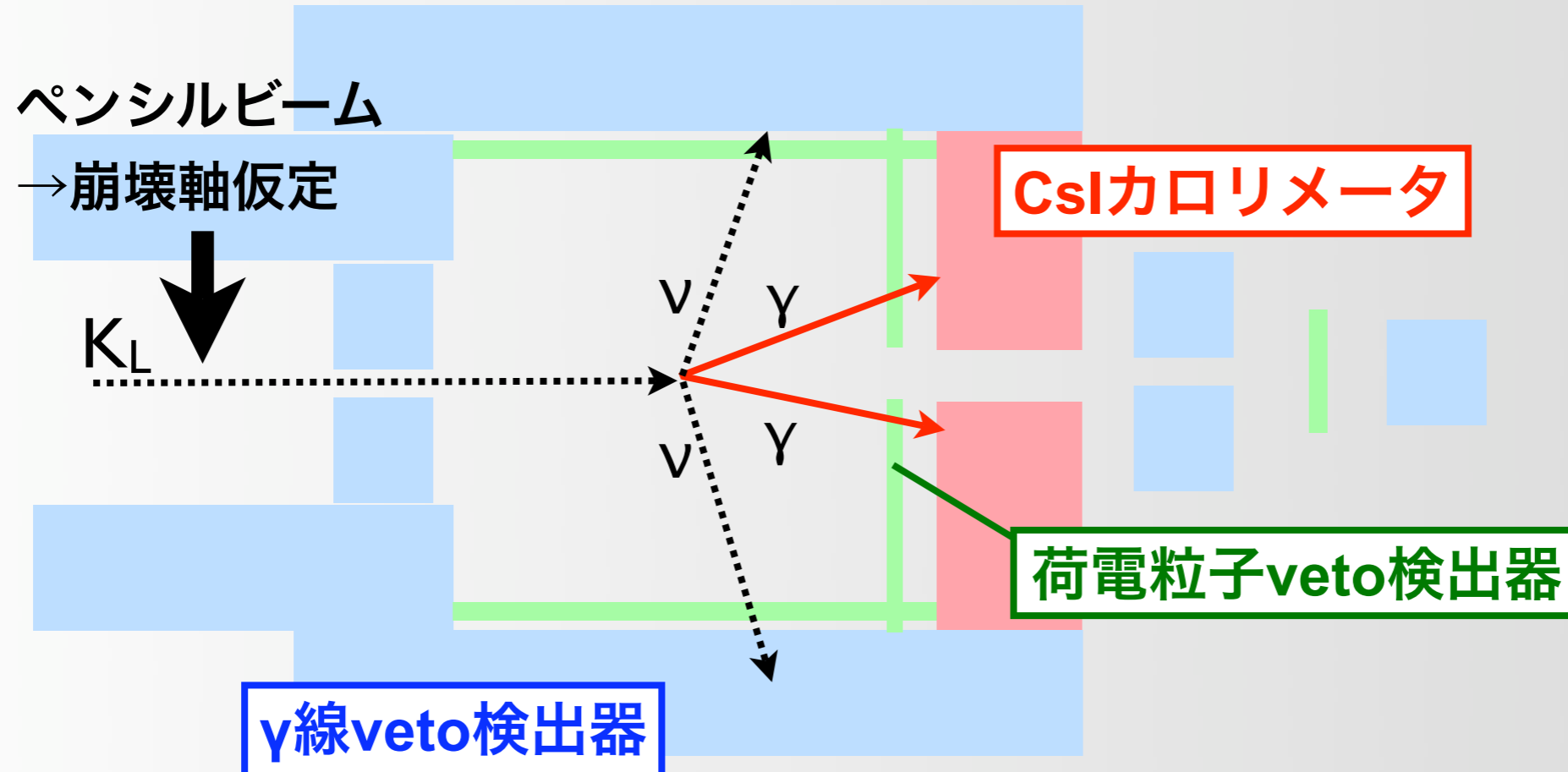
→ 実験的困難



崩壊のダイアグラム

# K<sup>0</sup>T0実験の概要 ～実験原理～

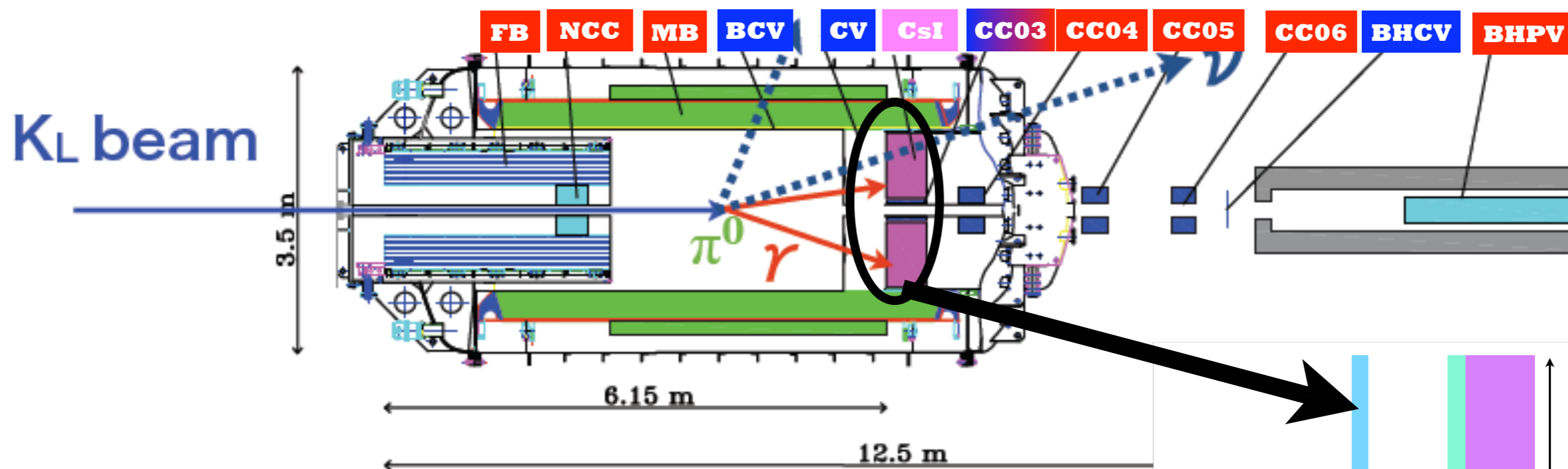
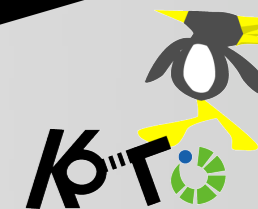
- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ のうち $\pi^0$ は生成した瞬間 $2\gamma$ に崩壊する  
→終状態は $2\gamma$ 以外何も無い状態
- $\gamma$ はCslカロリメータで位置とエネルギーを測定  
→ $\pi^0$ の崩壊位置と横方向運動量を再構成してsignal判定
- 崩壊領域を全立体角Vetoで覆う  
→ $\pi^0$ 以外の粒子が存在しないことを保証



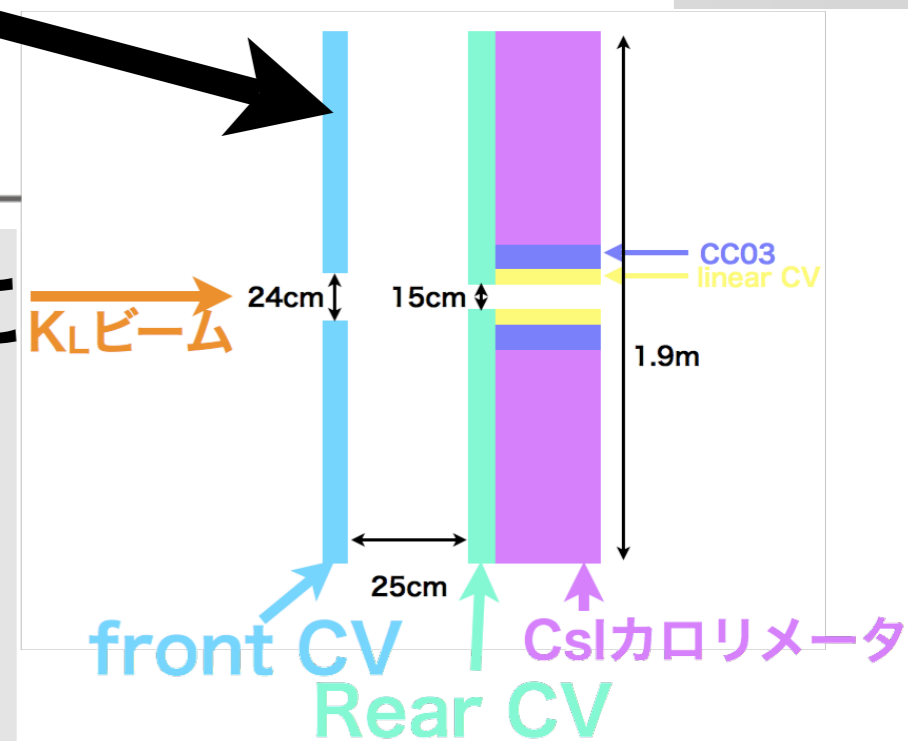
# Charged Vetoの概要

- 位置と役割
- CVへの要請
- CVデザイン

# Charged Vetoの位置と役割



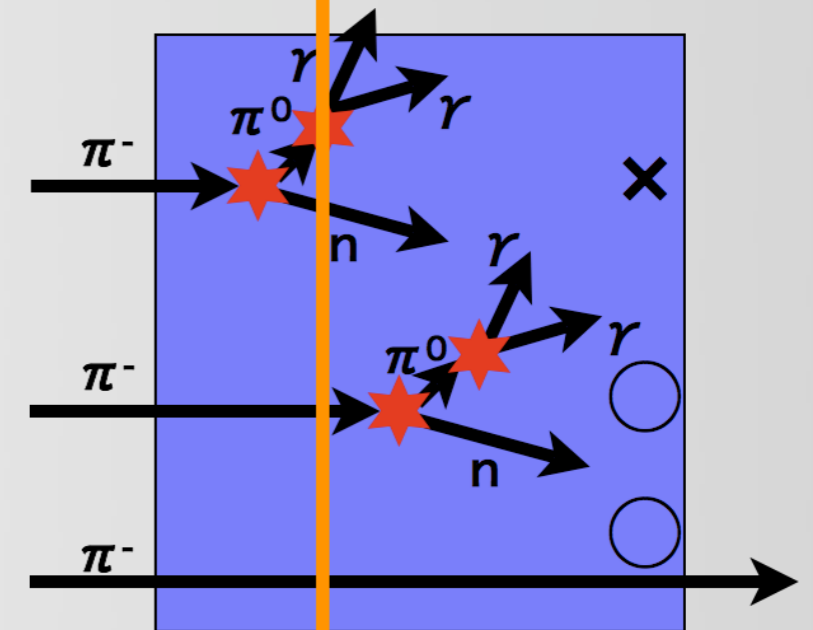
- Cslカロリメータの直近と25cm上流に2層置かれる (front-CVとrear-CV)
- 直径1.9m、厚さ3mmのプラスチックシンチレータで構成
- 役割は荷電粒子を検出し、荷電粒子を含む $K_L$ 崩壊のveto  
 $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 、 $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu \dots$



# CVへの要請

- バックグラウンド ( $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ) 削減の観点
  - $\pi^-$  を inefficiency ( $10^{-4}$  以下) で veto したい
    - 100keV 閾値が必要
  - photon statistics を考慮
    - 3p.e./100keV の光量が必要

検出不可 ← → 検出可能



CVで $\pi^-$ が不感になるメカニズム

- accidental loss (ビーム中粒子による) の観点
  - 3ns 以下の時間分解能が必要



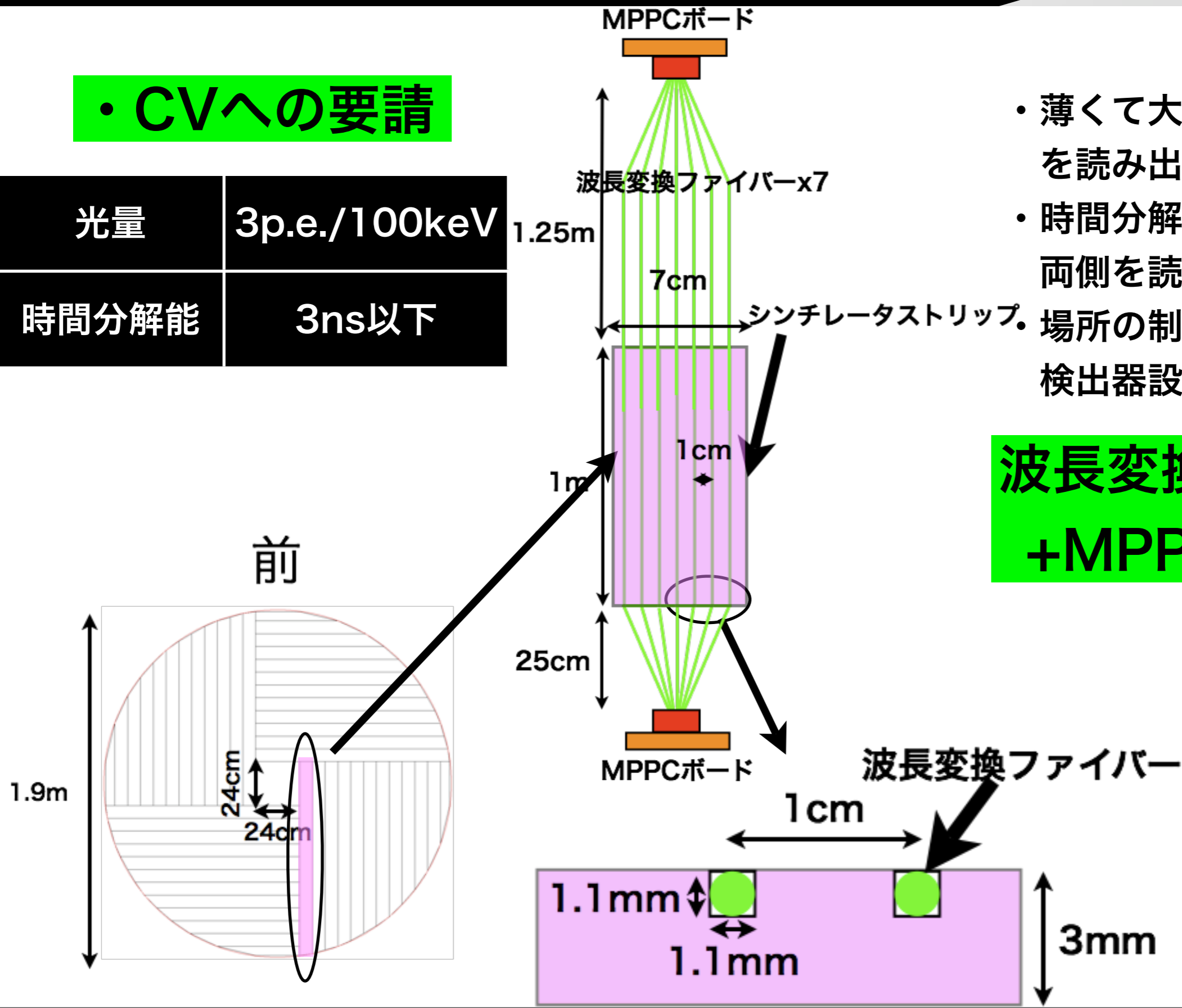
# CVデザイン

## ・CVへの要請

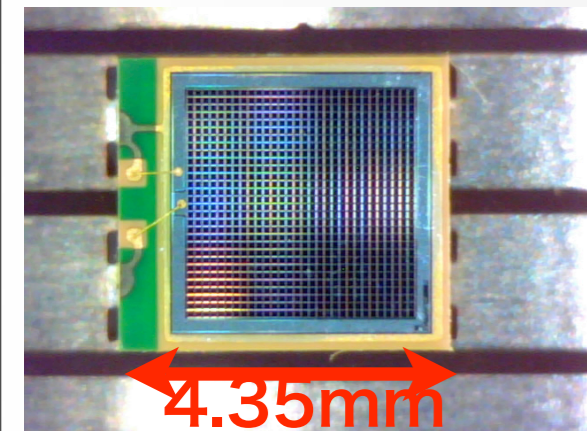
光量	3p.e./100keV
時間分解能	3ns以下

- ・ 薄くて大面積のシンチレータを読み出す。
  - ・ 時間分解能向上のために両側を読み出す。
- 場所の制約(ビームホール、検出器設置場所)

波長変換ファイバー  
+MPPC読み出し

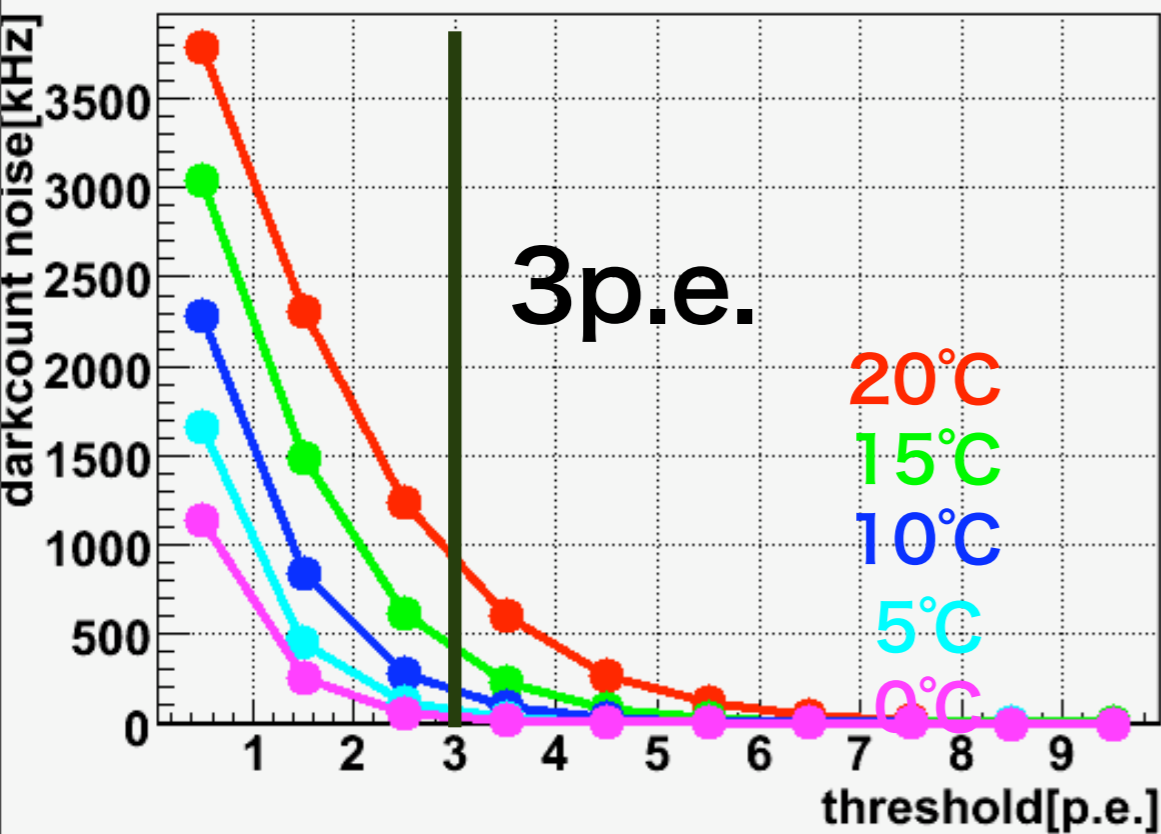


- ・ 浜松ホトニクス社で開発された半導体光検出器



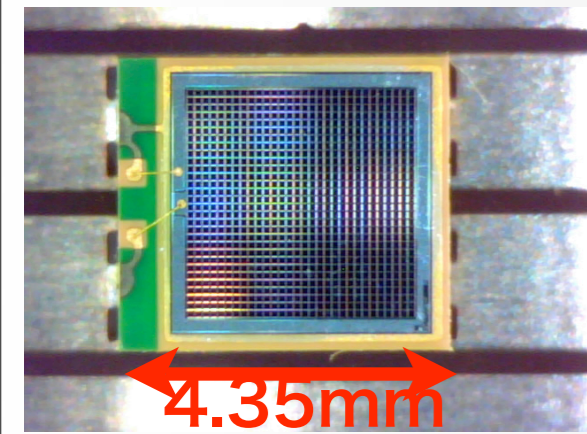
CVでは現在 $(50\mu\text{m})^2$ のAPD  
ピクセル、 $(3\text{mm})^2$ の有感領域を  
持つ表面実装型MPPCを使用予定

## ダークカウントノイズ測定結果



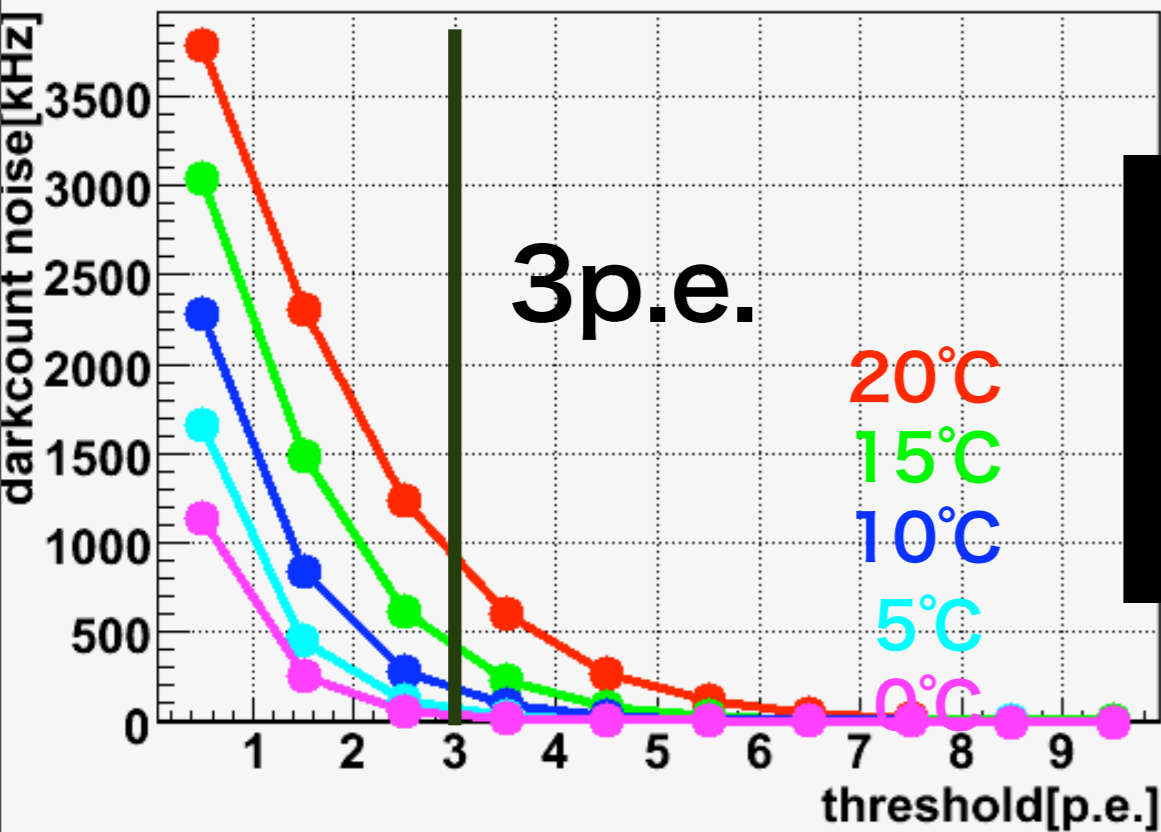
# MPPPC

- ・ 浜松ホトニクス社で開発された半導体光検出器



CVでは現在 $(50\mu\text{m})^2$ のAPD  
ピクセル、 $(3\text{mm})^2$ の有感領域を  
持つ表面実装型MPPPCを使用予定

## ダークカウントノイズ測定結果

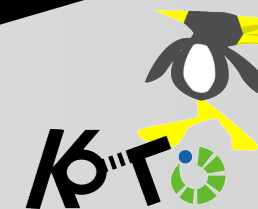


CVではMPPPCを  
冷却して使用する

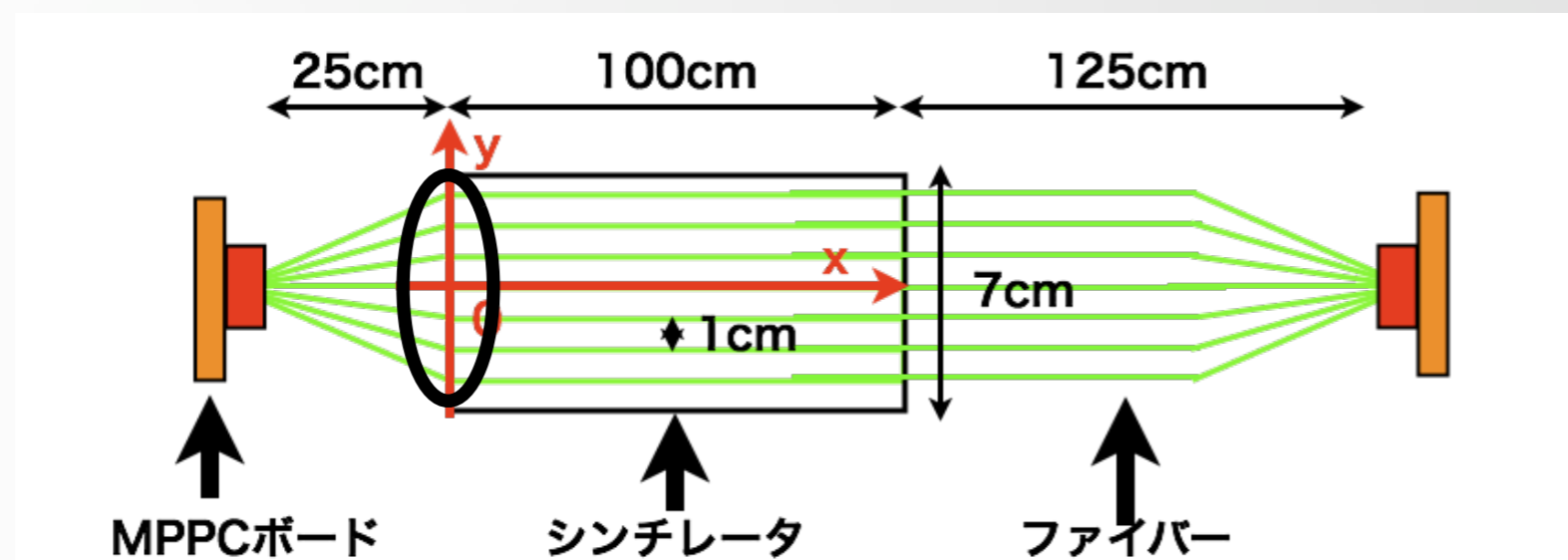
# プロトタイプCVの 性能評価試験

- 実験目的
- 実験セットアップ
- 実験結果

# 実験目的

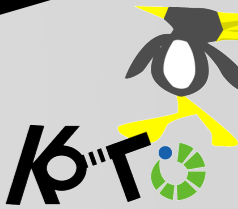


- CVの中で一番大きいシンチレータストリップの性能評価  
→ 光量が一番落ちる場所があるのがこの部分

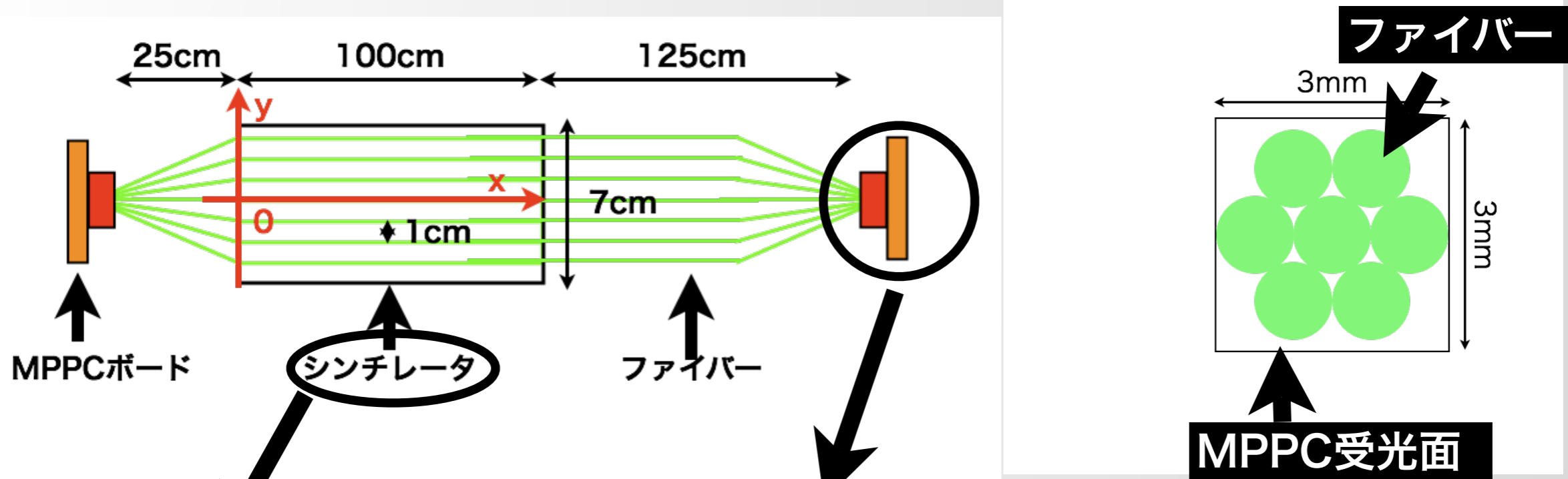


- 時間分解能3ns以下、光量3p.e./100keV以上が出るか  
check

# 実験セットアップ1

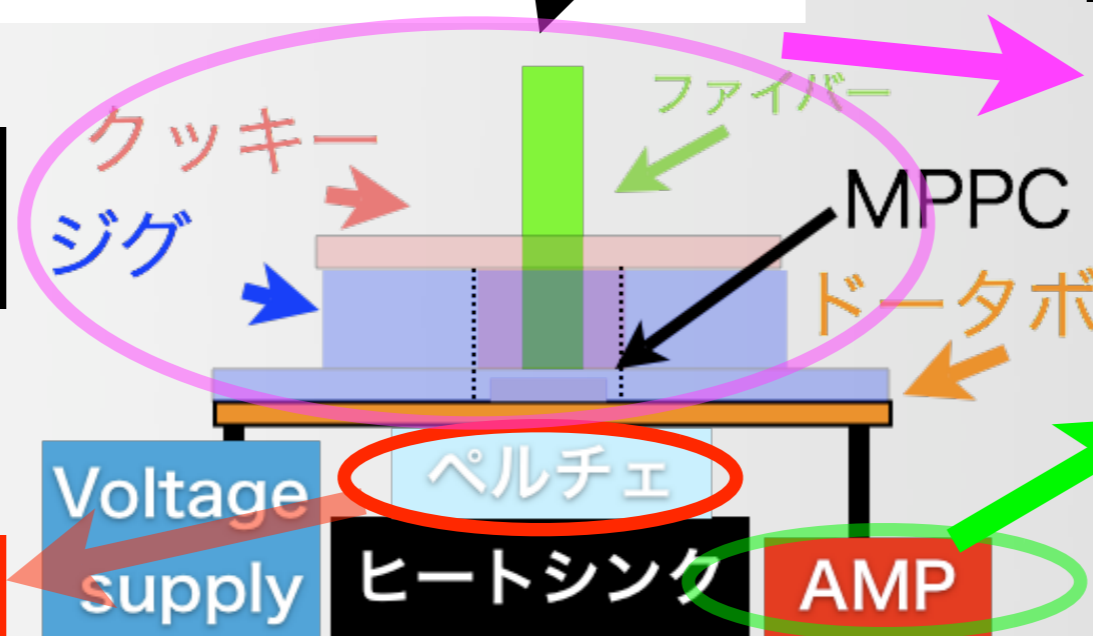


## プロトタイプCVの概念図



ビームテストでの光量比較  
→EJ204(ELJEN)に決定

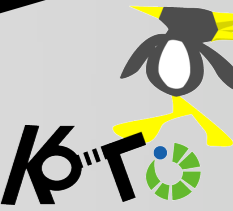
冷却テスト  
→MPPCを $\sim 5^{\circ}\text{C}$ まで冷却



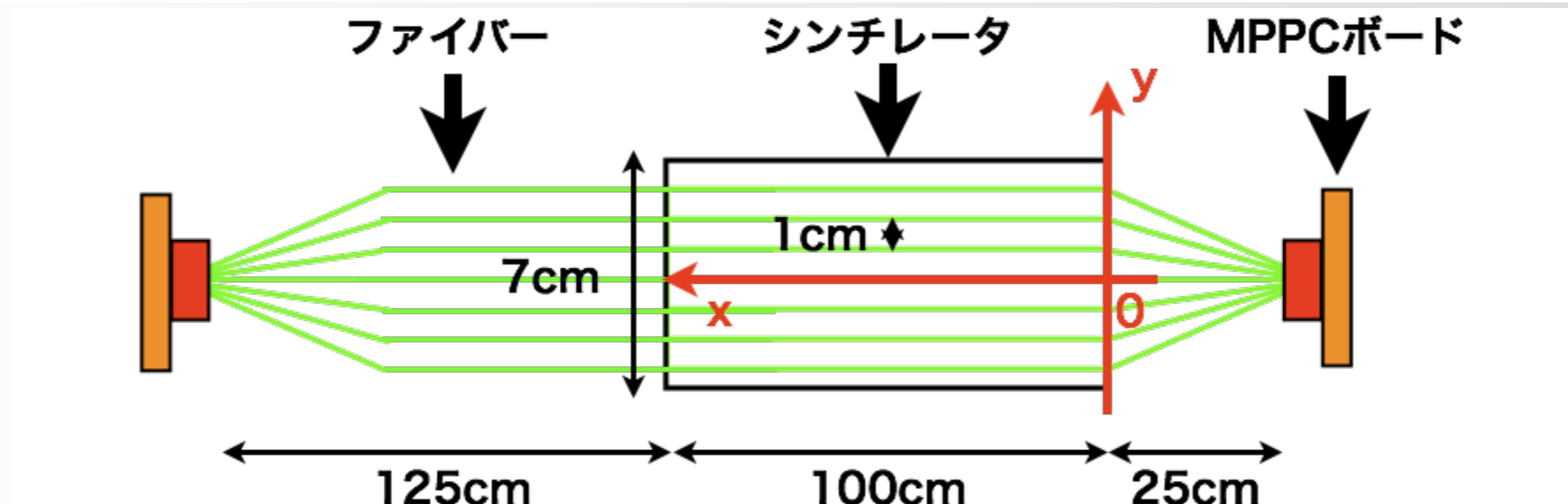
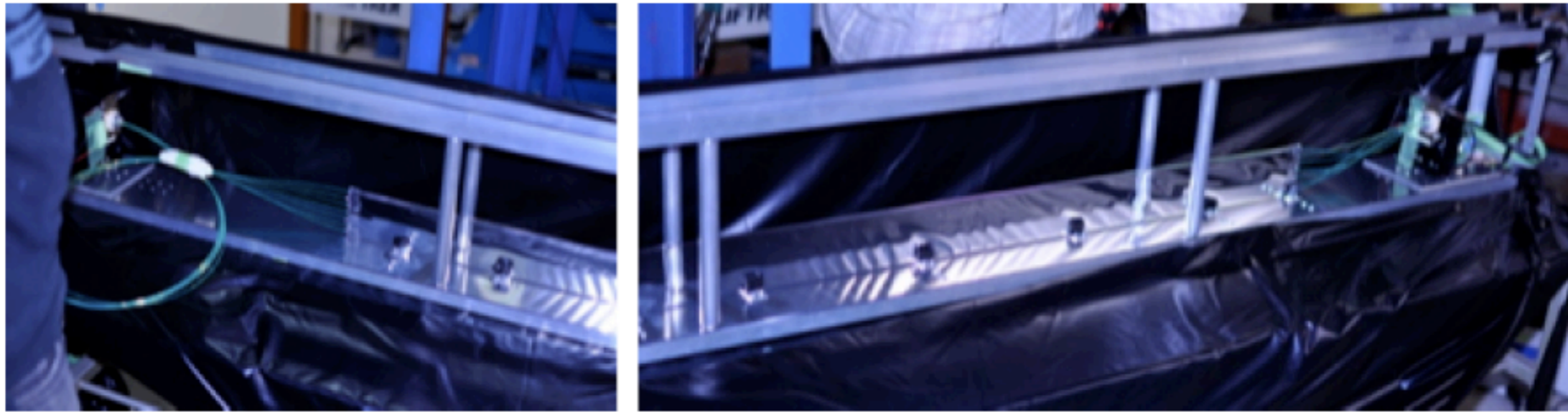
シミュレーションをして  
接続方法考案

ビームテストで要求性能  
見積もり  
→50倍非反転高速  
アンプ自作

# 実験セットアップ2

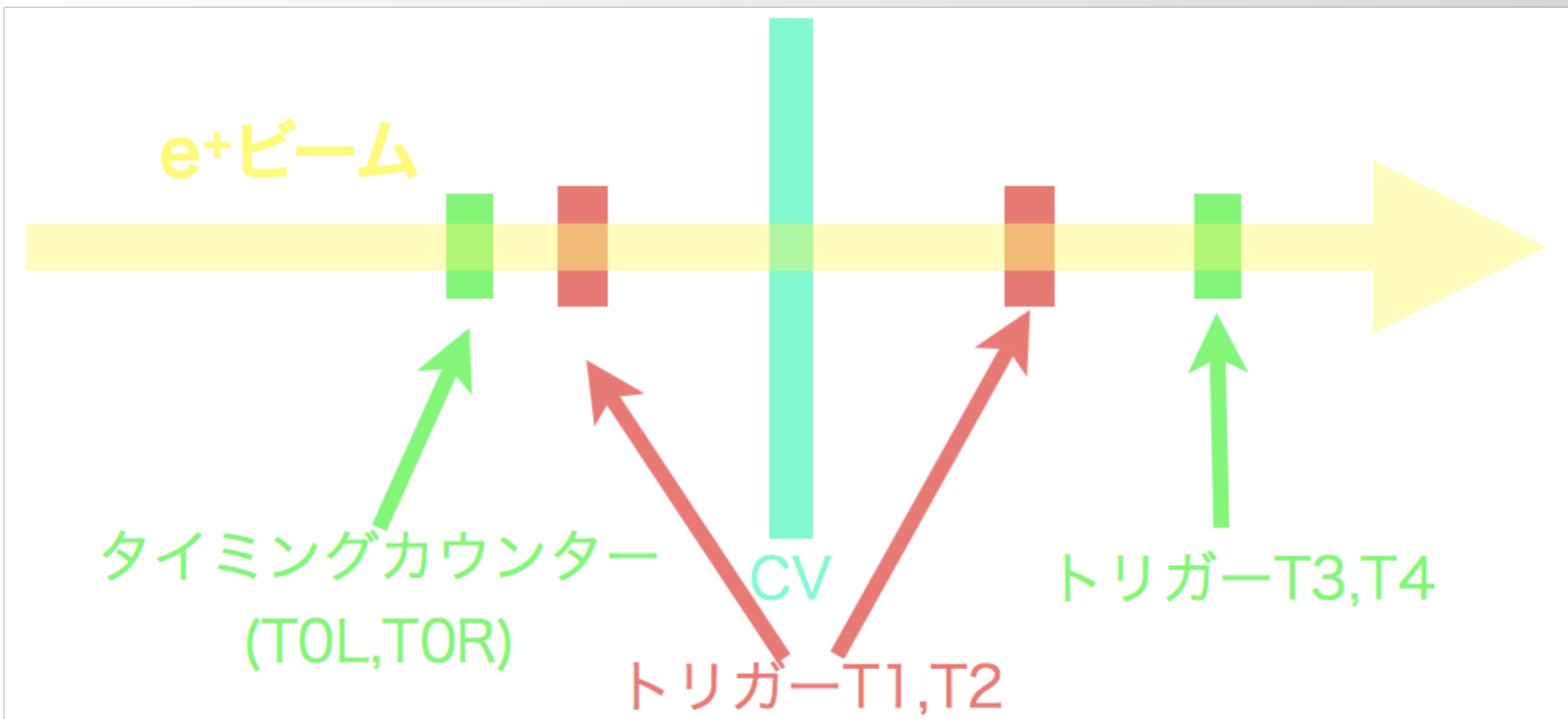
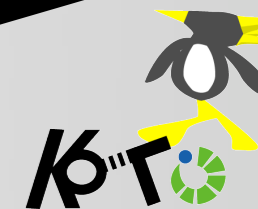


- 東北大学電子光物理学研究センターの600MeV/cの陽電子ビームを使用



シンチはx方向、y方向にscanして測定

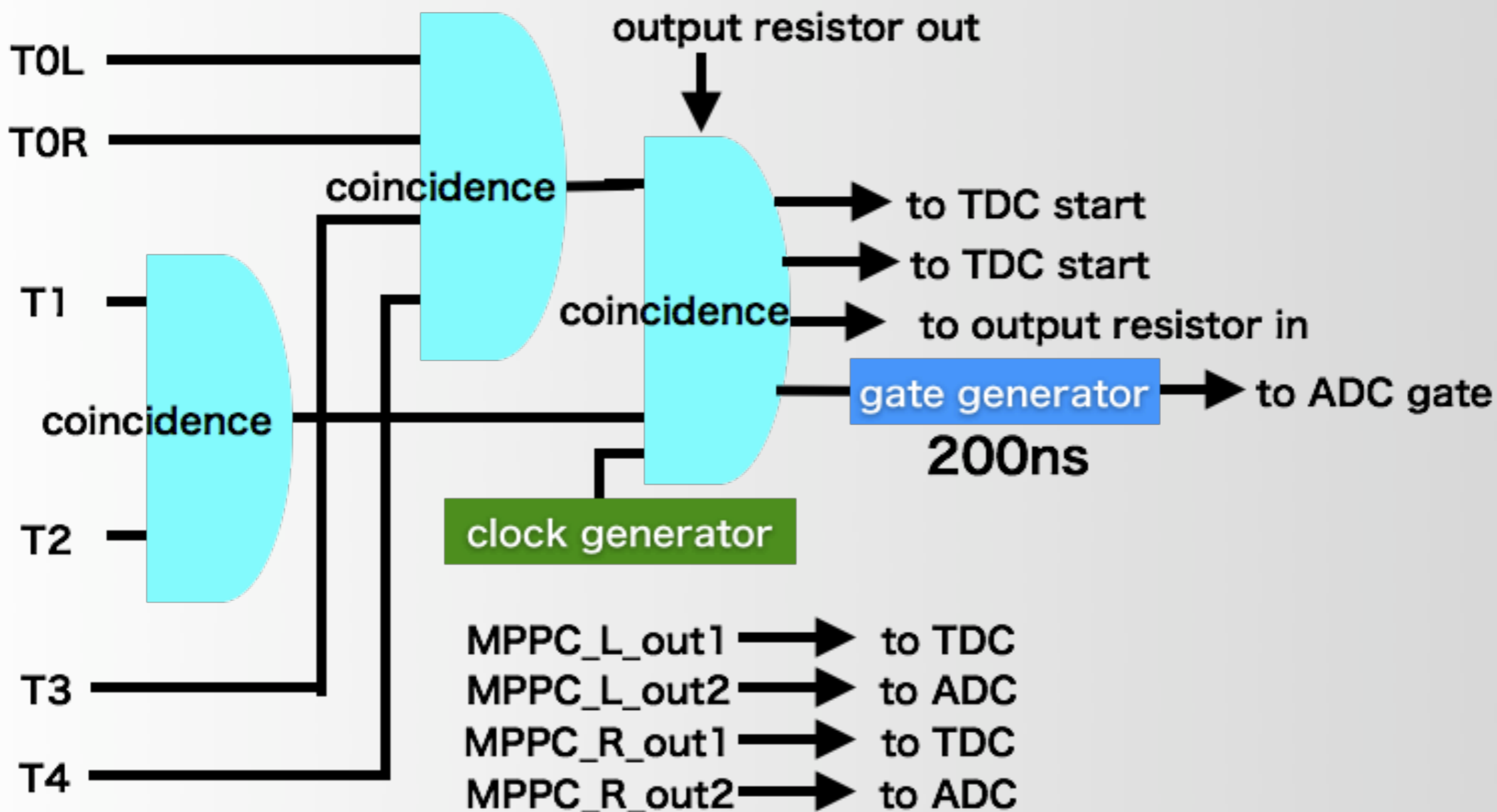
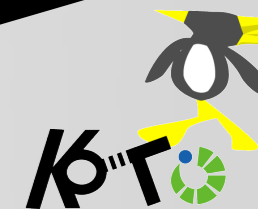
# 実験セットアップ3



- タイミングカウンター: 4cm x 4cm x 1cm シンチ
- トリガーT1、T2: 1cm x 1cm x 5mm シンチ
- トリガーT3、T4: 5cm x 5cm x 5mm シンチ

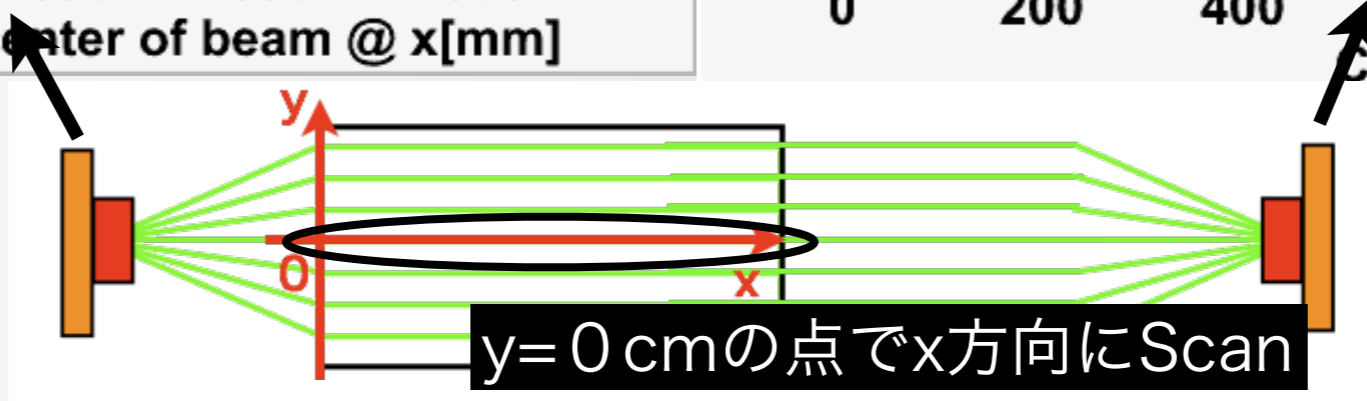
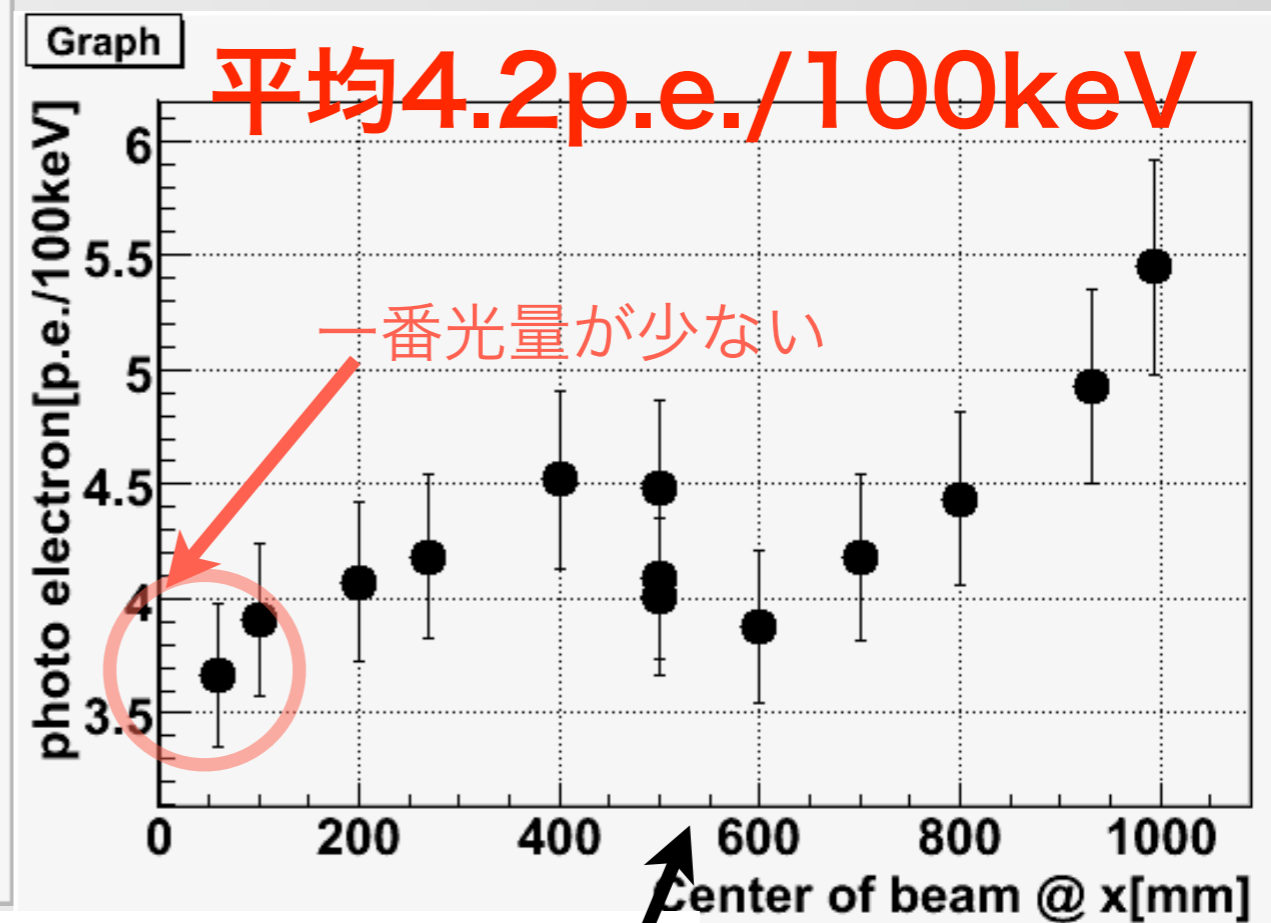
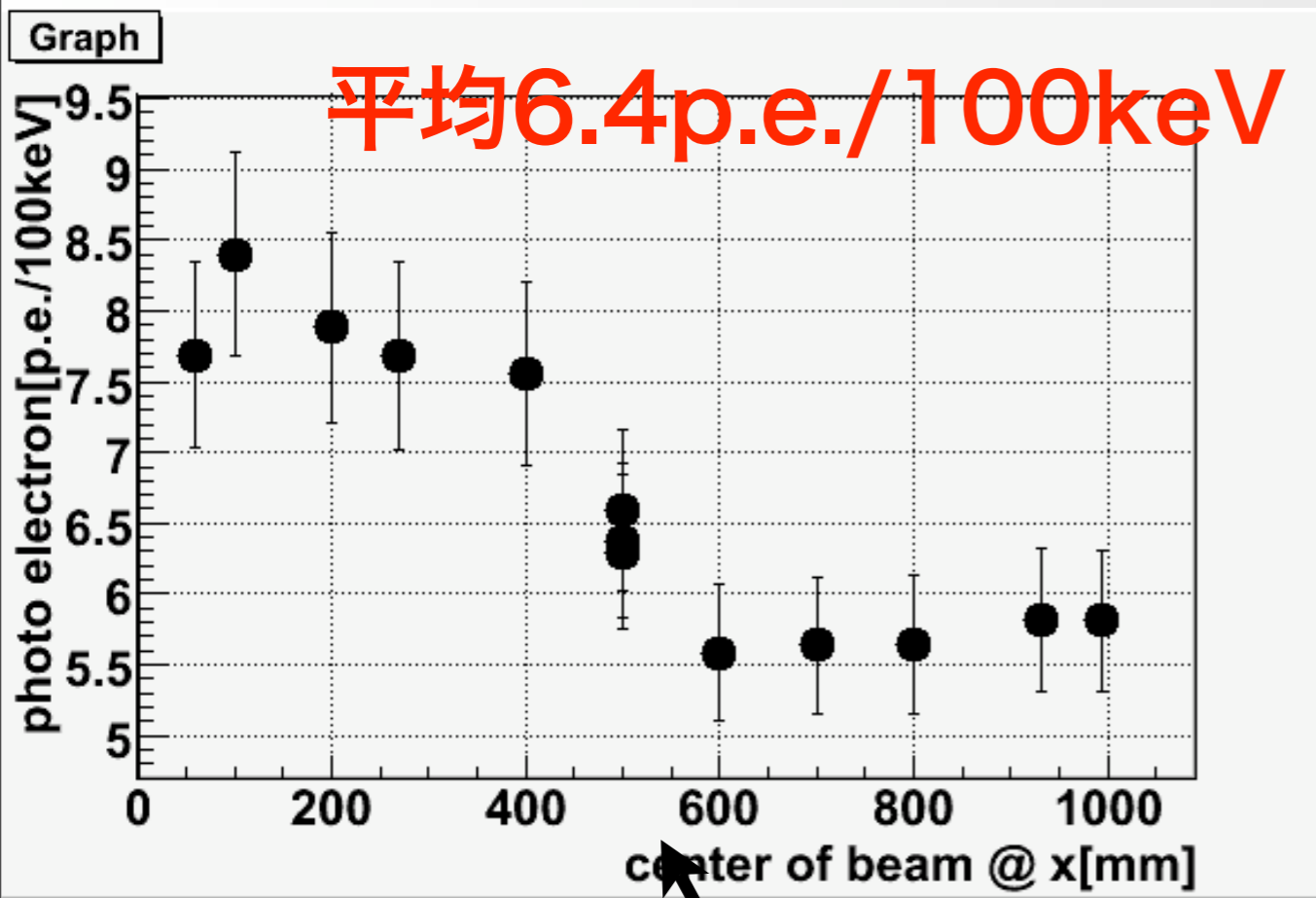
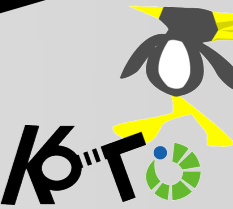


# 実験セットアップ4



- 6つのトリガーのcoincidence
- TDCで時間情報、電荷有感型ADCで出力電荷を測定

# 実験結果～光量測定～

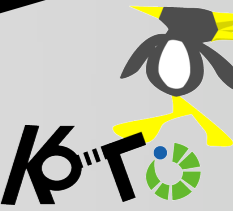


- 光量はシミュレーションを用いて100keV当たりで規格化
- 一番光量が低いのは図のx=58

→3.7p.e./100keV

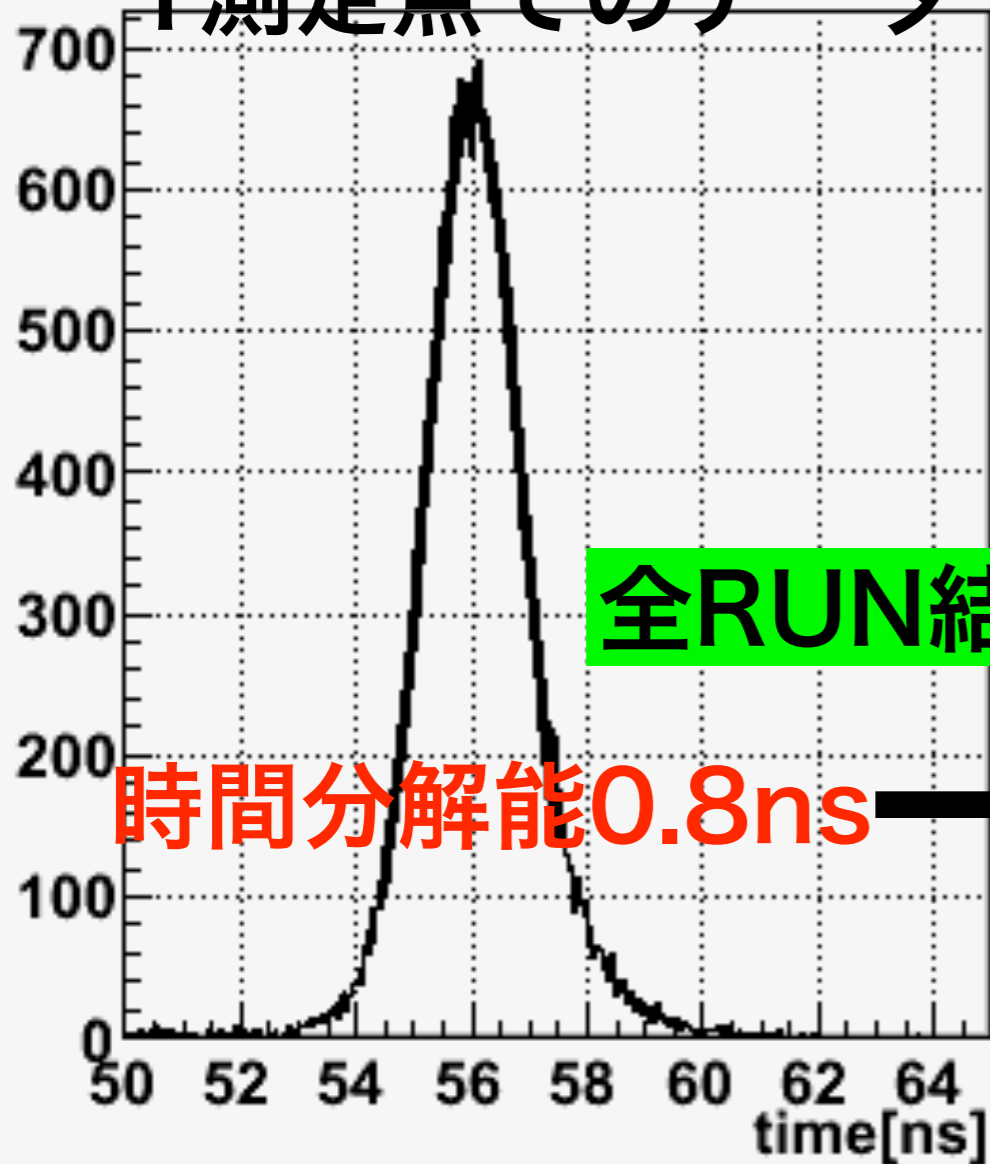
※要求は3p.e./100keV以上

# 実験結果～時間分解能測定～



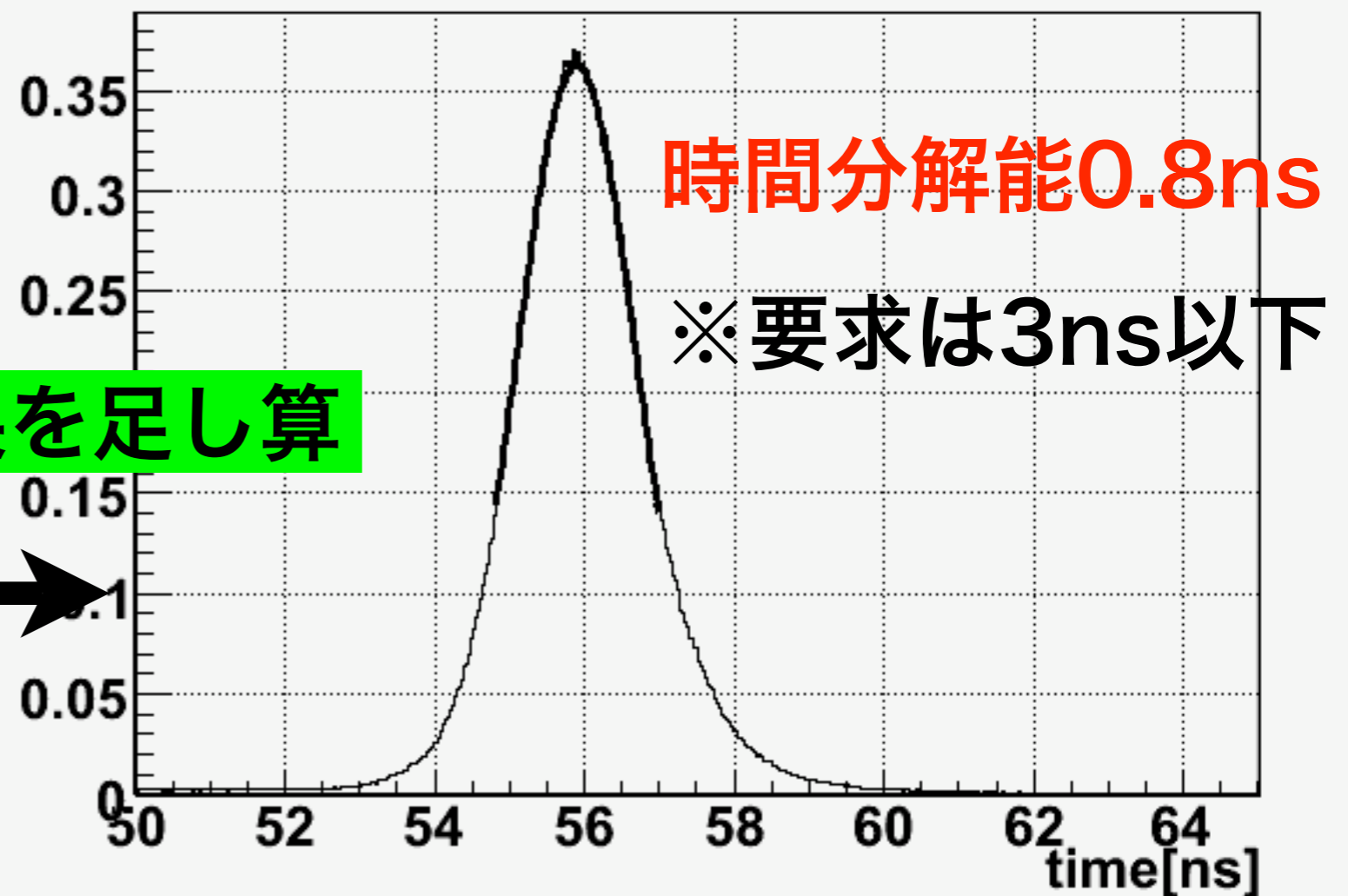
- tdcはtq補正を加える
- 両読みの平均時間を使って時間分解能を評価

## 1測定点でのデータ



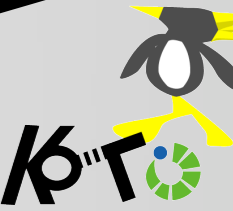
全RUN結果を足し算

## 全測定点データの合計



平均時間@x=50cm, Y=0

# まとめ

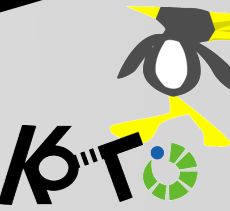


- プロトタイプCVの性能評価

	要求性能	測定値
光量	3p.e./100keV	3.7p.e./100keV
時間分解能	3ns以下	0.8ns

accidental loss	2.7%
darkcount loss	negligible

# まとめ



## • プロトタイプCVの性能評価

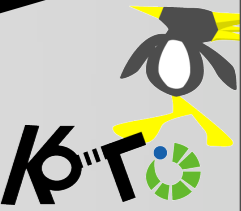
	要求性能	測定値
光量	3p.e./100keV	3.7p.e./100keV
時間分解能	3ns以下	0.8ns

accidental loss	2.7%
darkcount loss	negligible

このデザインで

- $\pi^-$ に対するinefficiency  $10^{-4}$ レベルを保証
- signalのlossが少ないことを保証

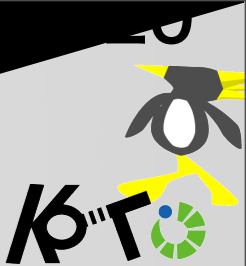
# 今後の展望



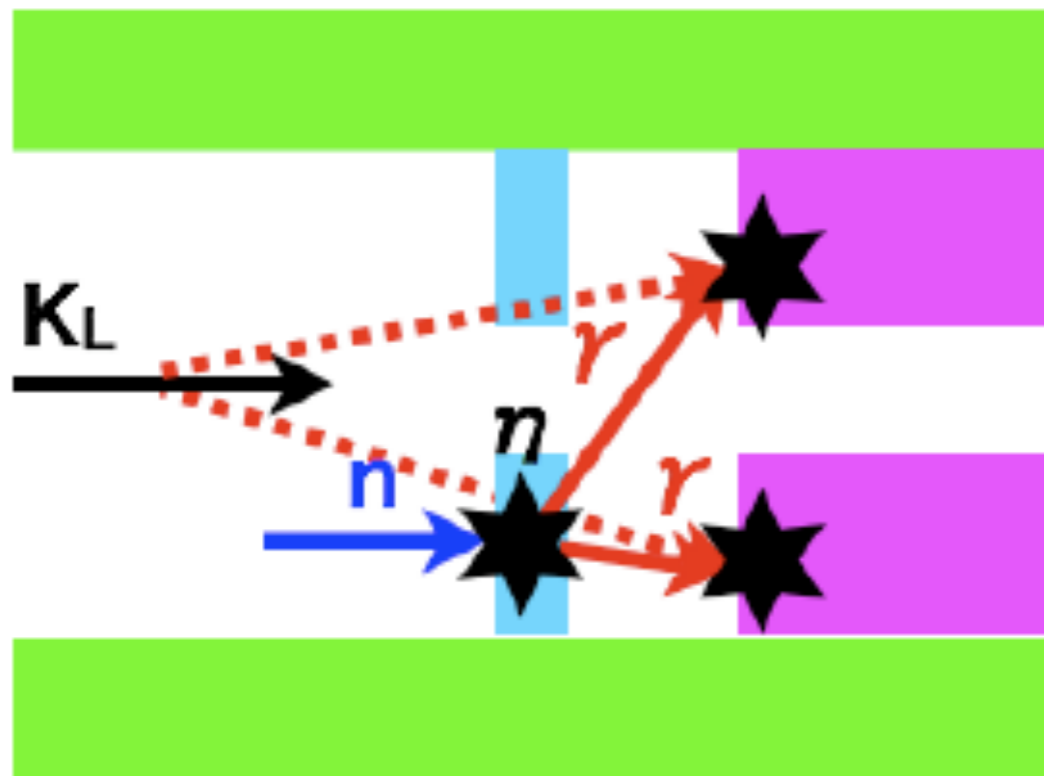
- 2010年11月
  - CVプロトタイプインストール
  - エンジニアリングRun
- 2011年秋
  - CVフルインストール
  - 物理Run開始

ばっくあっぷ

# CVが2層の理由1

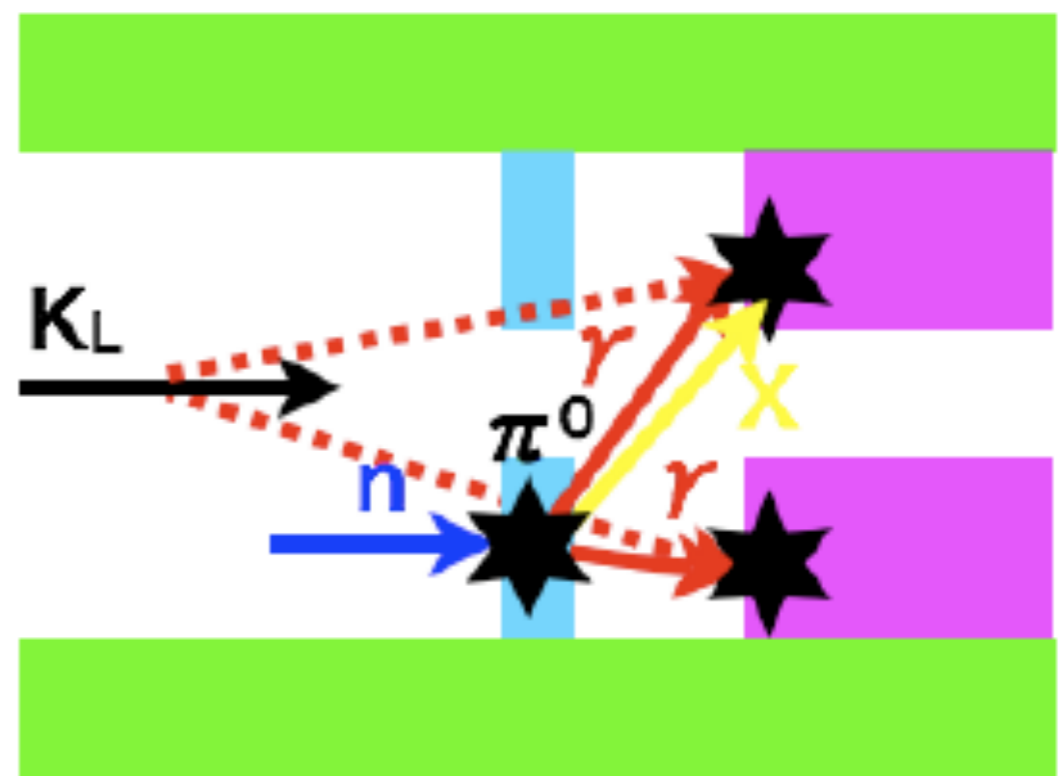


CV- $\eta$

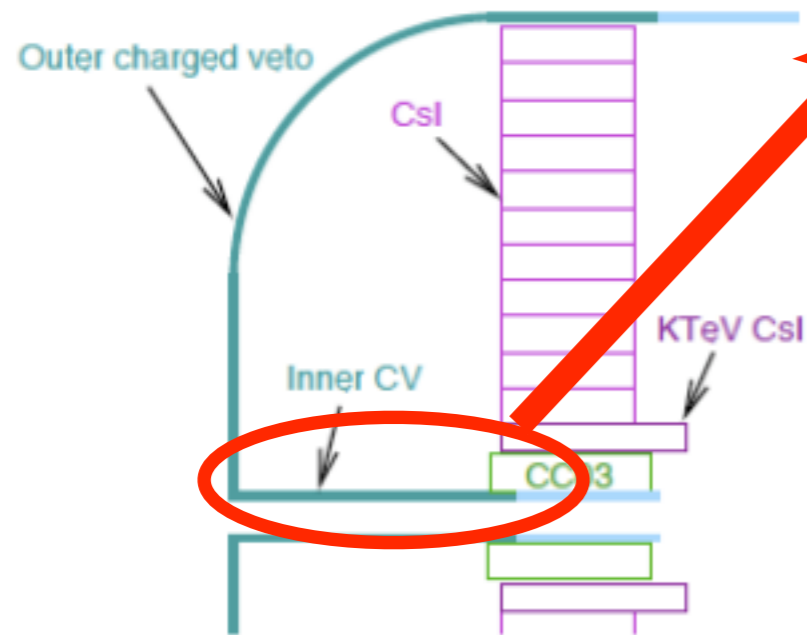


閾値2GeV/c

CV- $\pi^0$



閾値0.8GeV/c

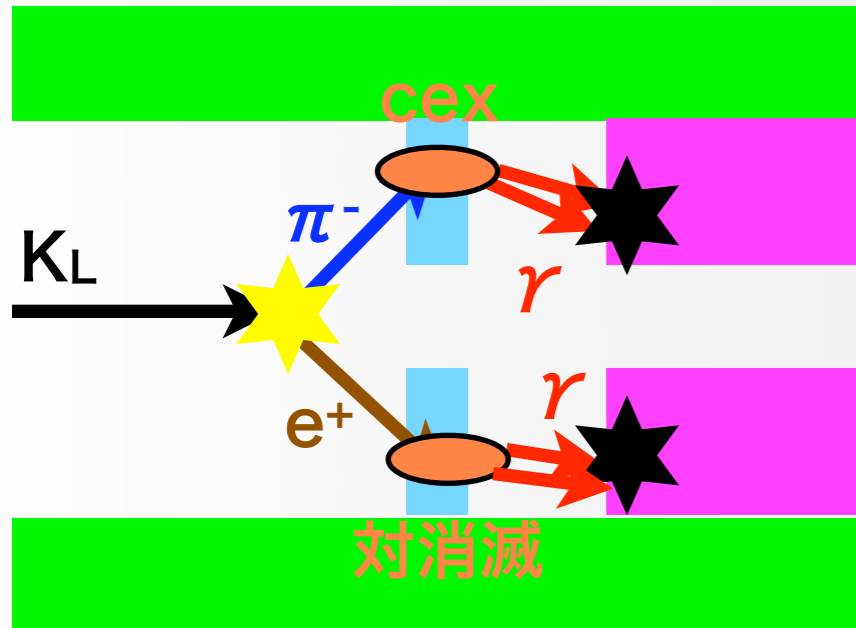


- ここがCV- $\eta$ のバックグラウンド源  
→inner CVを排除して2層に
- シンチレータを薄くして反応を抑える  
6mm→3mm
- CVをCslに近づける

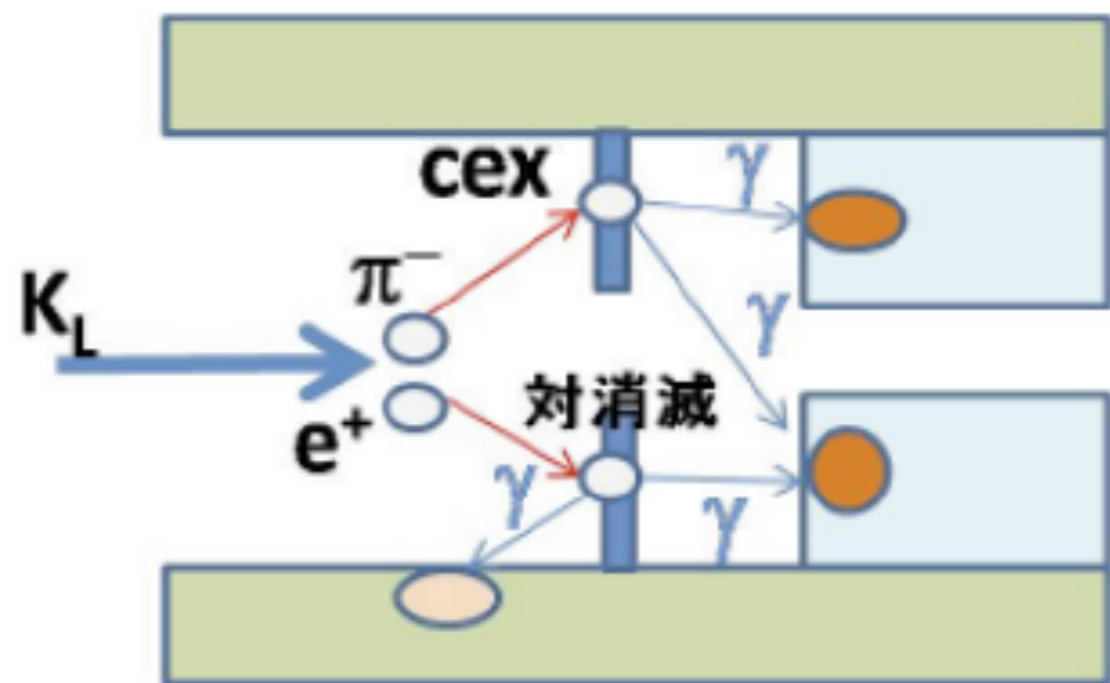
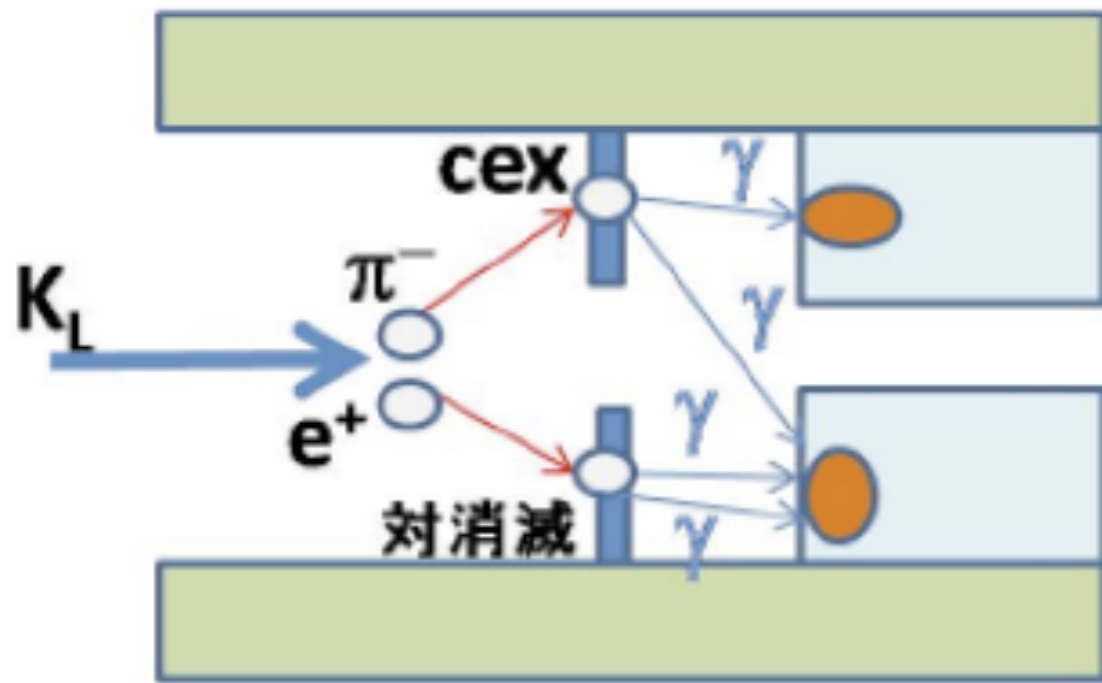


# CVが2層の理由2

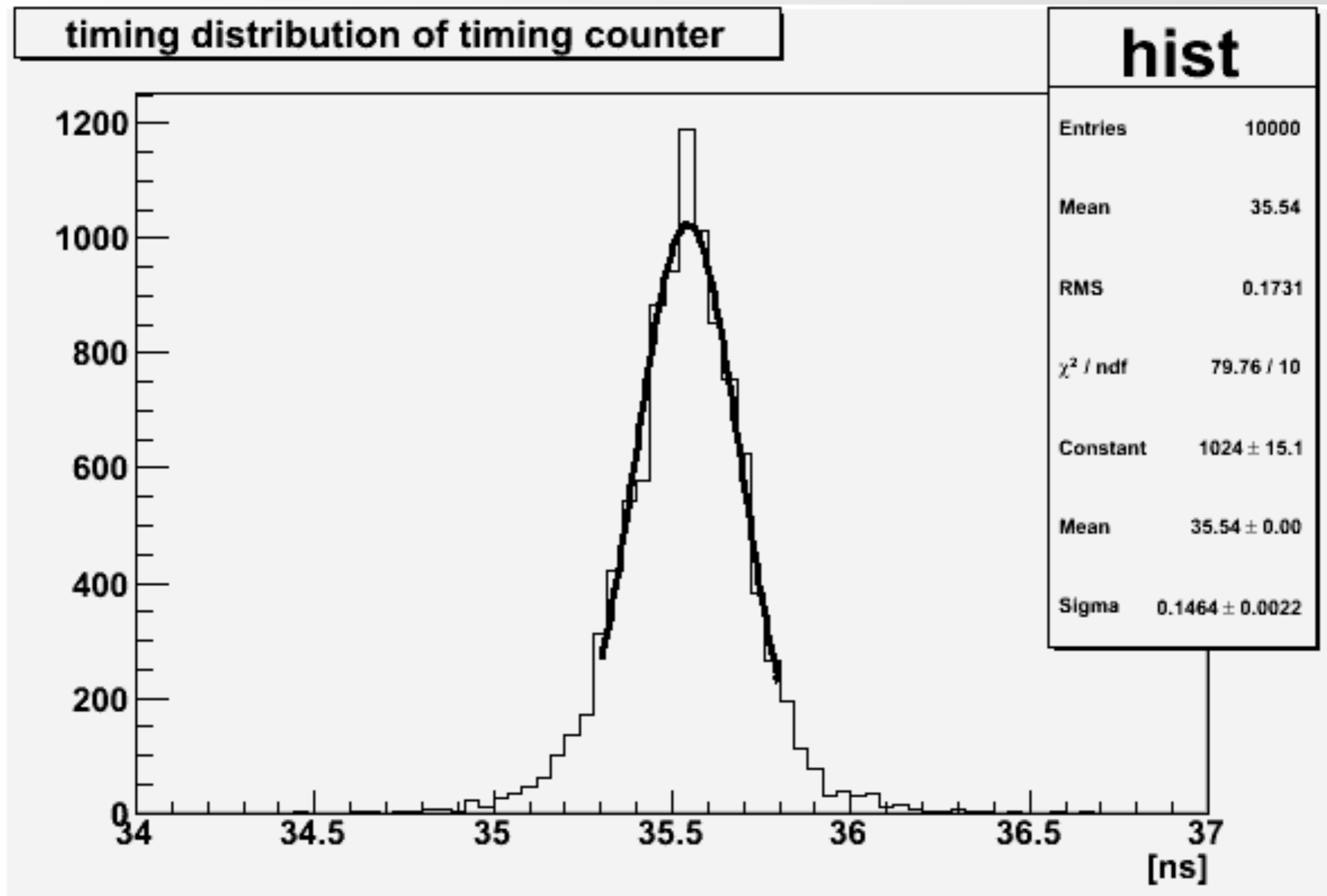
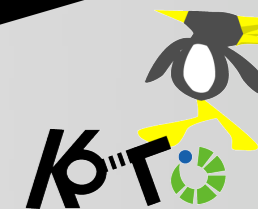
$K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$  バックグラウンドのメカニズム



- CVを近づけすぎると左のバックグラウンドが増加  
→ front CVの位置をCsl上流25cmに決定

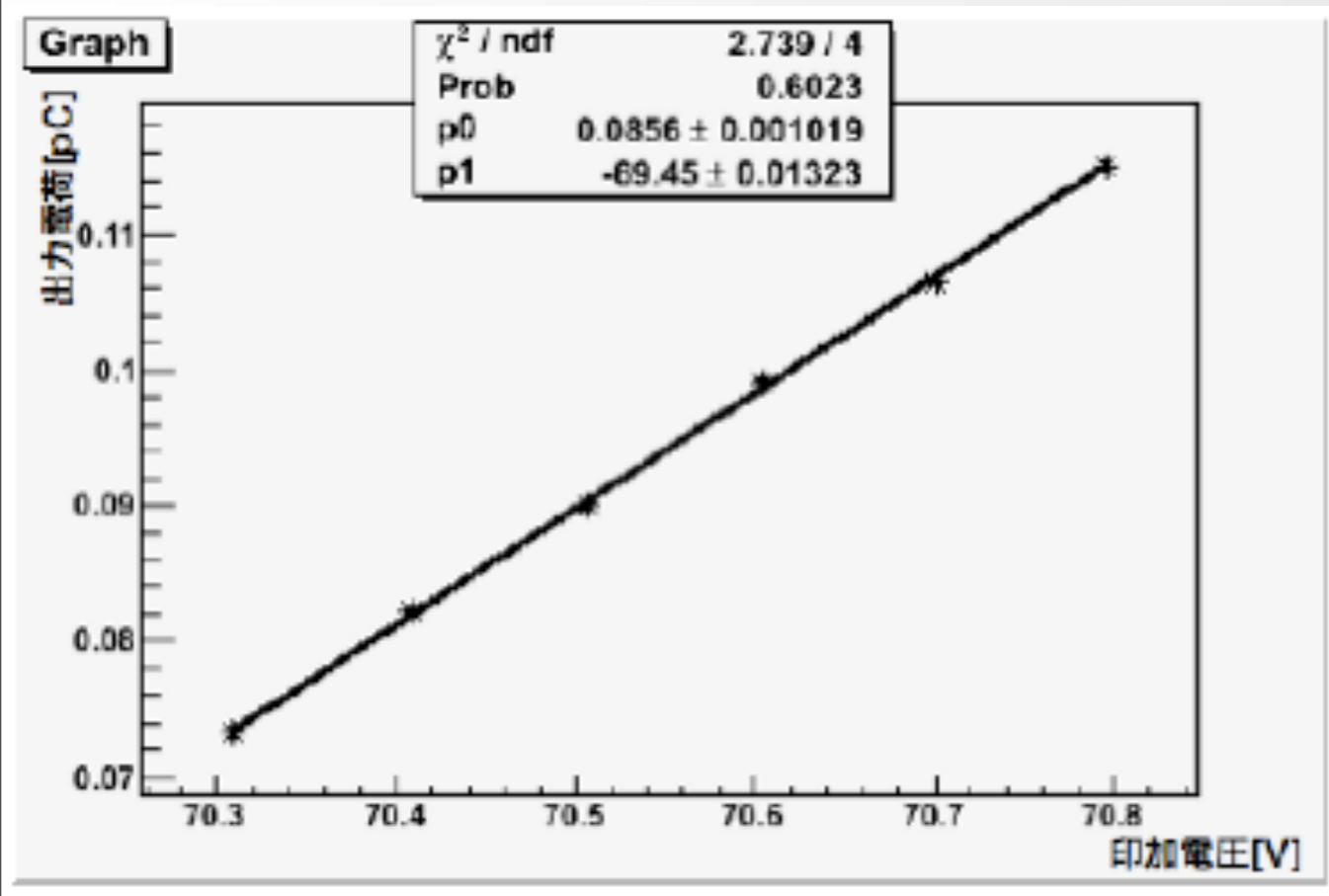
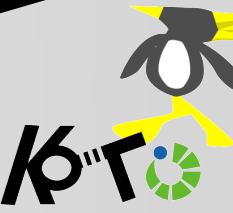


# タイミングカウンター

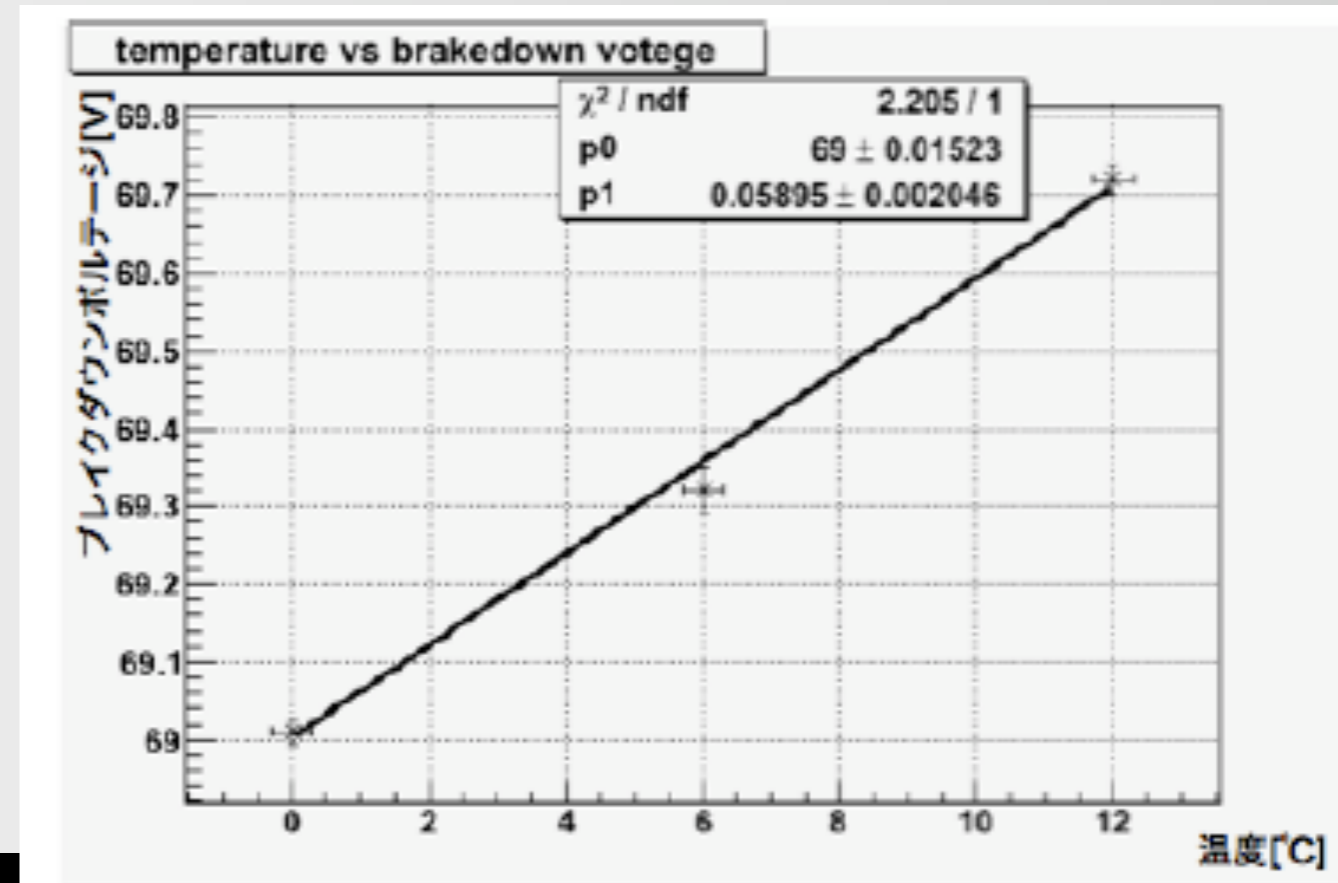


時間分解能140psのタイミングカウンターを使用

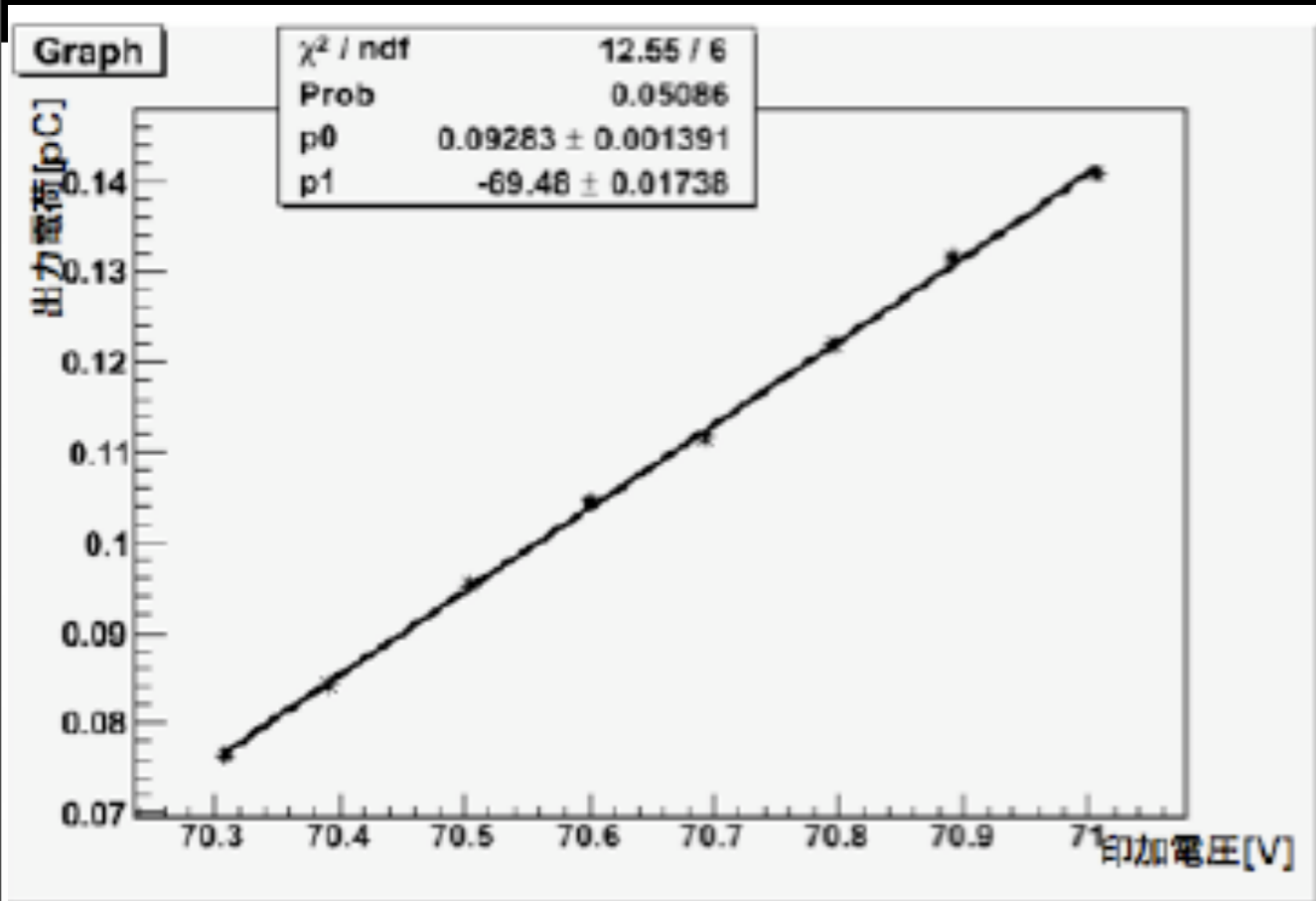
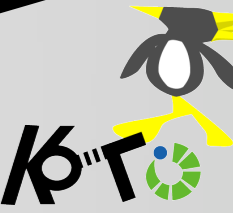
# MPPPC冷却温度～左側～



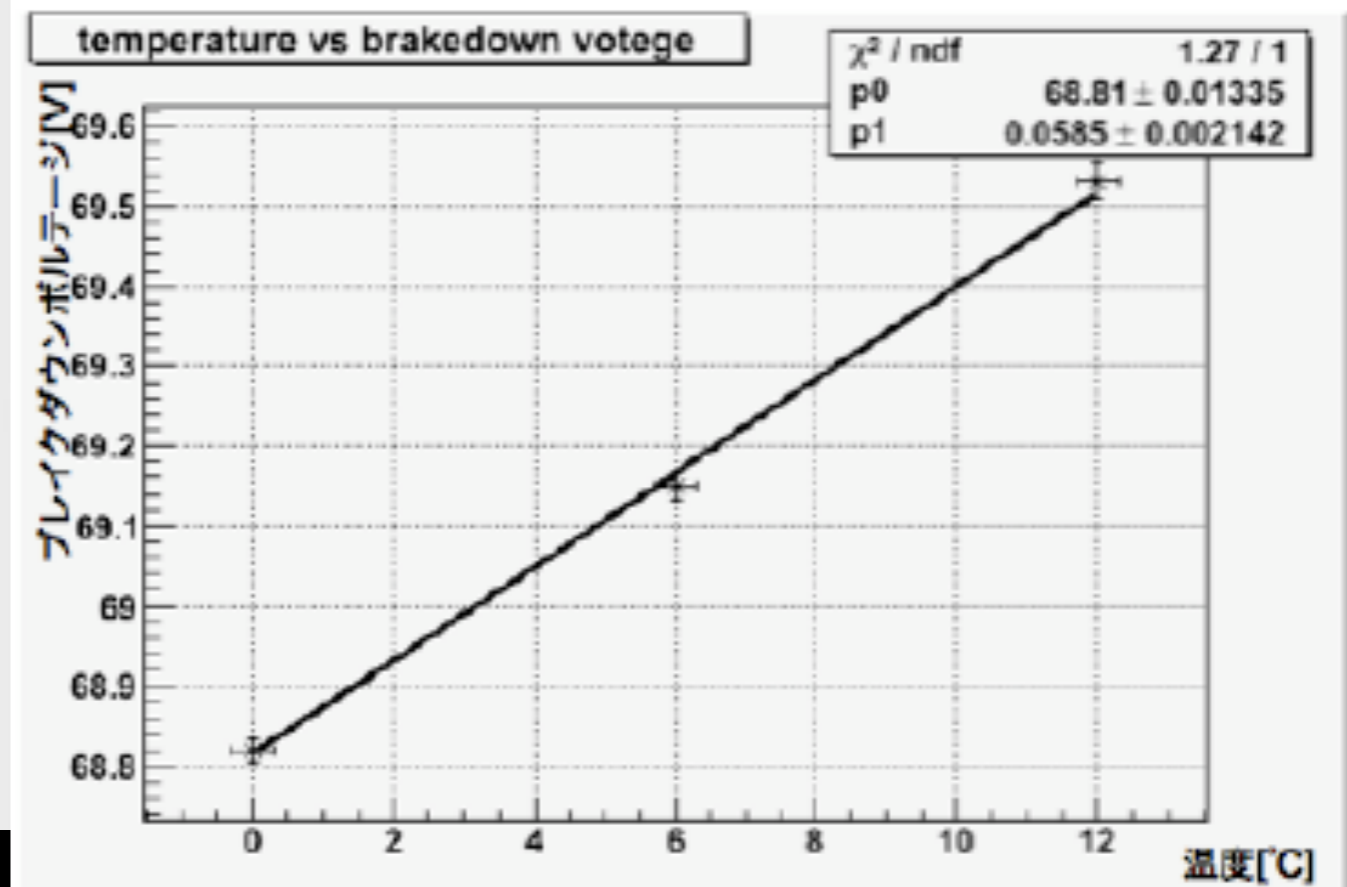
7.6°C



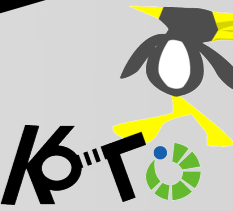
# MPPPC冷却温度～右側～



5.6°C



# MPPCのダークカウントノイズによるロス



$$P_1 = N_d(n) \times T_w$$

timing window 内に

ダークカウントノイズが入る確率

ファイバーの両端のMPPCで

ダークカウントノイズがcoincidenceする確率

$$P_3 = P_1 \times P_2$$

$$P_2 = N_d(n) \times T_f$$

$$loss = 1 - (1 - P_3)^{\frac{N_{CV}}{2}}$$

$$\simeq \{(N_d(n) \times T_w) \times (N_d(n) \times T_f)\} \times \frac{N_{CV}}{2}$$

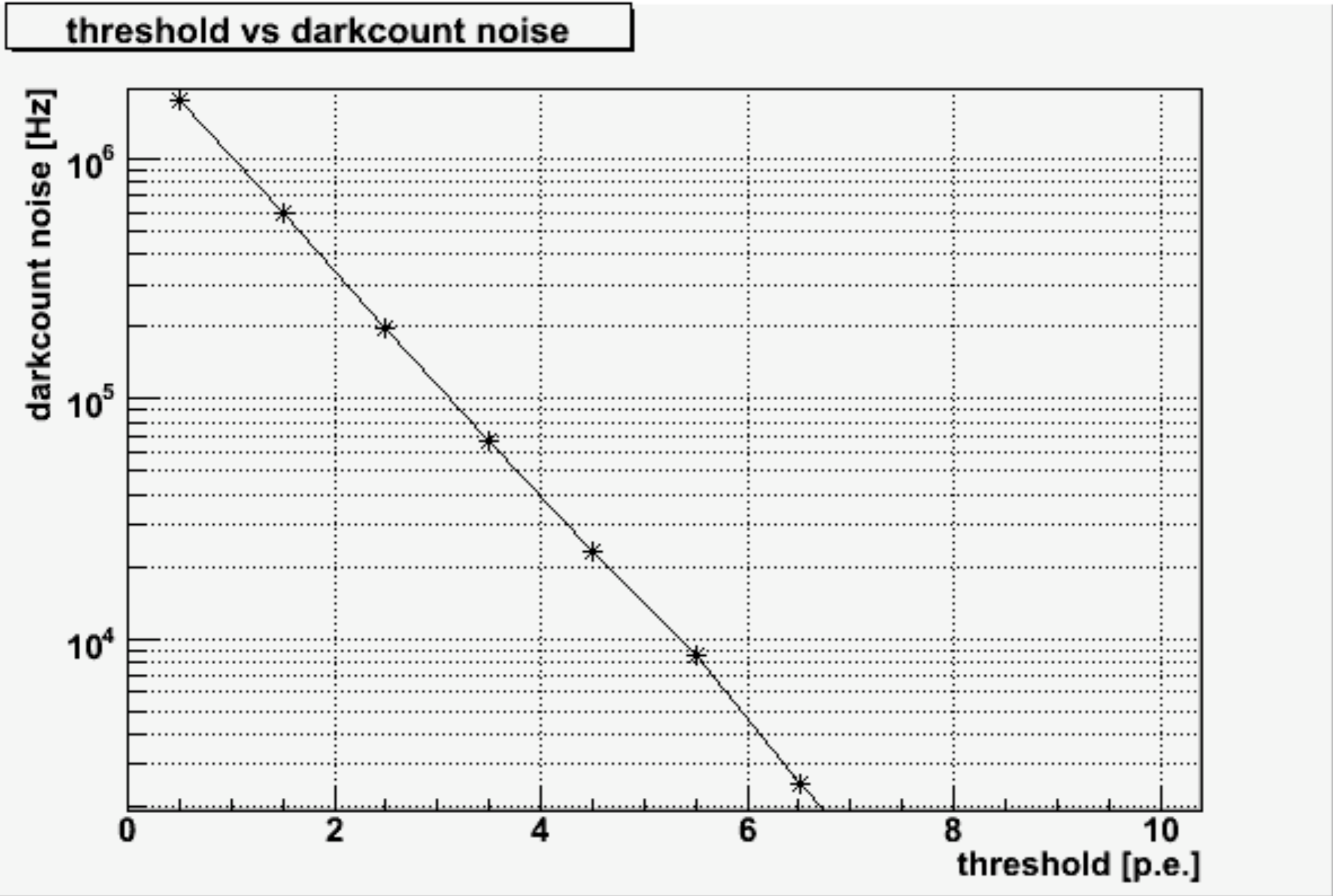
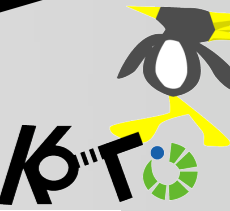
$N_d(n)$ :  $n$  photo electron 閾値でのダークカウントノイズ

$T_w$ : timing windowの幅

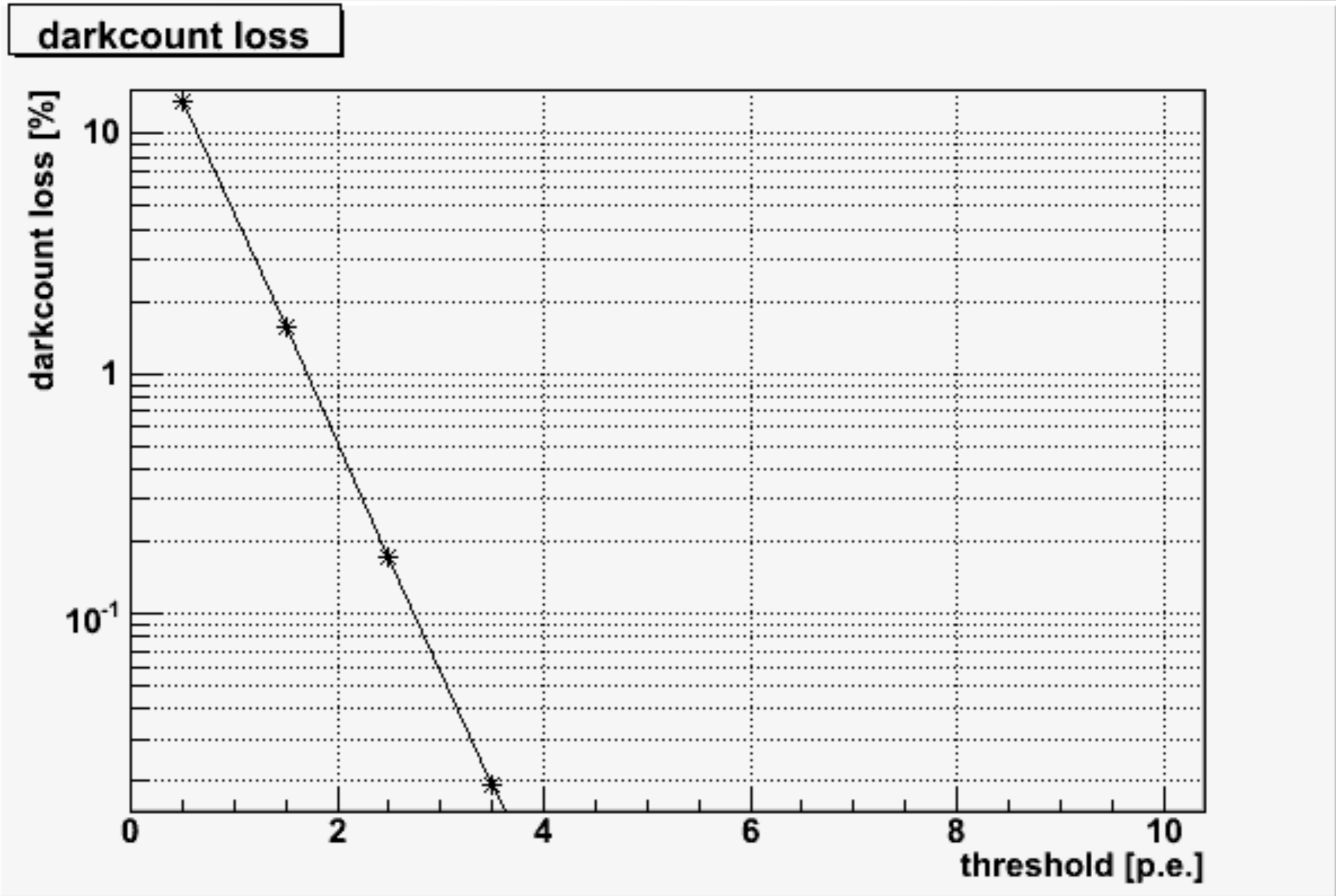
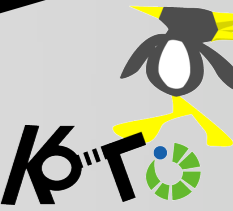
$T_f$ : ファイバー2.5mを光が進む時間x2

$N_{cv}$ : CVの全チャンネル数

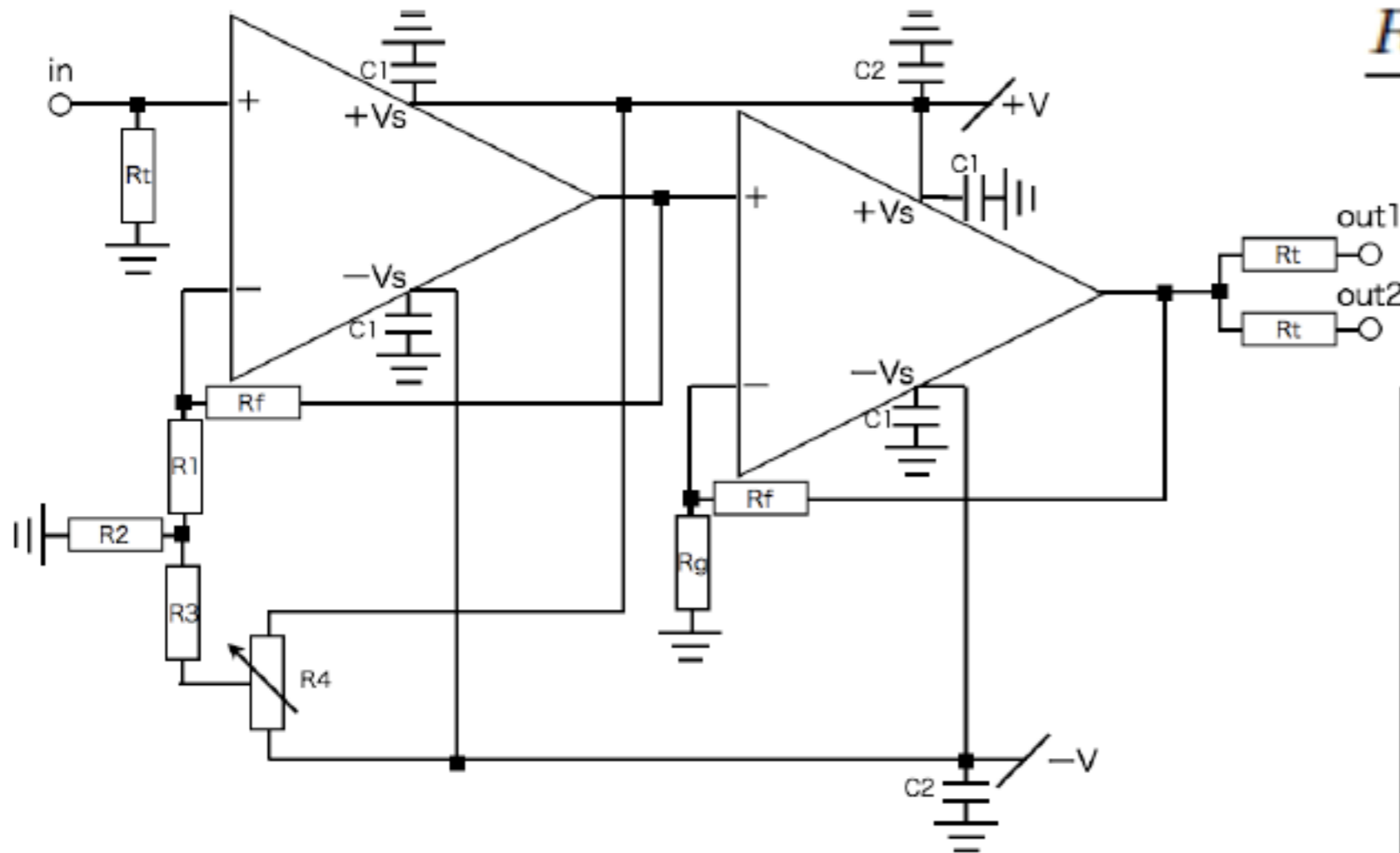
# ビームテスト時のダークカウントノイズ



# ダークカウントノイズによるロス



# アンプ回路図



$$\frac{R_1 + R_2 + R_f}{R_1 + R_2}$$

• 一段目の倍率

$$\frac{R_g + R_f}{R_g}$$

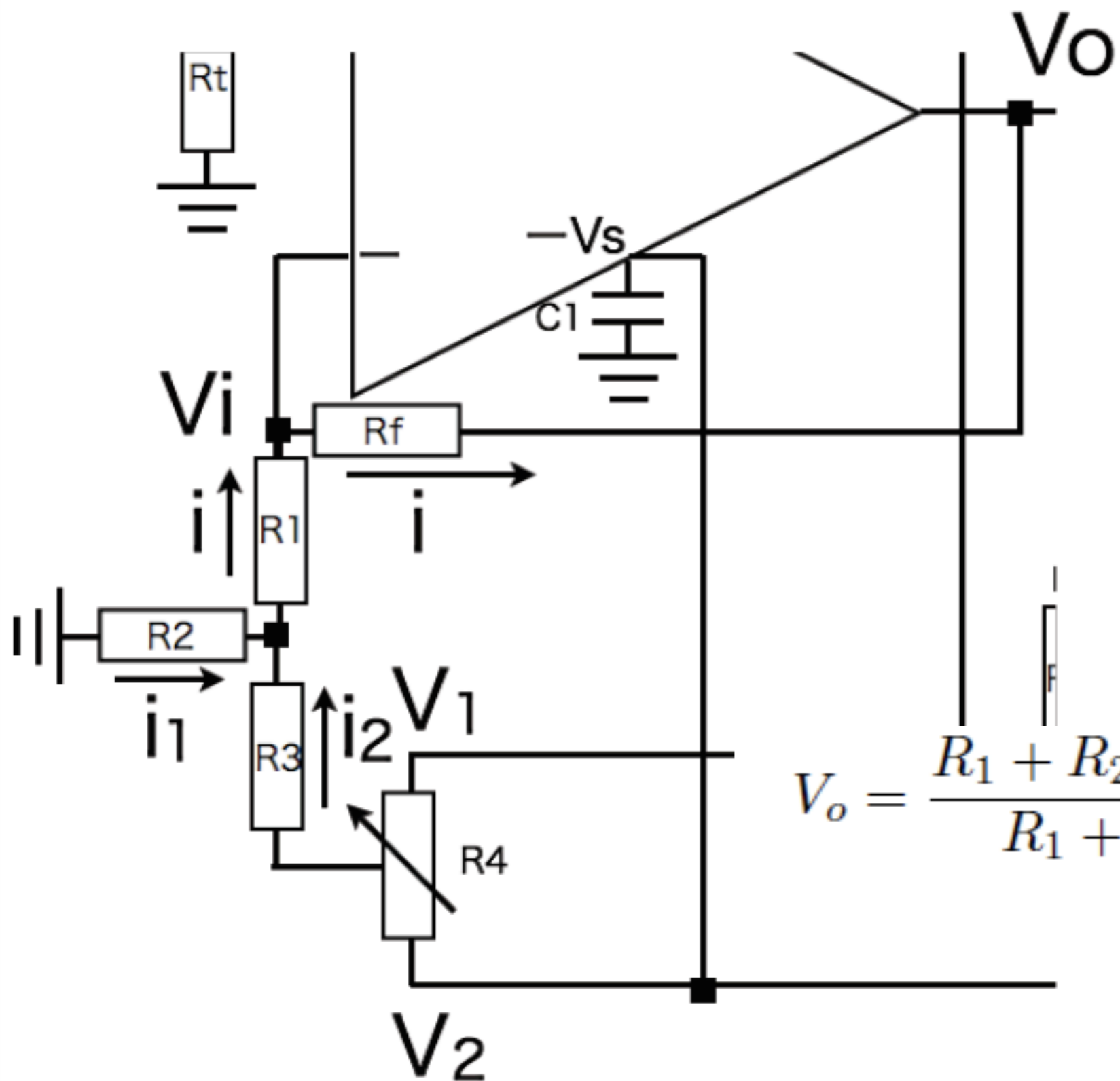
• 二段目の倍率

	値または型番
opamp	AD8001
Rt	51 Ω
Rf	470 Ω
Rg	51 Ω
R1	40 Ω
R2	10 Ω
R3	1k Ω
R4	10k Ω
C1	0.01μF
C2	1μF

- 増倍率53
- 帯域幅150MHz
- ダイナミックレンジ(電圧)0~1V



# オフセット回路の計算



$$i = i_1 + i_2$$

$$R_2 i_1 = R_3 i_2 + V$$

$$V_i = R_1 i + R_2 i_1$$

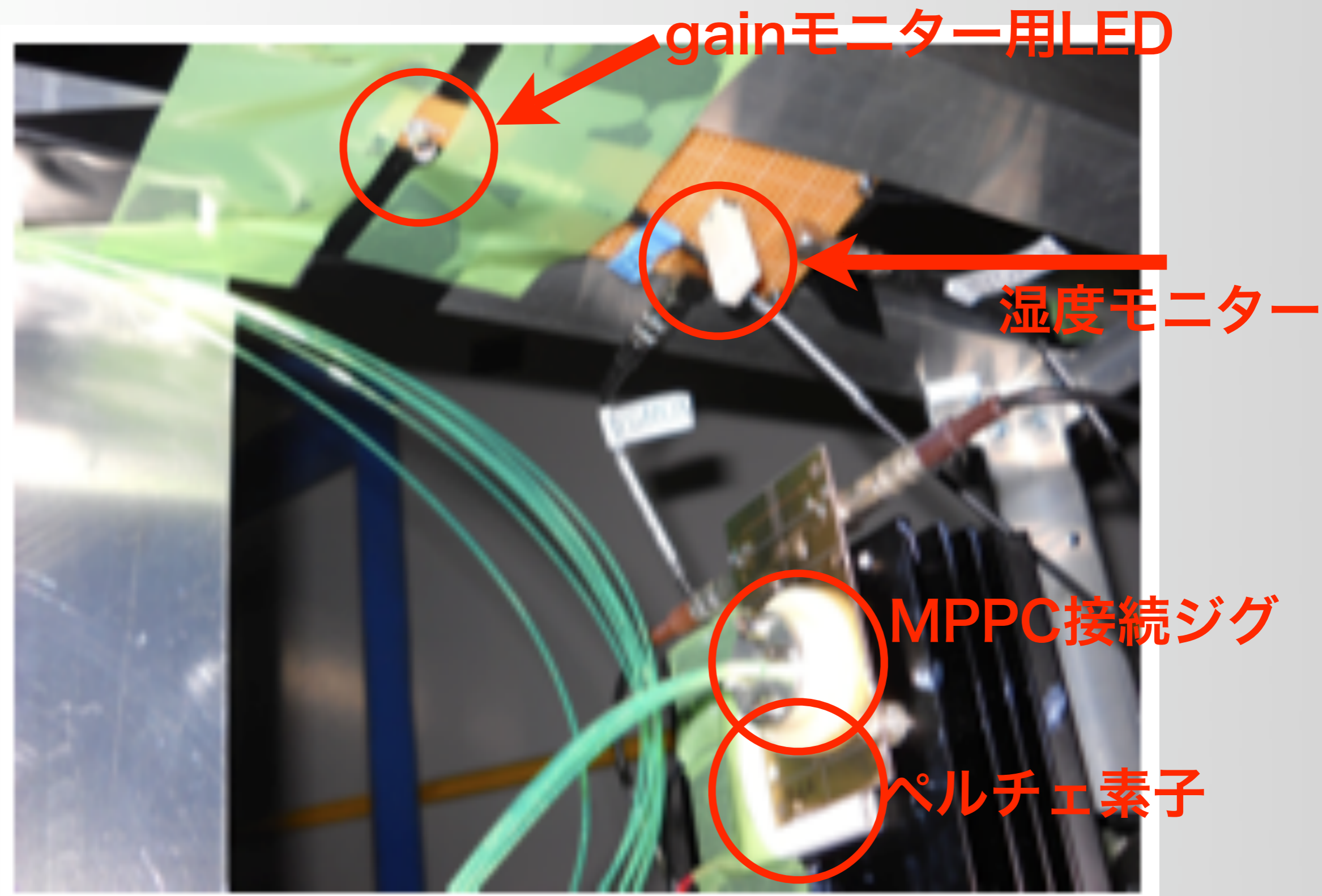
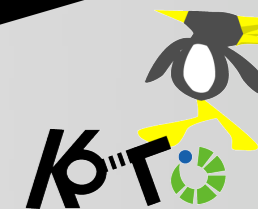
$$V_o = V_i + R_f i$$

- $V = V_1 - V_2$

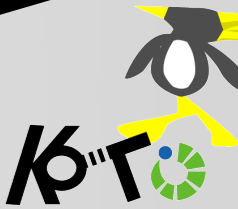
$$R_3 \gg R_2$$

$$V_o = \frac{R_1 + R_2 + R_f}{R_1 + R_2} V_i - \frac{R_f}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_2}{R_3} V$$

# ビームテスト～セットアップ4～



# ビームテスト～セットアップ5～

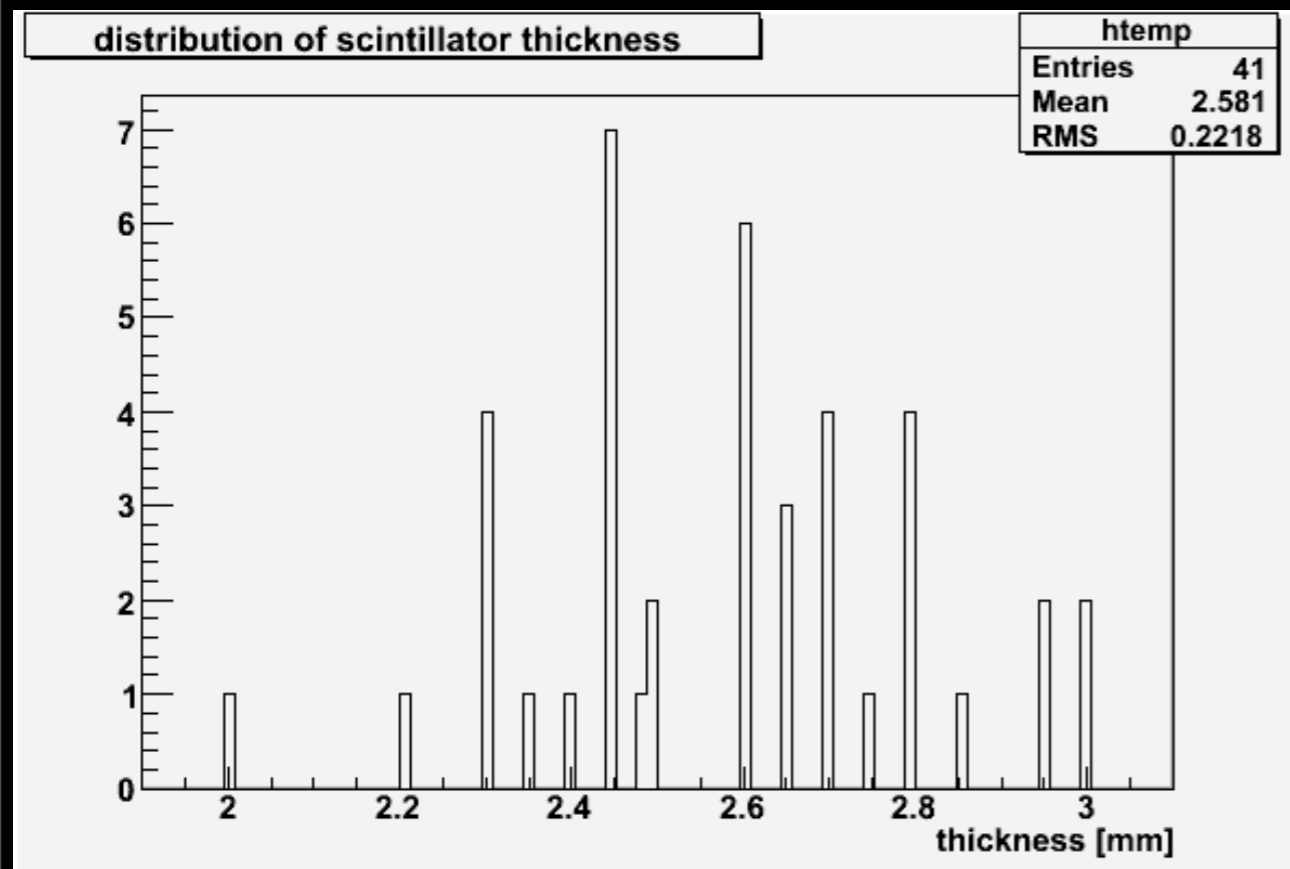


- 湿度モニター
  - MPPCをペルチェ素子で冷却
    - 結露が問題
      - MPPCの周りに乾燥空気を流し込む(湿度20%以下)
        - 湿度モニターが必要
- gainモニター用LED
  - MPPCは電圧が同じでも温度によってgainが変わる
    - gainのモニターが必要

	Kinematic cut & Veto	Cluster shape cut	accidental loss
$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$	2.44	2.05	1.41
$K_L^0 \rightarrow 2\pi^0$	3.00	1.08	0.75
$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	0.25	0.22	0.15
$K_L^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu$	1.45	0.08	0.06
CV- $\eta$	0.58	0.1	0.07
CV- $\pi^0$	6.8	0.23	0.16
CC02- $\pi^0$ [23]	0.33	-	-

# プロトタイプCVで明らかになった問題

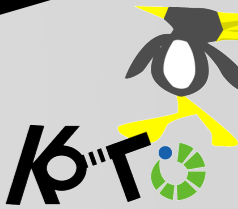
- ・シンチレータは溶剤をガラスの型に流し込み加熱硬化させる  
→シンチレータが大きいと型が歪んで厚みが不均一になる。  
今回は出来るだけ厚みが均一なものを選んで加工してもらった。



← シンチの厚み

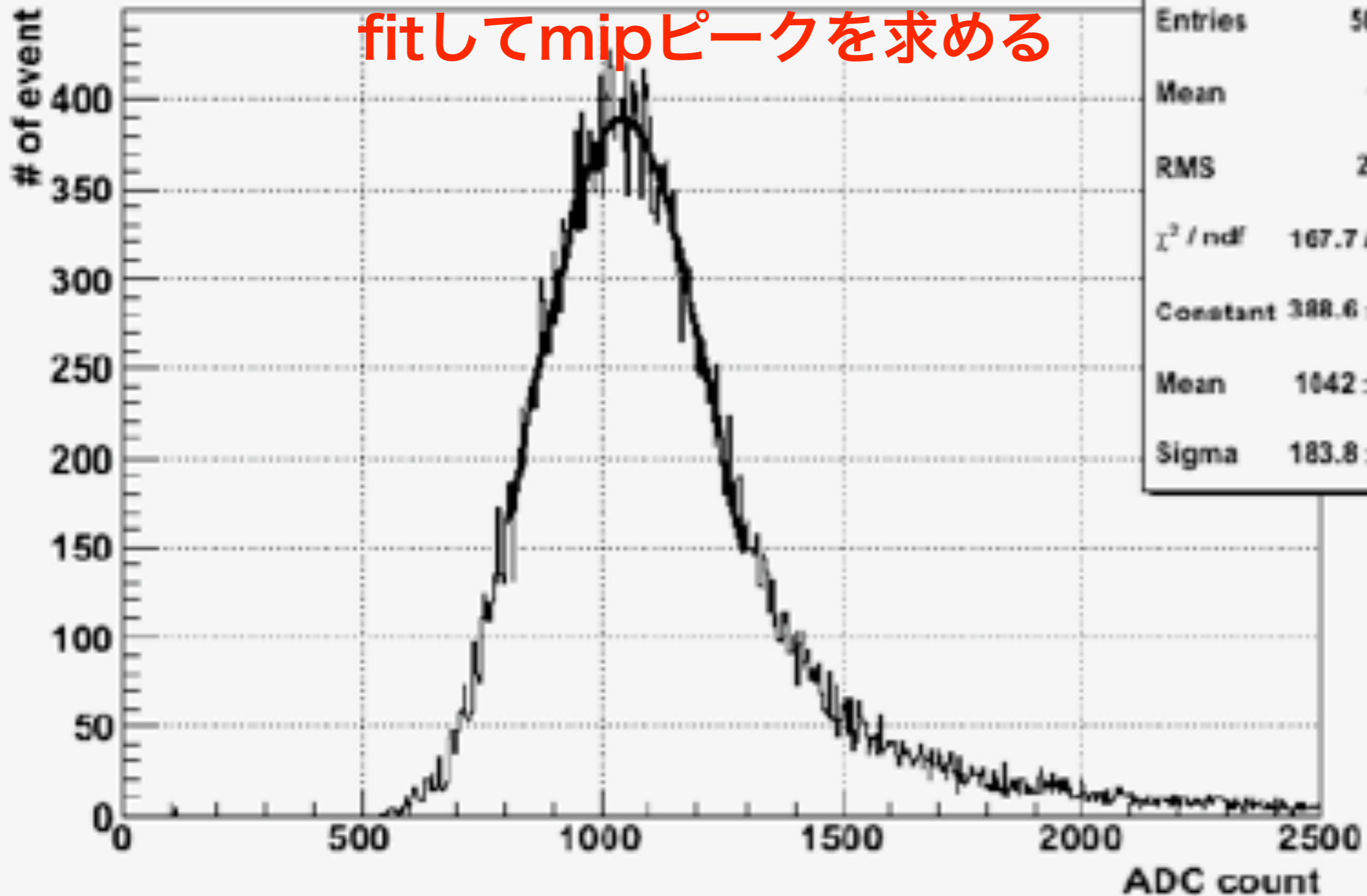
3mmを購入したはずが平均2.6mm,一番薄い所と厚い所で1mmずれている  
→ファイバー用の溝が浅すぎてファイバーが半分程度しか埋まらない場所があった

# 実験結果～光量測定1～



CVL RUN05

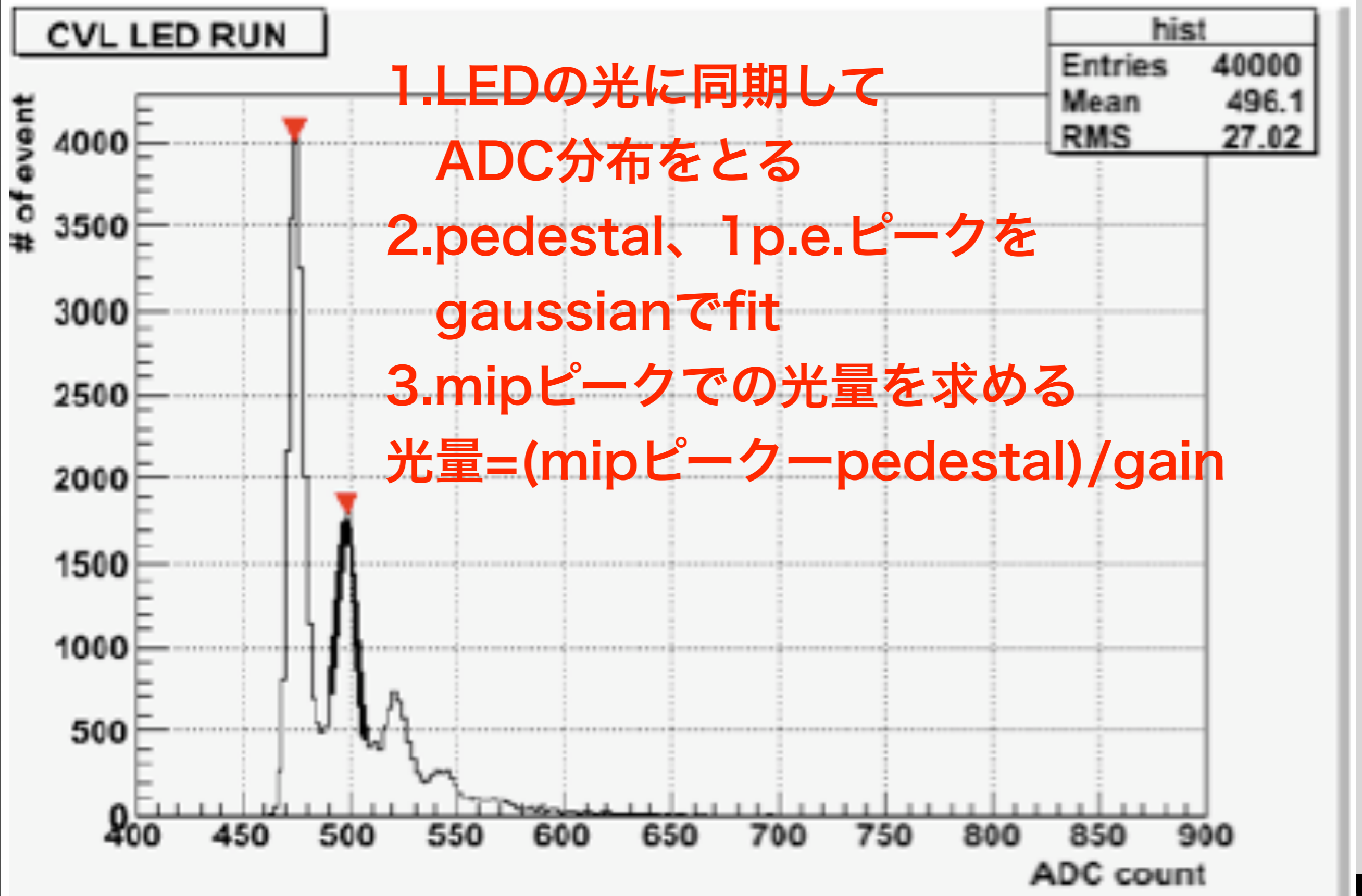
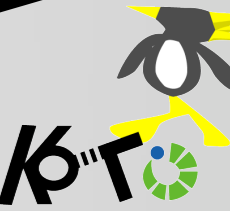
ADC分布をgaussianで  
fitしてmipピークを求める



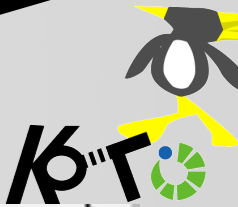
hist

Entries	50000
Mean	1127
RMS	282.4
$\chi^2 / ndf$	167.7 / 122
Constant	$388.6 \pm 3.8$
Mean	$1042 \pm 1.4$
Sigma	$183.8 \pm 1.9$

# 実験結果～光量測定2～



# 実験結果～光量測定3～



1.シミュレーションによって

mipピークのenergyを求める

2.100keV当たりの光量を求める

$$\text{光量}/100\text{keV} = \text{光量}/(\text{mip energy}) \times 100\text{keV}$$

