

KOTO実験に用いる 荷電粒子Veto 検出器の開発

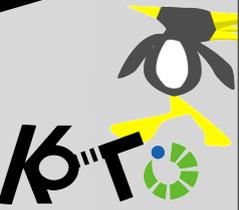
京都大学大学院

高エネルギー物理学研究室

修士 2回生

内藤 大地

CONTENTS



- 荷電粒子veto検出器(CV)
- プロトタイプCVの性能評価
- 結論

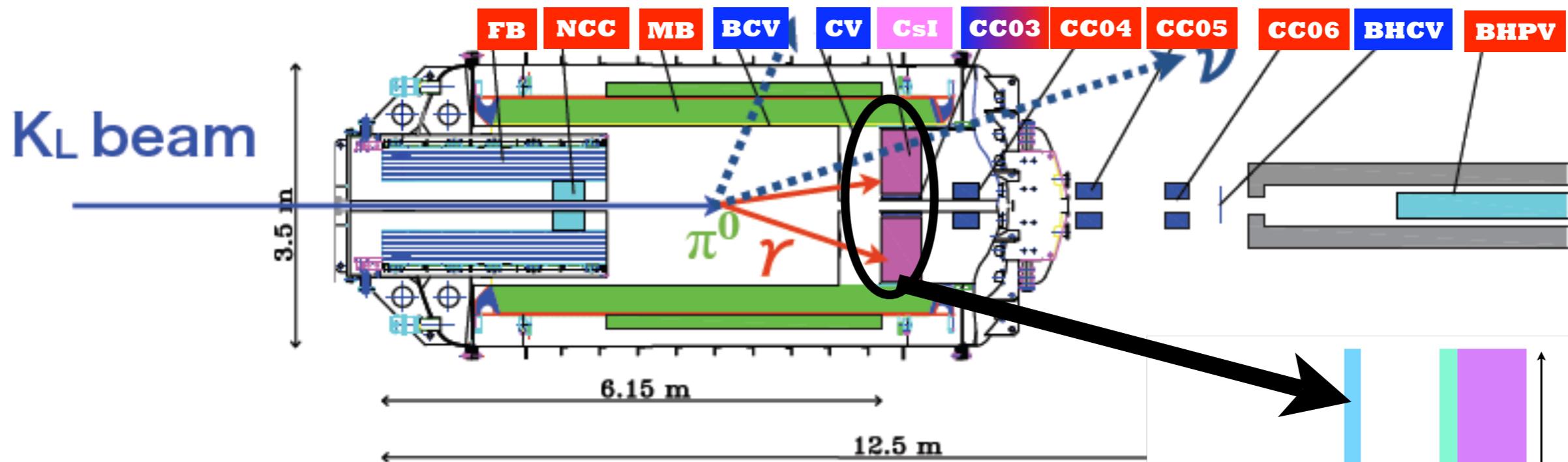
荷電粒子 veto 検出器

- 概要
- 要請～光量～
- 要請～時間分解能～
- CVデザイン

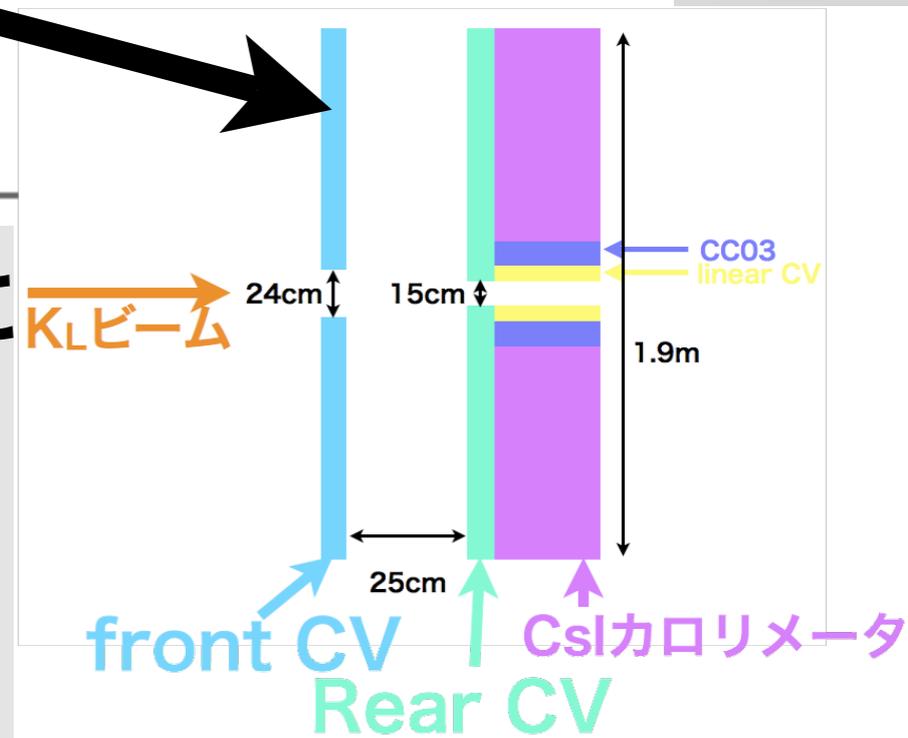
荷電粒子veto検出器の概要



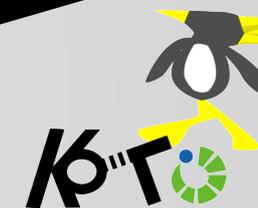
- 荷電粒子veto検出器 → Charged Veto (CV) と略す



- CsI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～光量1～



- CVでは主に $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ のvetoが重要

- バックグラウンドを十分小さくしたい(目標はSMでのsignal 期待値1.41に対して0.15)

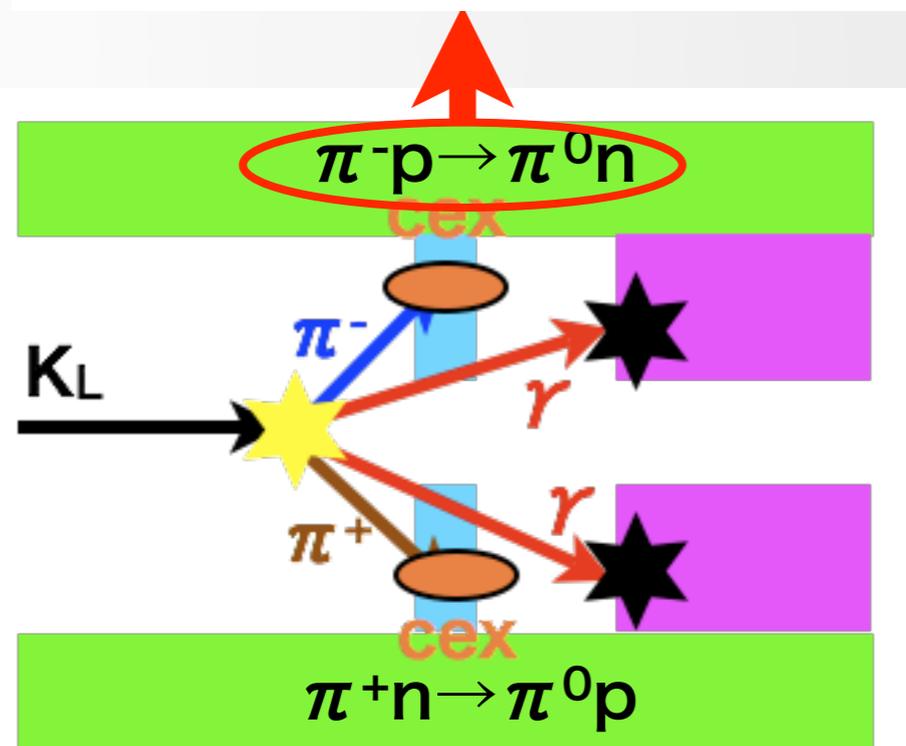
- π^- の不感率を十分小さく($\sim 10^{-4}$ レベル)したい

- 検出器として100keVの検出が必要(荷電交換反応確率 $\sim 10^{-4}$)。

- (point!)実際の検出器が検出する光がpoisson分布に従う

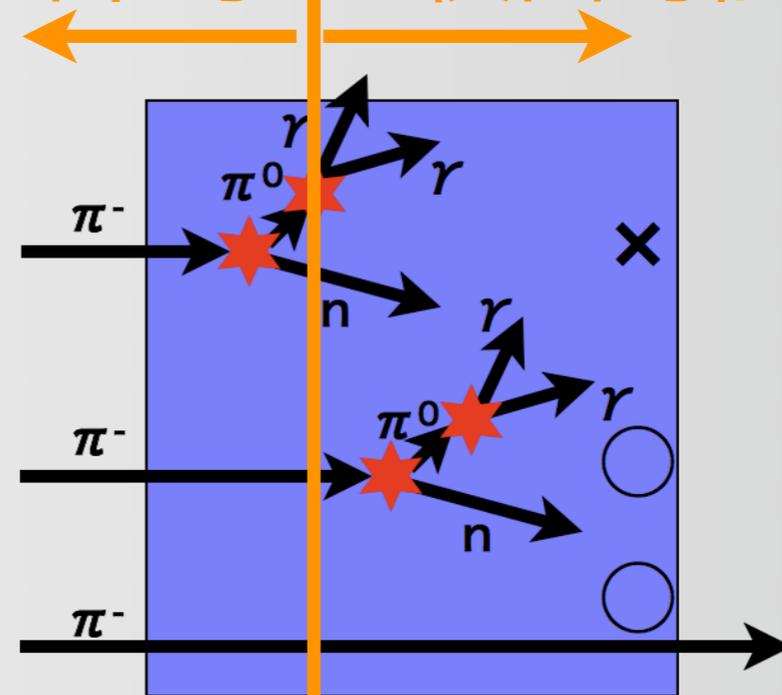
- 検出器として3p.e./100keVが必要

不感になるのが問題



バックグラウンドのメカニズム。
cexは荷電交換反応の意味。

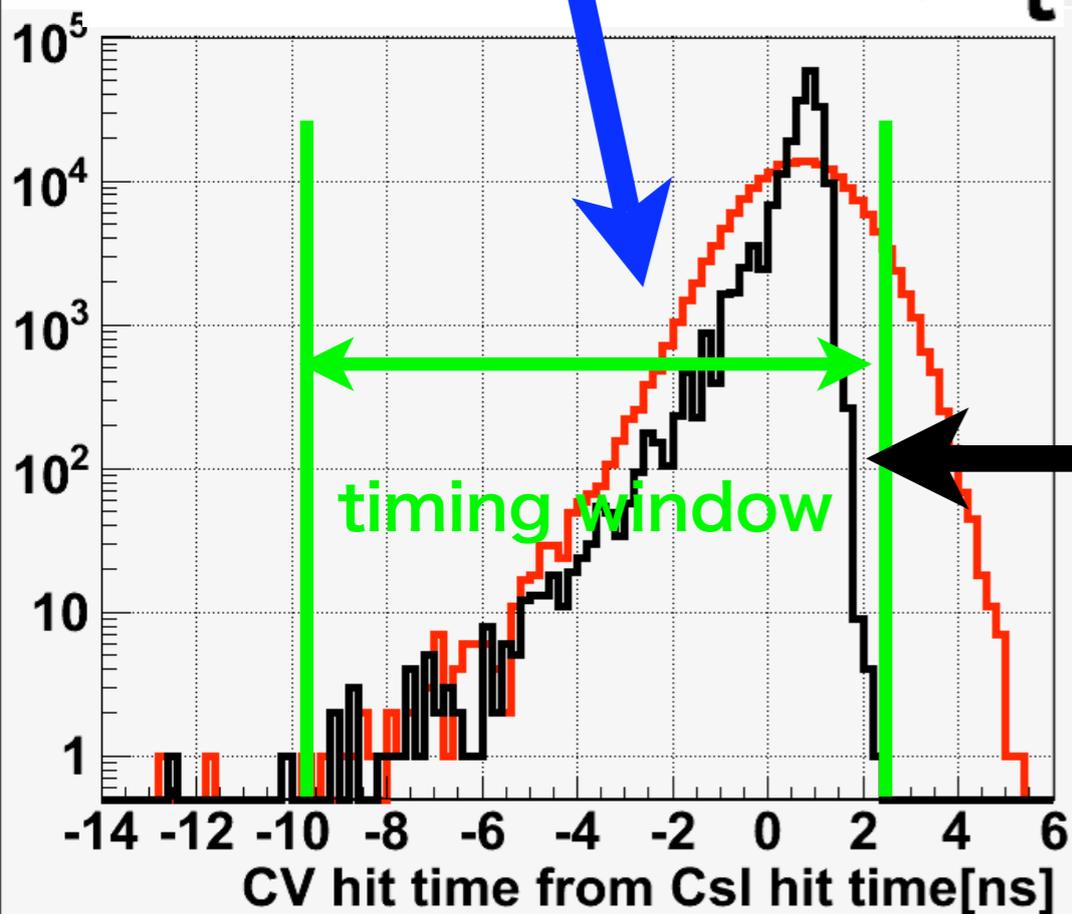
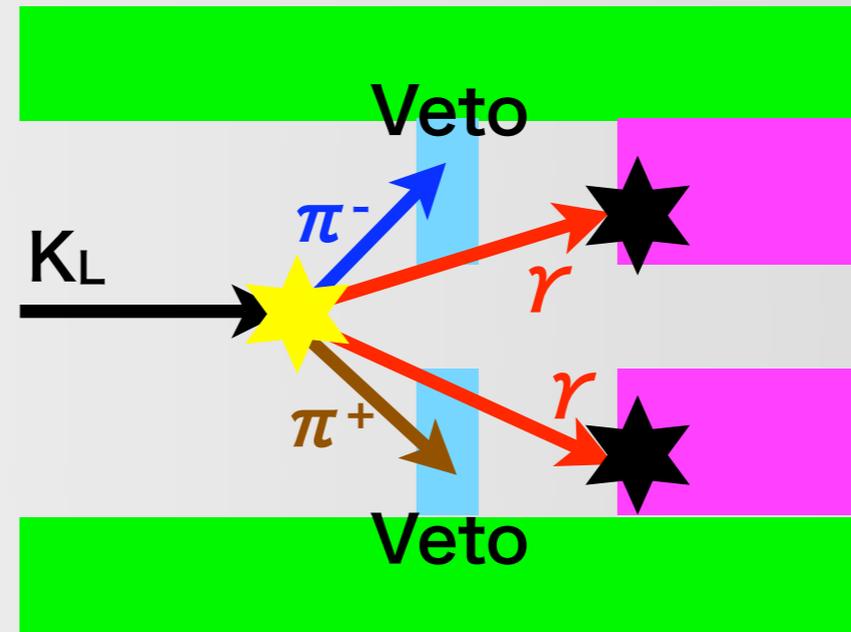
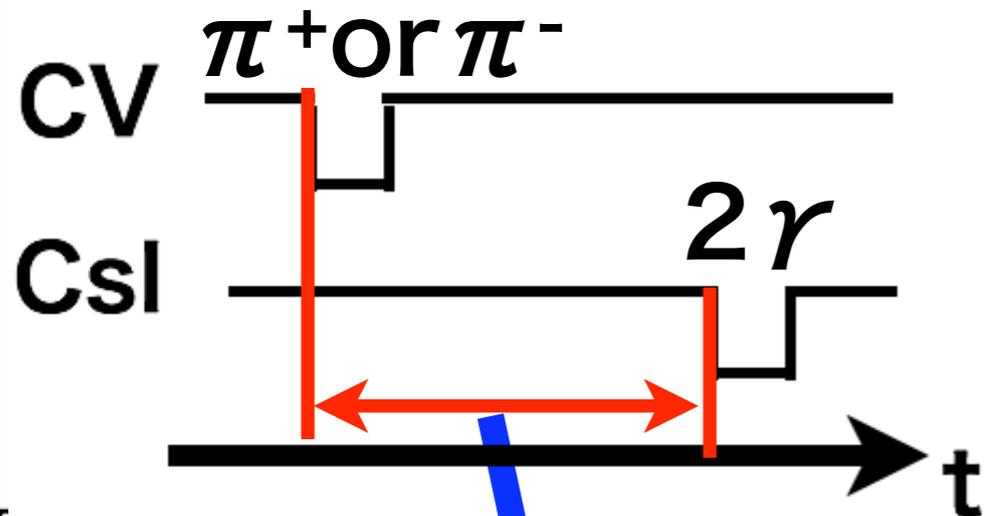
検出不可 ← 検出可能



CVで π^- が不感になるメカニズム

CVへの要請～時間分解能1～

$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ イベントのVeto方法



取りこぼしが 10^{-5} 以下にしたい

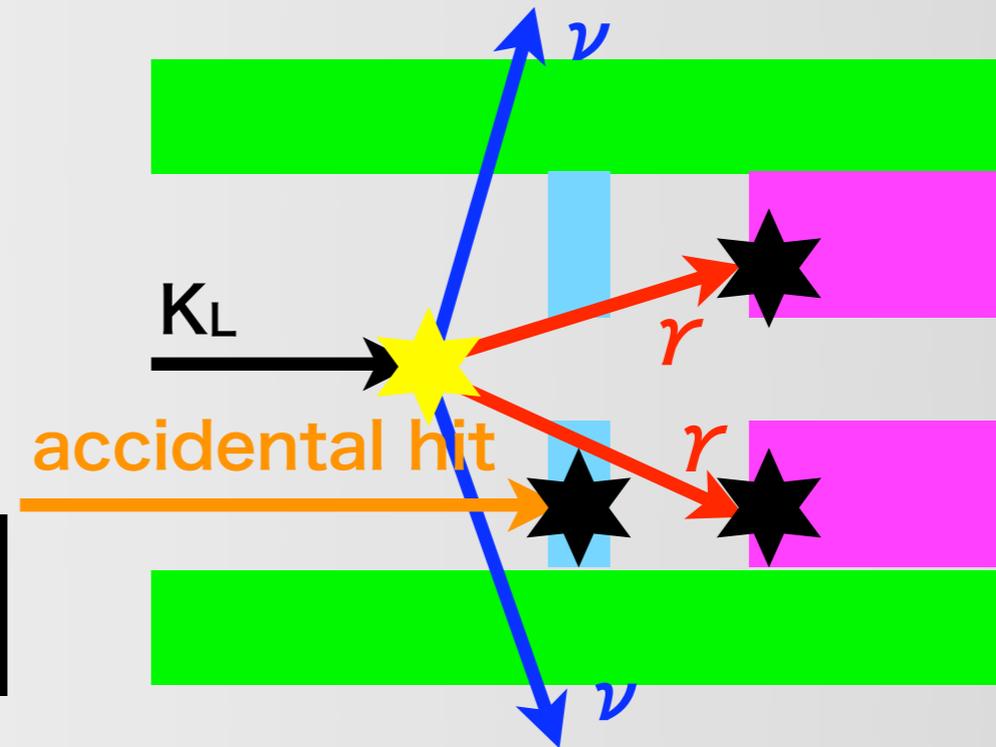
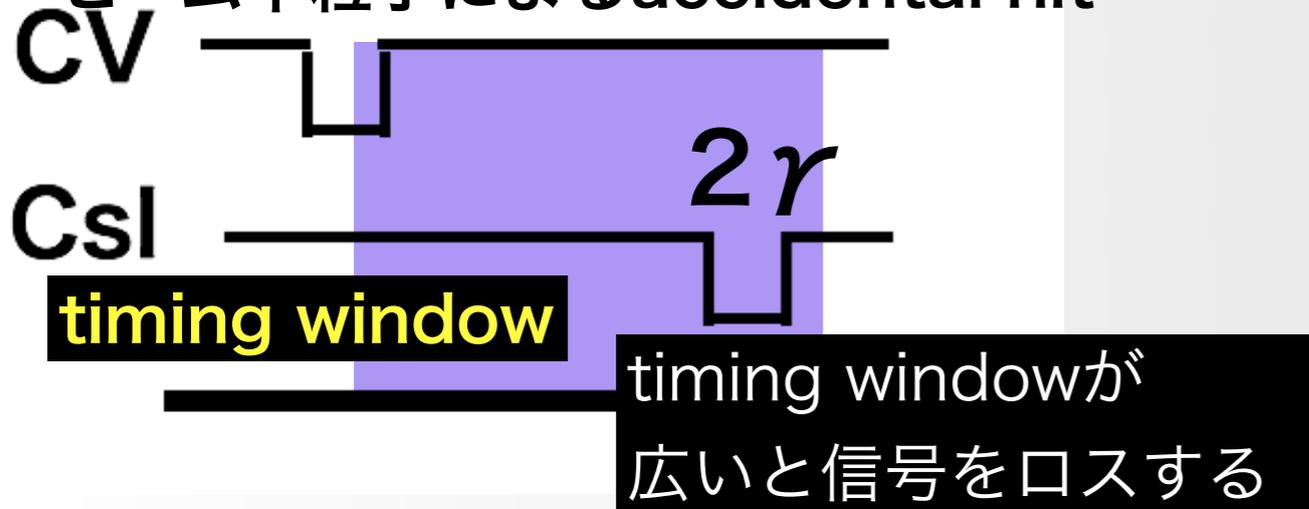
黒:理想的な分布

赤:検出器の時間分解能(1ns)でなまらせた分布

CVへの要請～時間分解能2～

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ イベント時

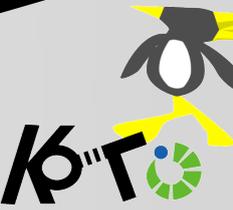
ビーム中粒子による accidental hit



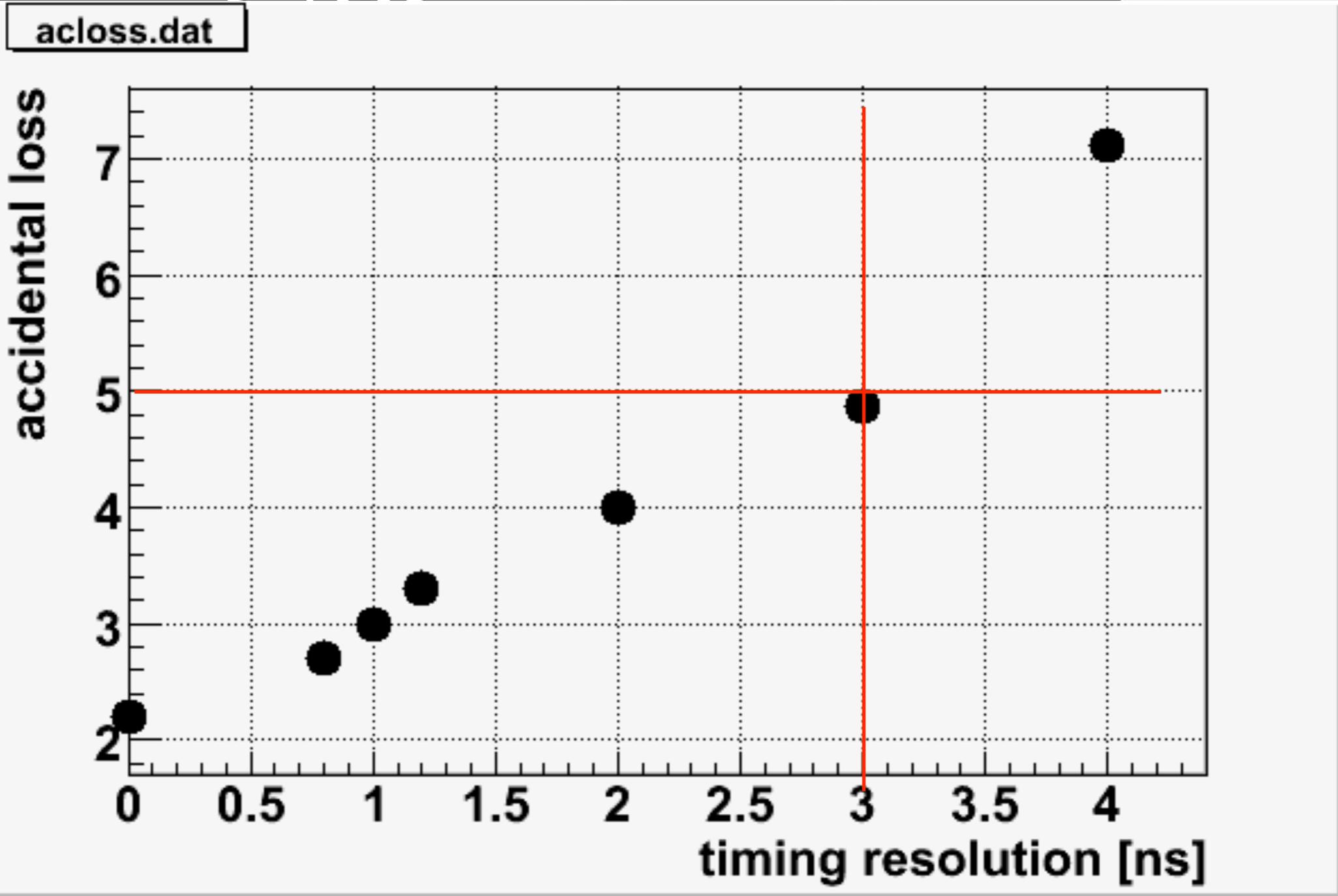
$$\text{accidental loss} = \frac{\text{accidental hit rate} \times \text{timing window}}{=} = 1.77\text{MHz}$$

	理想的な場合	時間分解能 1ns
timing window	12.5ns	17ns
accidental loss	2.2%	3%

CVへの要請～時間分解能2～

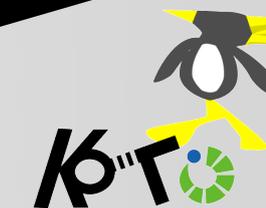


$K_L \rightarrow \pi^0$
ビーム中
CV
Csl
timing w



accidental lossを5%以下にするには
3ns以下の時間分解能が必要。

CVデザイン

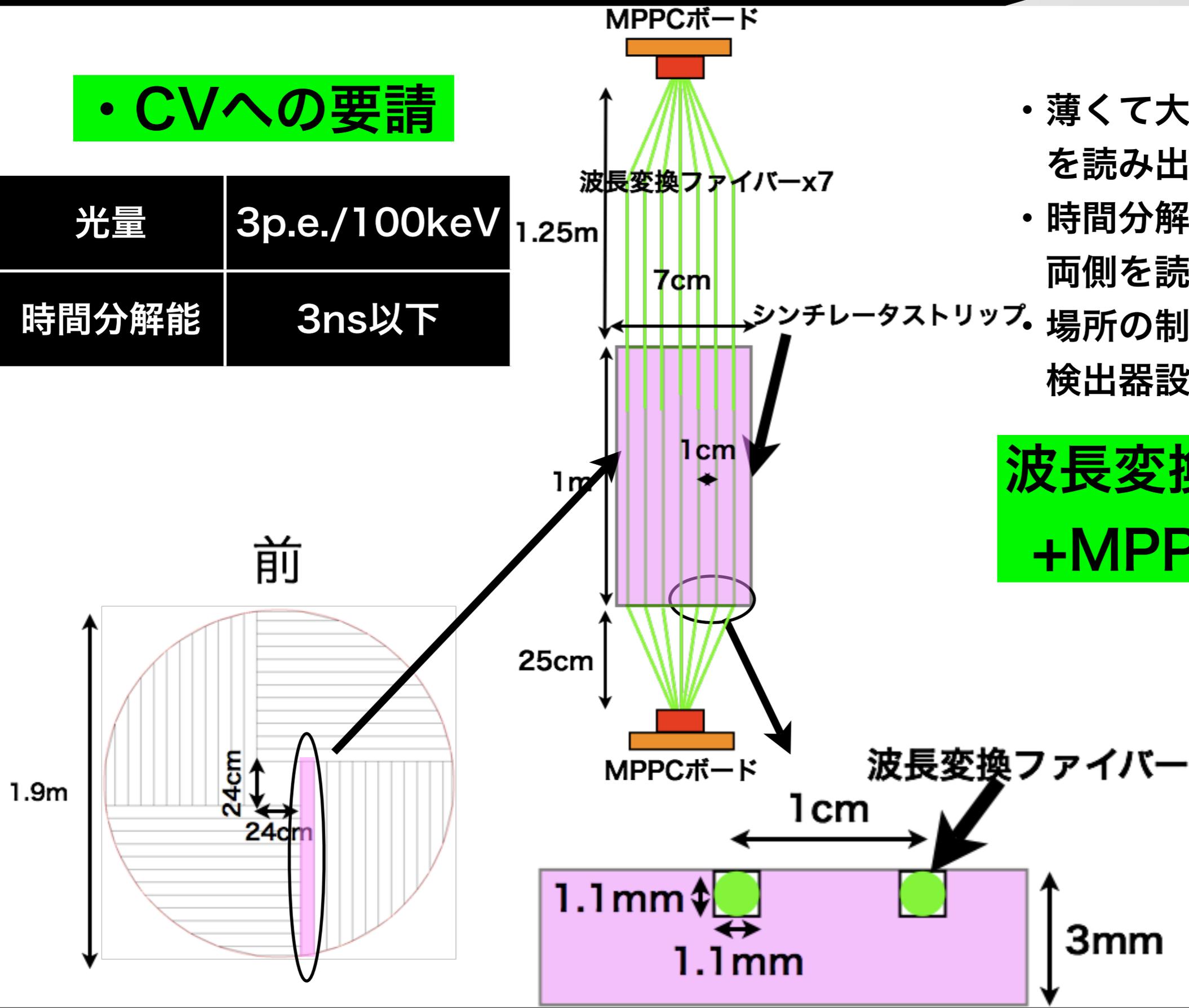


・CVへの要請

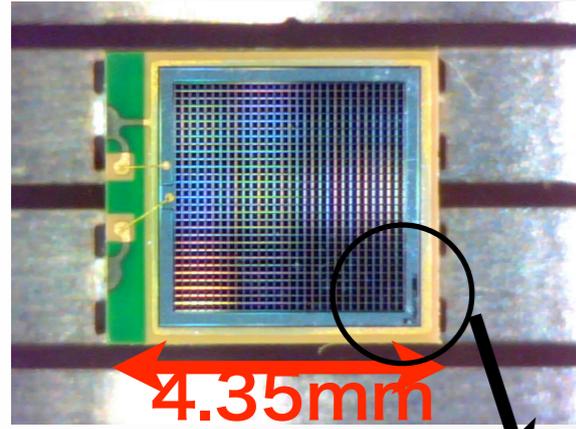
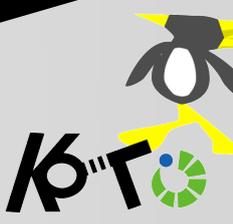
光量	3p.e./100keV
時間分解能	3ns以下

- ・ 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)

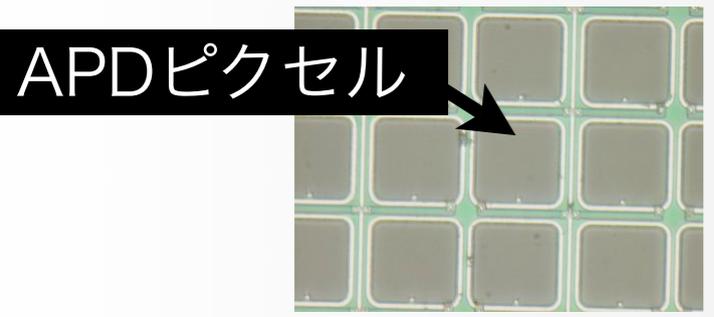
**波長変換ファイバー
+MPPC読み出し**



MPPC

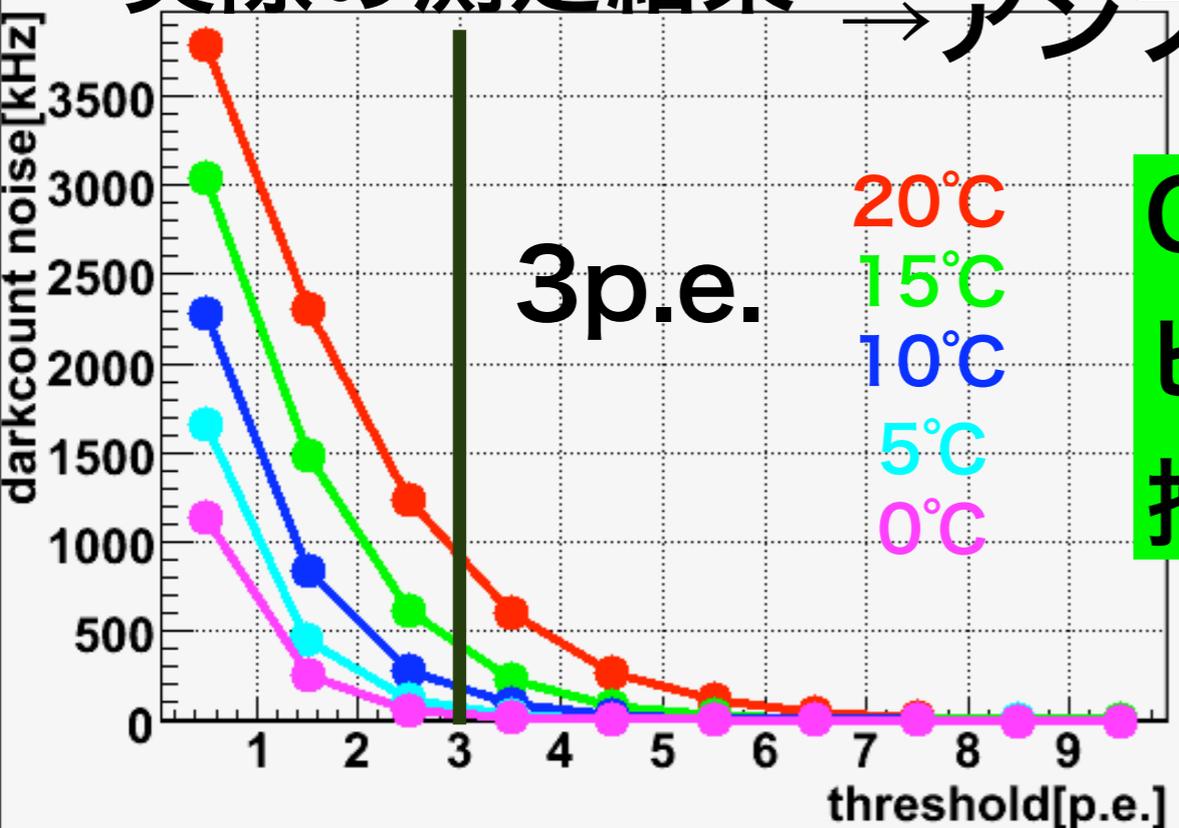


- 浜松ホトニクス社で開発された半導体光検出器
 - 小型、安価、高い量子効率を持つ
 - 熱電子由来のノイズ(ダークカウントノイズ)が1 photo electron相当で数百kHz~数MHz存在
 - PMTに比べてgainが低い



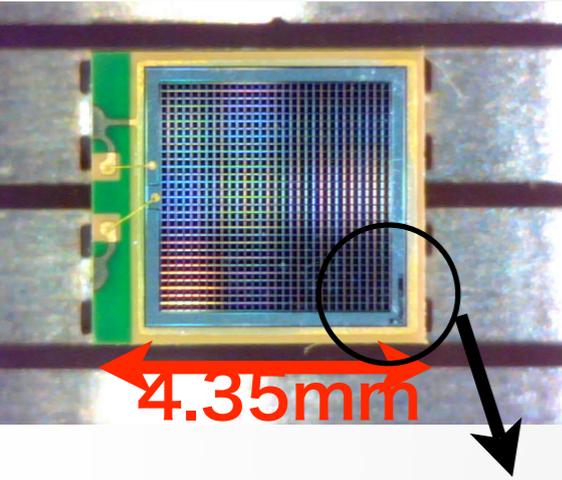
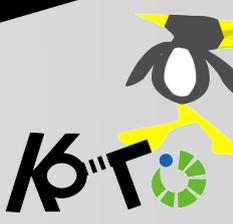
実際の測定結果

→ アンプでの増幅が必要



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の使用を検討

MPPPC



- 浜松ホトニクス社で開発された半導体光検出器
 - 小型、安価、高い量子効率を持つ
 - 熱電子由来のノイズ(ダークカウントノイズ)が1 photo electron相当で数百kHz~

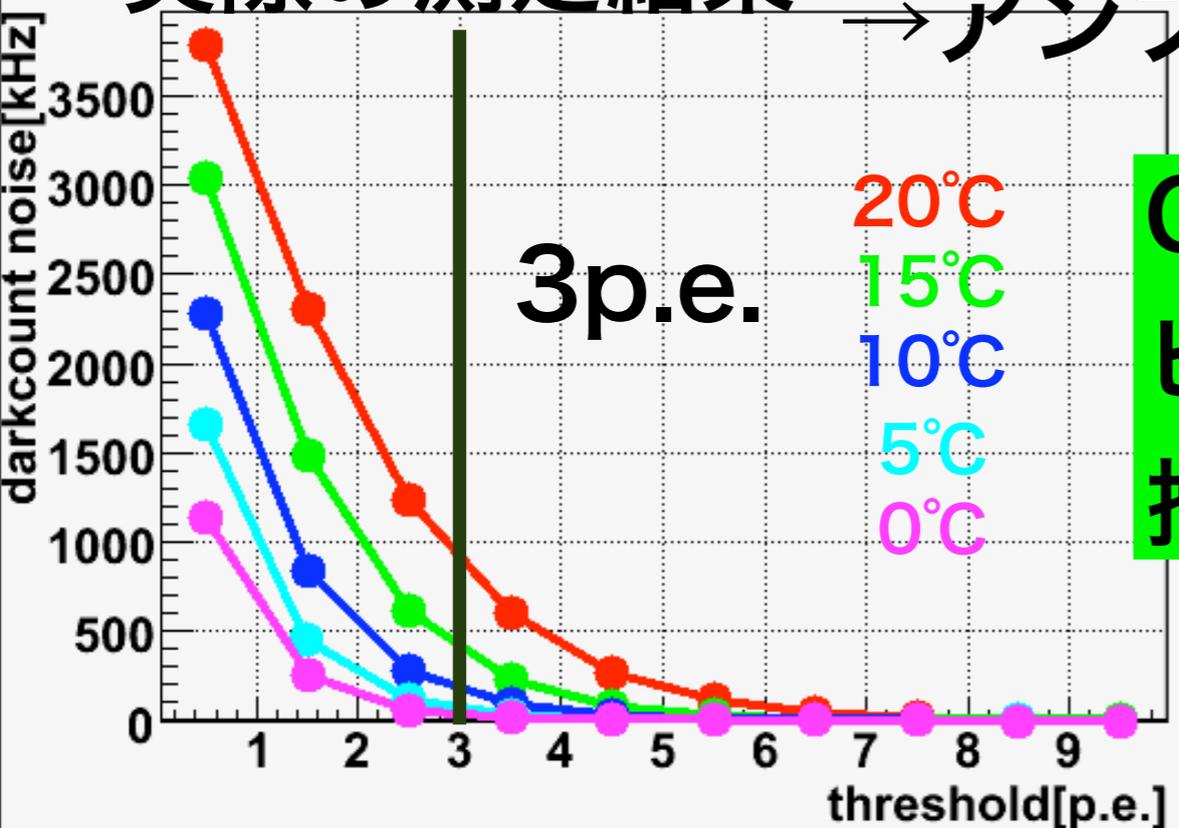
APDピクセル

CVではMPPPCを冷却して使用する

- PMTに比べてgainが低い

実際の測定結果

→ アンプでの増幅が必要

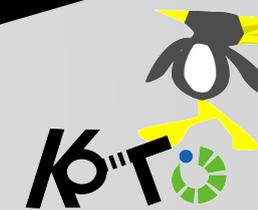


CVでは現在 $(50\mu\text{m})^2$ のAPDピクセル、 $(3\text{mm})^2$ の有感領域を持つ表面実装型MPPPCの使用を検討

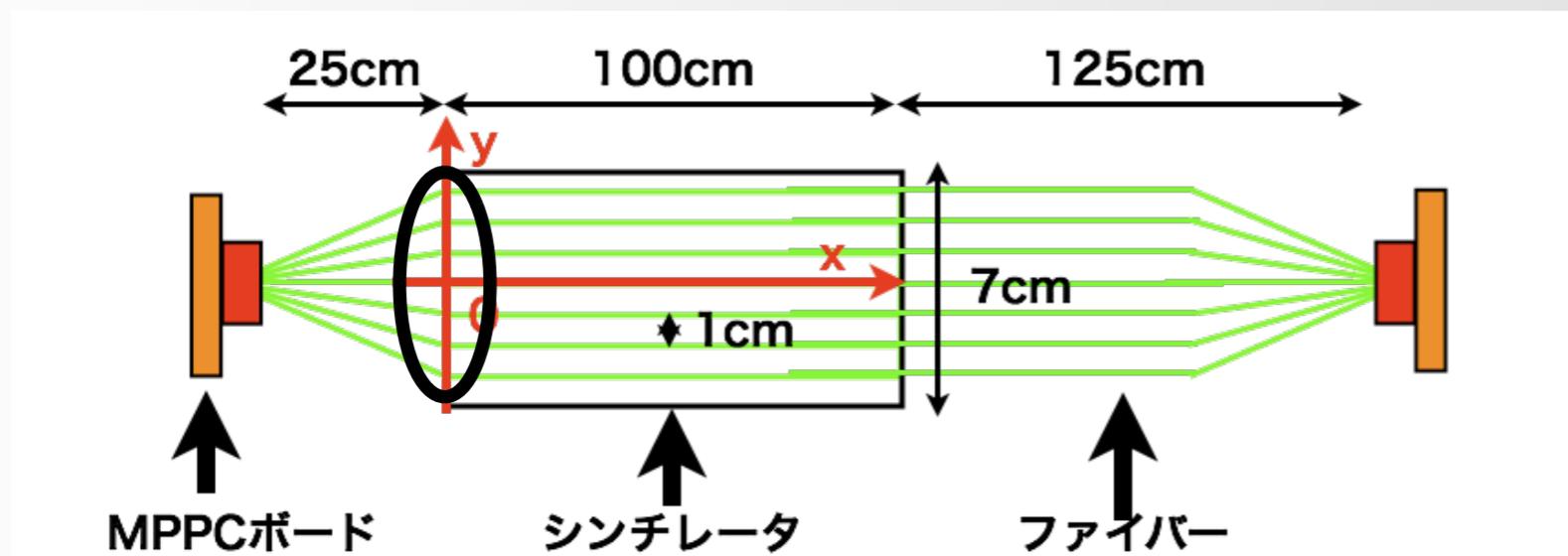
プロトタイプCVの 性能評価試験

- 実験目的
- 実験セットアップ
- 実験結果

ビームテスト～目的～

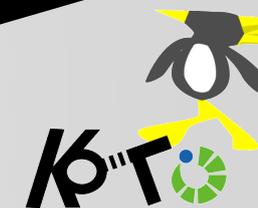


- CVの中で一番大きいシンチレータストリップの性能評価
→ 光量が一番落ちる場所があるのがこの部分

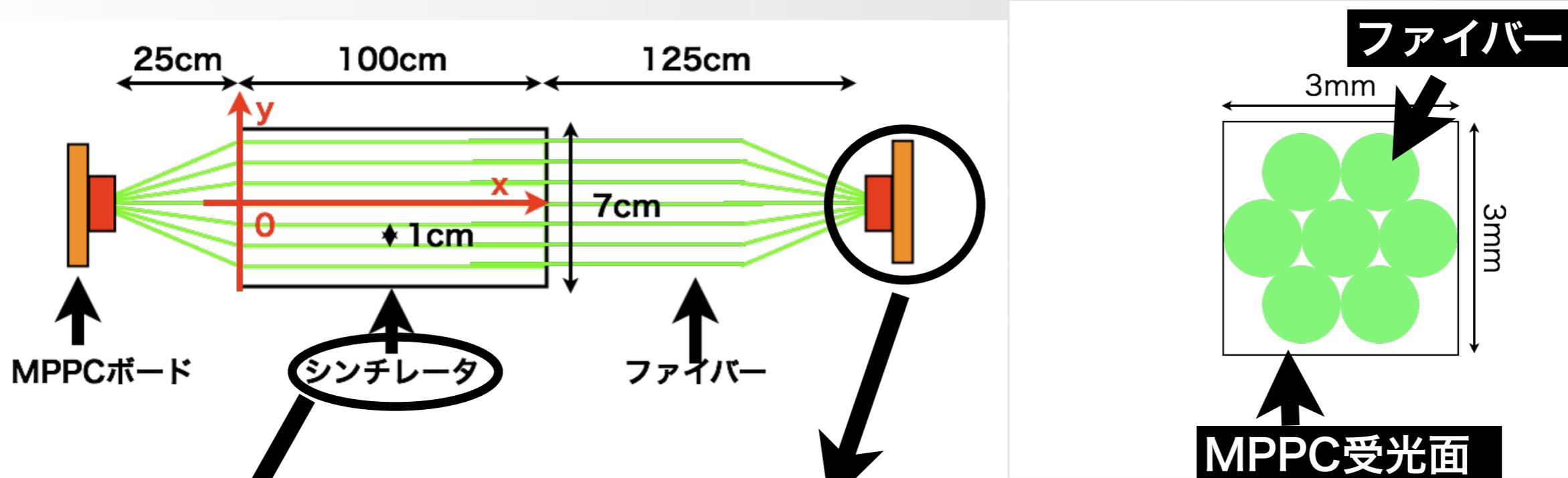


- 時間分解能3ns以下、光量3p.e./100keV以上が出るか
check

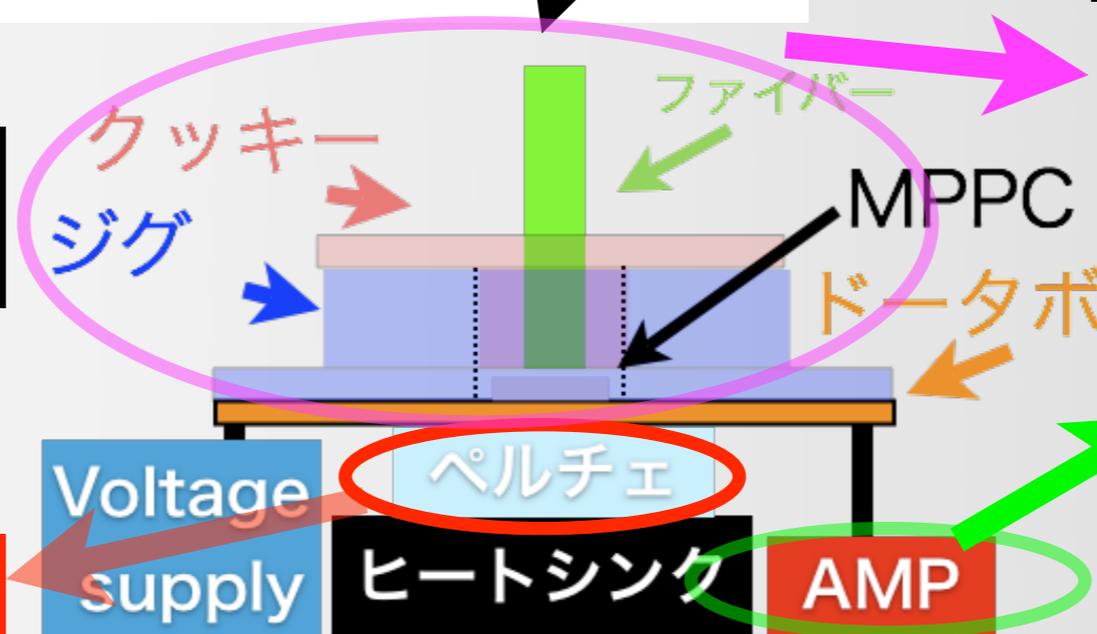
ビームテスト～セットアップ1～



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

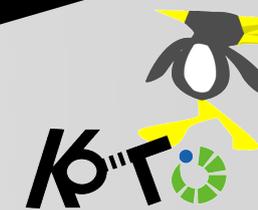


シミュレーションをして
接続方法考案

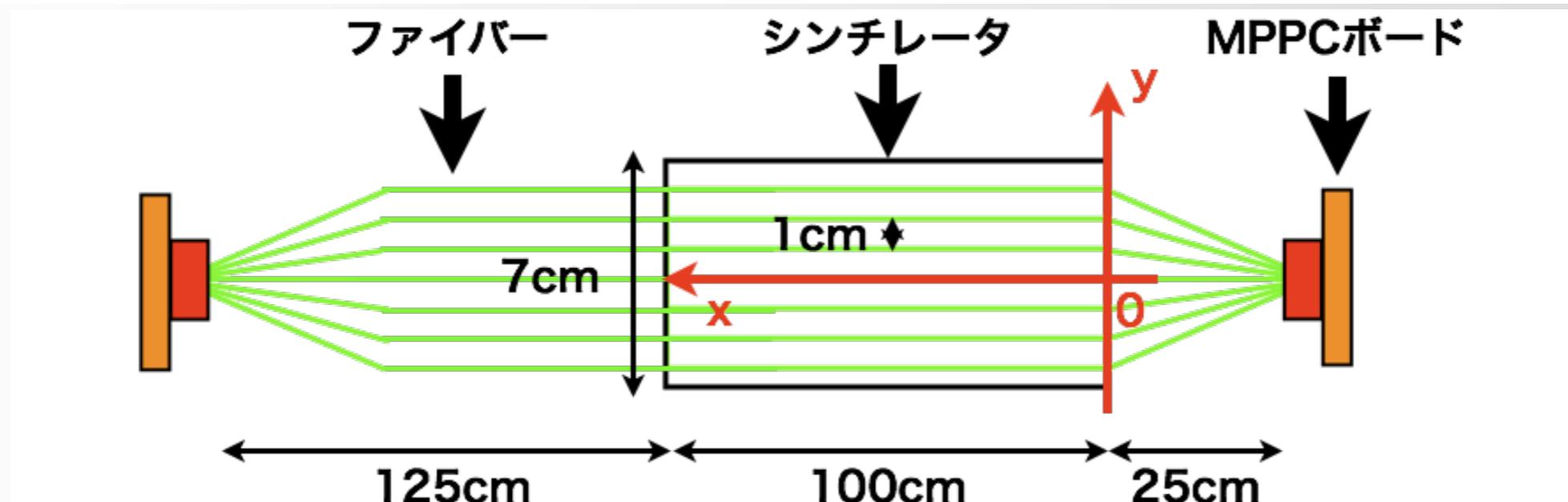
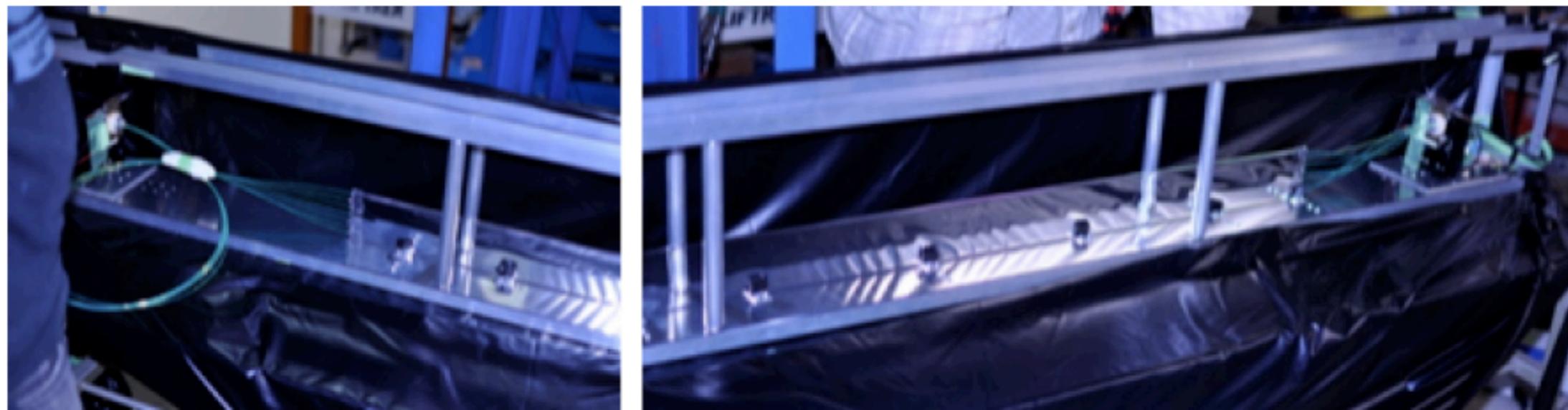
冷却テスト
→MPPCを～5°Cまで冷却

ビームテストで要求性能
見積もり
→50倍高速アンプ自作

ビームテスト～セットアップ2～

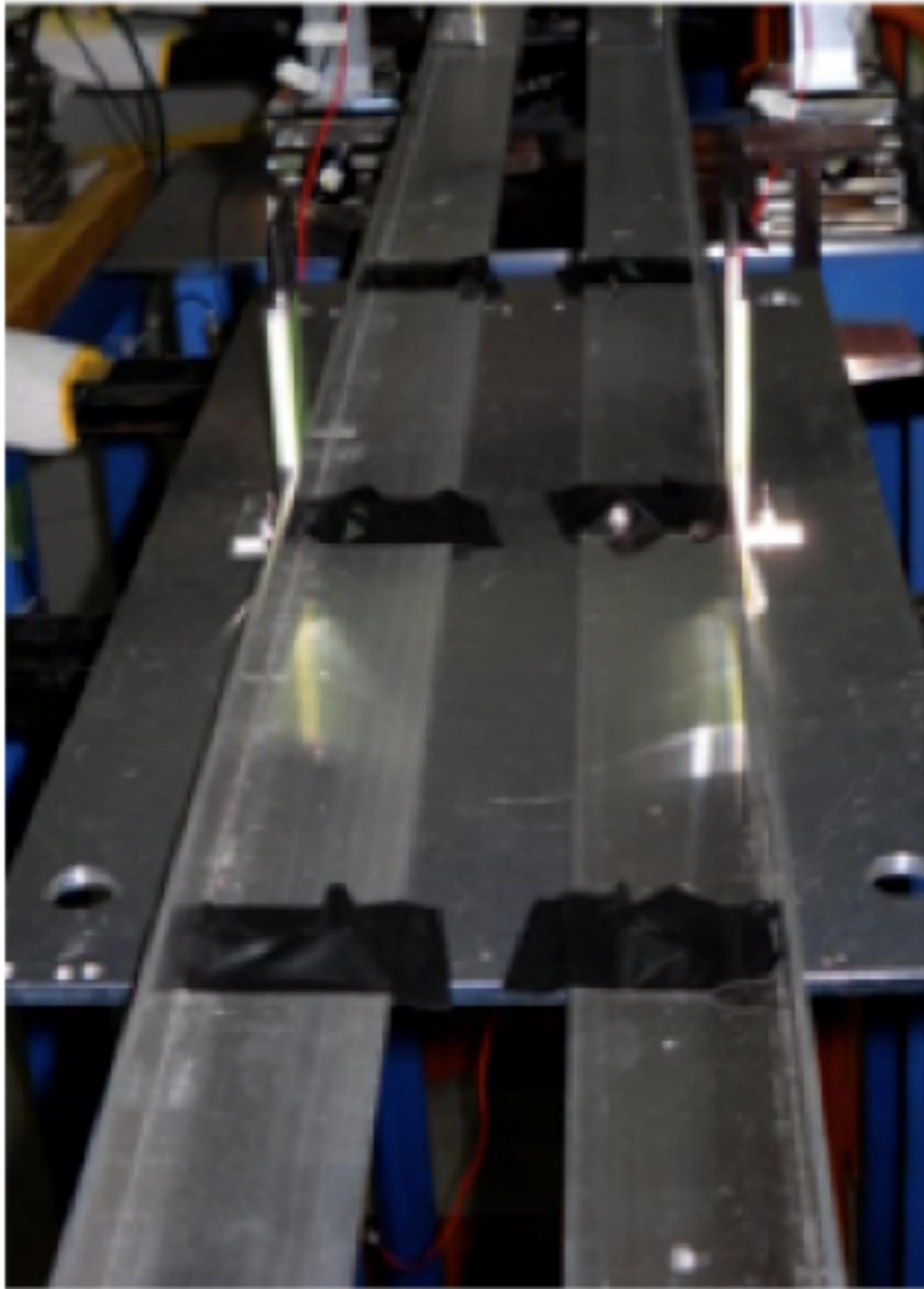


- 東北大学電子光物理学研究センターの600MeV/cの陽電子ビームを使用

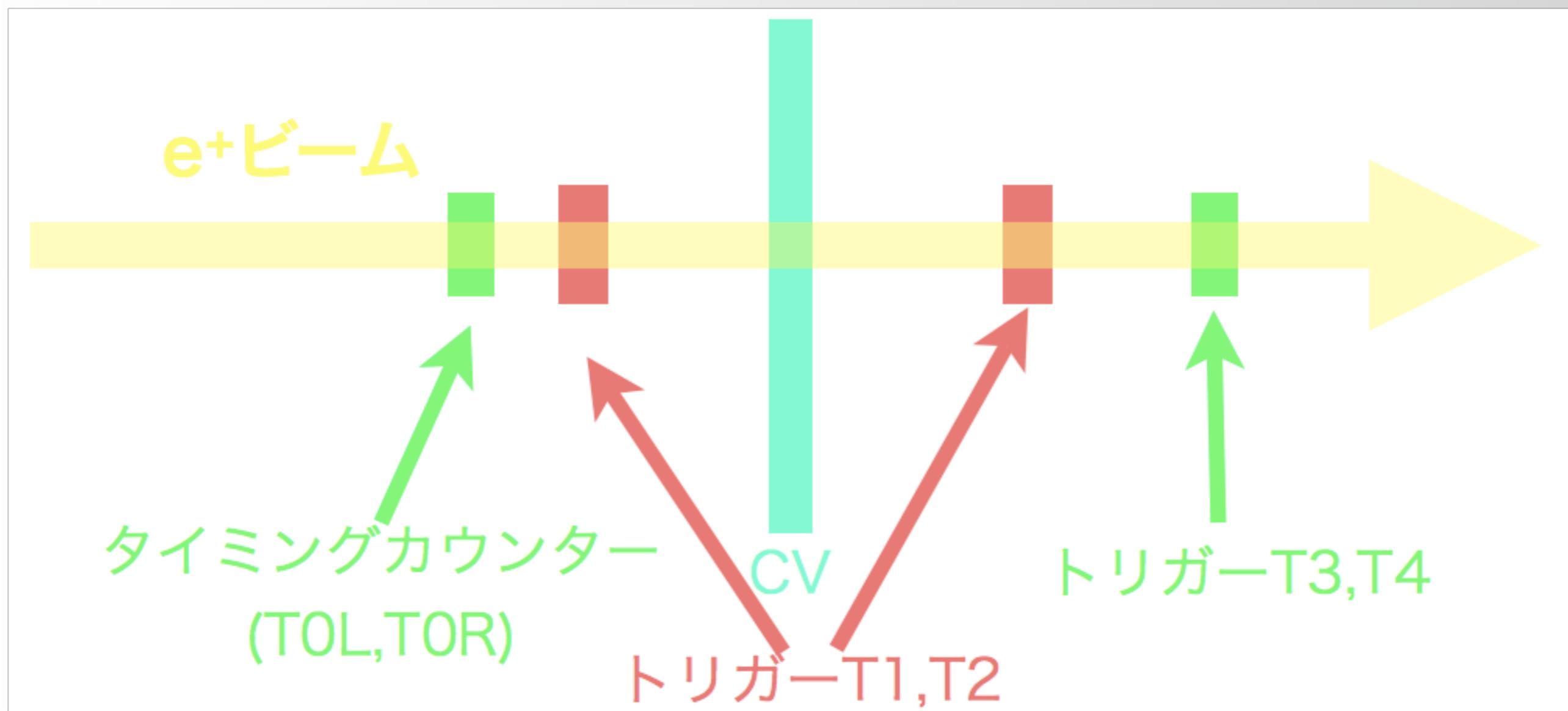
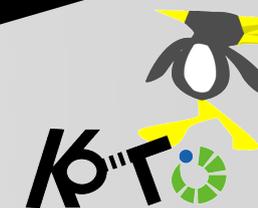


シンチはx方向、y方向にscanして測定

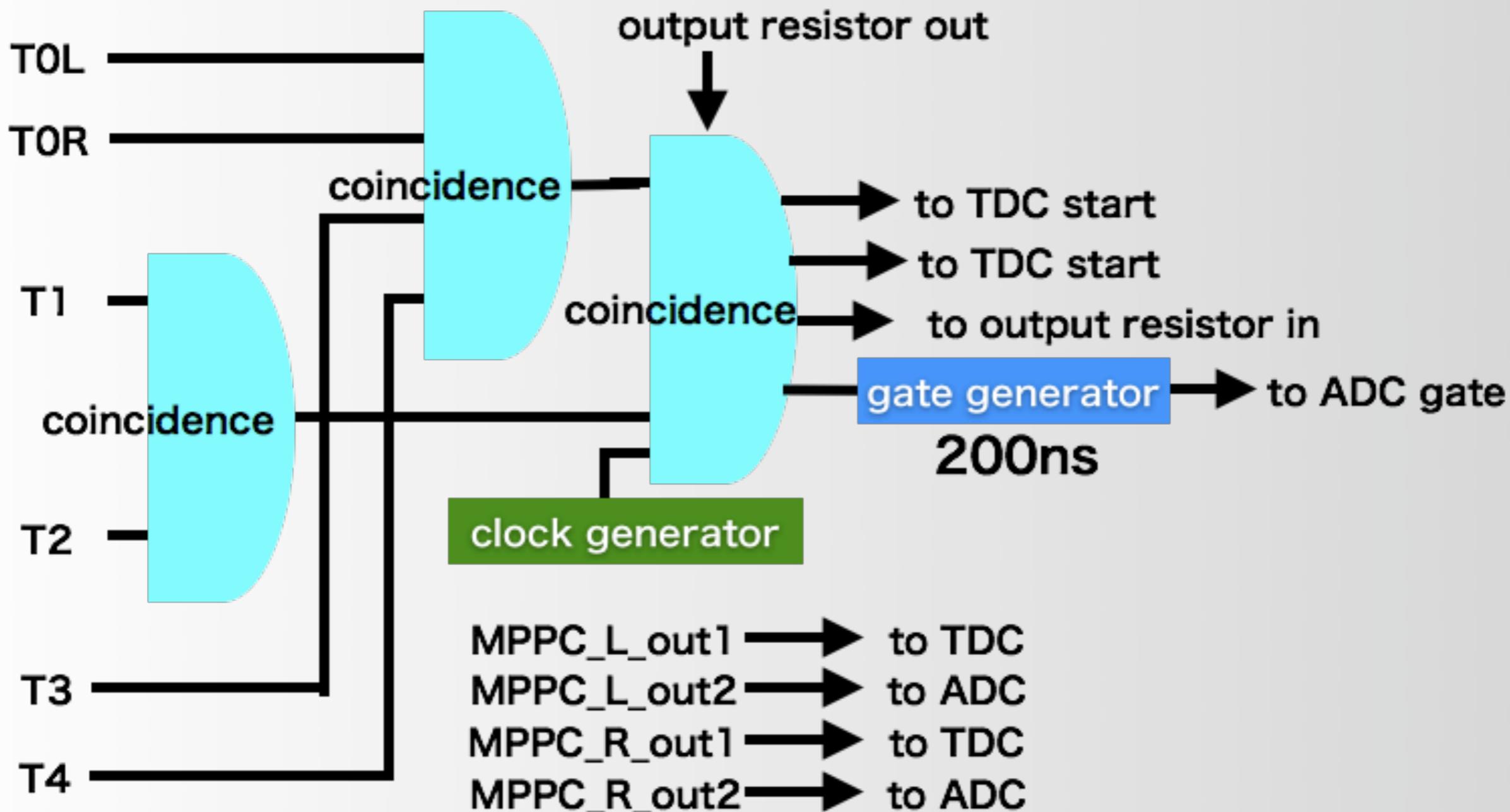
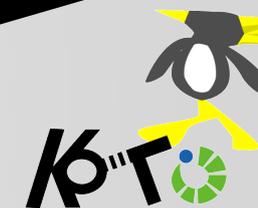
ビームテスト～セットアップ3～



ビームテスト～セットアップ4～

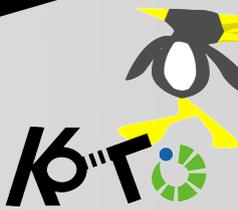


ビームテスト～セットアップ5～



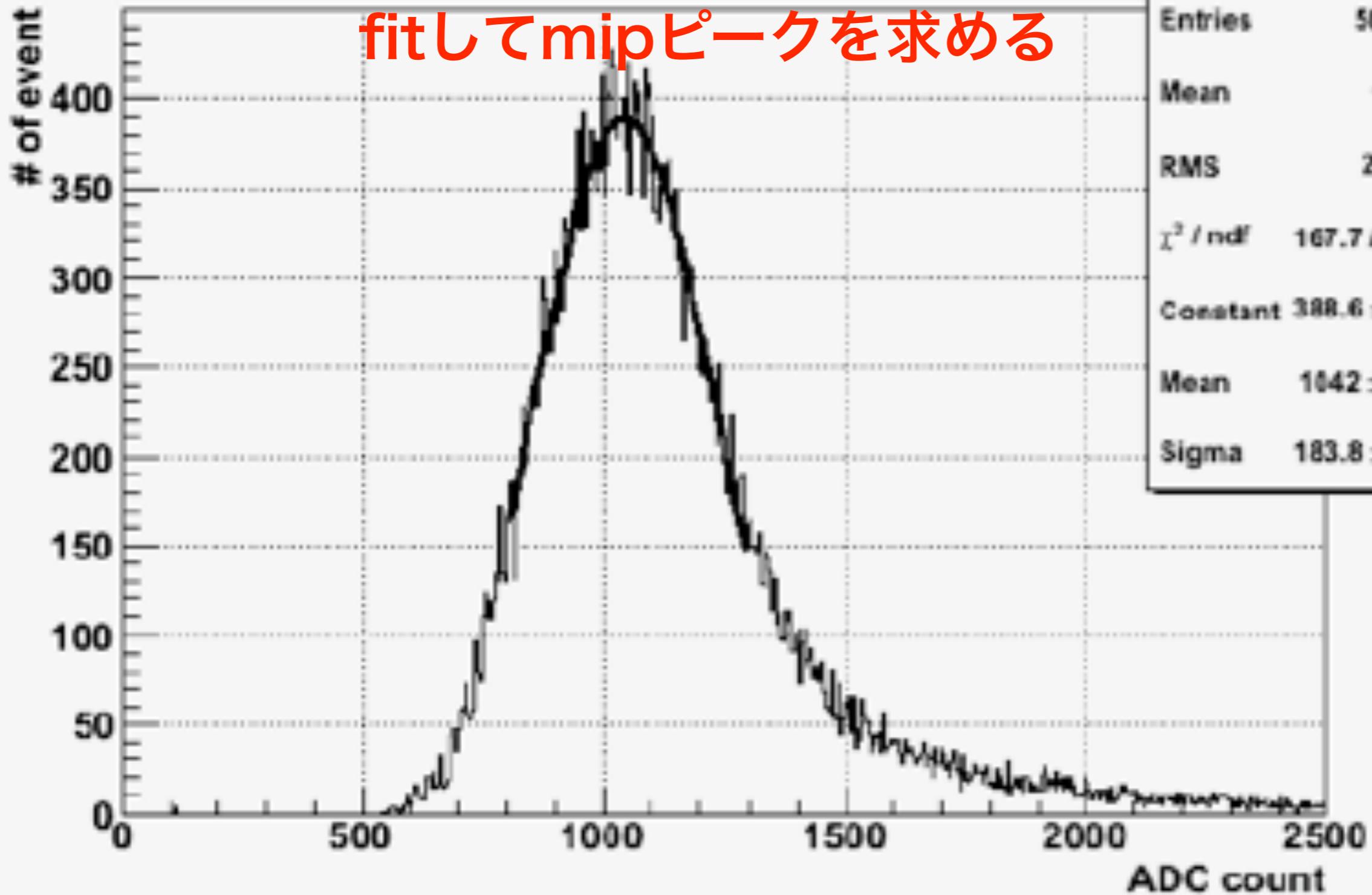
- 6つのトリガーのcoincidence
- TDCで時間情報、電荷有感型ADCで出力電荷を測定

実験結果～光量測定1～



CVL RUN05

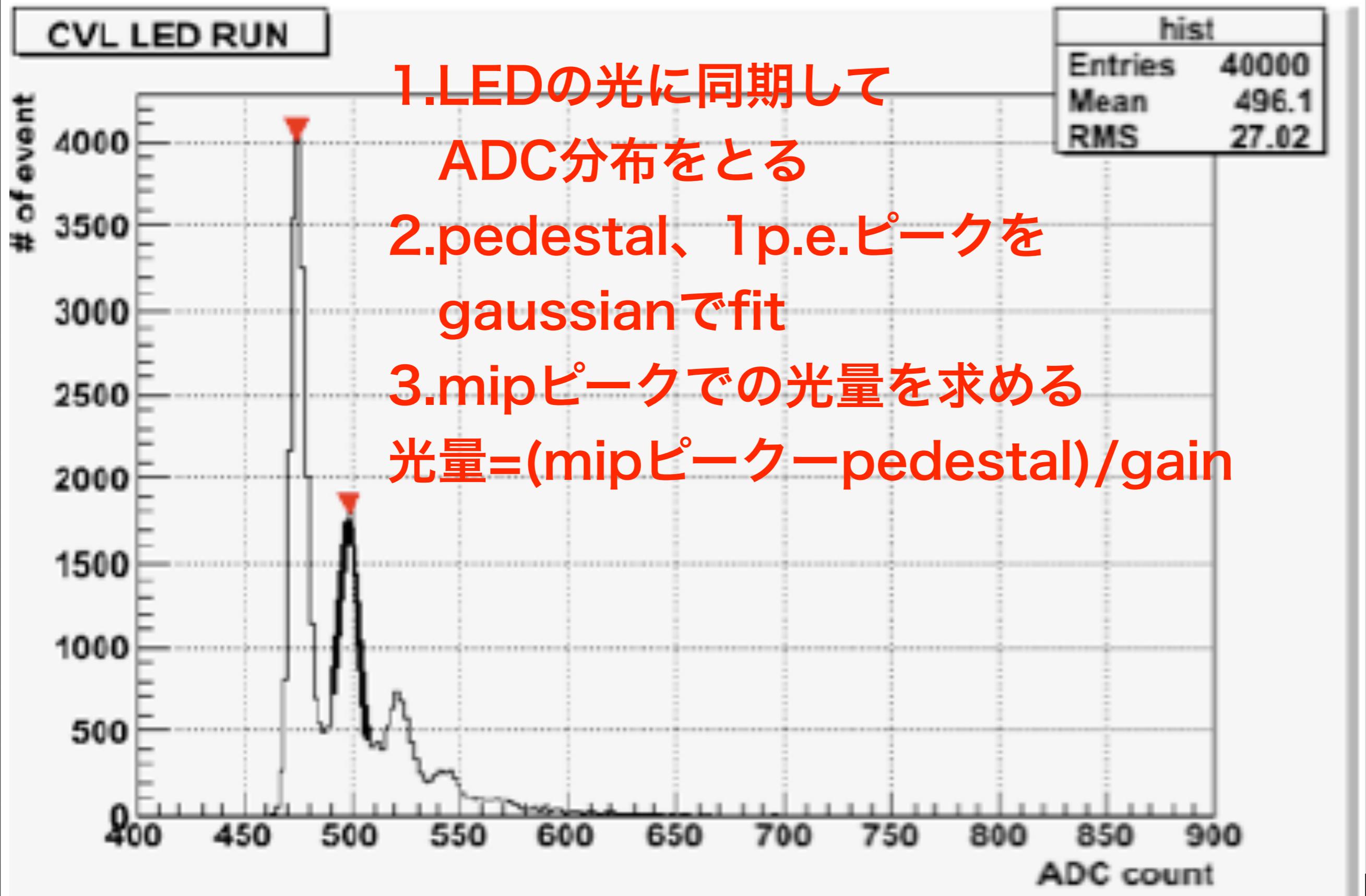
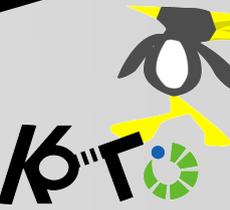
ADC分布をgaussianで
fitしてmipピークを求める



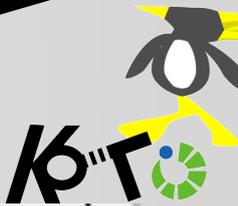
hist

Entries	50000
Mean	1127
RMS	282.4
χ^2 / ndf	167.7 / 122
Constant	388.6 ± 3.8
Mean	1042 ± 1.4
Sigma	183.8 ± 1.9

実験結果～光量測定2～



実験結果～光量測定3～

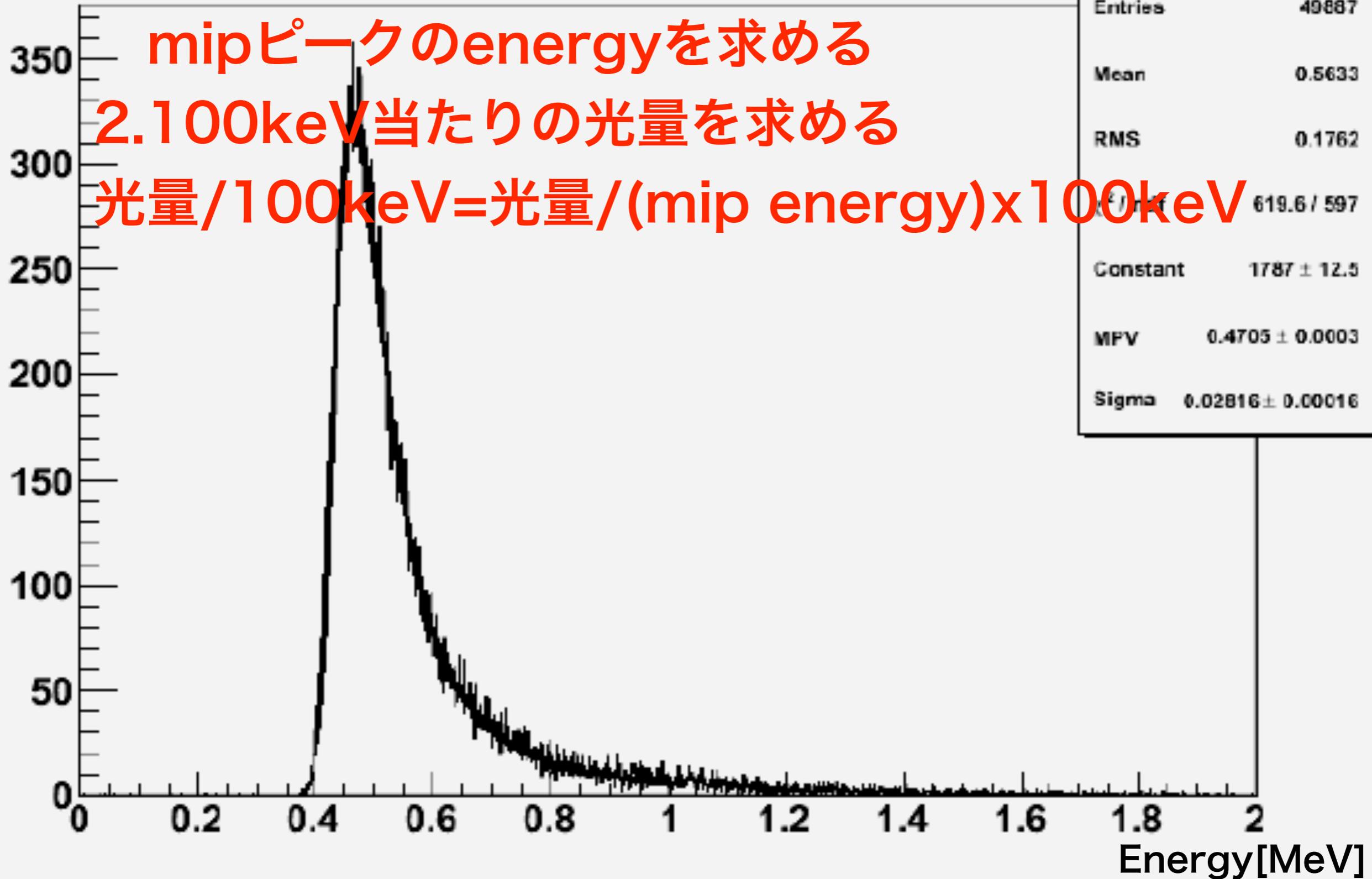


1.シミュレーションによって

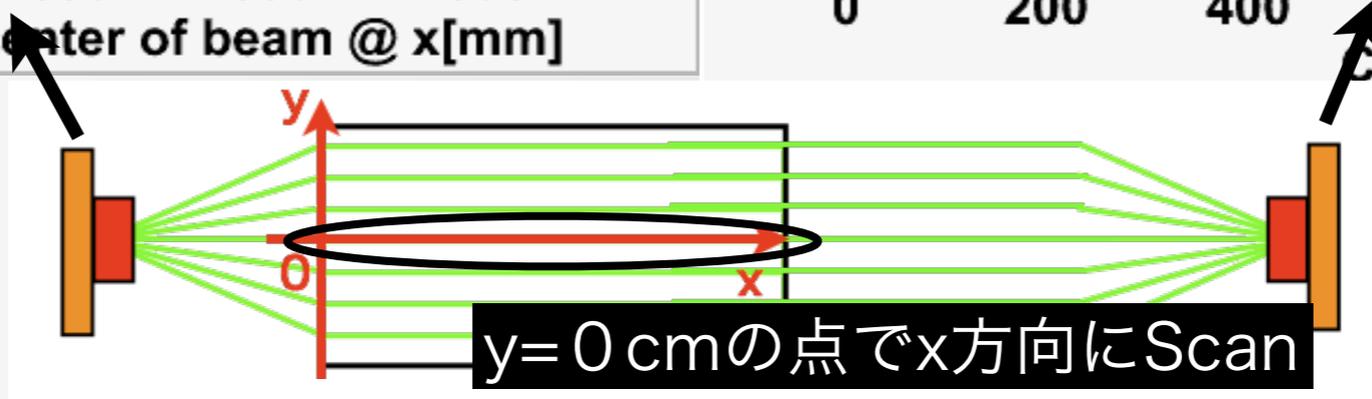
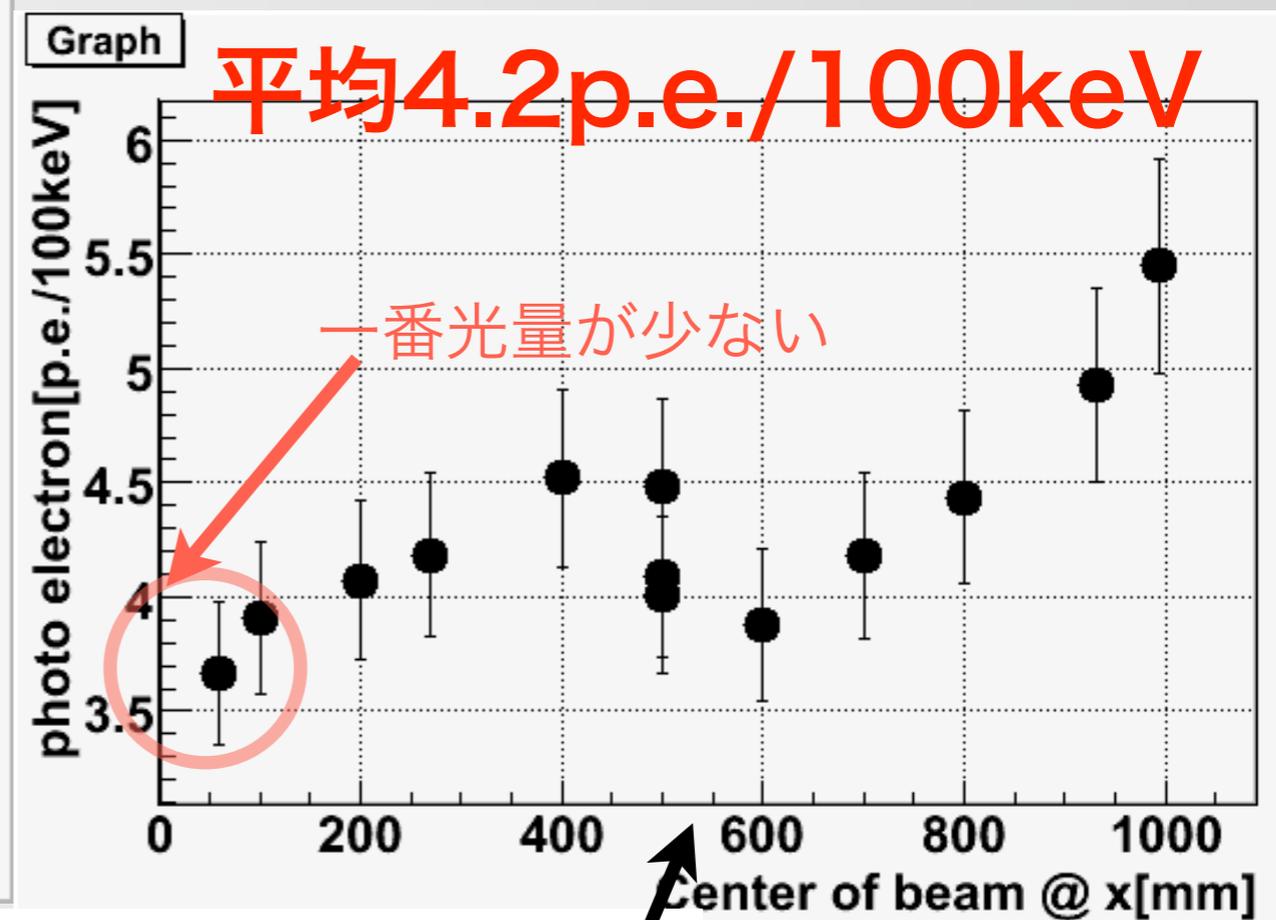
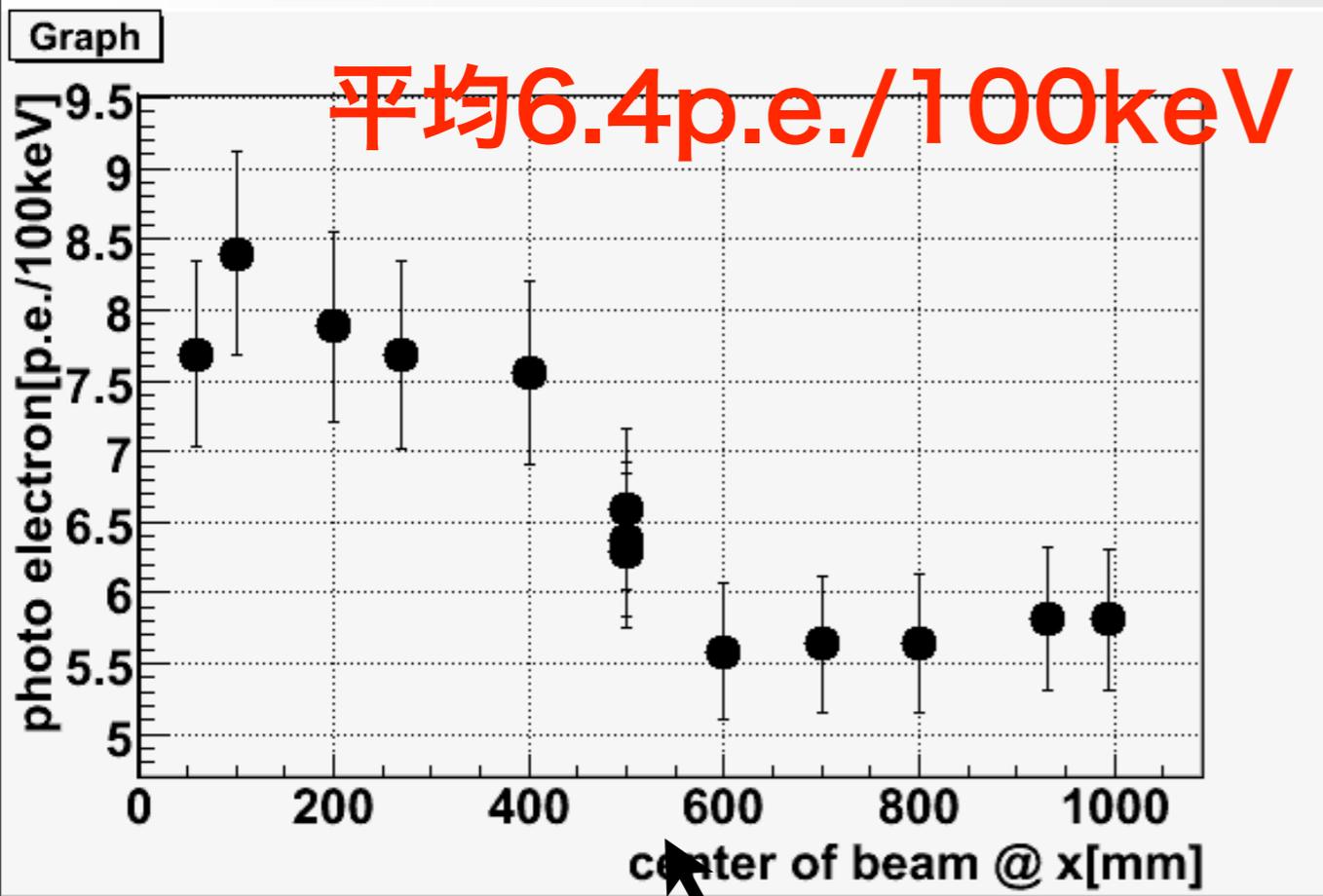
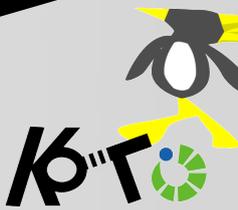
mipピークのenergyを求める

2.100keV当たりの光量を求める

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



実験結果～光量測定4～

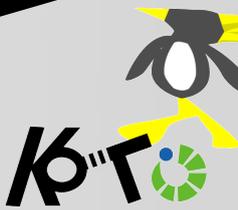


- ・ 光量は100keV当たりで規格化
- ・ 一番光量が低いのは図のx=58

→ **3.7p.e./100keV**

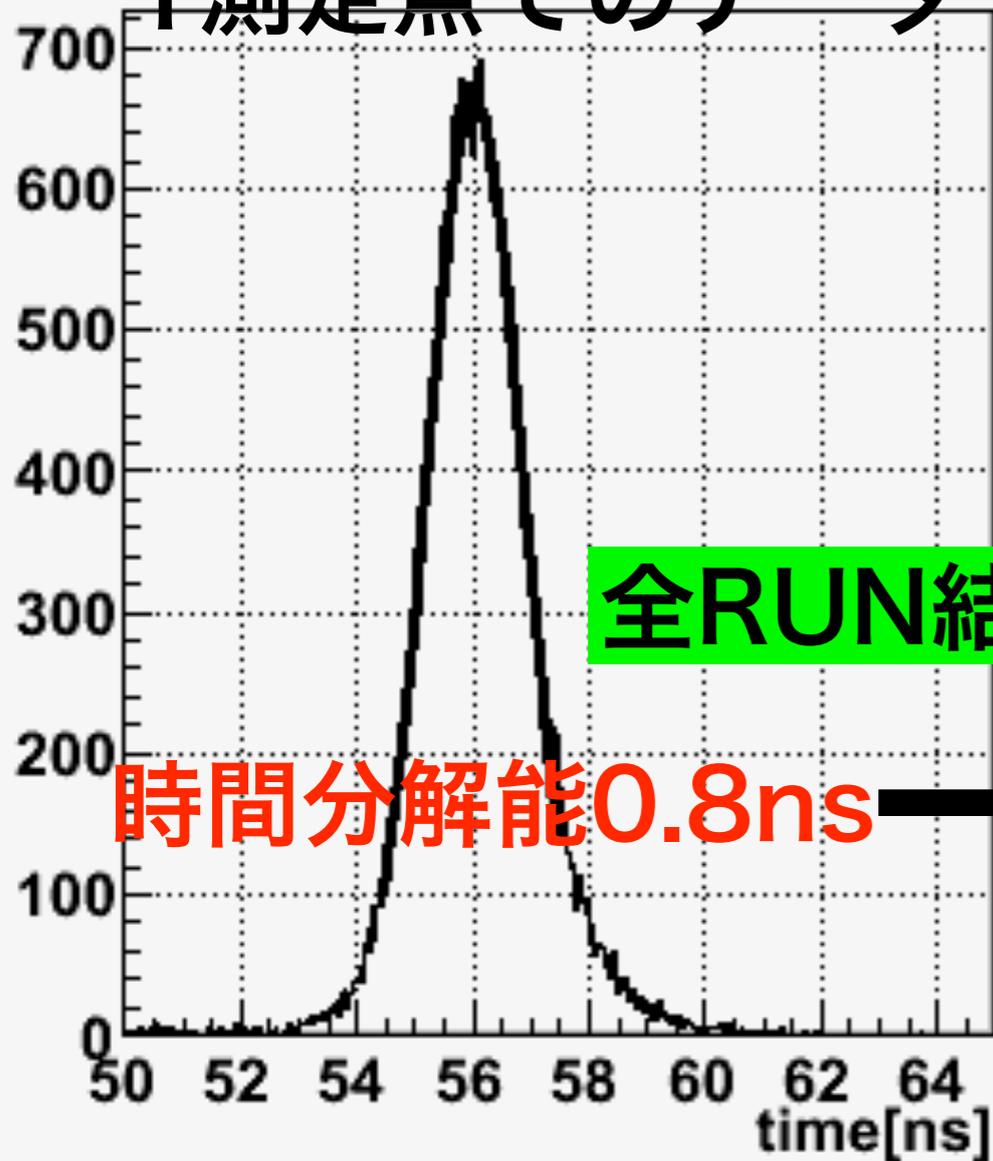
※ 要求は3p.e./100keV以上

実験結果～時間分解能測定～

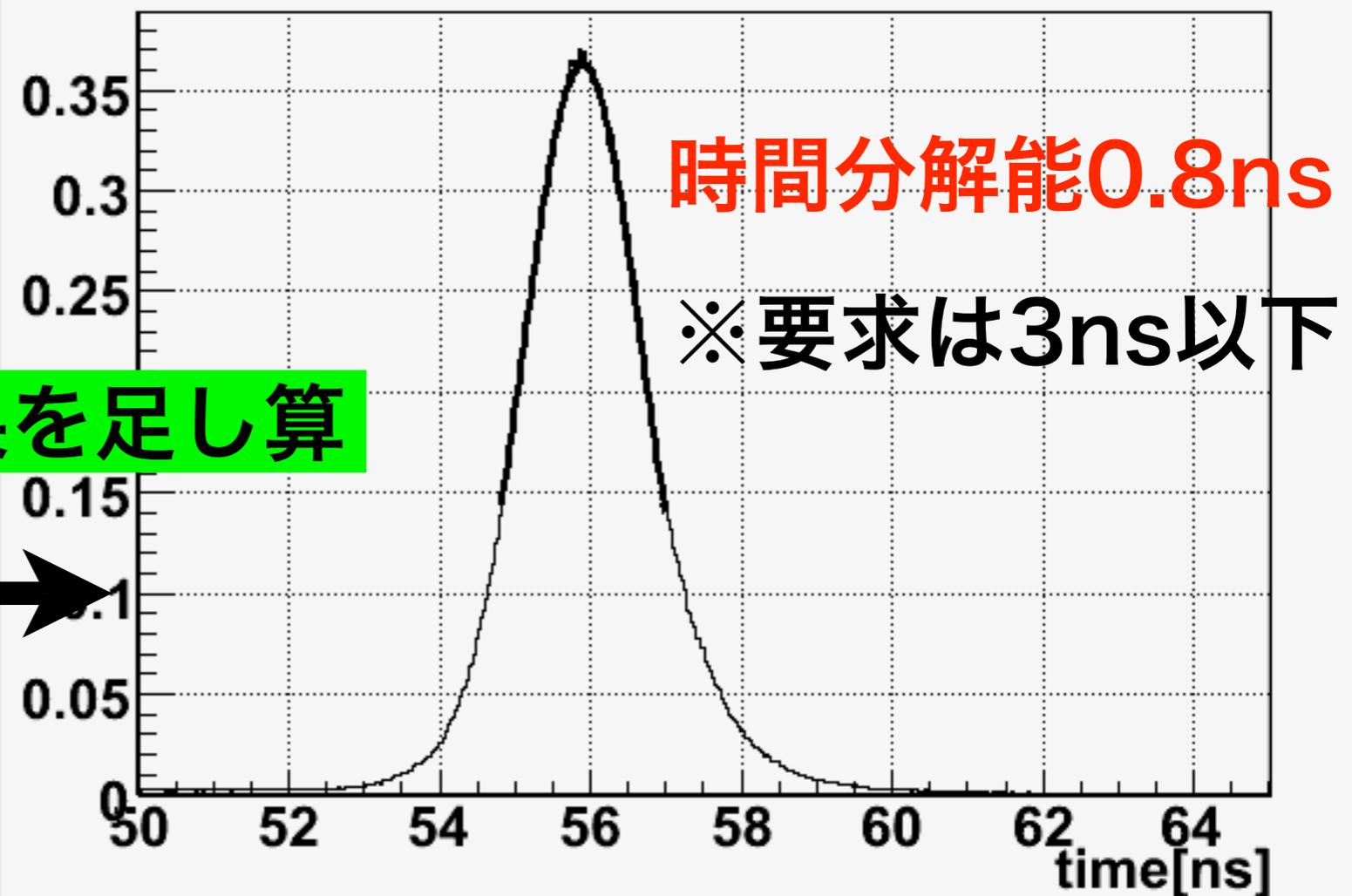


- tdcはtq補正を加える
- 両読みの平均時間を使って時間分解能を評価

1測定点でのデータ

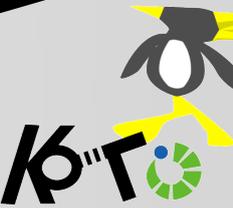


全測定点データの合計



平均時間@x=50cm, Y=0

まとめ

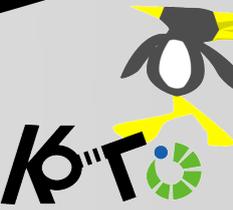


- CVの光検出器に対する要請を見積もり
- CVノデザインを考案
- プロトタイプCVの性能評価

	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

timing window	15.3ns
accidental loss	2.7%
darkcount loss	negligible

まとめ



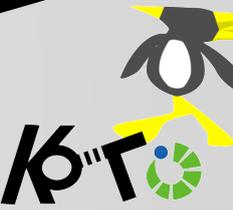
- CVの光検出器に対する要請を見積もり
- CVノデザインを考案
- プロトタイプCVの性能評価

このデザインで

- π^- 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

timing window	15.3ns
accidental loss	2.7%
darkcount loss	negligible

今後の展望

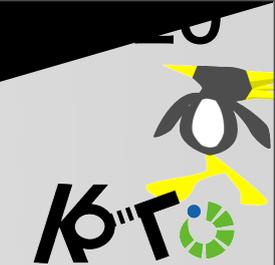


- 2010年10～11月
 - CVプロトタイプインストール
 - エンジニアリングRun

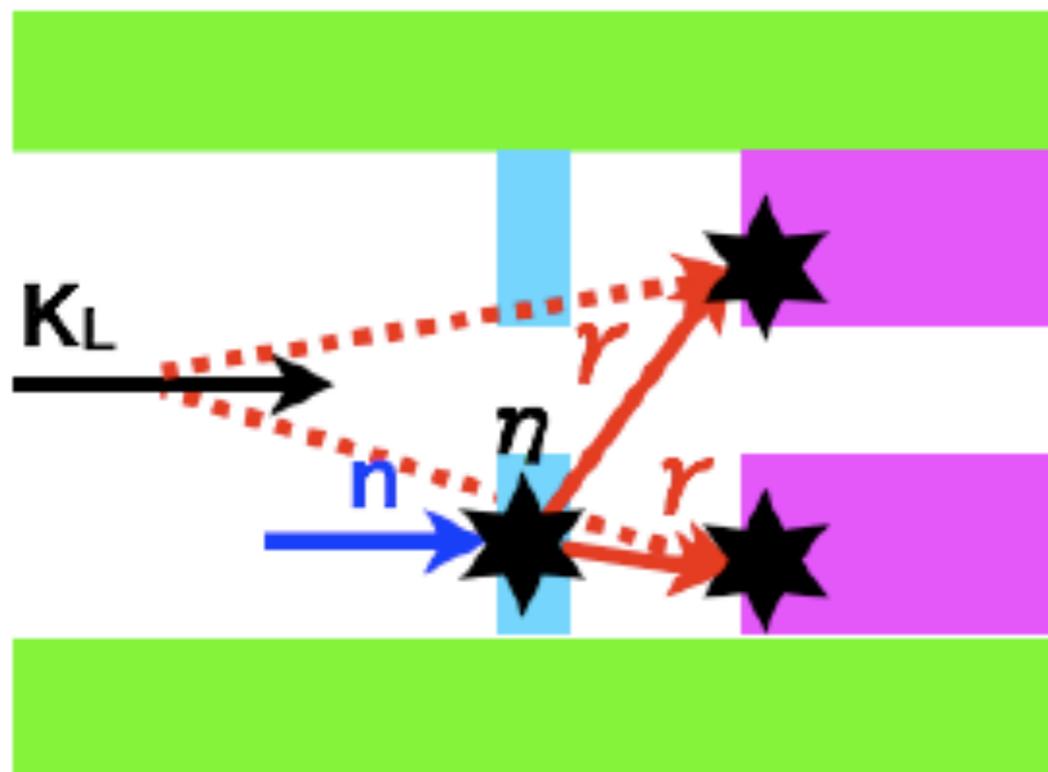
- 2011年秋
 - CVインストール
 - 物理Run開始

ばっくあっぷ

CVが2層の理由1

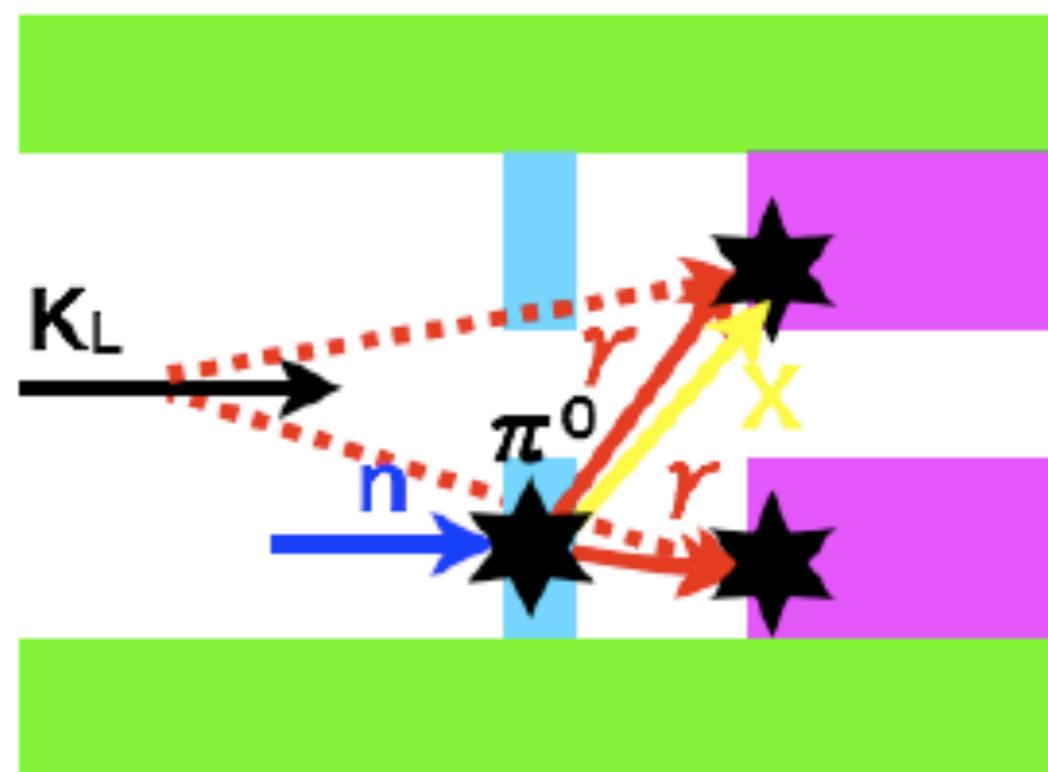


CV- η

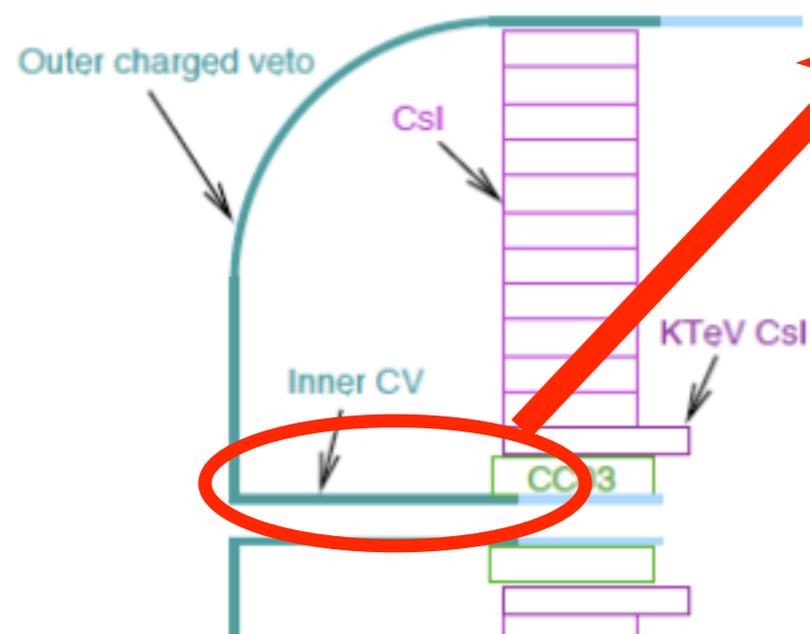


閾値2GeV/c

CV- π^0



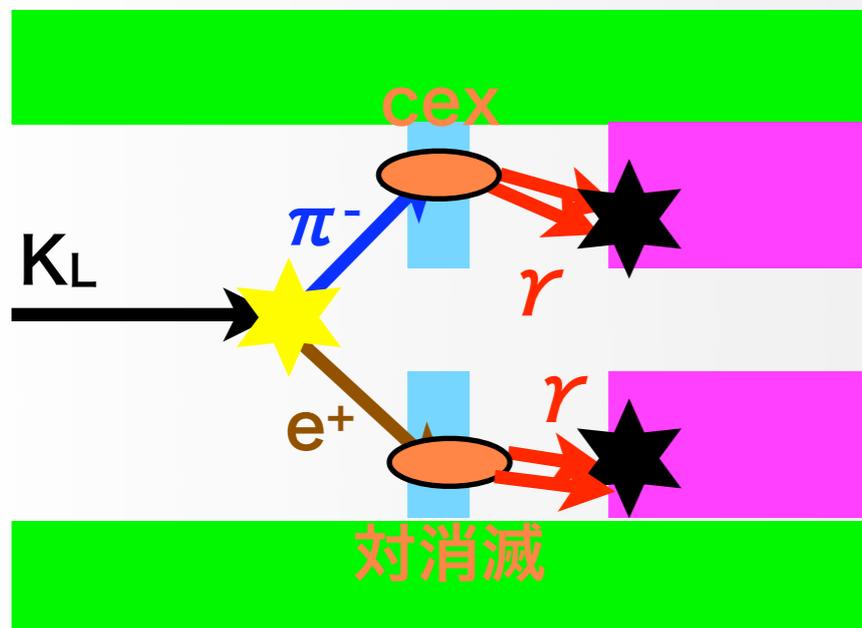
閾値0.8GeV/c



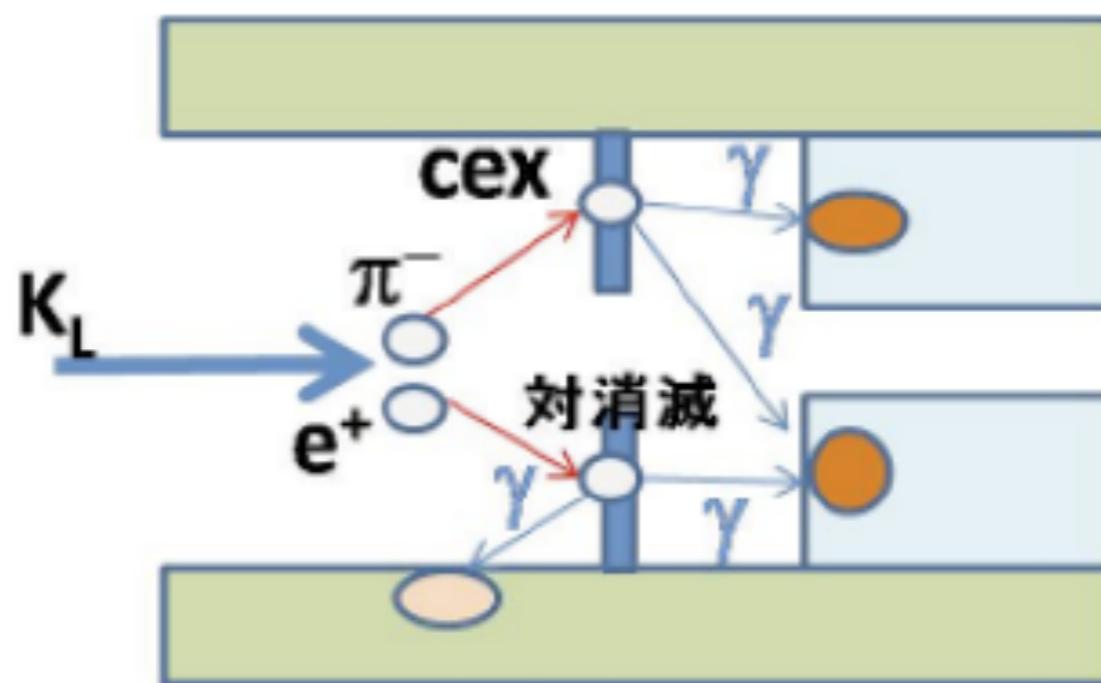
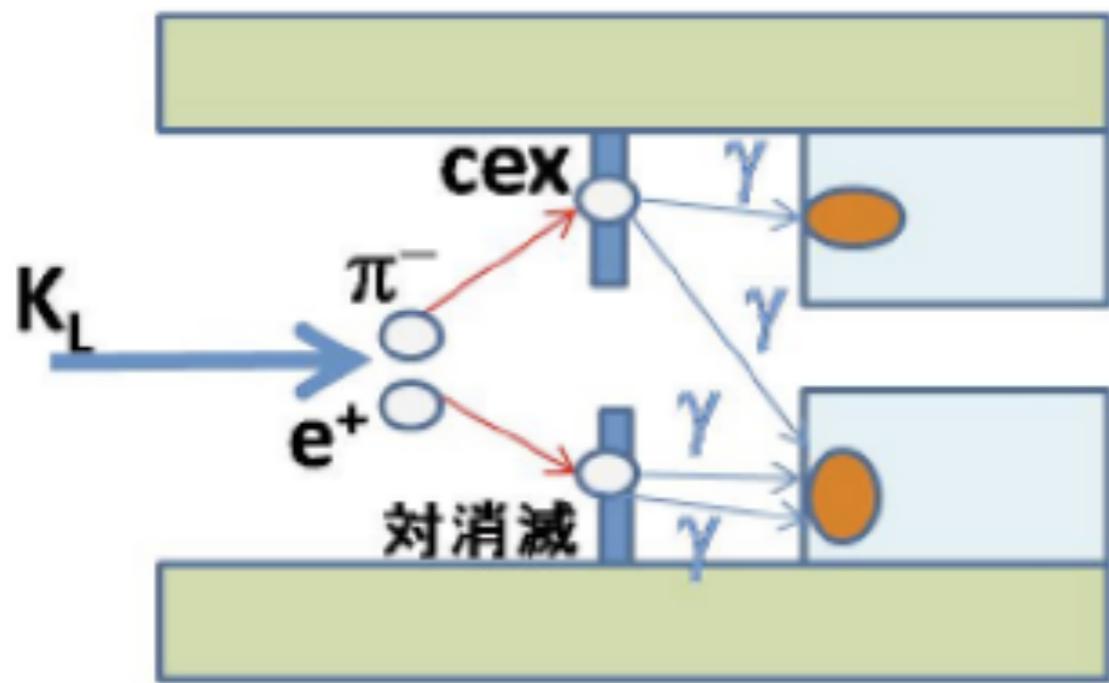
- ここがCV- η のバックグラウンド源
→inner CVを排除して2層に
- シンチレータを薄くして反応を抑える
6mm→3mm
- CVをCslに近づける

CVが2層の理由2

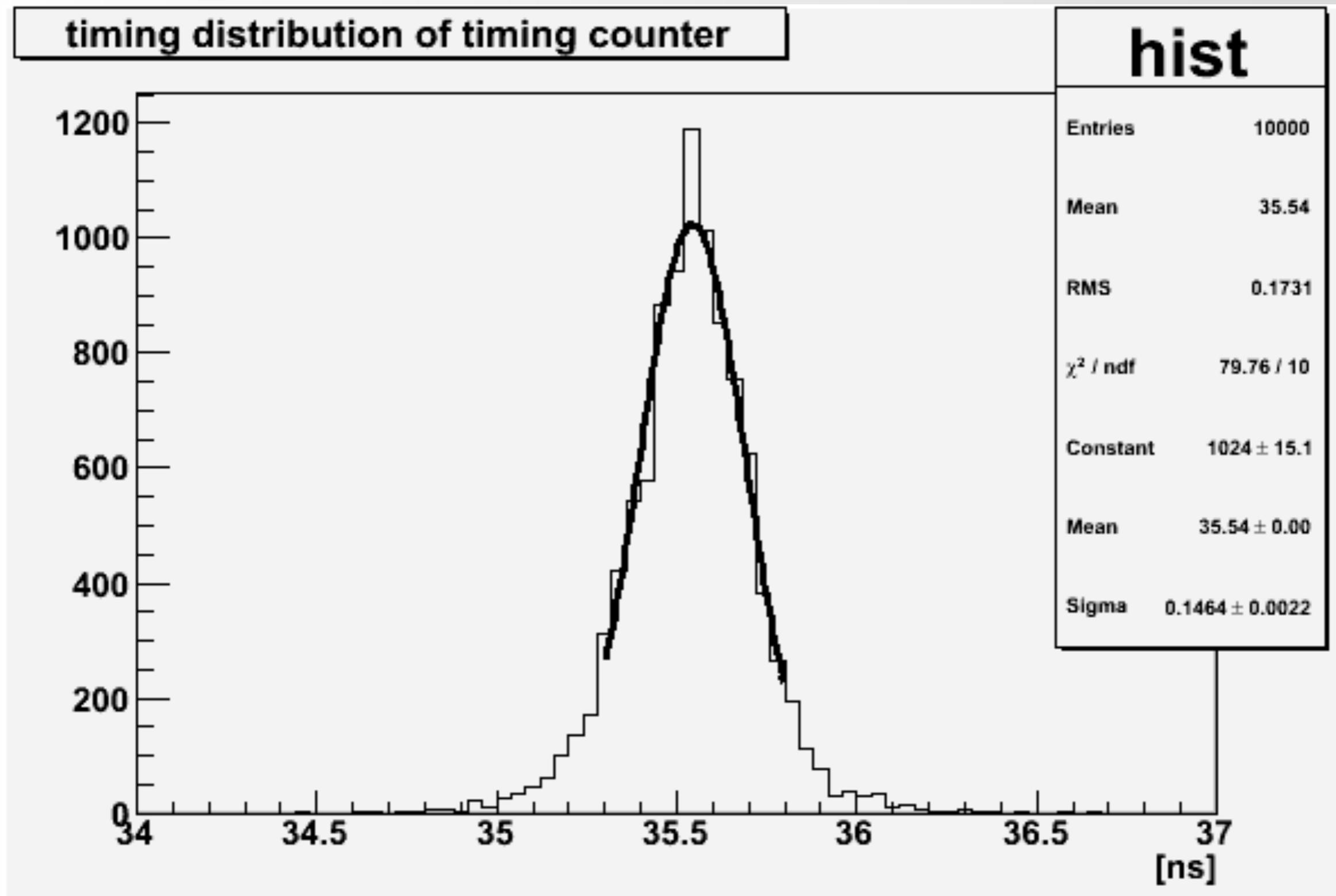
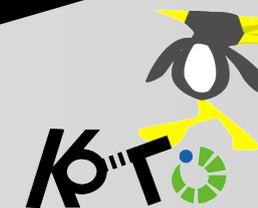
$K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$ バックグラウンドのメカニズム



- 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

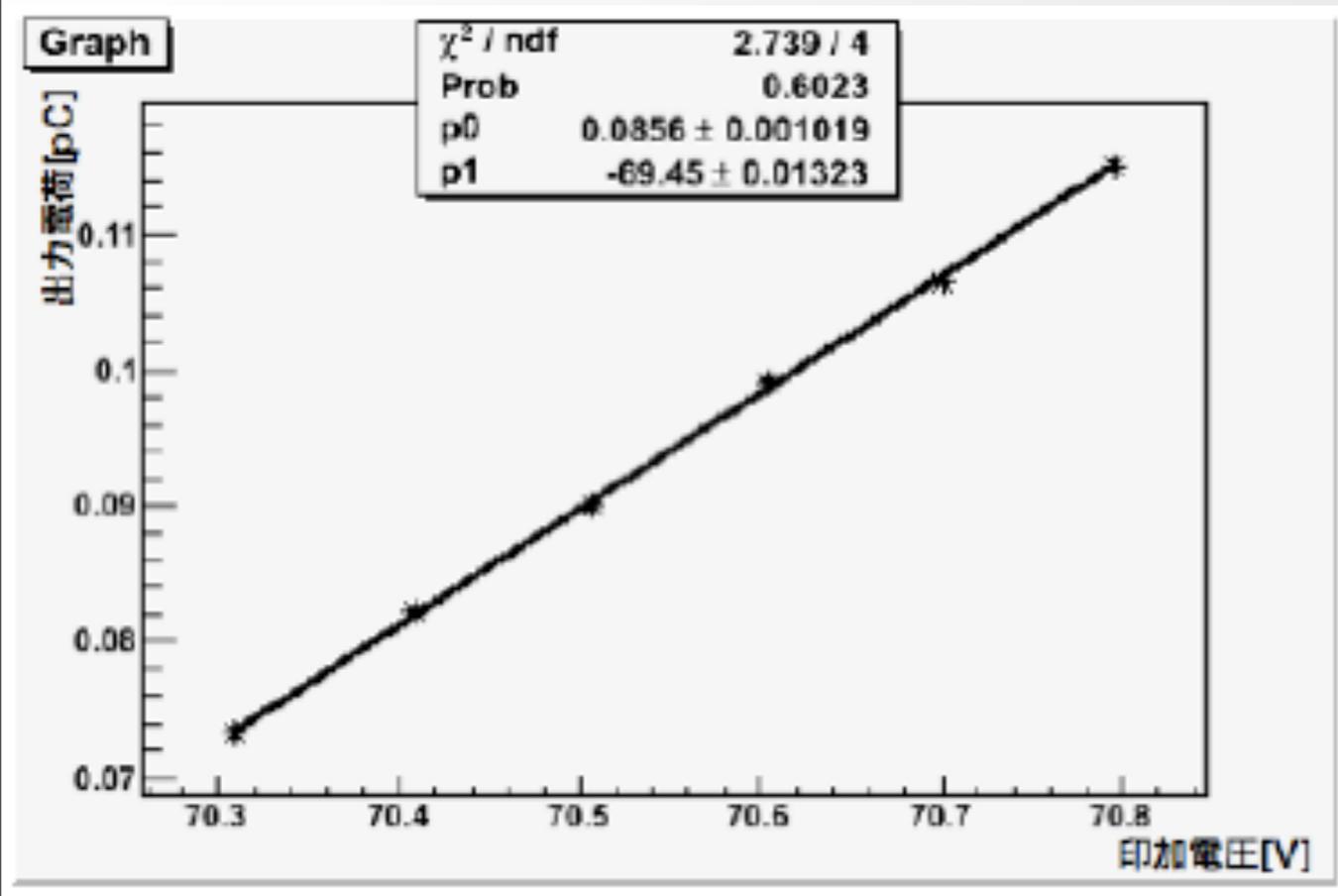
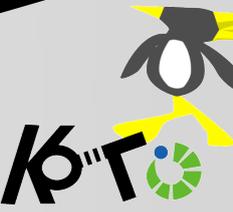


タイミングカウンター

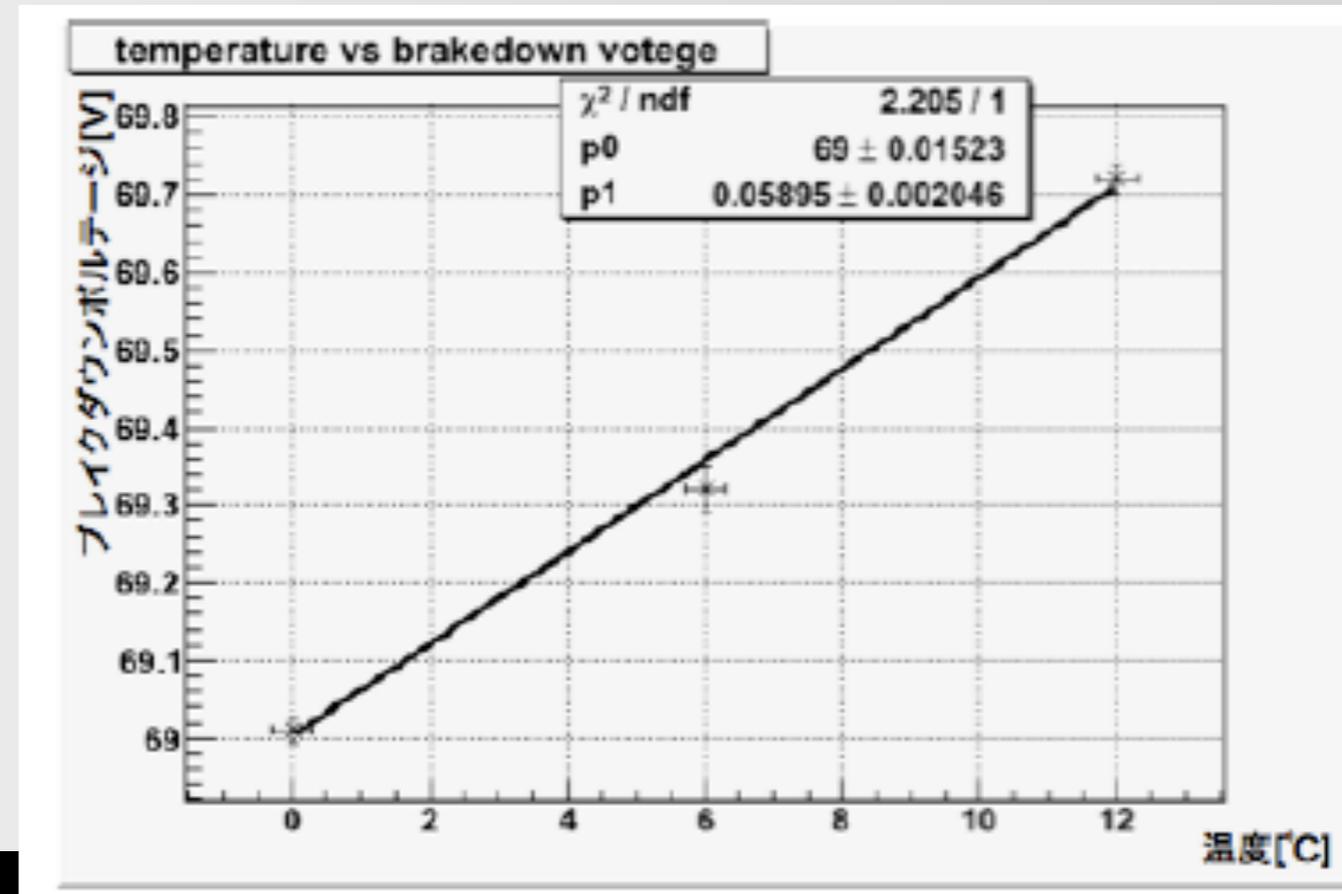


時間分解能140psのタイミングカウンターを使用

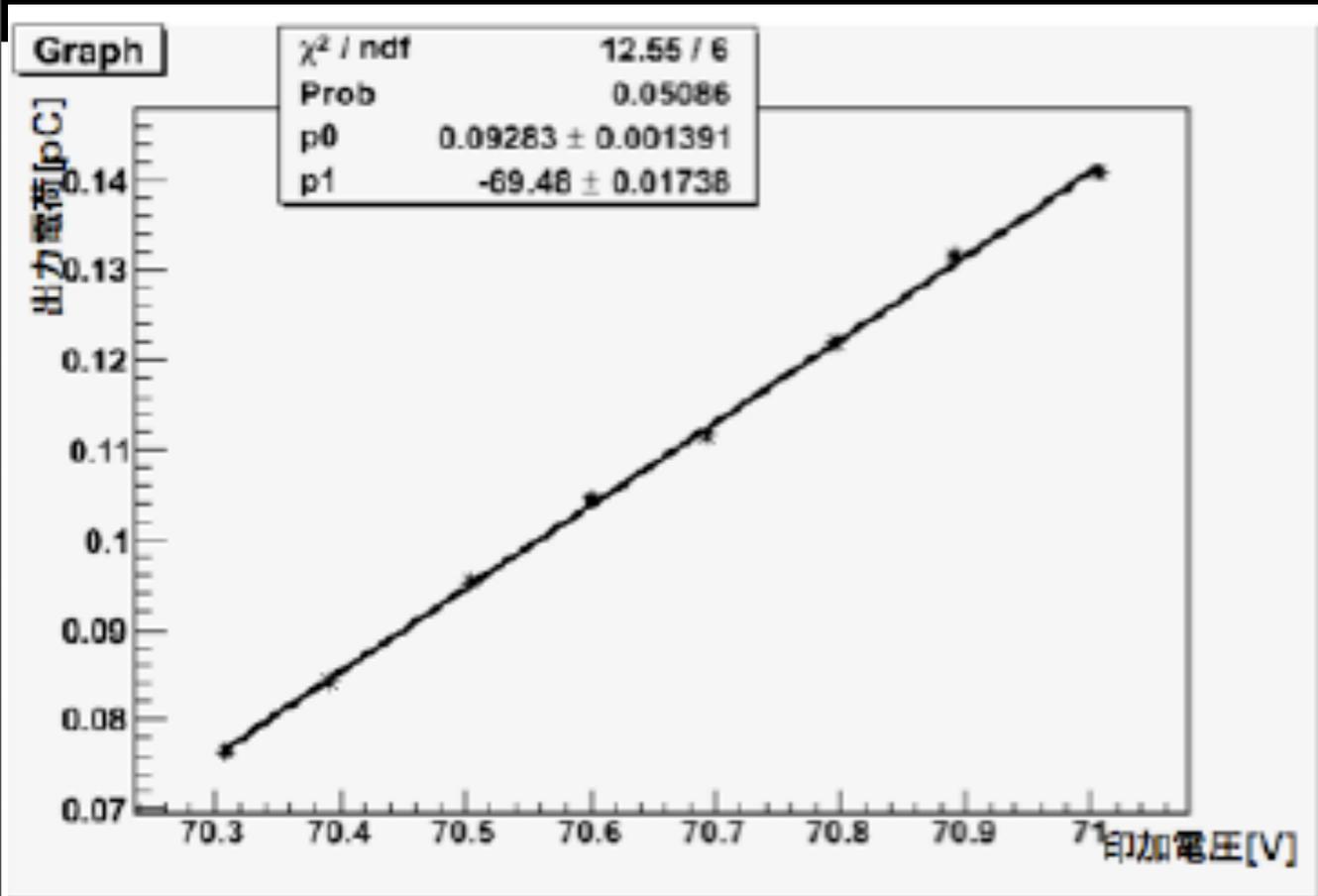
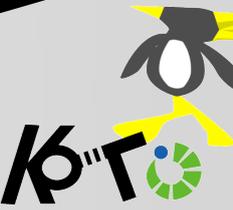
MPPPC冷却温度～左側～



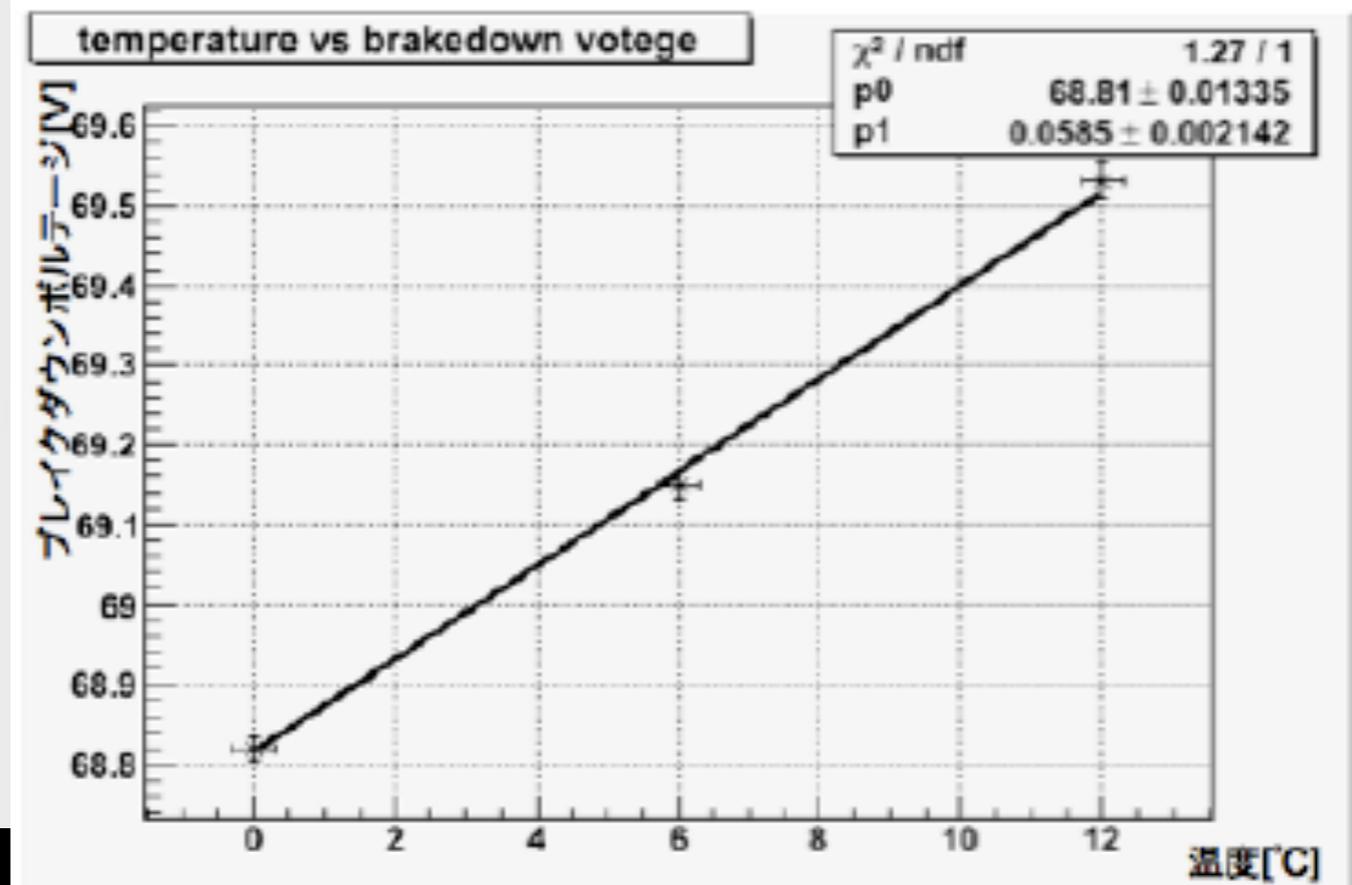
7.6°C



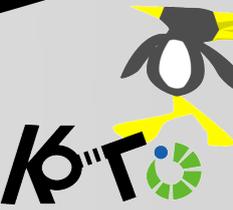
MPPPC冷却温度～右側～



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

$$P_3 = P_1 \times P_2$$

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

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

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

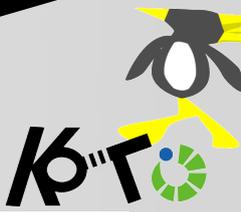
$N_d(n)$: n photo electron 閾値でのダークカウントノイズ

T_w : timing windowの幅

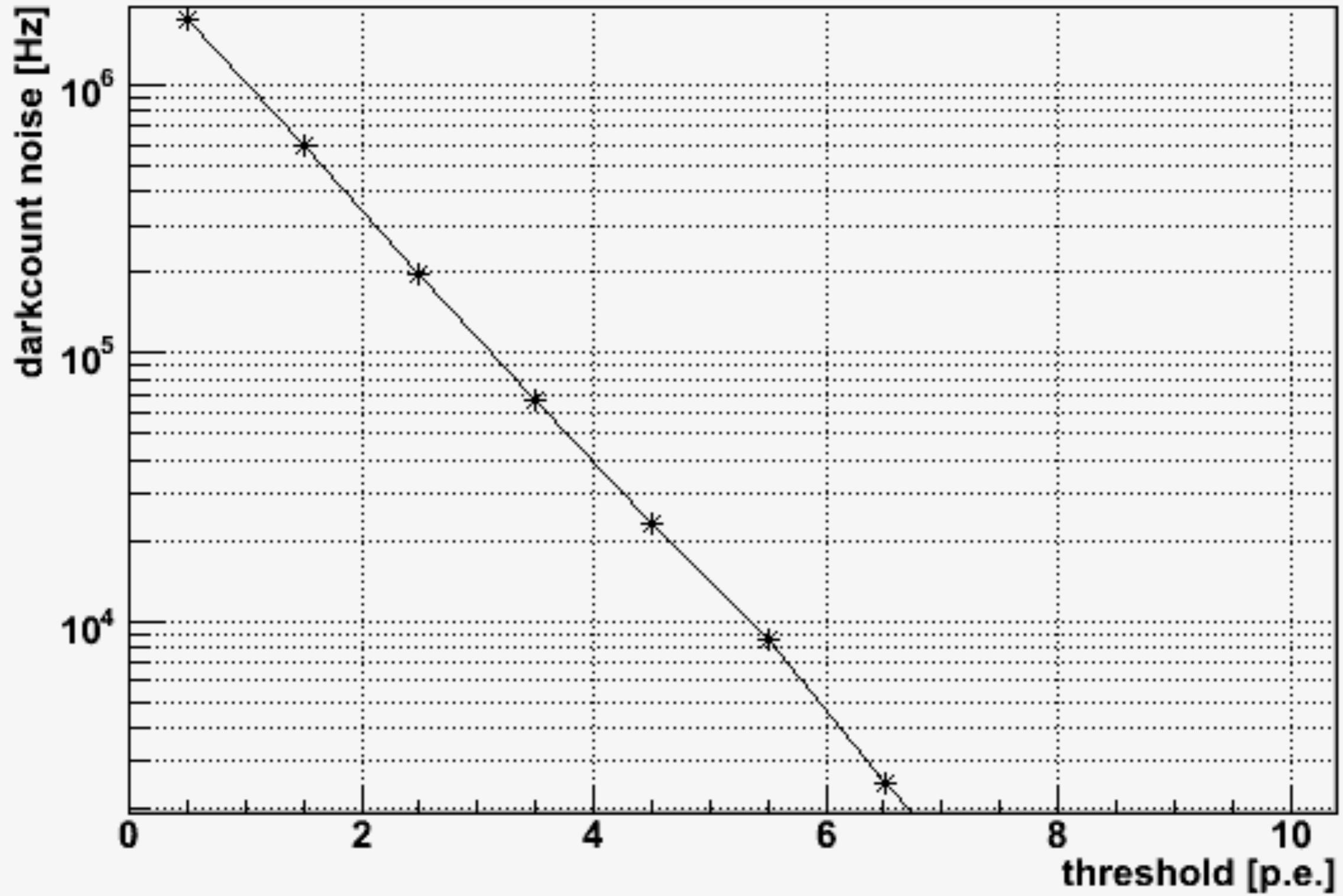
T_f : ファイバー2.5mを光が進む時間x2

N_{cv} : CVの全チャンネル数

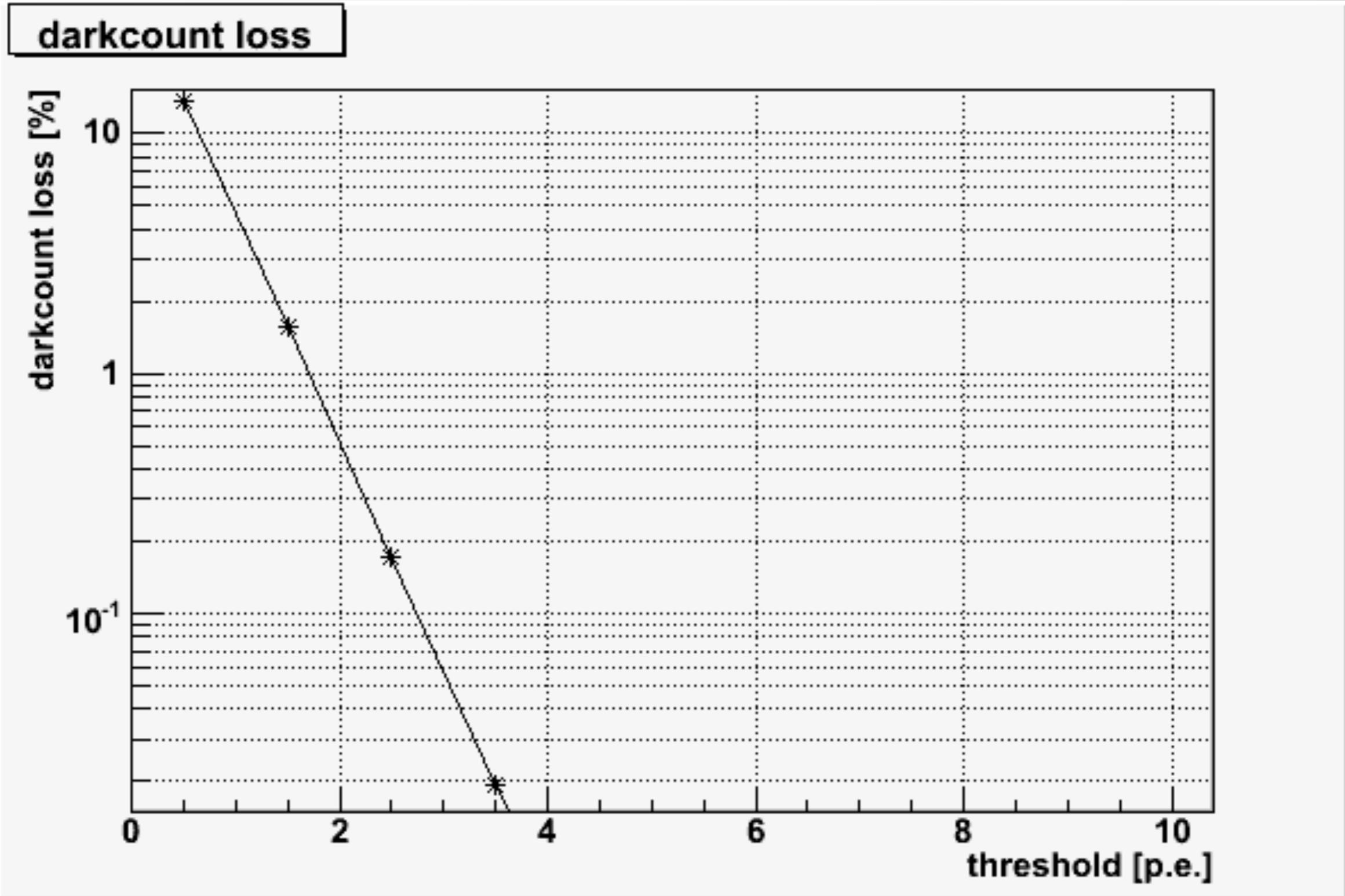
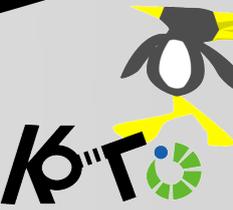
ビームテスト時のダークカウントノイズ



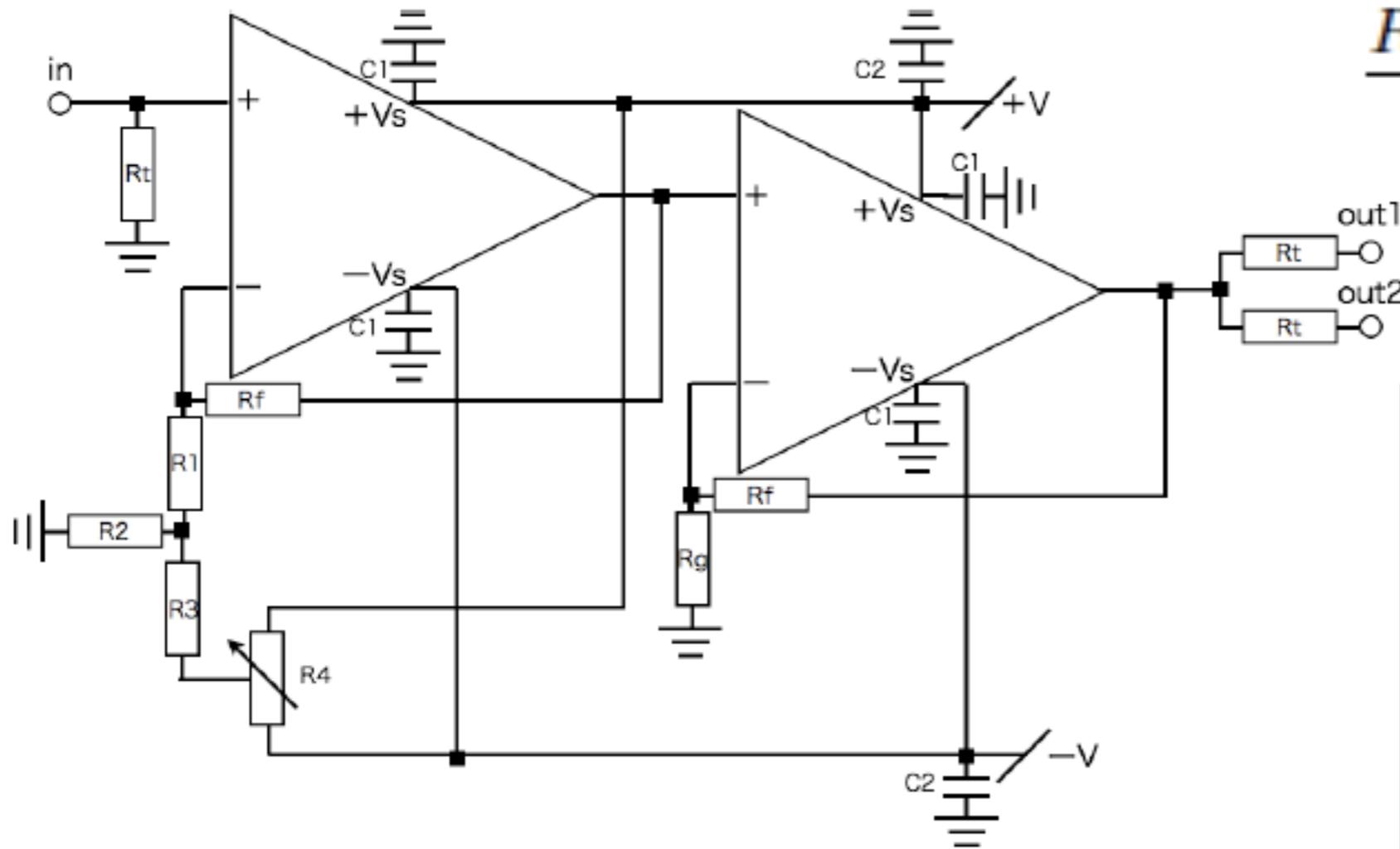
threshold vs darkcount noise



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

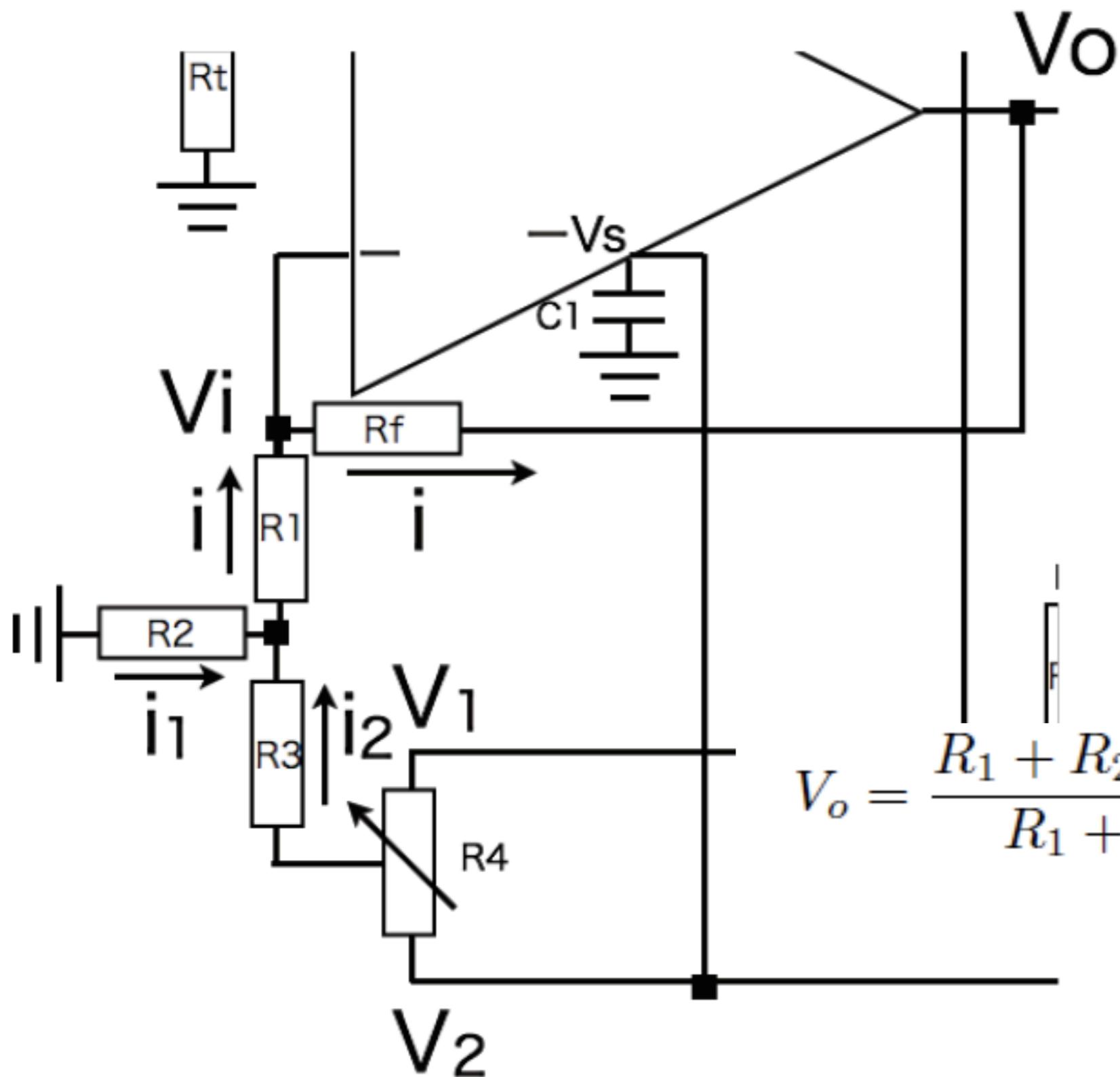
$$\frac{R_g + R_f}{R_g}$$

• 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



$$i = i_1 + i_2$$

$$R_2 i_1 = R_3 i_2 + V$$

$$V_i = R_1 i + R_2 i_1$$

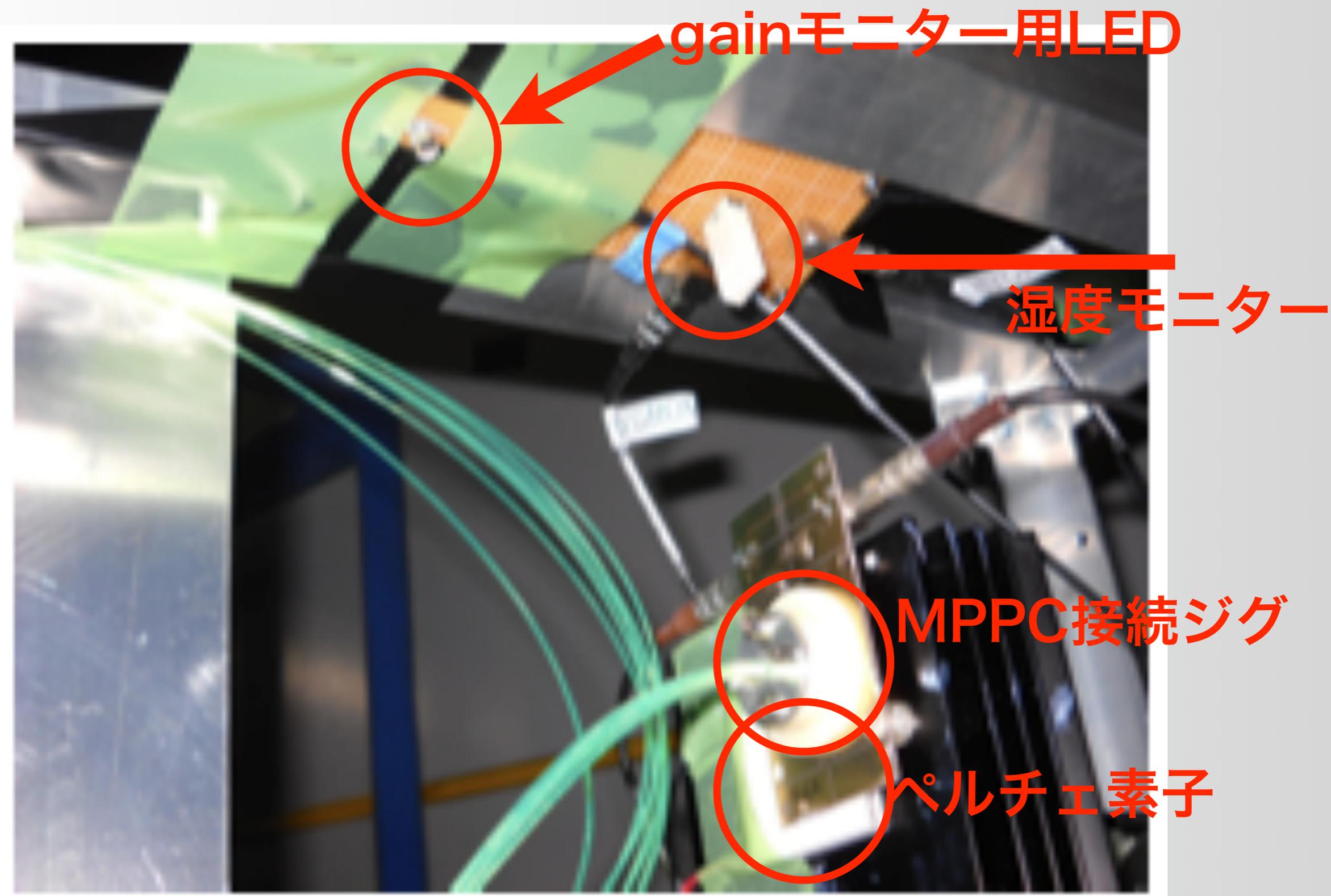
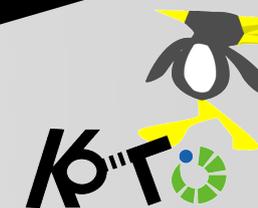
$$V_o = V_i + R_f i$$

- $V = V_1 - V_2$

$$R_3 \gg R_2$$

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

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～

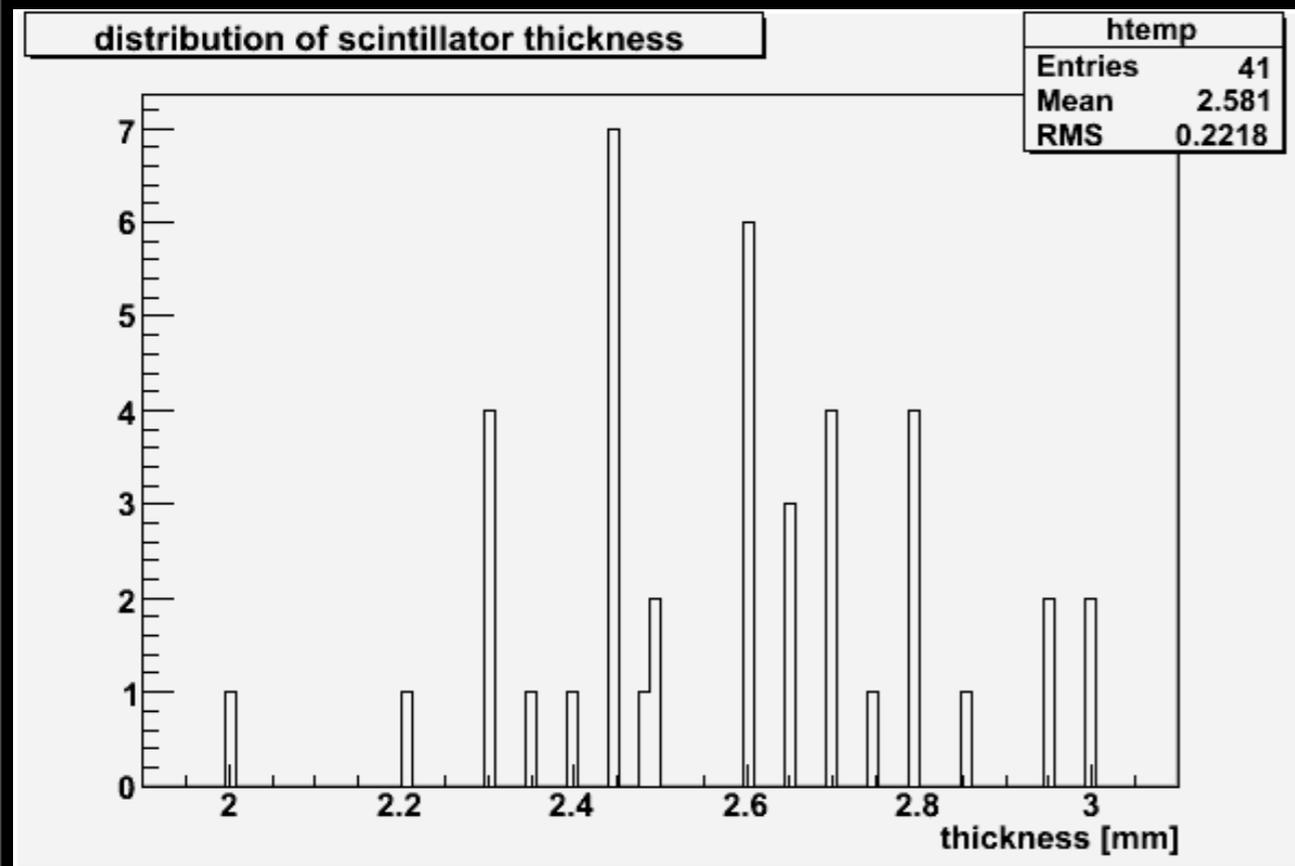


- 湿度モニター
 - MPPCをペルチェ素子で冷却
 - 結露が問題
 - MPPCの周りに乾燥空気を流し込む(湿度20%以下)
 - 湿度モニターが必要
- gainモニター用LED
 - MPPCは電圧が同じでも温度によってgainが変わる
 - gainのモニターが必要

	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- η	0.58	0.1	0.07
CV- π^0	6.8	0.23	0.16
CC02- π^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