

CTA計画 チェレンコフカメラに向けた 半導体光検出器MPPCの性能評価及び較正法の開発

日高直哉^A、田島宏康^A、奥村暁^A

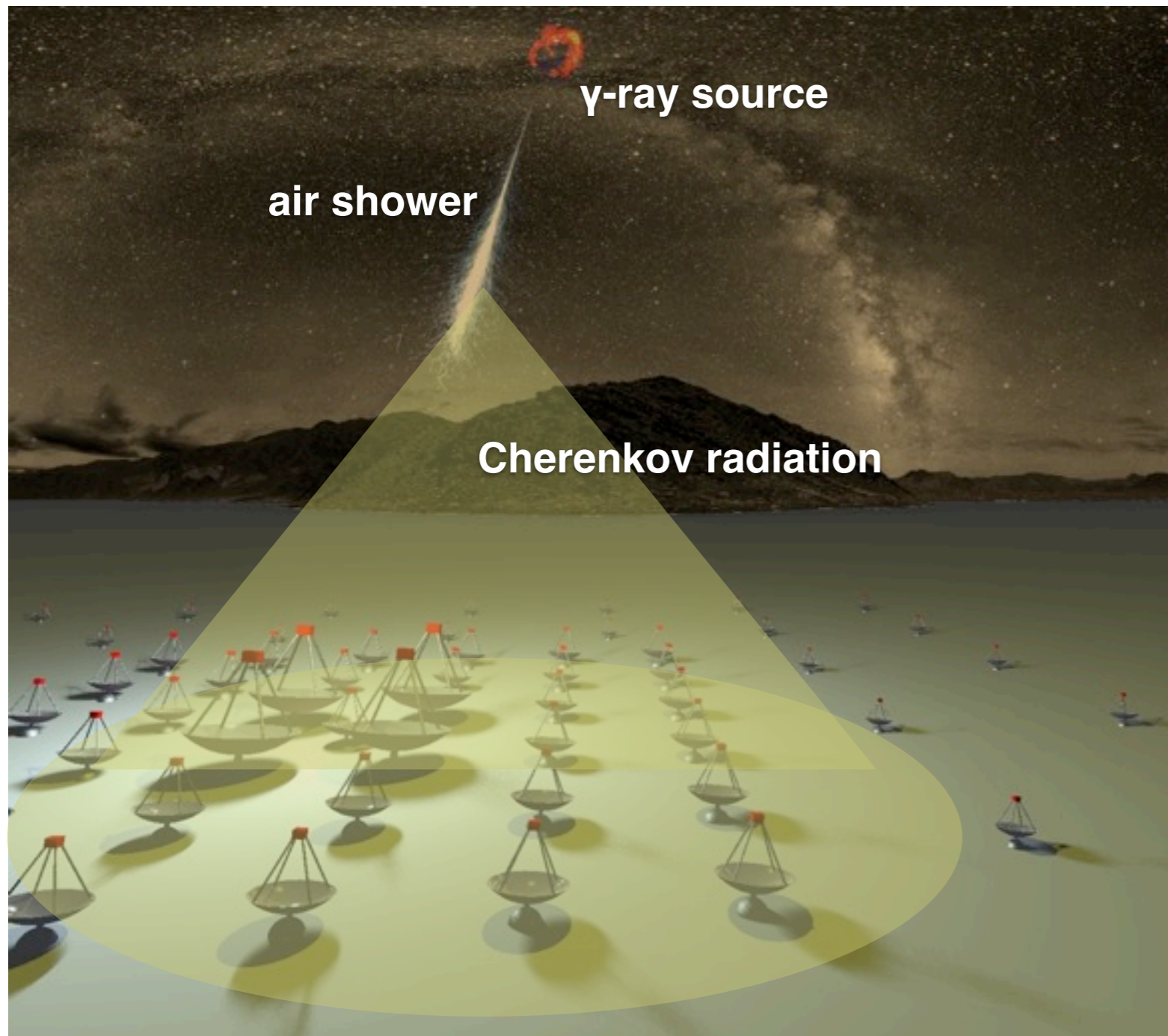
K. Bechtol^B、S. Funk^B、L. L. Ruckman^C

A. Simons^B、J. Vandenbroucke^B、G. Varner^C

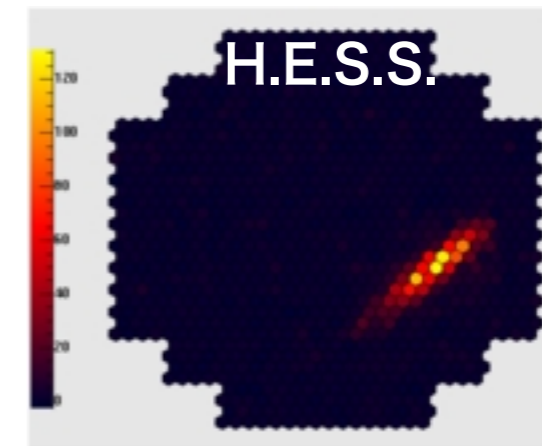
名大STE研^A、SLAC^B、ハワイ大^C

他 The CTA Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA)



- 宇宙ガンマ線の観測
(20 GeV~100 TeV 以上)
- 日米欧を中心とした国際共同実験
- 複数の望遠鏡で
ガンマ線シャワーイメージを再構築
- 現在稼働中のチェレンコフ望遠鏡から
10 倍の感度向上を目指す。

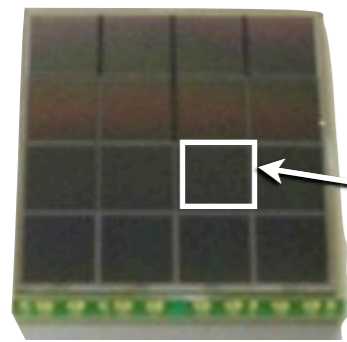


12 m Telescope
1 TeV gamma ray
→ ~5000 photons
5~10 ns

MPPC

- PMTに比べ光子検出効率（PDE）が高い

→望遠鏡のコストパフォーマンス向上



MPPC
S11827-3344MG
3 mm × 3 mm /ch
4 ch × 4 ch



MAPMT
H8500-D
6.08 mm × 6.08 mm /ch
8 ch × 8 ch

MAPMTに対する検出光量比

	L_{MPPC} / L_{MAPMT}
MPPC (50 μm type)	1.37 (measured)
MPPC (100 μm type)	2.17 (estimate)

※外形寸法比込み

MPPCの使用により、チェレンコフ光の検出光量が 1.4 ~ 2倍 (前回発表)

▶望遠鏡コスト削減→望遠鏡増加でガンマ線観測の感度 20 % 向上

基礎性能の詳細評価

CTA運用環境下で性能が十分に発揮できることを検証する

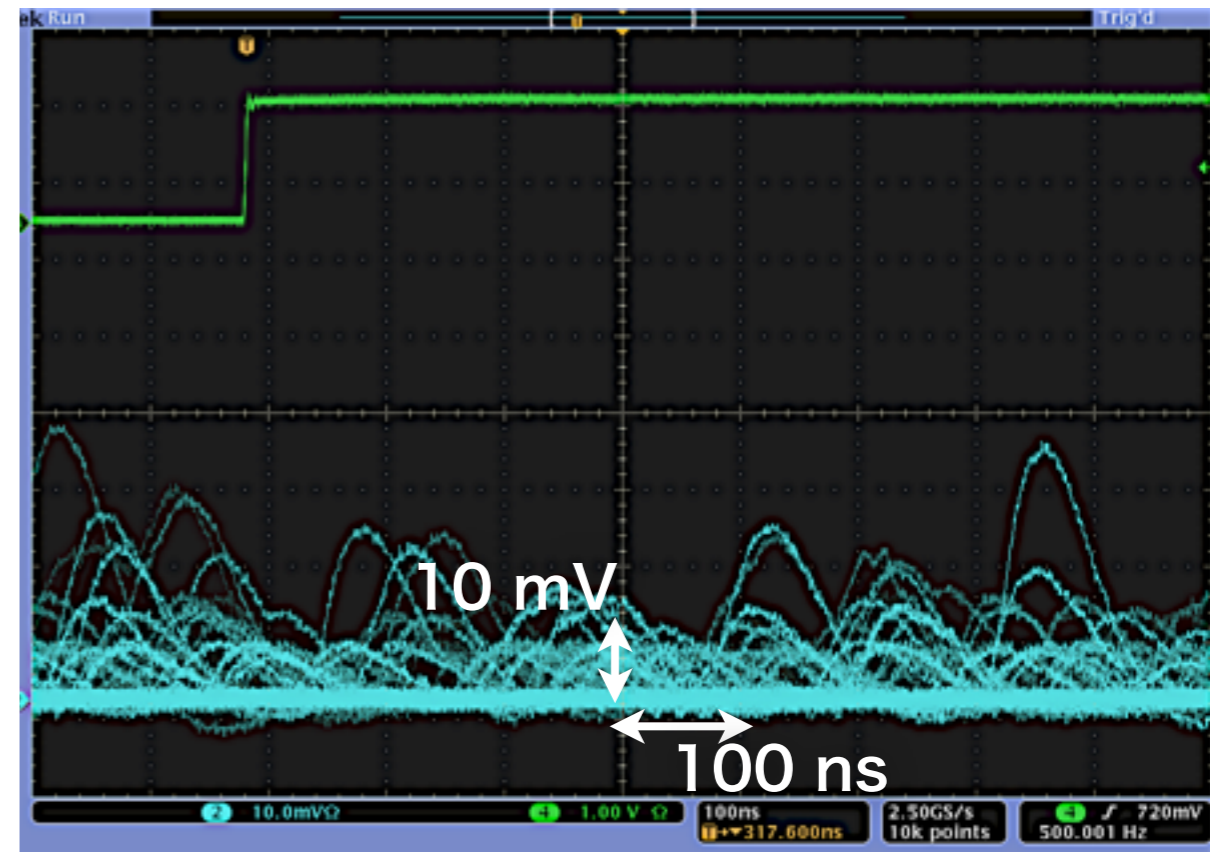
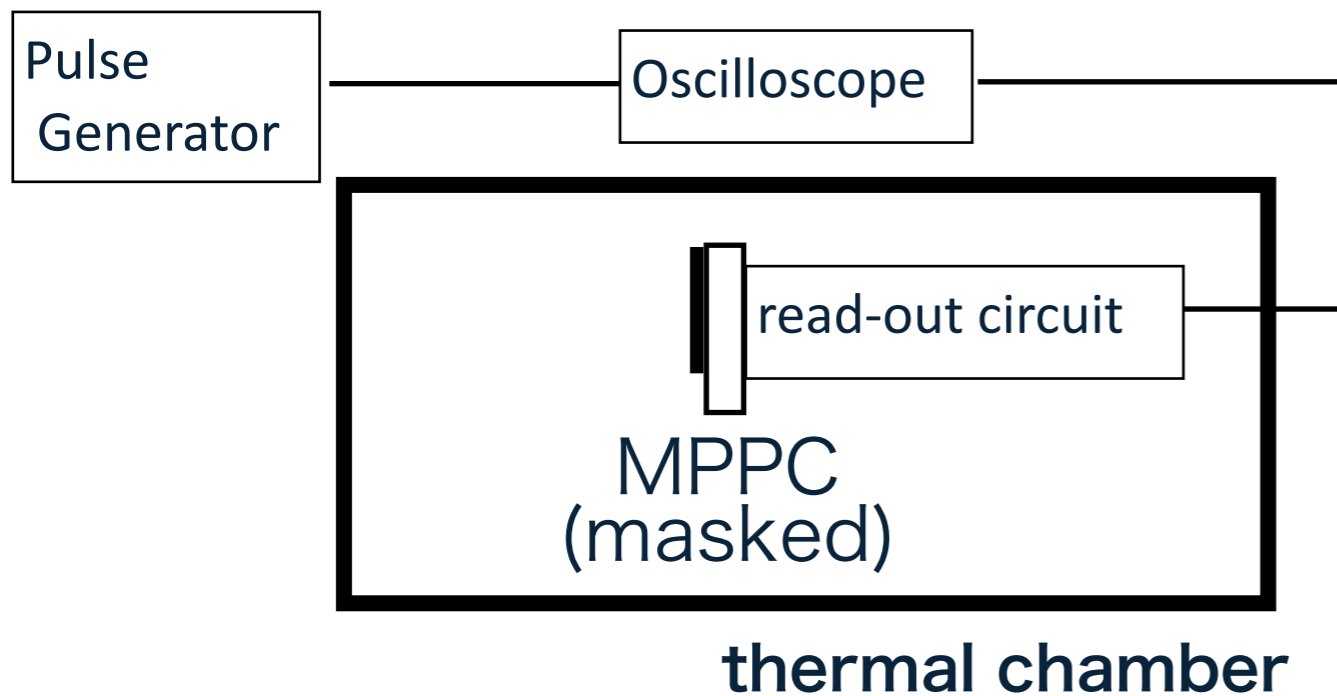
CTAでMPPCを採用する条件

- dark rate が高すぎない (夜光によるレートと同等かそれ以下)
- 基礎特性の温度依存性が運用に支障をきたさない
- カメラの空間的制約から、冷却はするが温度制御はしない予定

検証項目

- dark rate、gain、PDE の温度依存性
- 運用温度範囲は設定されていないのでまずは10 – 40°Cの範囲で測定
- 各温度で性能を最大限引き出す設定を決定

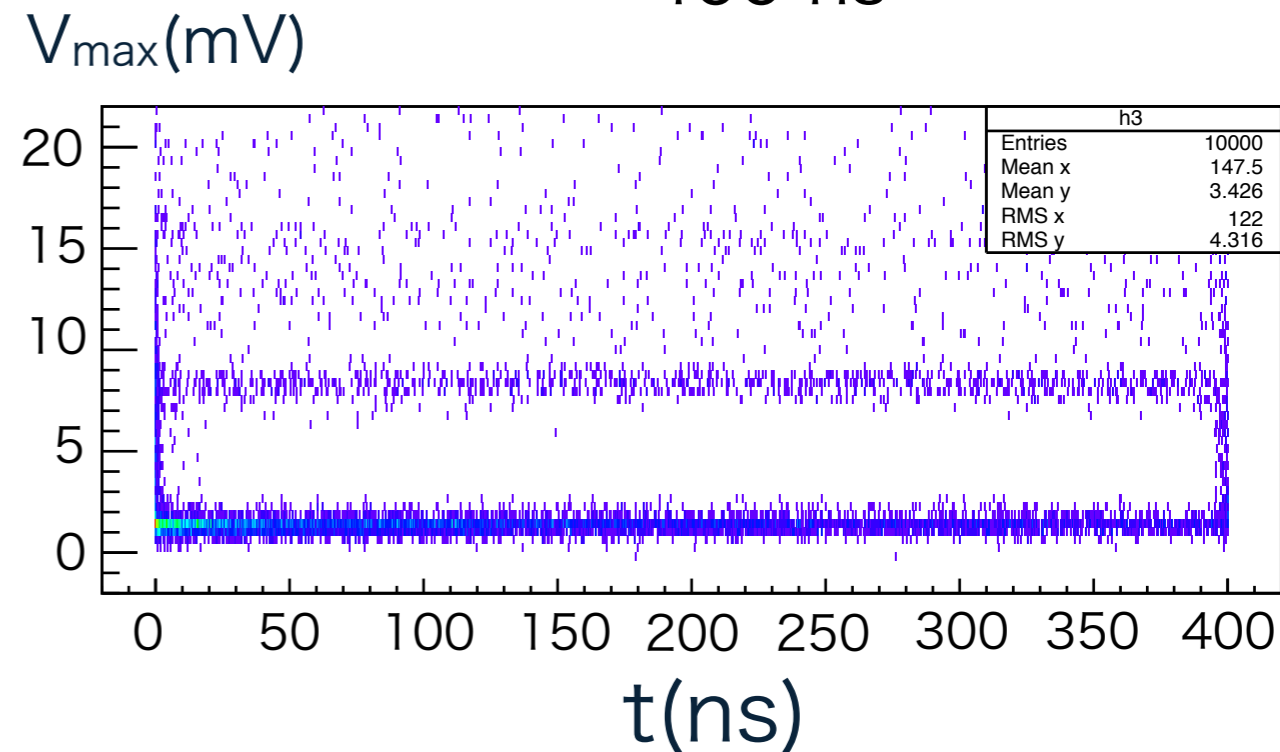
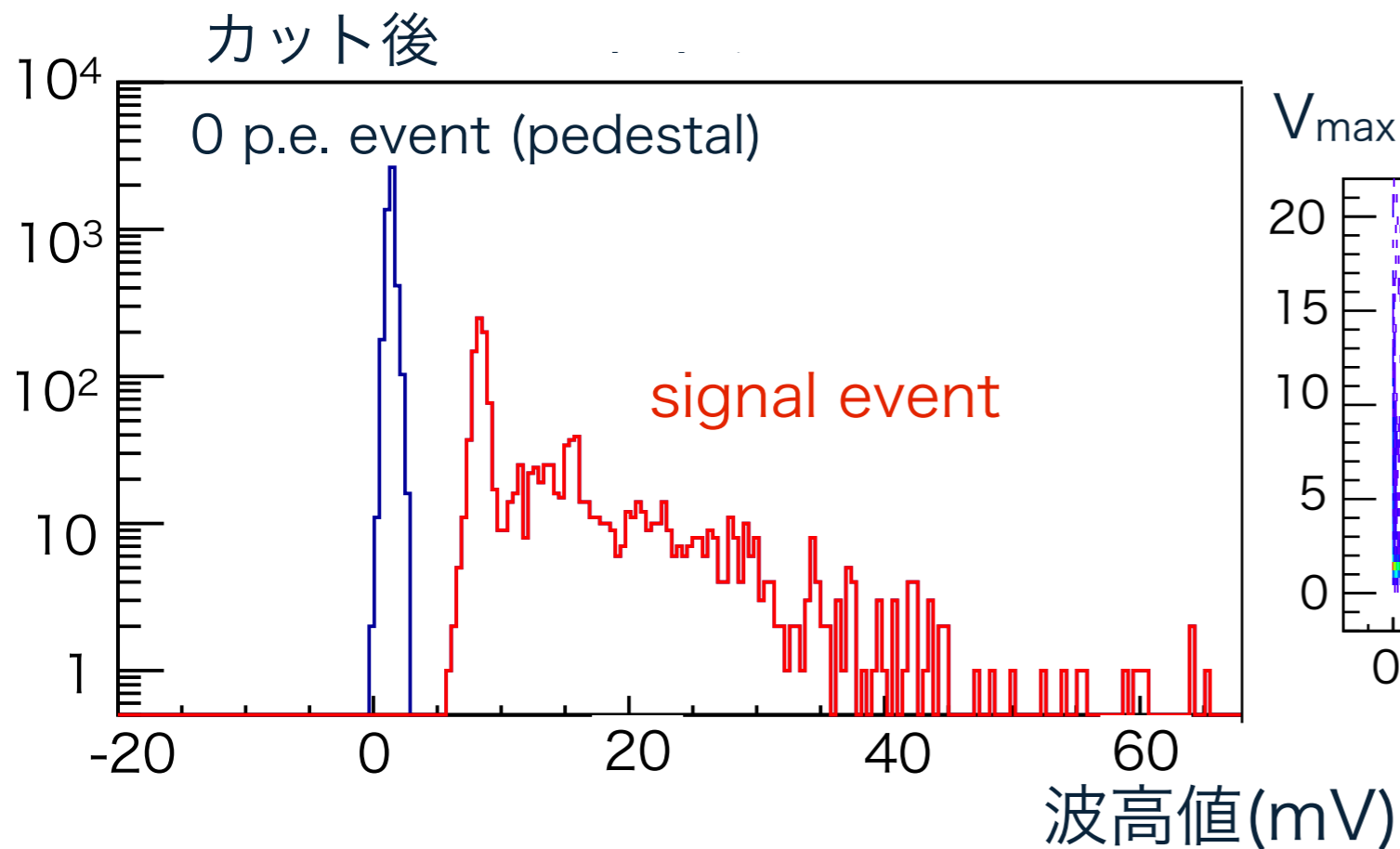
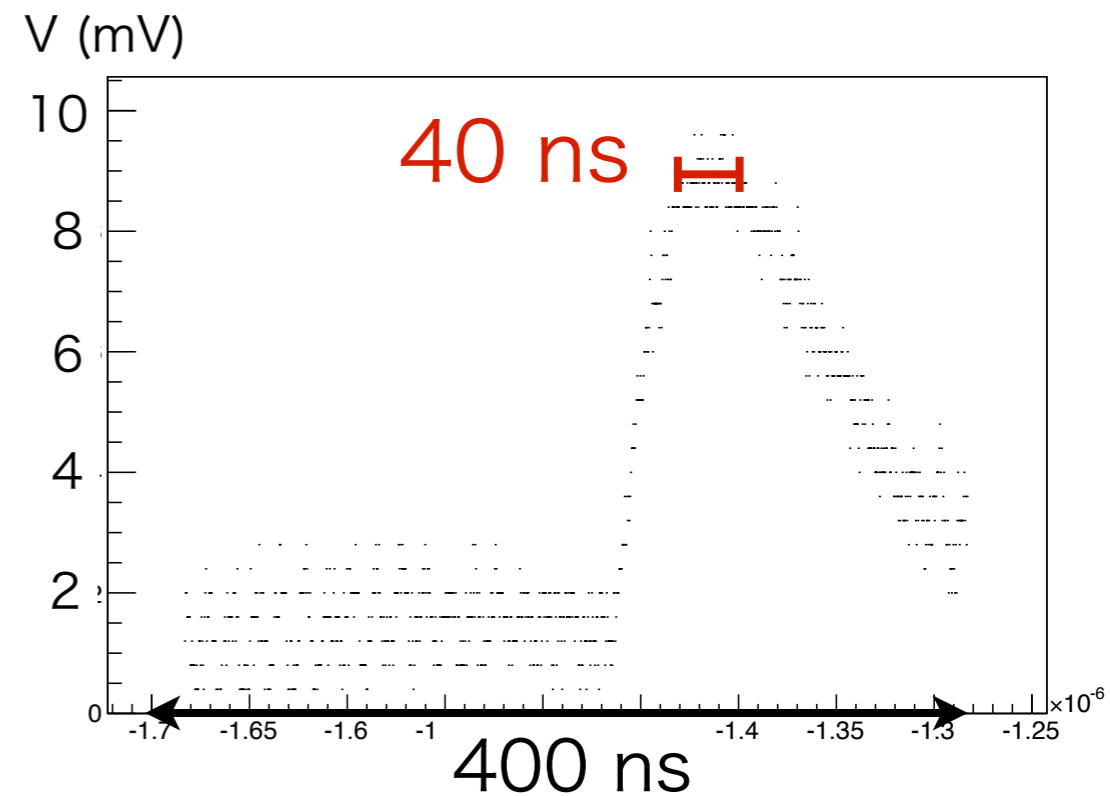
Dark Rate、Gain測定



- ランダムトリガーで波形を取得
 - ▶ ダークシグナルのカウント数と出力の大きさ求める。
- チャージアンプを使用 (電荷量 \propto 波高値)
- 各温度、各バイアス電圧で測定

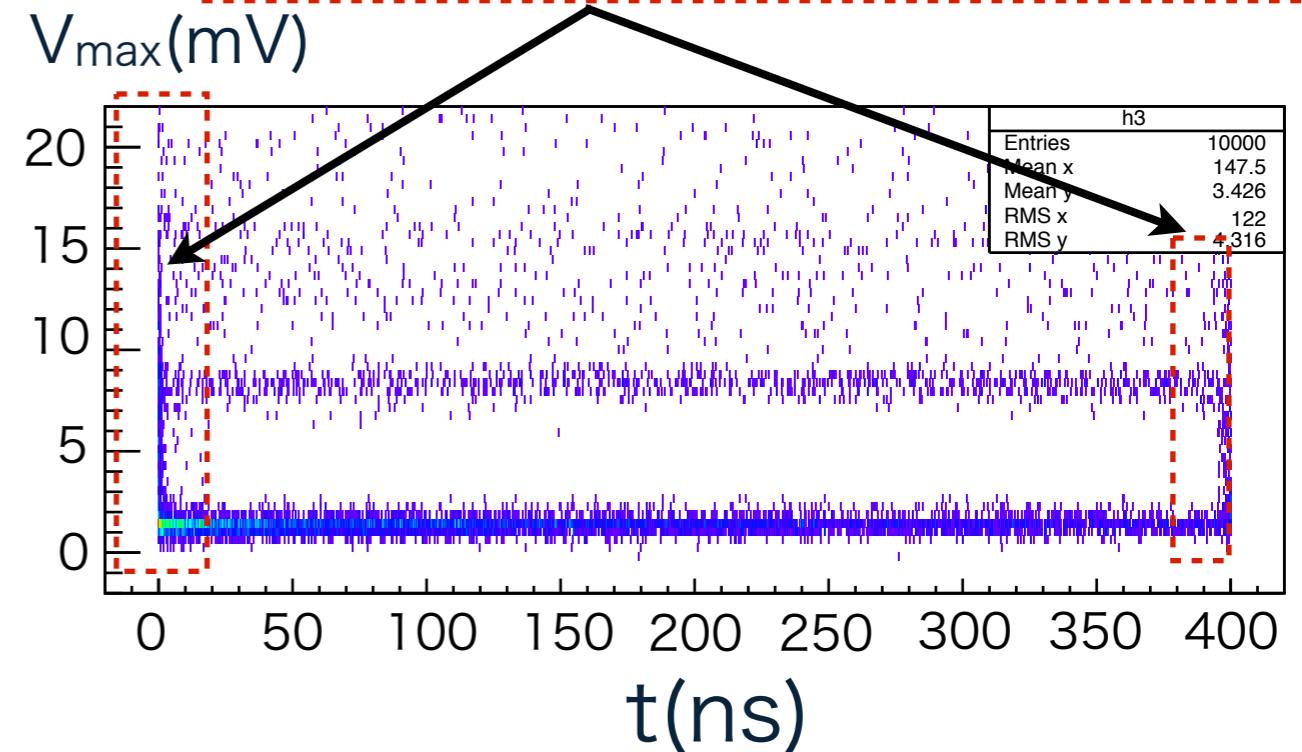
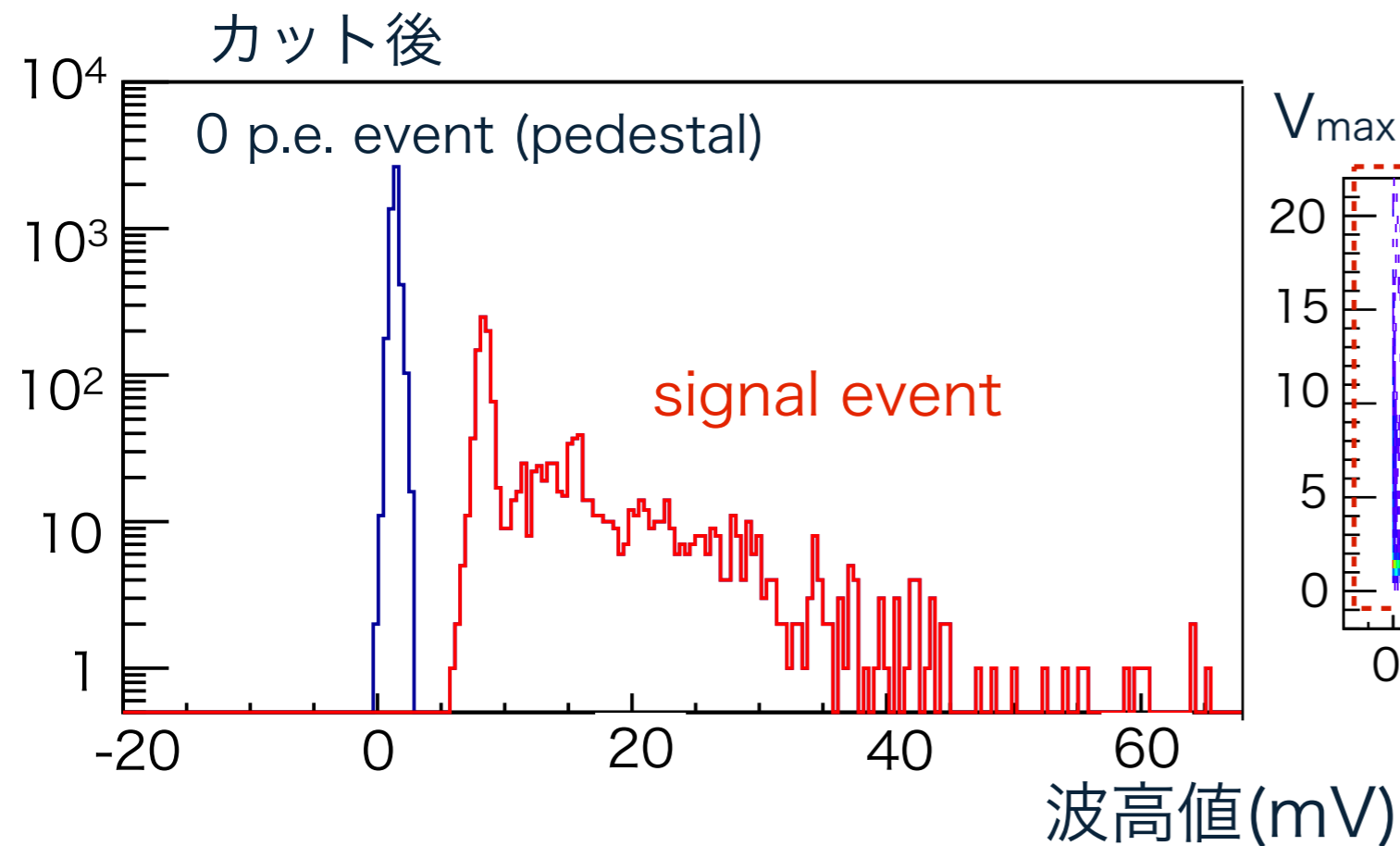
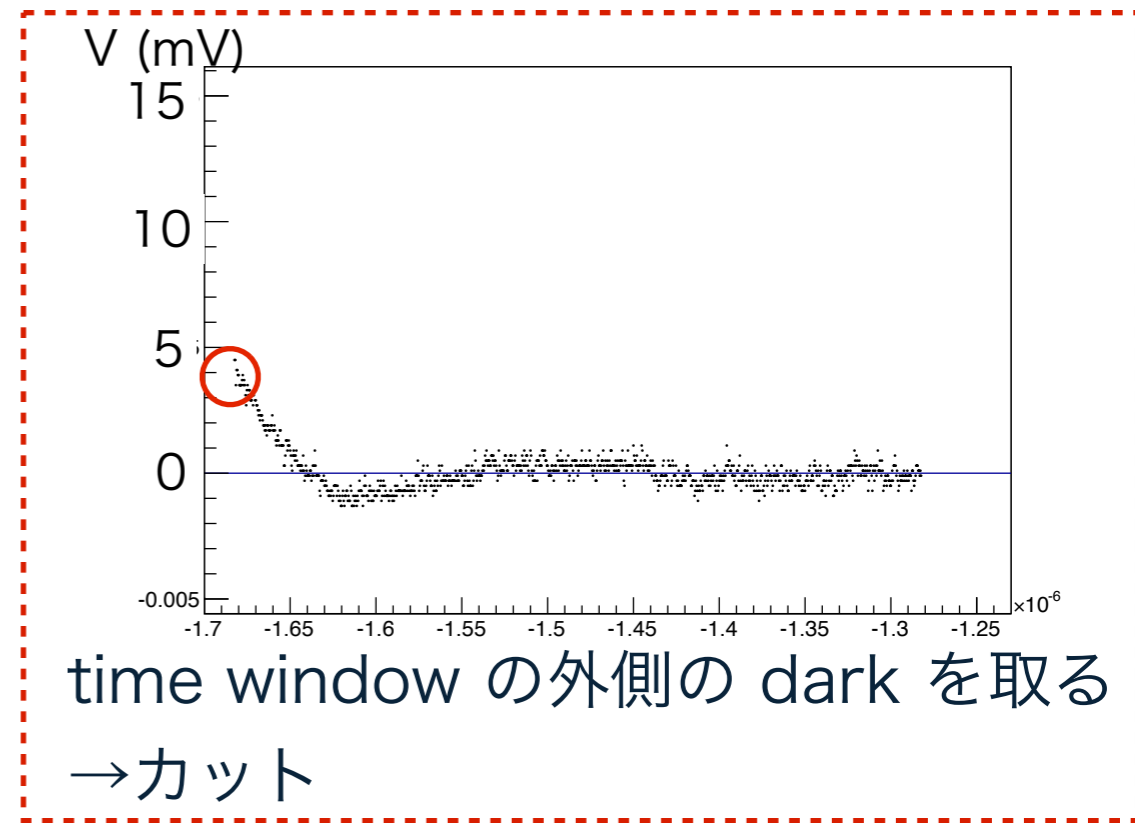
Dark Rate 解析方法

- 各波形の最大値とその時間を取得
- off - timingのイベントをカット
- 最大値付近 40 nsの平均値をとり、ヒストグラムを作成



Dark Rate 解析方法

- 各波形の最大値とその時間を取得
- off - timingのイベントをカット
- 最大値付近 40 nsの平均値をとり、ヒストグラムを作成



Dark Rate 解析方法

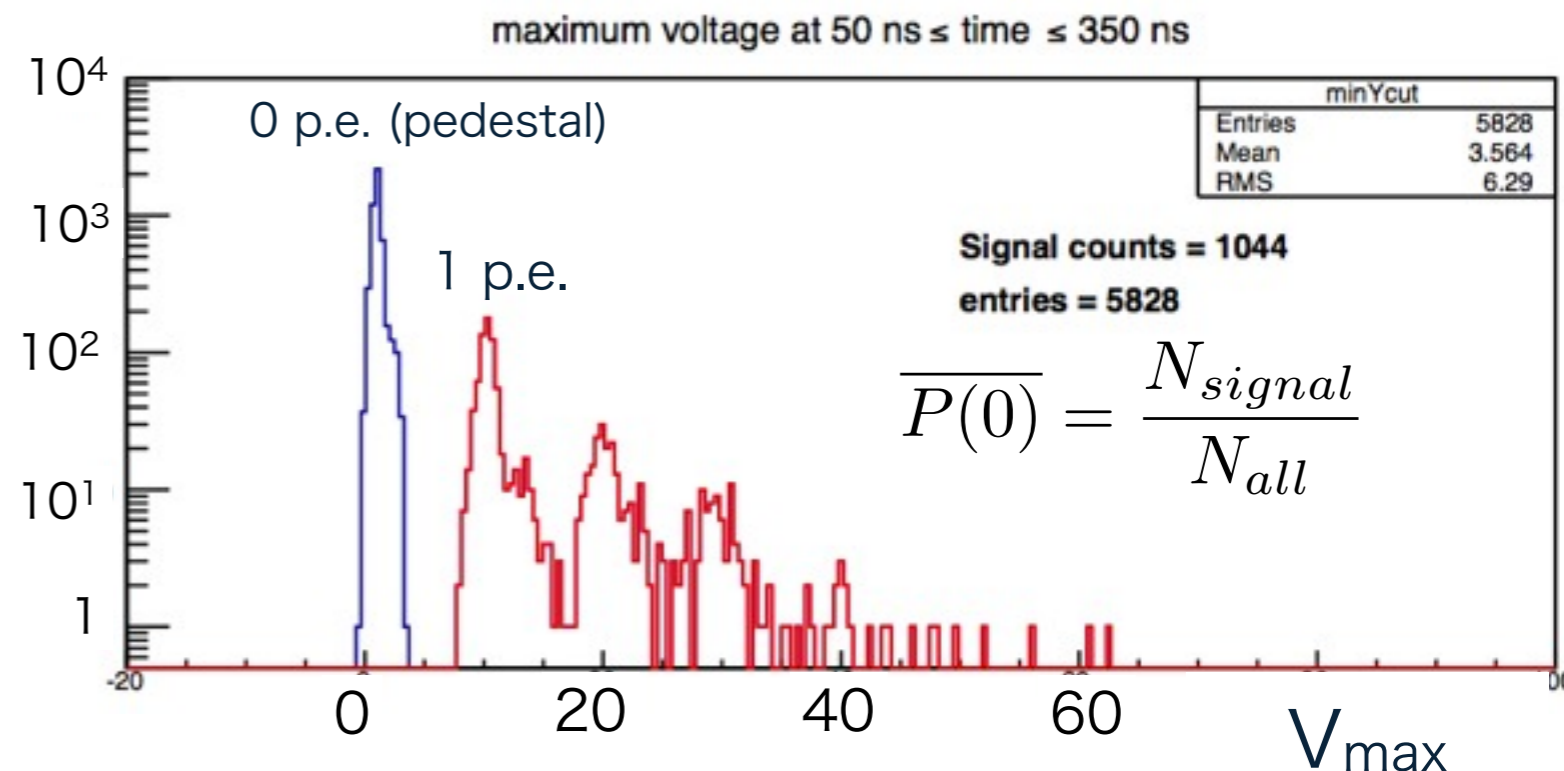
- 観測時間に入ってくる平均 p.e.数を算出
- Poisson分布を仮定し、0 p.e.のイベント数から $P(0)$ を求める
→ Poissonの平均値からDark Rateを計算

Dark Rate f の算出

$$P(k) = \frac{(\Delta t \cdot f)^k}{k!} e^{-\Delta t \cdot f}$$

$$\overline{P(0)} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\Delta t \cdot f}$$

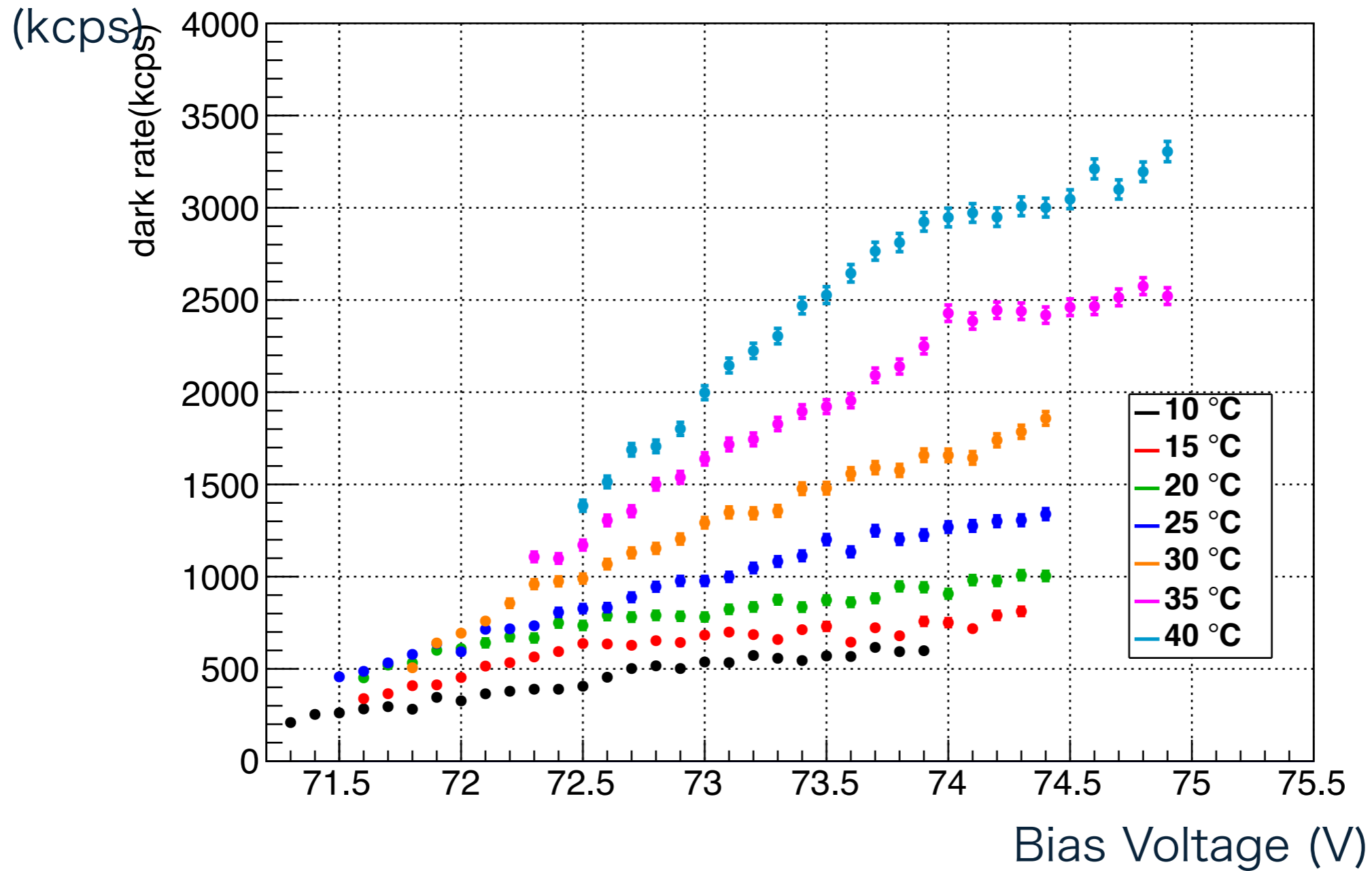
$$f = -\frac{\ln(1 - \overline{P(0)})}{\Delta t}$$



Dark Rate 測定結果

Dark Rate

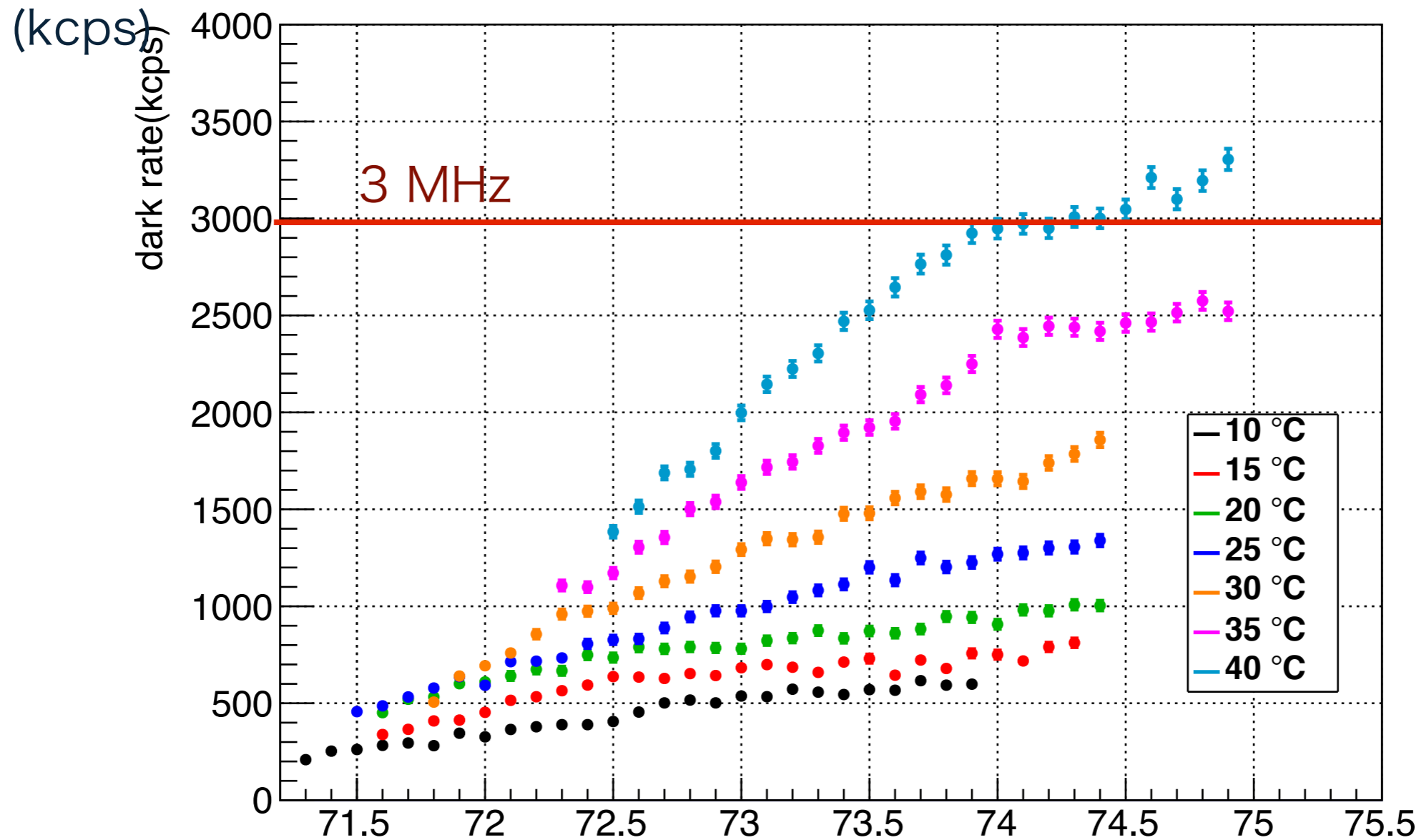
MPPC Dark Rate Measurement



Dark Rate 測定結果

Dark Rate

MPPC Dark Rate Measurement



夜光バックグラウンド :3MHz/(3mm×3mm)

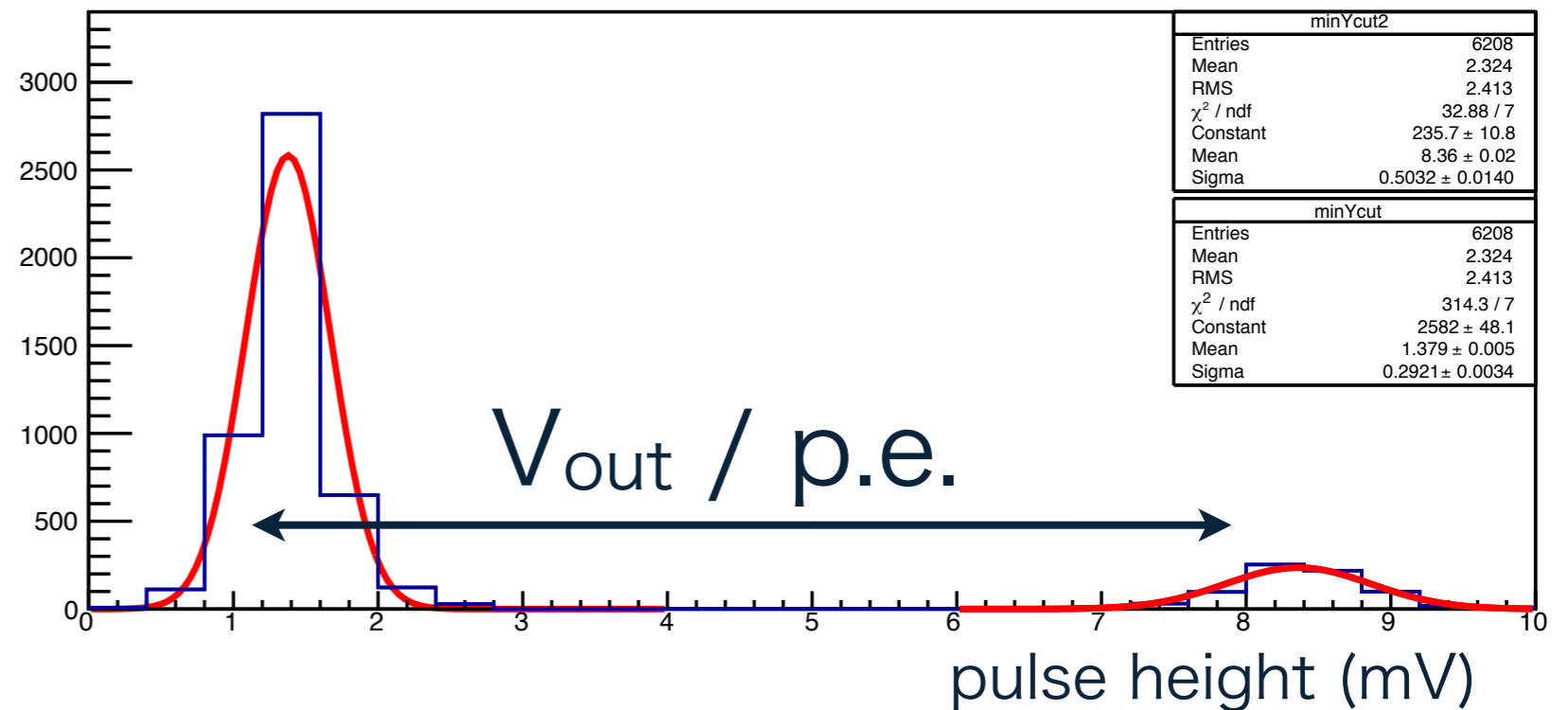
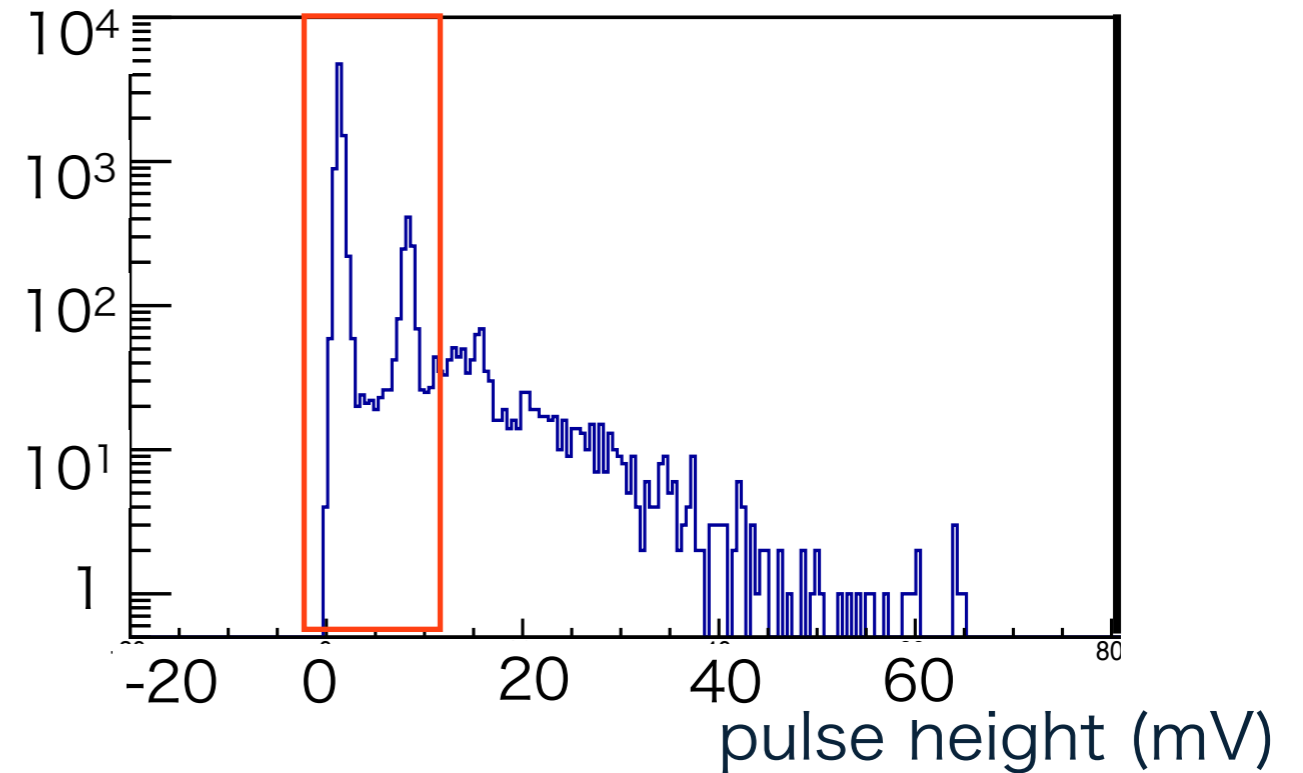
Bias Voltage (V)

25 °C程度までは半分以下、40°Cでも同程度

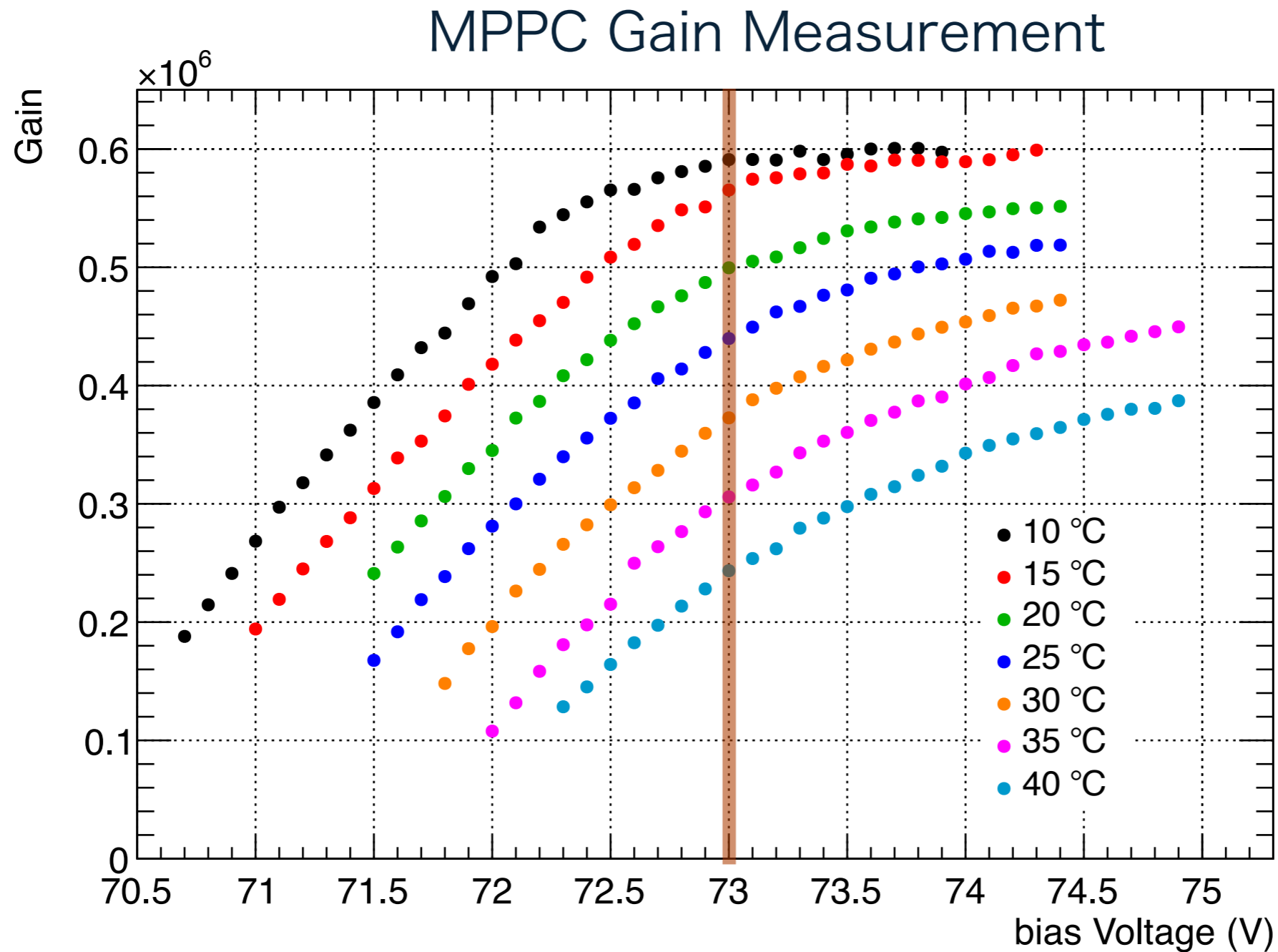
Gain

- 0 p.e. と 1 p.e.のピークの
間隔を求める
- 各ピークは Gaussianで fit
- シミュレーションから
Gainの絶対値を算出

- ・ チャージアンプ容量
- ・ opアンプの周波数特性
- ・ MPPCの寄生容量



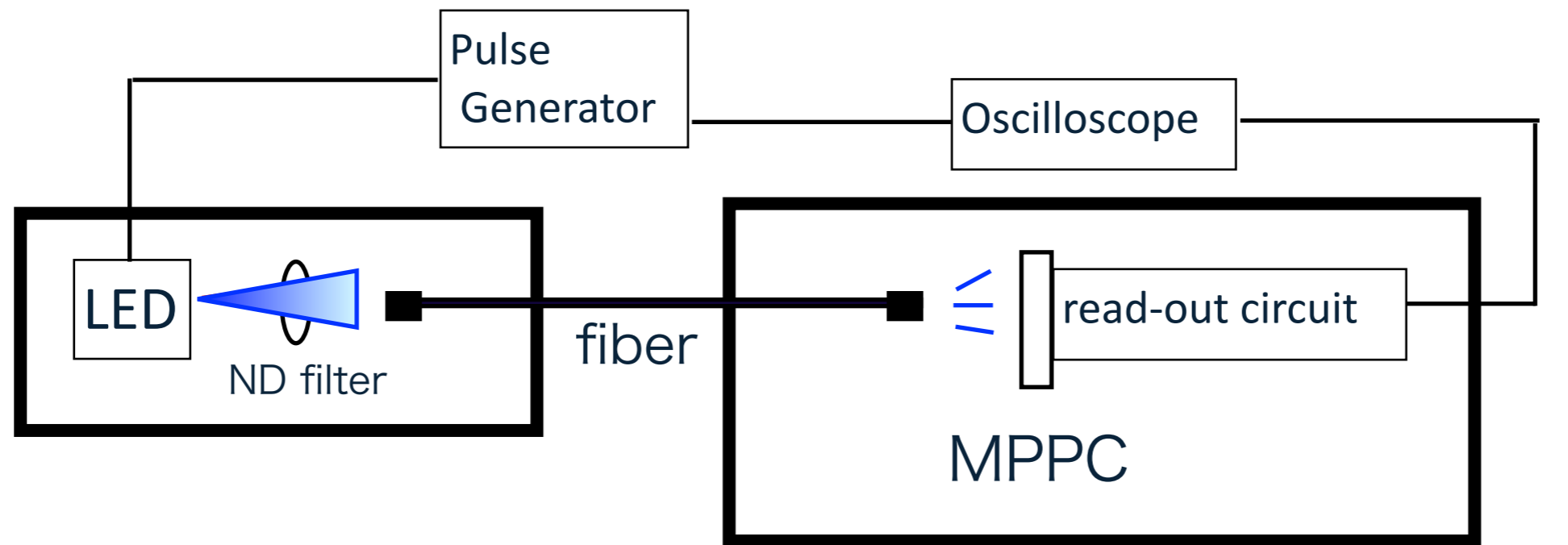
Gain 測定結果



1°Cの変化で4%程度出力が変化

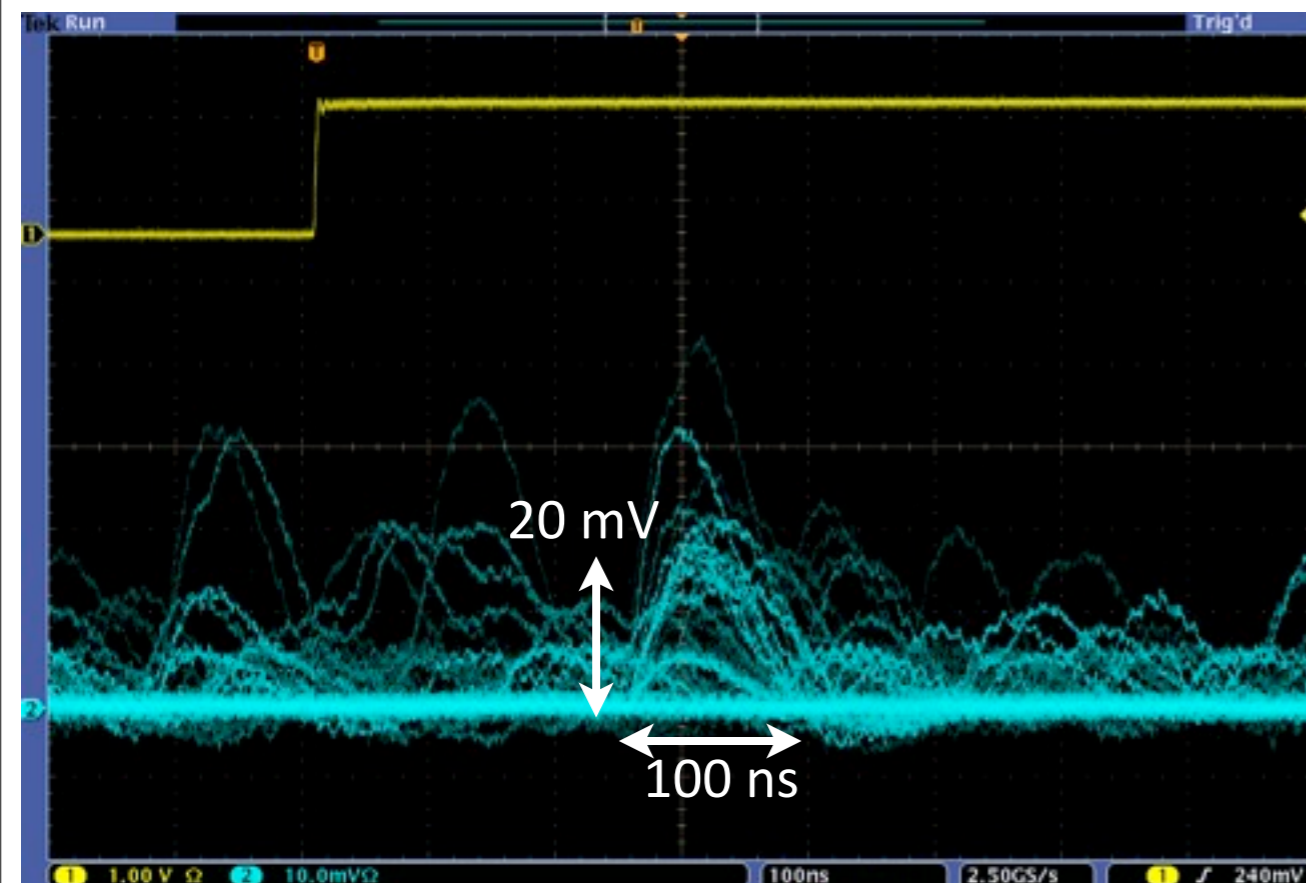
10°Cから40°Cの温度変化により2倍～ 3倍 Gainが変わる。

PDE温度依存性の測定



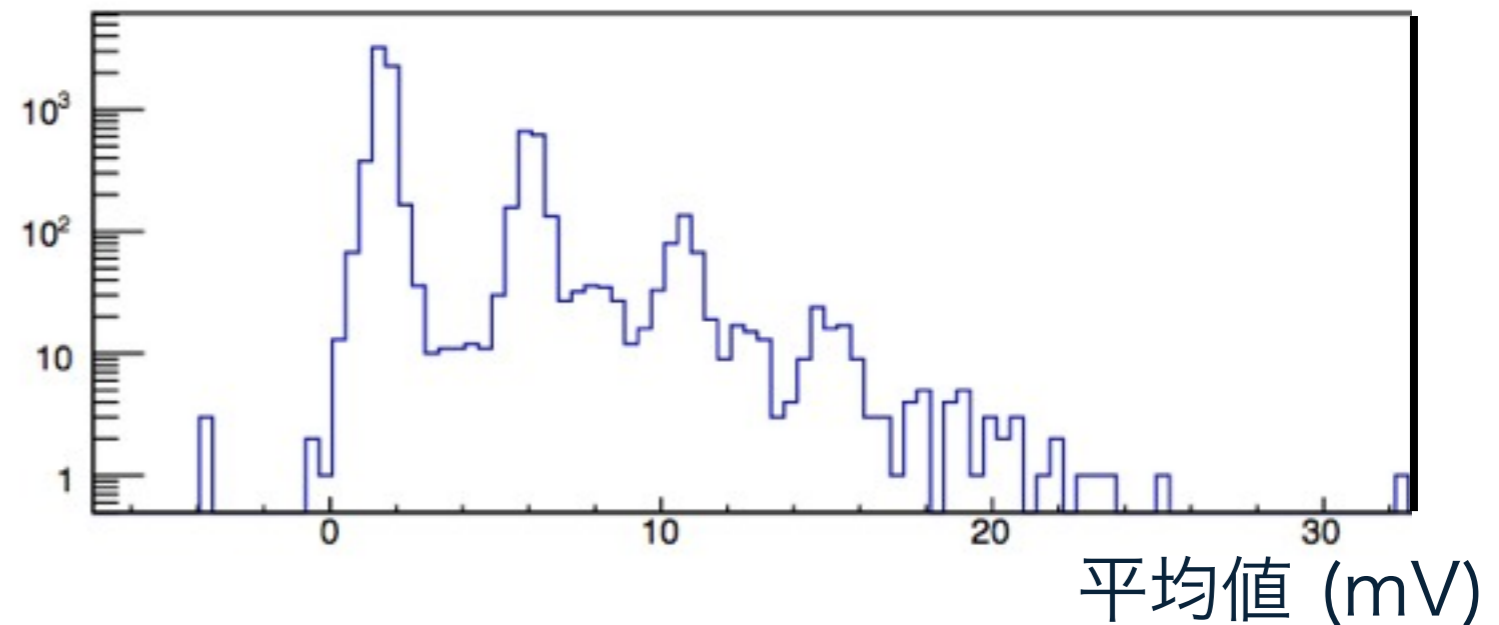
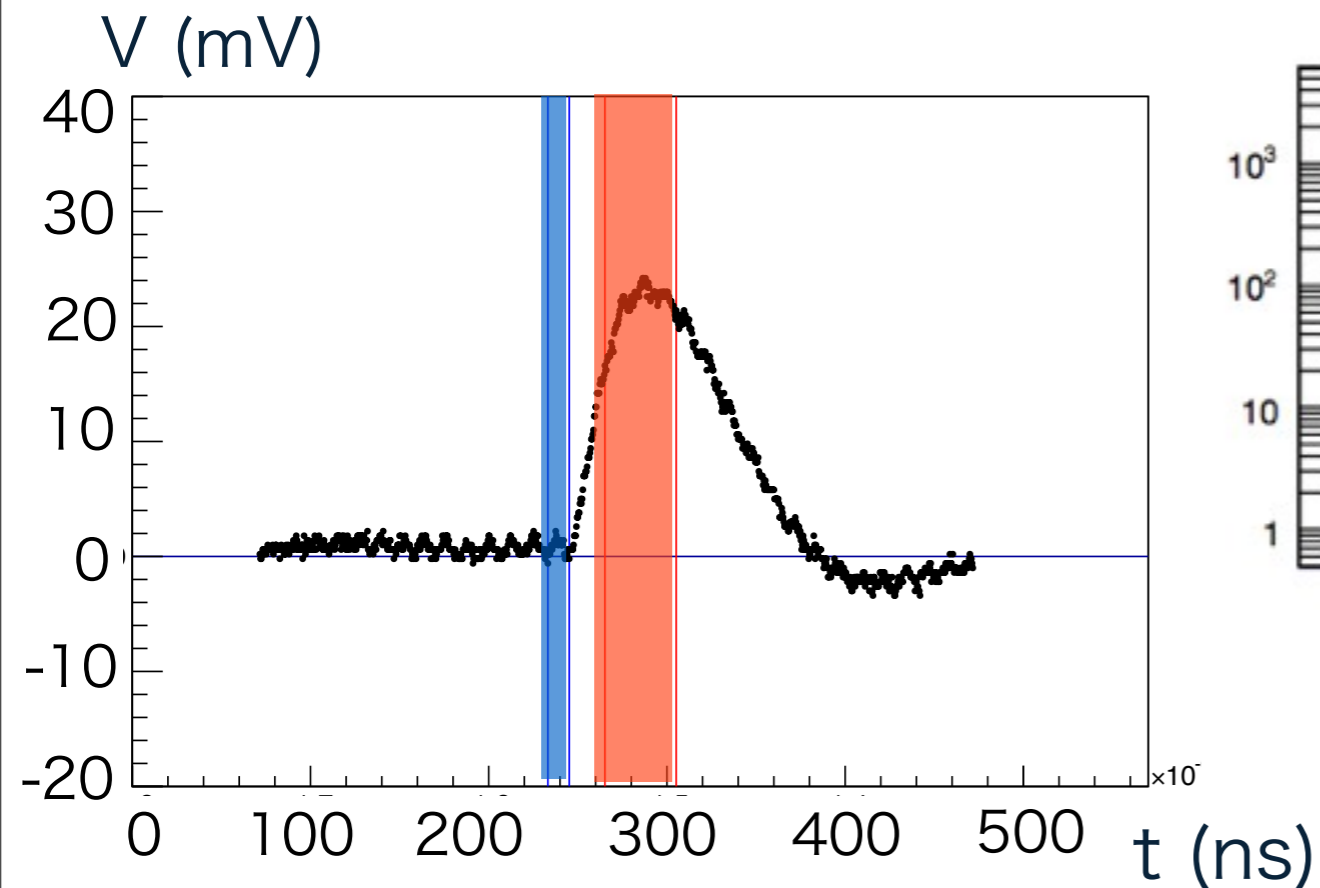
thermal chamber

- MPPCに同一の光量を入射して、各温度、各バイアス電圧で検出光量を比較 → PDEの”相対値”
- LED入力パルスの同期信号でトリガー
- パルス入力幅 29.3 ns



PDE解析法

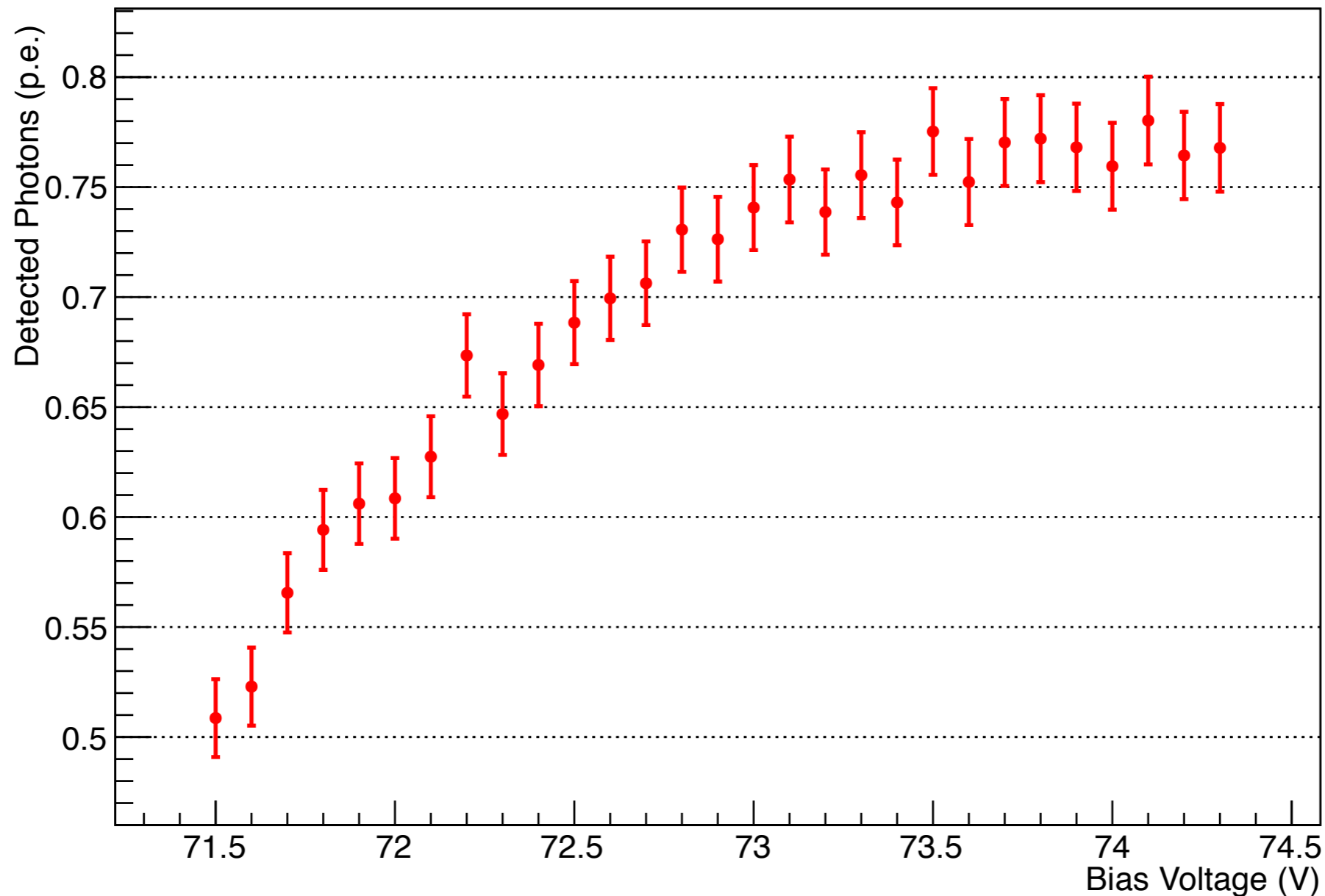
- LEDが発光する時間幅(赤)の電圧の平均値
- 直前のベースライン(青)の mean と RMS からカットをかけ、off-timing からのダークの混入を抑制
- Poisson 分布を仮定し、 $P(0)$ から平均検出光子数を求める



PDE測定結果

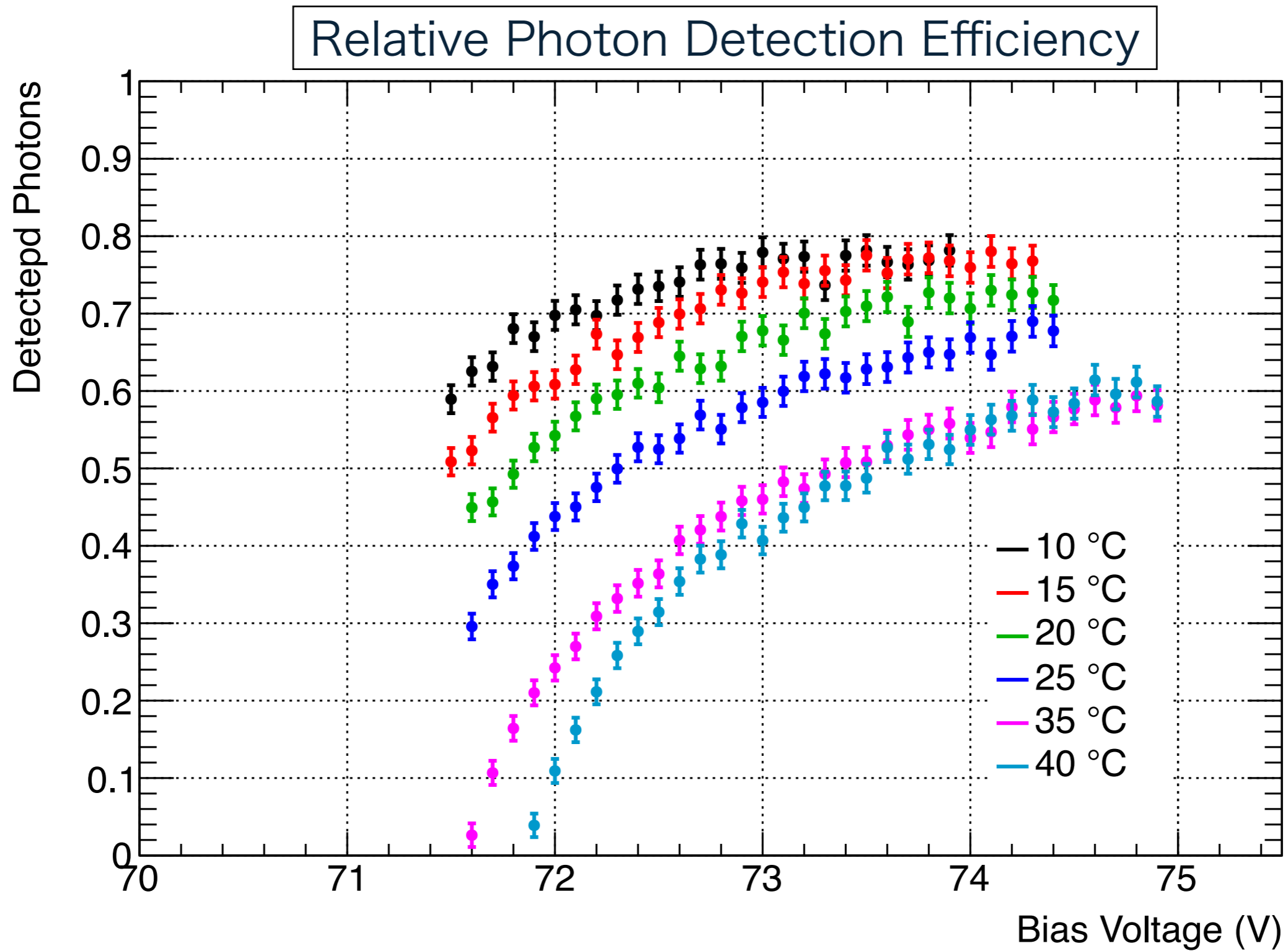
検出光子数 (相対 PDE) vs バイアス電圧

Average Detected Photons 15 °C



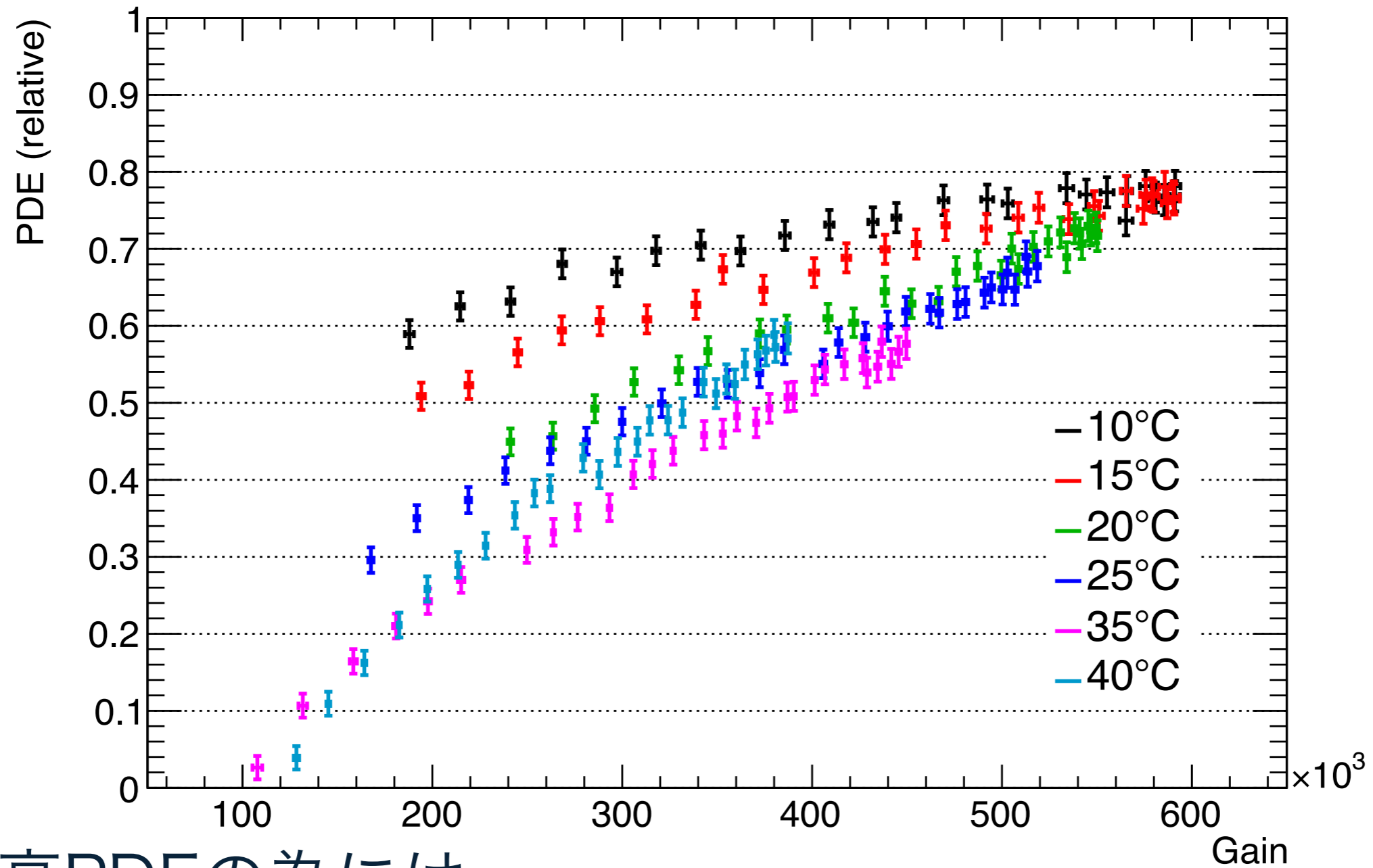
Break Down電圧から2V ~ 3Vで ほぼ最大値に

PDE測定結果



考察

PDE vs Gain



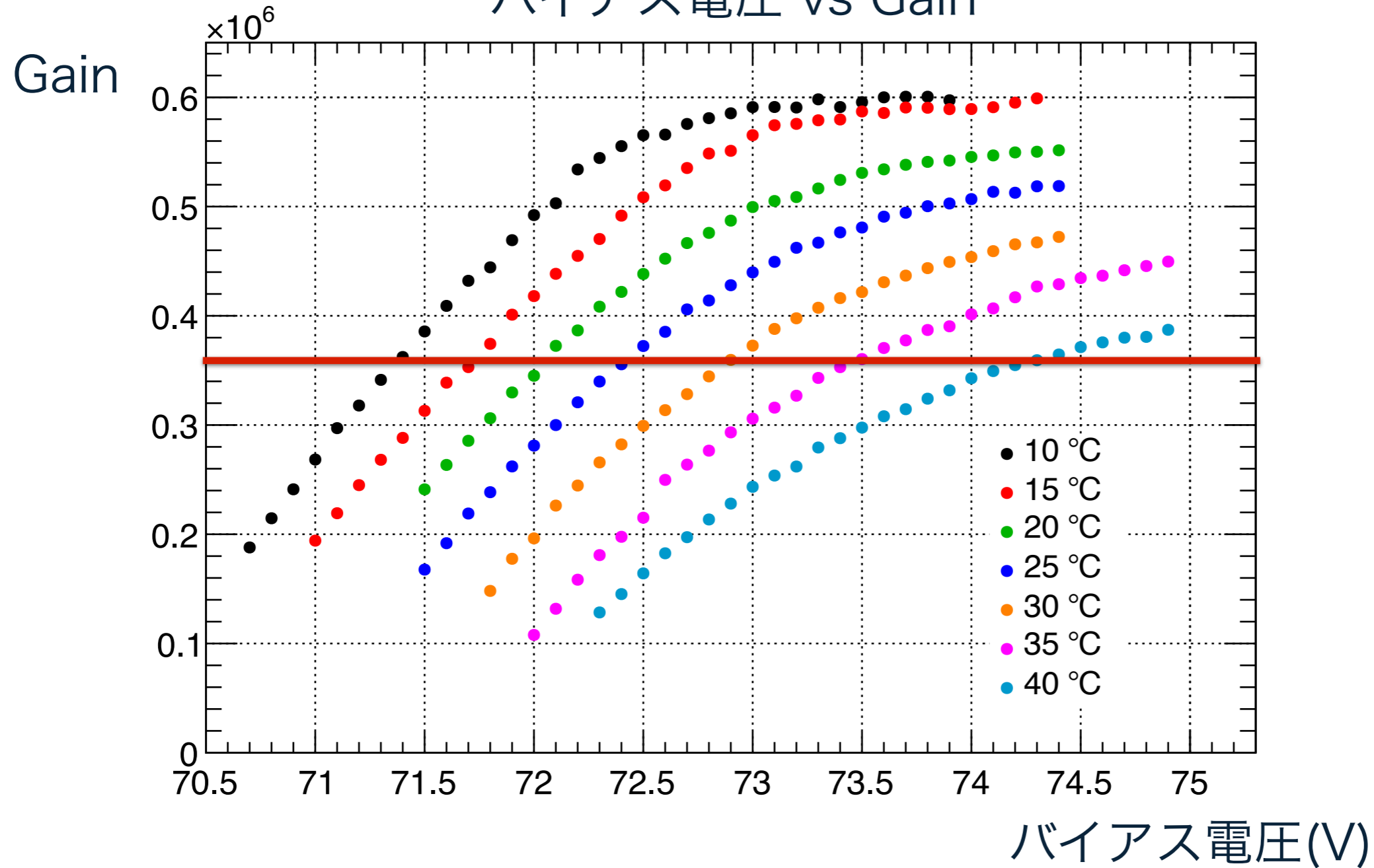
高PDEの為には

高いGainでの動作が必要

考察

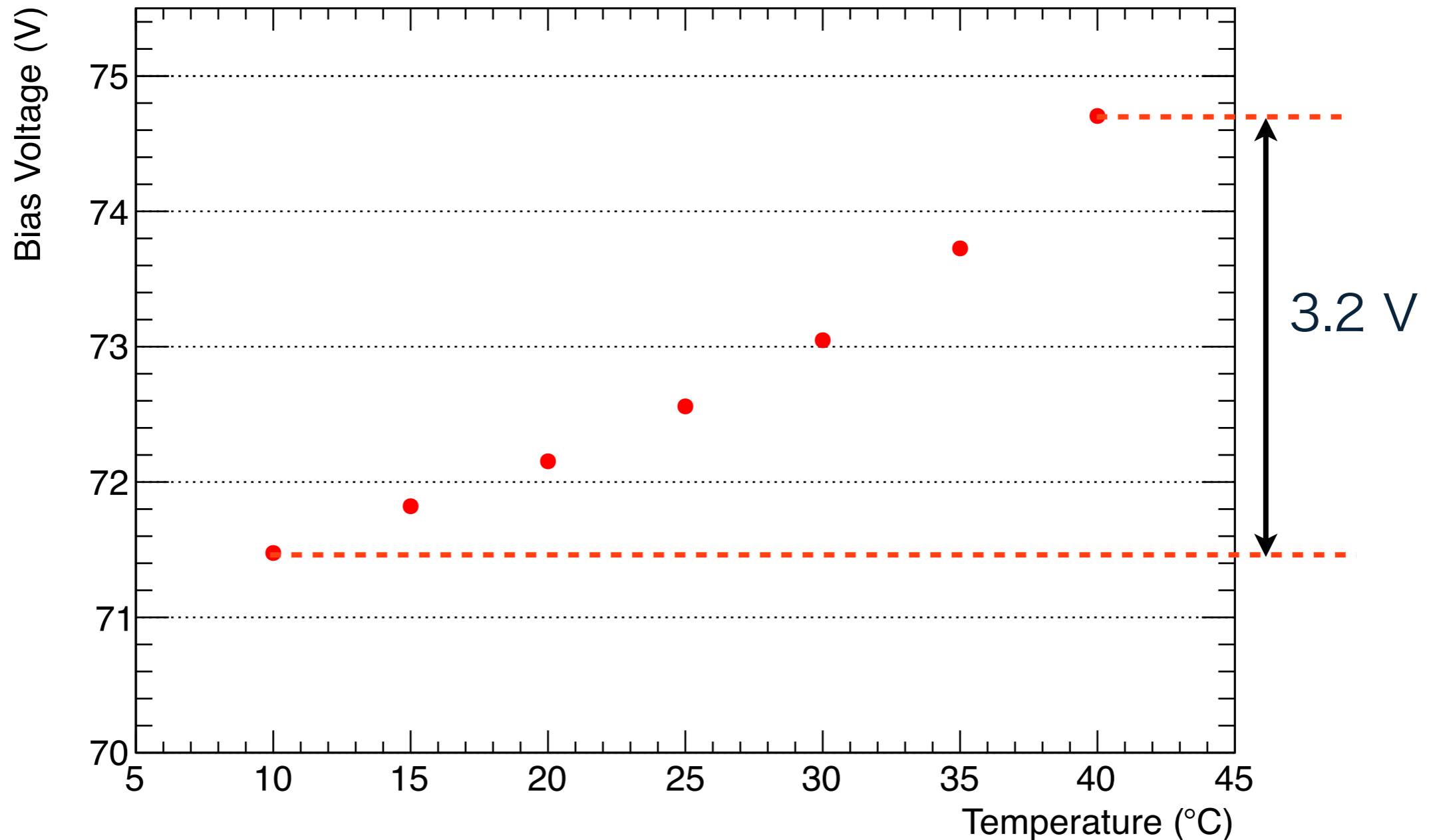
Gain 3.8×10^5 で一定にしたした場合を考える

バイアス電圧 vs Gain



考察

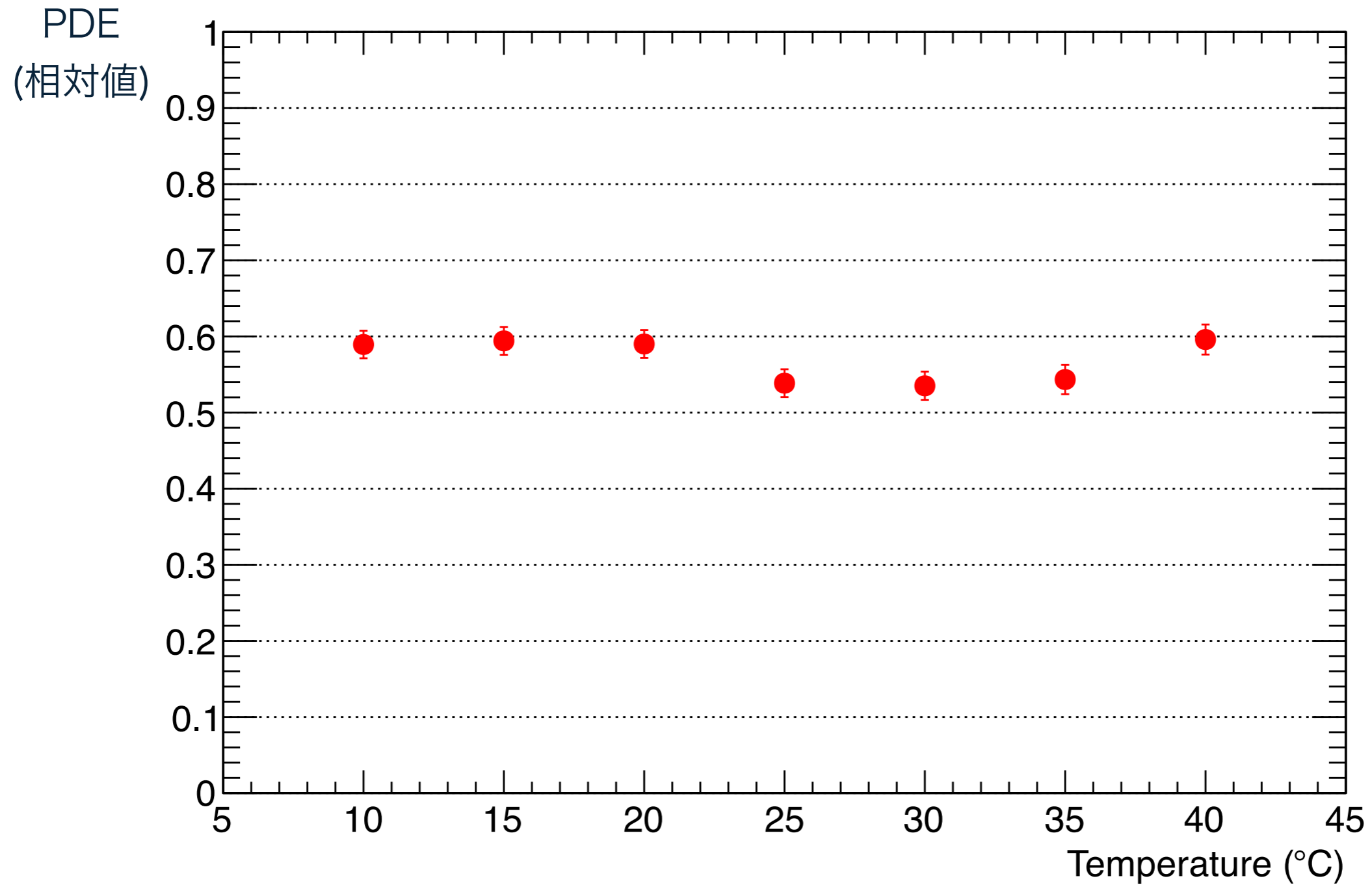
バイアス電圧 vs 温度 @Gain 3.8×10^5



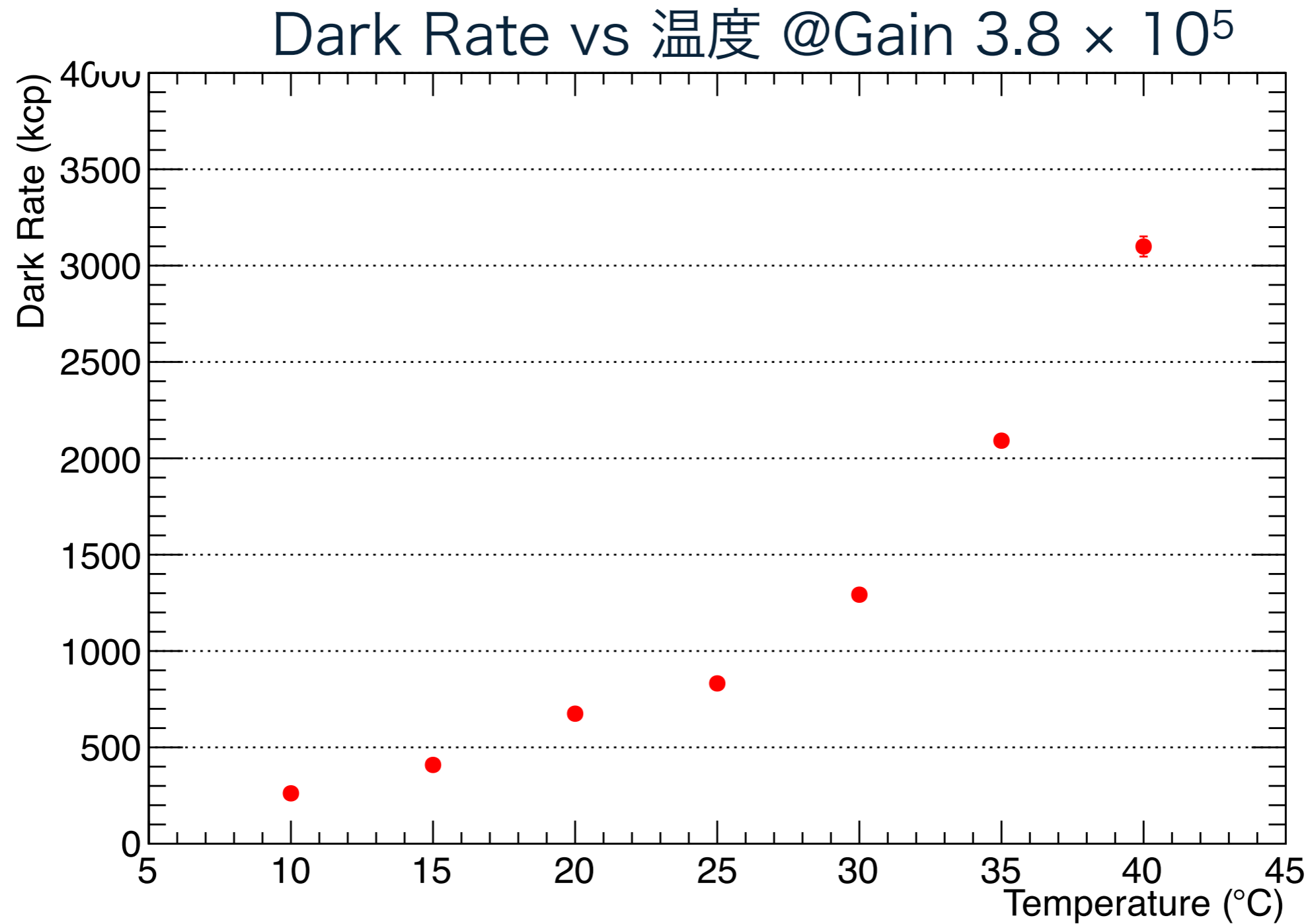
10°C – 40°Cの温度変化でも 3.2 Vの V_{bias} 変化で対応可能
1°Cの温度変化は 0.1 V程度の変化に相当

考察

PDE vs 温度 @Gain 3.8×10^5



考察



高温での増加 (高温 + 高バイアス電圧)

30°Cまでなら夜光の半分以下、40°Cでも同程度

まとめ

PDE、Gain、Dark Rate の バイアス電圧依存性、
温度依存性の測定 ($10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$)

- Dark Rate は最も高い場合で夜光バックグラウンドと同程度 → トリガー効率の詳細な見積り
- Gain の温度変化に対して、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ は $\pm 0.1\text{V}$ に相当する。 $10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}$ の変化に対して動作電圧を 3V 程度変える必要
- PDEを高くするためには一定以上のGainが必要