

CTA計画チェレンコフカメラに向けた半導体光検出器 MPPCの性能評価及びトリガー効率の詳細評価

日高 直哉^A、田島 宏康^A、奥村 暁^A、David Williams^B、
Aurelien Bouvier^B、他 the CTA Consortium

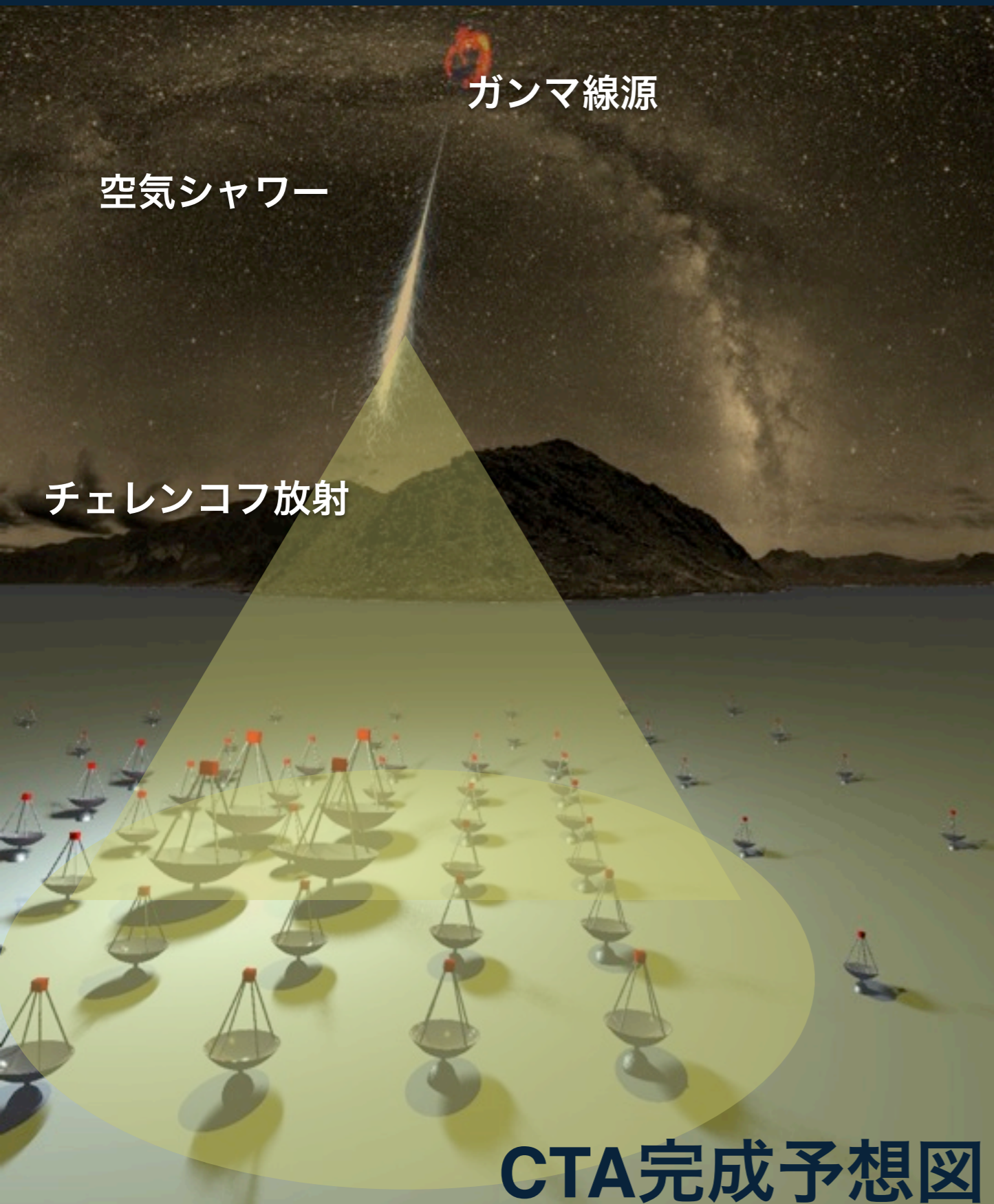
名大STE 研^A、UCSC^B

CTA計画チェレンコフカメラに向けた半導体光検出器 MPPCの性能評価及びトリガー効率の詳細評価

日高 直哉^A、田島 宏康^A、奥村 暁^A、David Williams^B、
Aurelien Bouvier^B、他 the CTA Consortium

名大STE 研^A、UCSC^B

Cherenkov Telescope Array (CTA)

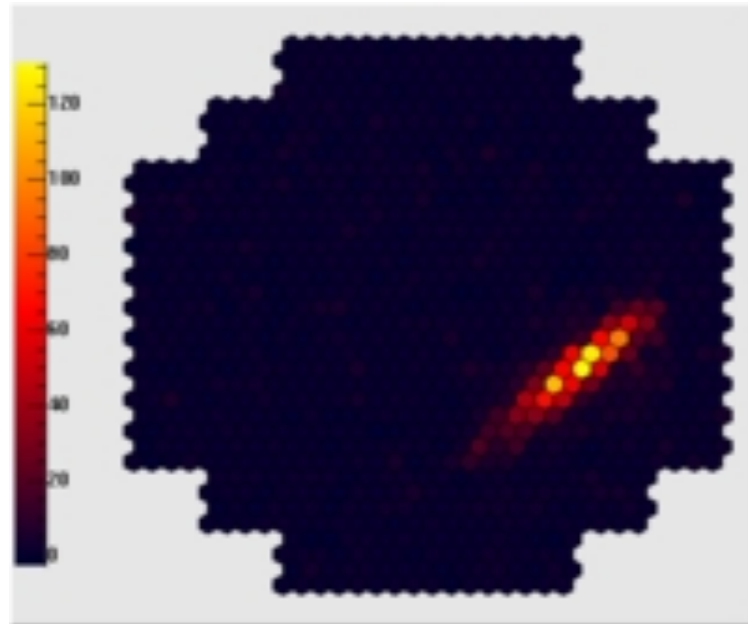


- 20 GeV~100 TeV 以上の宇宙ガンマ線の観測
- 日米欧を中心とした国際共同実験
- 現在稼働中のチェレンコフ望遠鏡から 10 倍の感度向上を目指す
- 複数の望遠鏡でガンマ線シャワーイメージを再構成
 - ▶ 検出光量からエネルギーを決定
 - ▶ シャワーイメージから到来方向を決定

CTA完成予想図

チェレンコフ望遠鏡

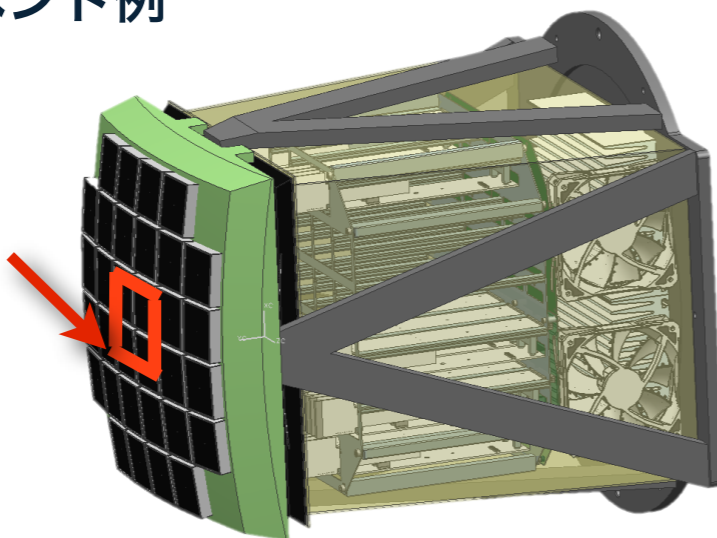
- 望遠鏡で集光された光を光検出器で検出



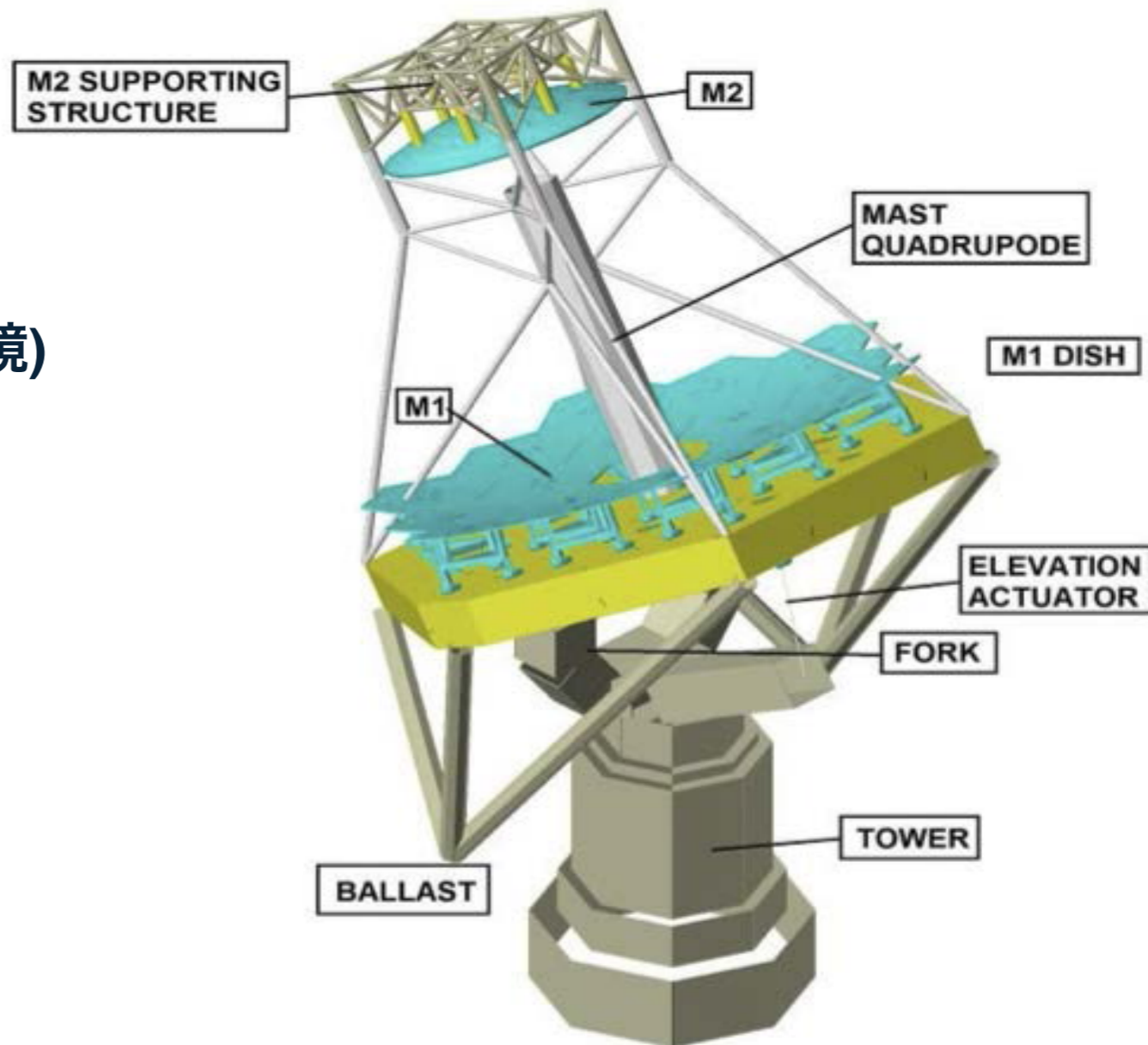
1 TeV ガンマ線
→ ~5000 光子
(12 m口径望遠鏡)
5~10 ns

H.E.S.S.望遠鏡での
チェレンコフイベント例

焦点面検出器
(6 × 6 cm²)

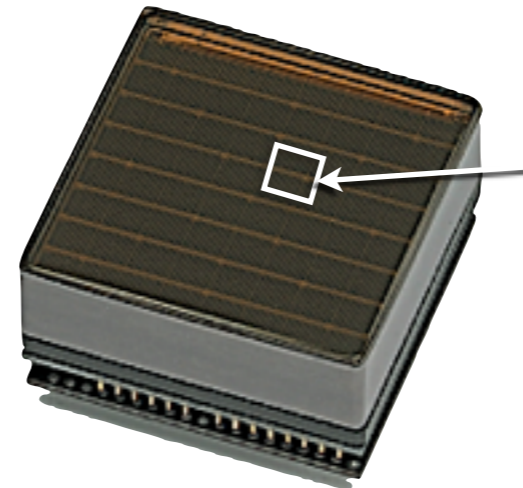
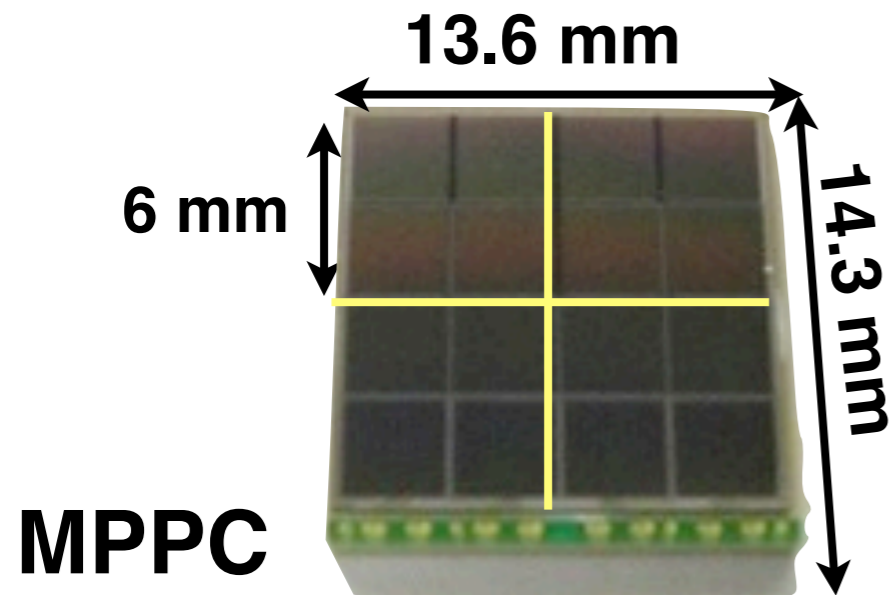


チェレンコフカメラ



CTA Small Size Telescope (SST)
dual mirror type

MPPPC (Multi Pixel Photon Counter)



MAPMT

6.08 mm × 6.08 mm /ch

8 ch × 8 ch

焦点面検出器の候補の一つ

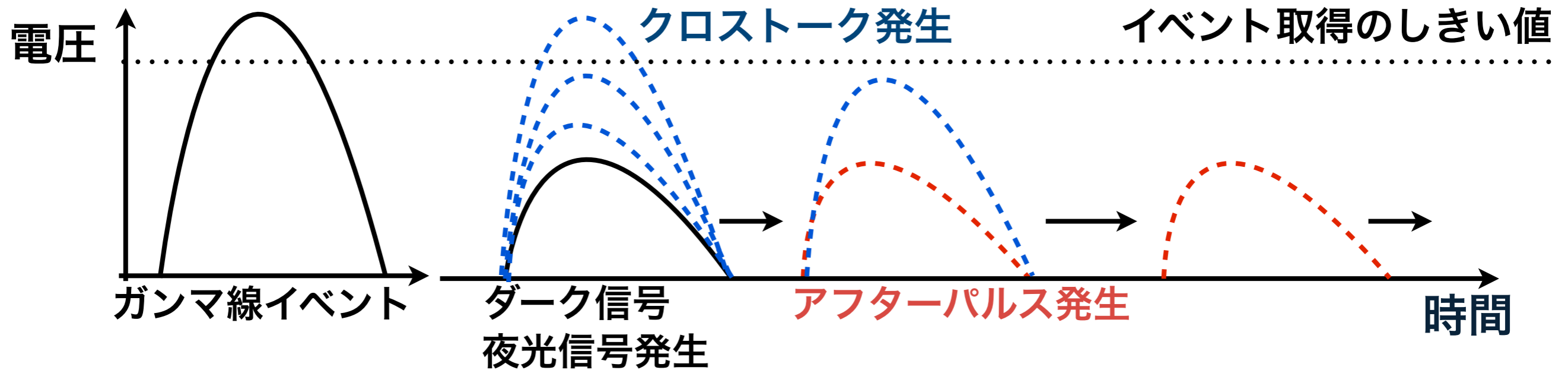
- 半導体光検出器
- MAPMTに対して高い光検出効率
 - チェレンコフ光の検出光量は60%向上 (2012年春 発表)
- 望遠鏡の小型化が可能
- 費用低減分を望遠鏡台数の増加に充てることでCTAでのガンマ線天体の検出感度向上

チェレンコフ望遠鏡へのMPPPCの採用を目指す

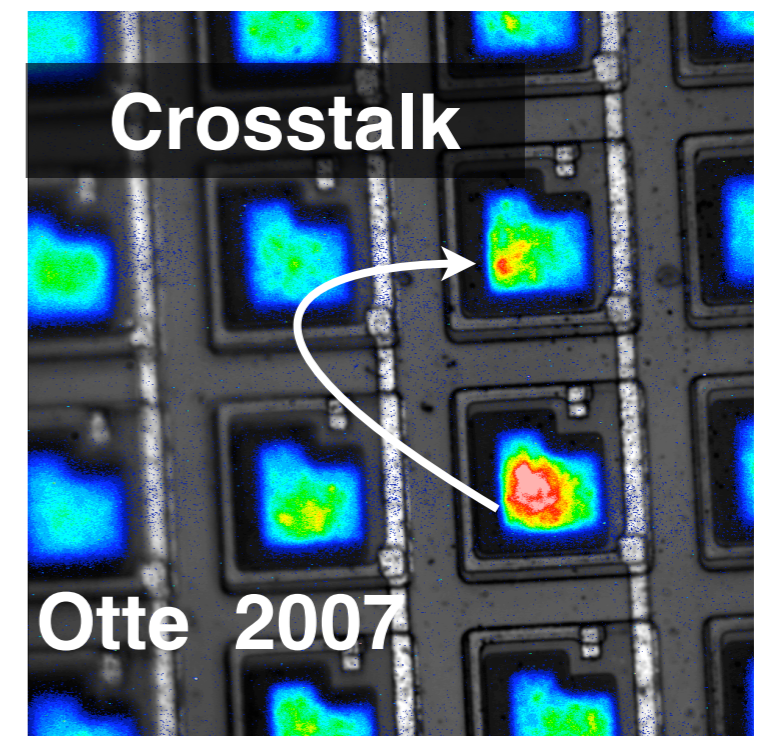
MPPCの採用にむけて

- **基礎性能の詳細評価 (温度依存性、動作電圧依存性)**
 - ▶ **CTAでは野外での運用**
 - 運用環境での最適な動作条件の決定が重要
 - ▶ **ダークカウント、光検出効率、増幅率 (2012秋発表内容)**
 - 0°C ~ 40°Cでの動作電圧依存性の測定
 - 動作電圧のコントロールで安定した性能を得られる
 - ▶ **望遠鏡トリガー性能の見積もり (今回の発表)**
 - クロストーク、アフターパルス測定

トリガー効率の悪化

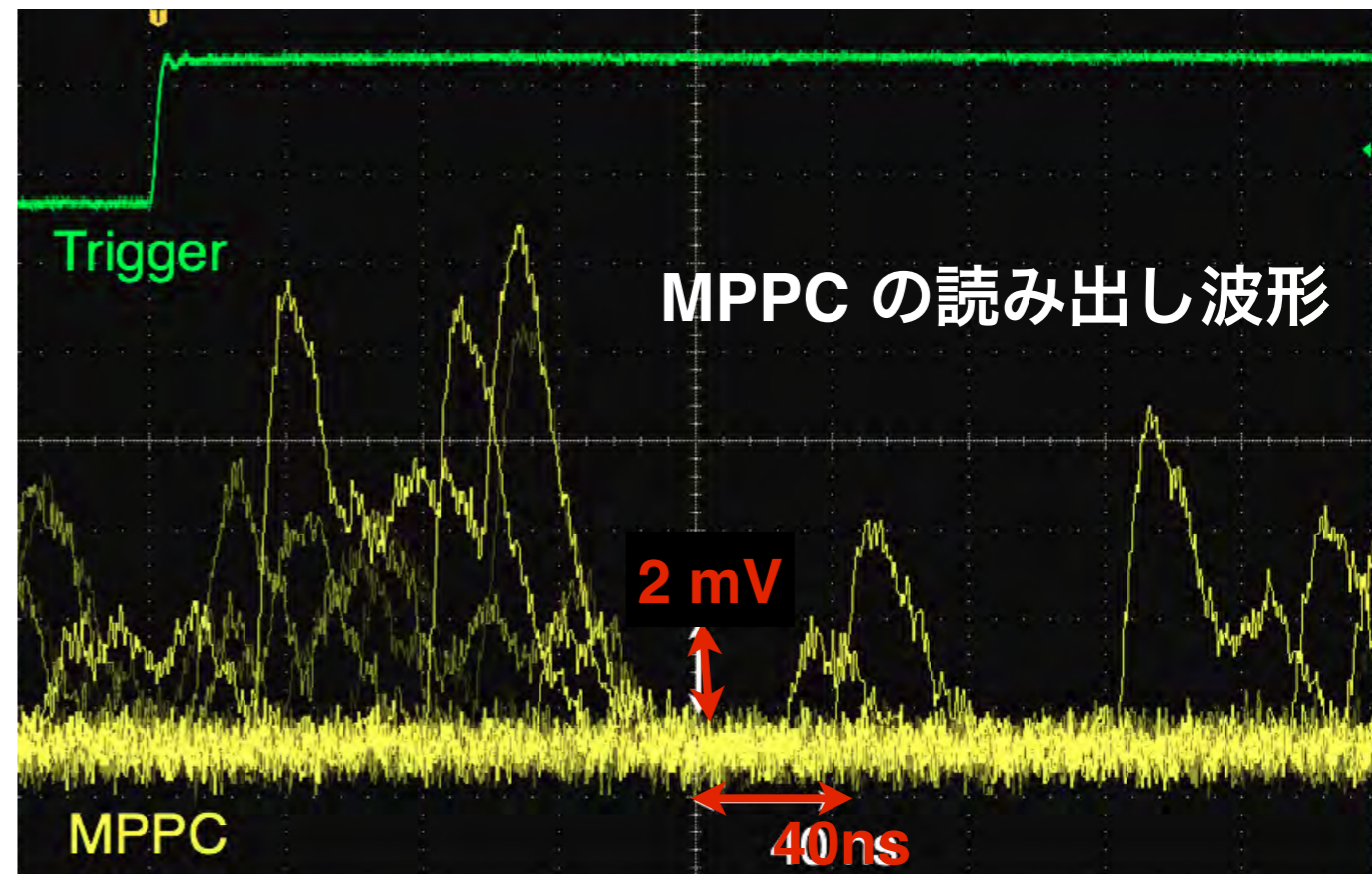
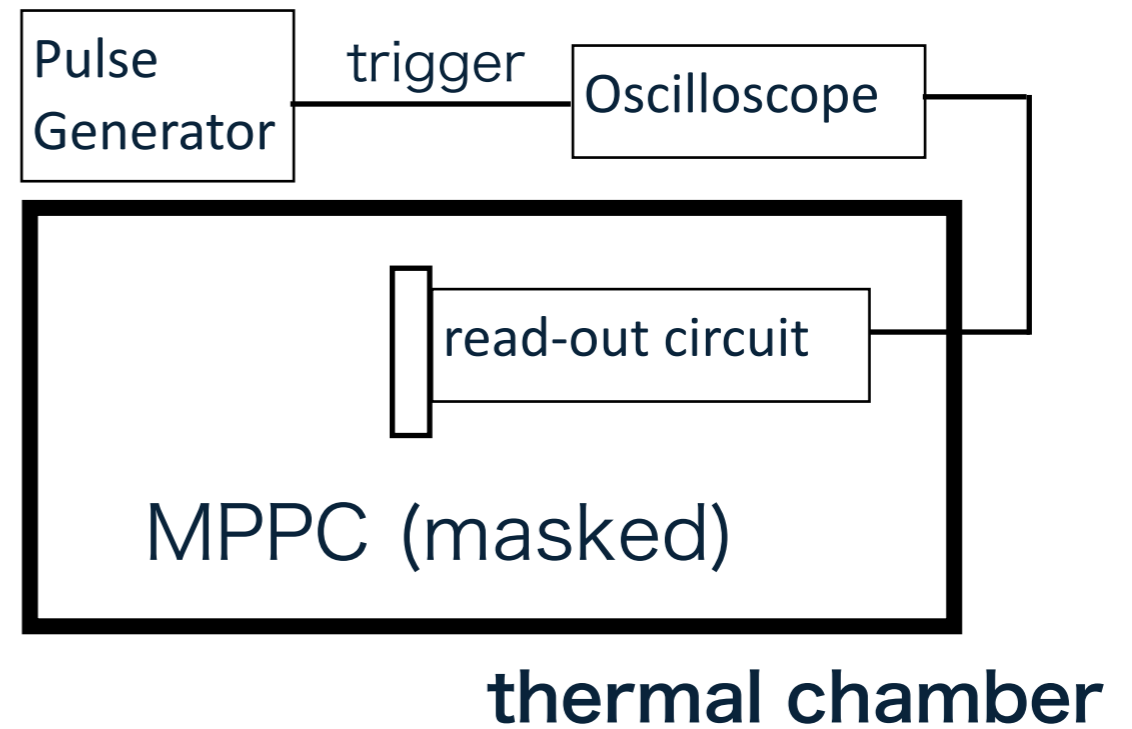


- ダーク信号や夜光信号がガンマ線イベントとしてトリガーされる
- クロストーク、アフターパルスの影響も含めた評価が必要
- 各p.e.閾値でのトリガーレートを求める



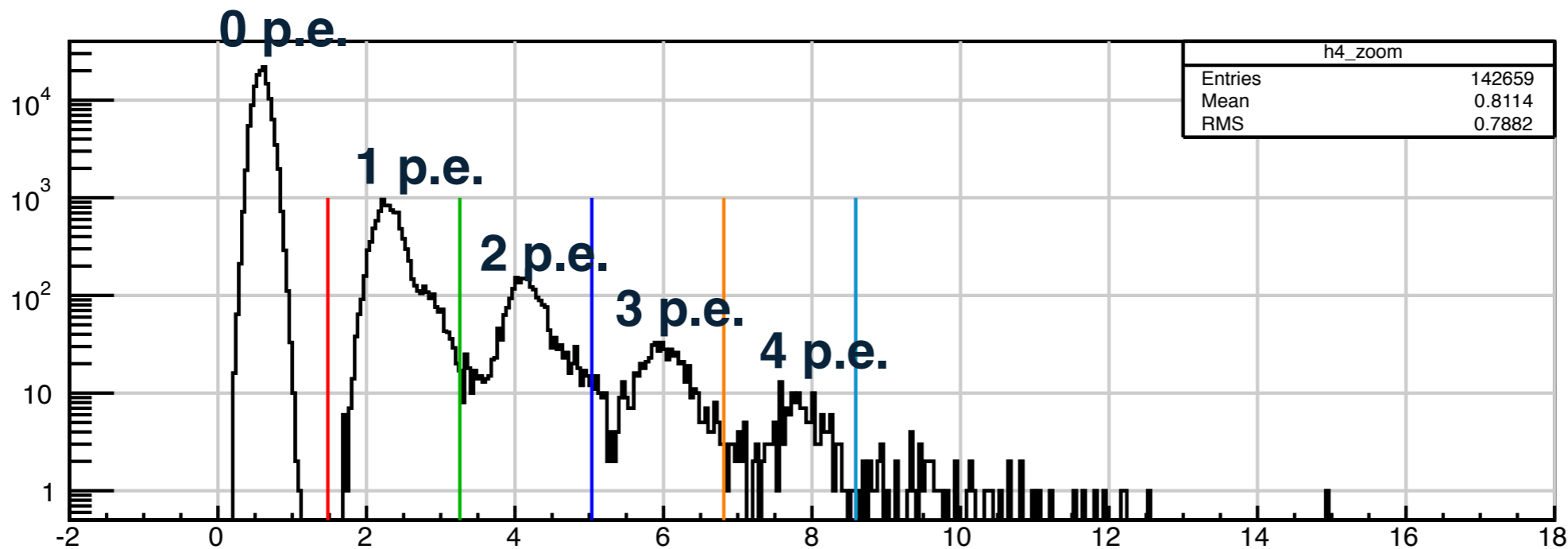
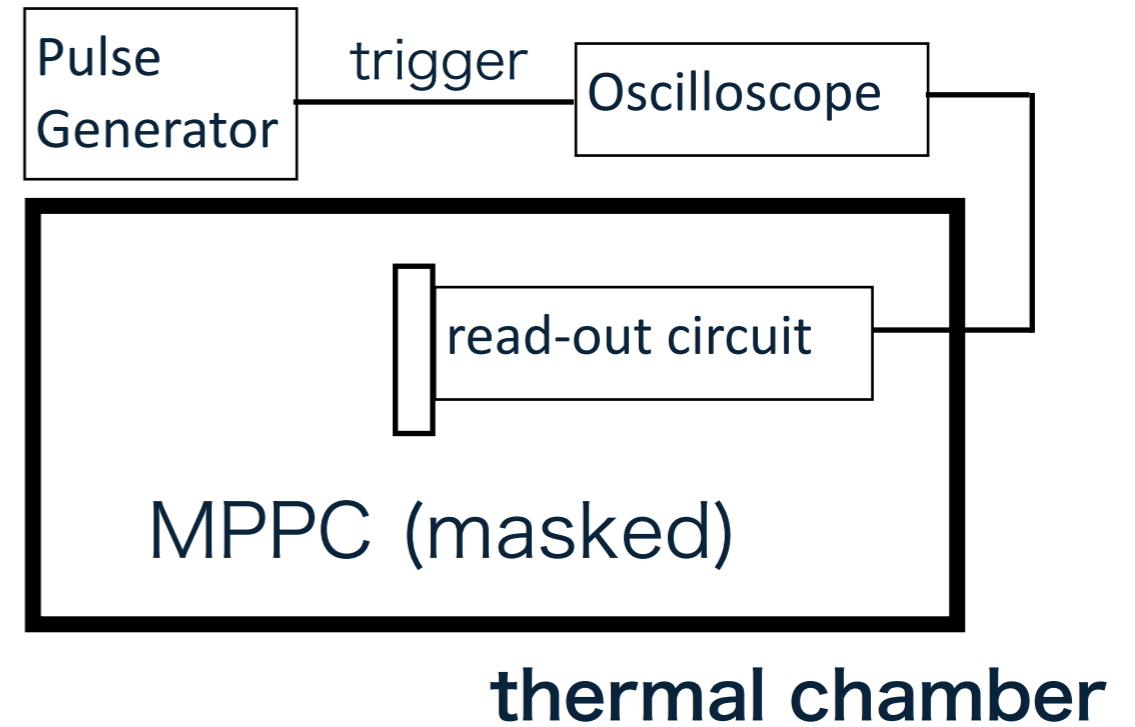
クロストークレート測定系

- MPPCを遮光して測定
- パルスジェネレータからトリガー
- 80 nsの時間幅での最大出力電圧値を波高値として取得

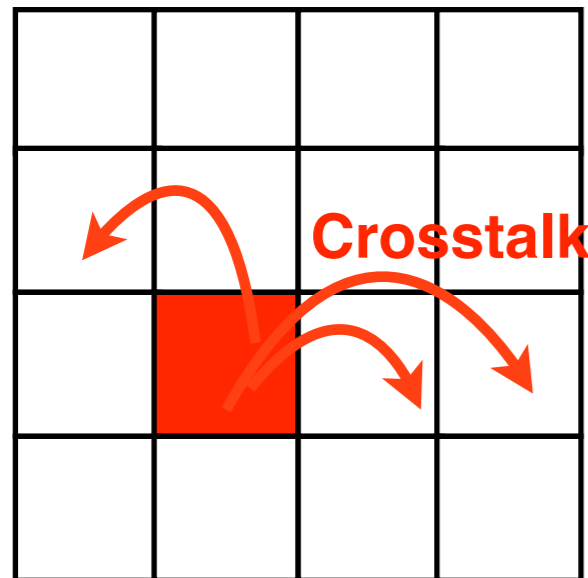


クロストークレート測定系

- MPPCを遮光して測定
- パルスジェネレータからトリガー
- 80 nsの時間幅での最大出力電圧値を波高値として取得



各p.e.のイベント数の計算



APD pixels

1つの励起ピクセルの発生によってk個のピクセルが励起する確率

$$P(k) = e^{-\lambda_{\text{C.T.}}} \frac{\lambda_{\text{C.T.}}^k}{k!}$$

k : 励起するAPDピクセル数

λ : 励起するAPDピクセル数の平均

1 p.e. イベント :

ダーク信号で1つのAPDピクセルが励起

→そのピクセルはクロストークを起さない

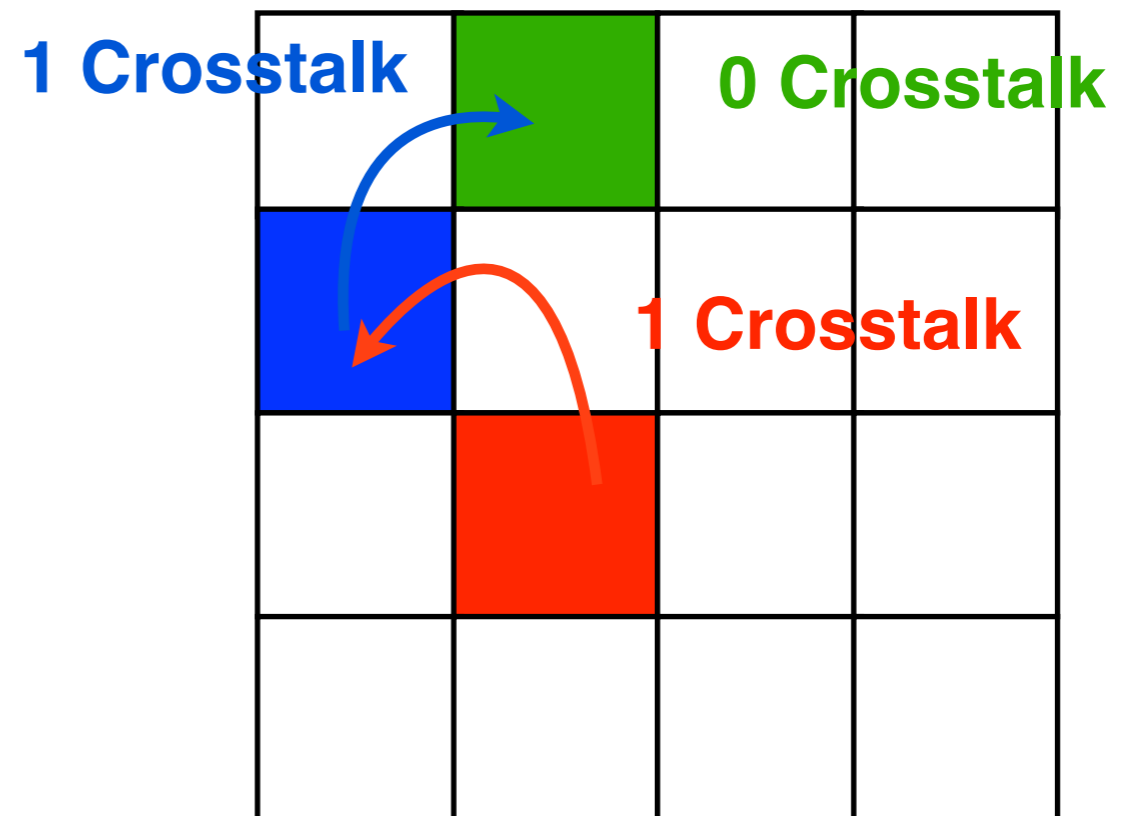
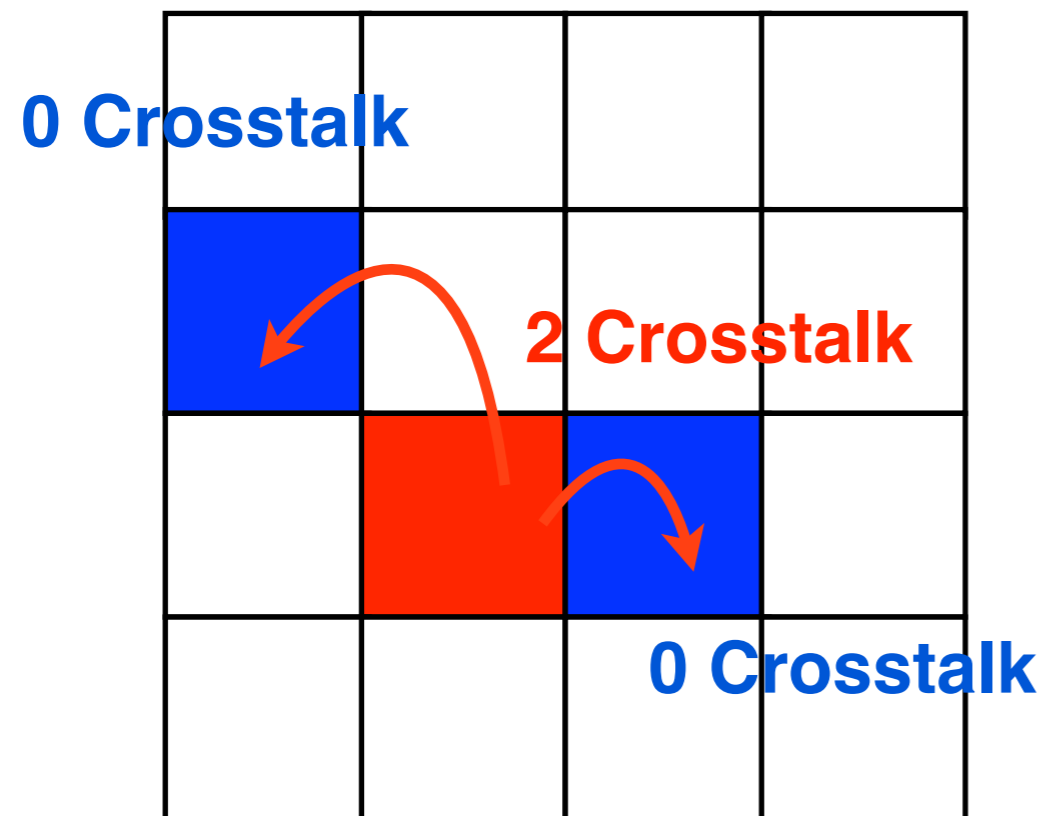
$$R_{\text{dark}} \times P(0) \quad R_{\text{dark}}: \text{dark count rate } (\cong 1 \text{ p.e.})$$

→1 p.e.イベント数から $\lambda_{\text{C.T.}}$ を取得

各p.e.のイベント数の計算

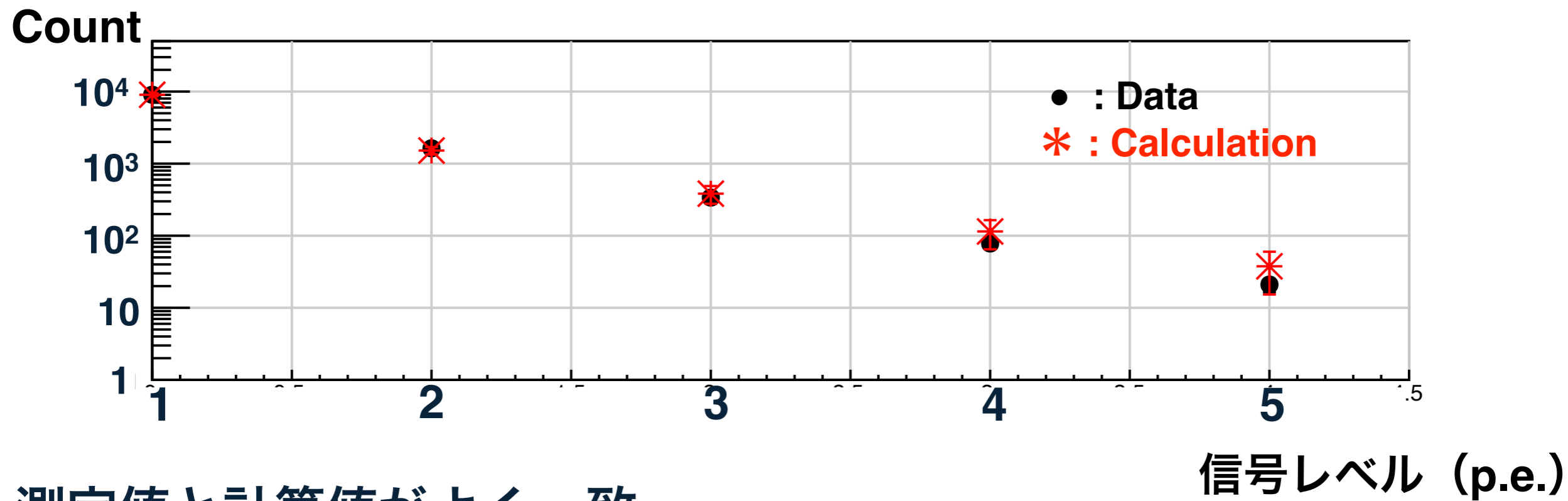
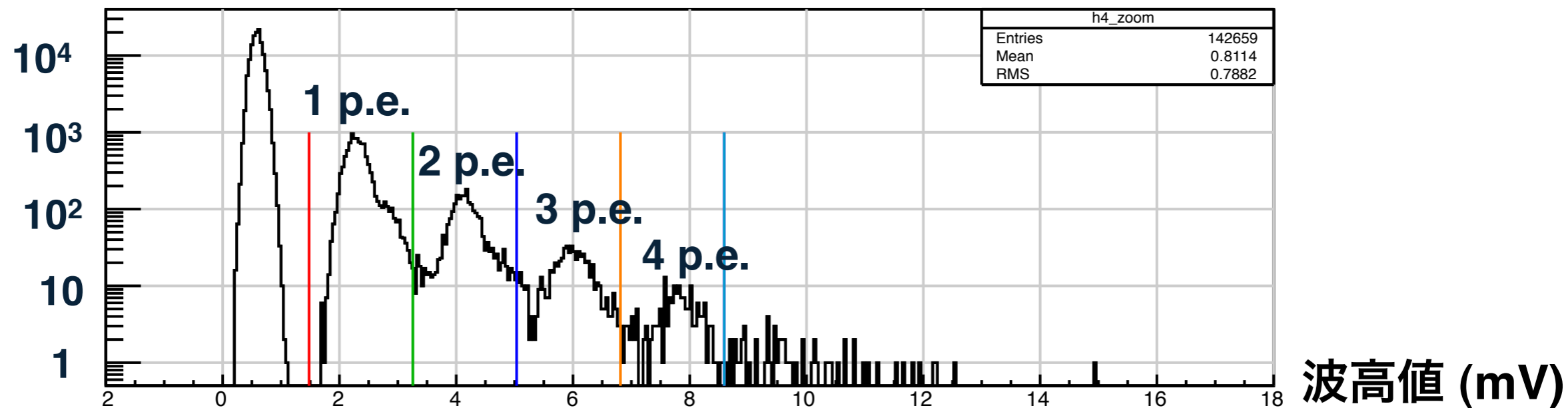
3 p.e. events の場合 :

$$R_{\text{dark}} \left(\underline{P(2) \times P(0)^2} + \underline{P(1) \times P(1) \times P(0)} \right)$$



$P(k)$ は $\lambda_{c.t.}$ の値から計算

データとの比較



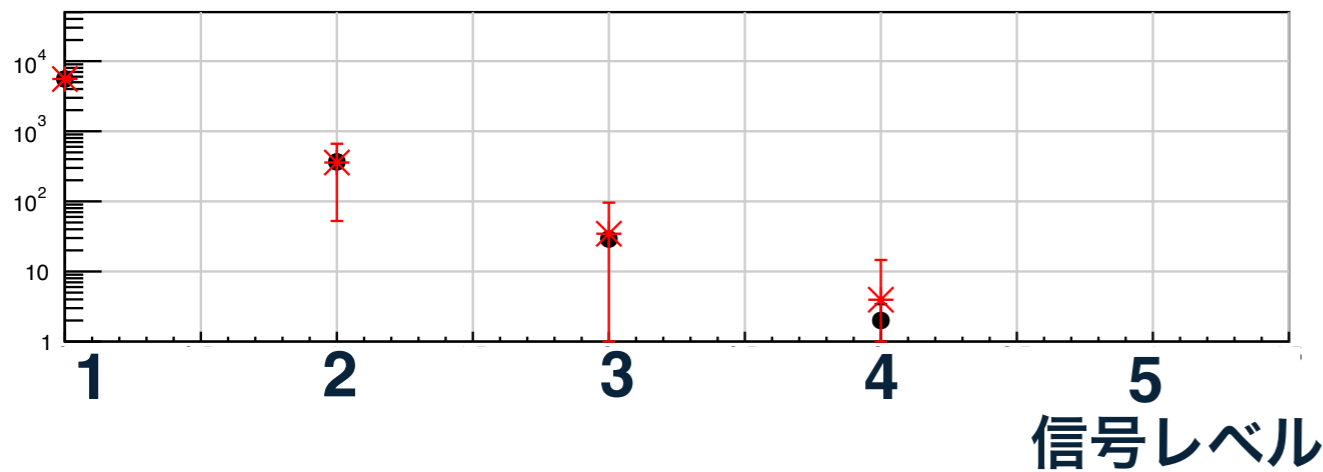
測定値と計算値がよく一致

→各p.e.閾値でのクロストークによるトリガーレートが計算可能に

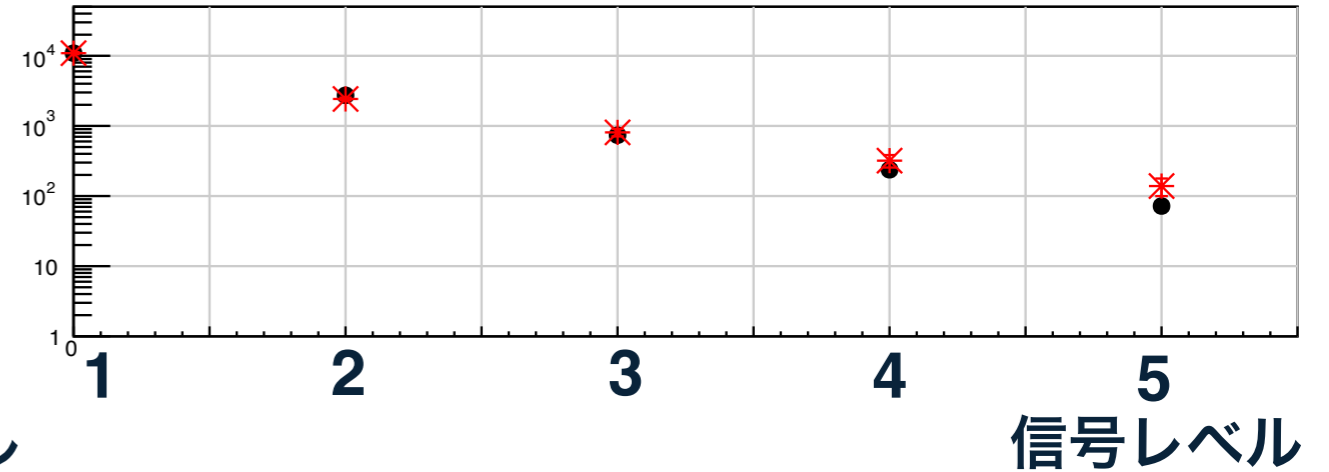
データとの比較

25 °C

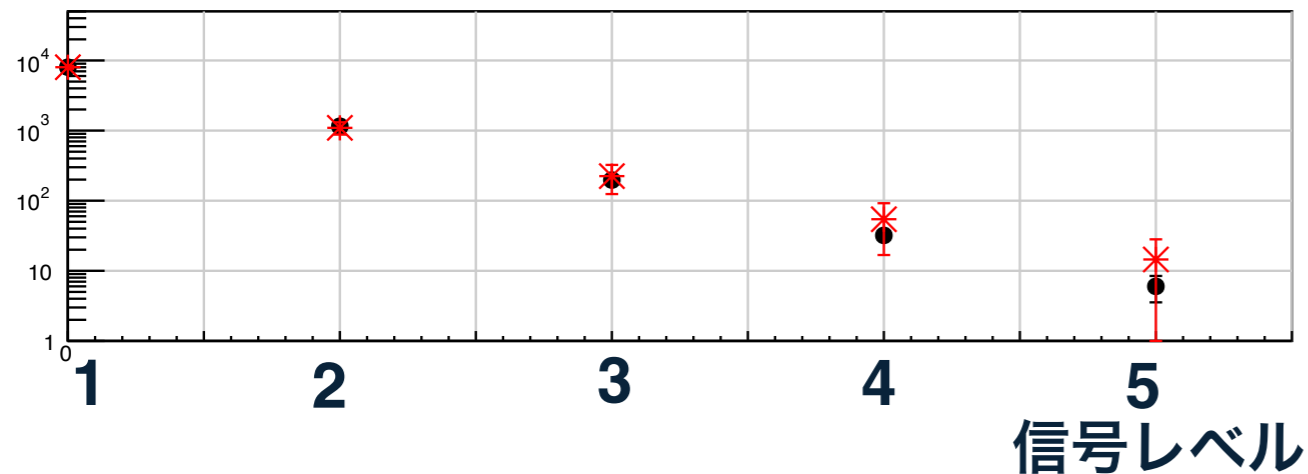
Overvoltage 1.0 V



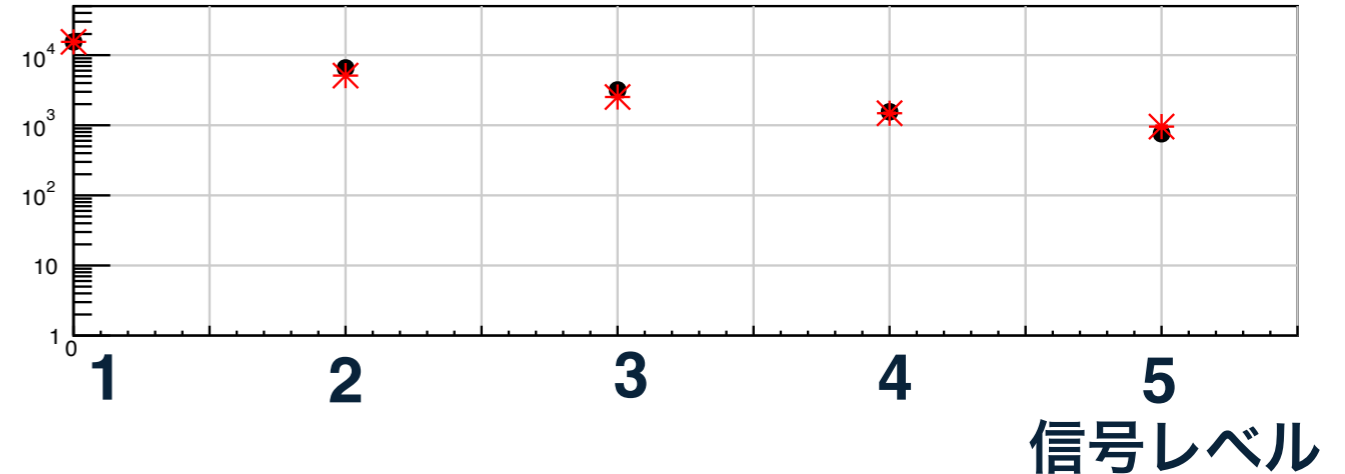
Overvoltage 2.0 V



Overvoltage 1.5 V



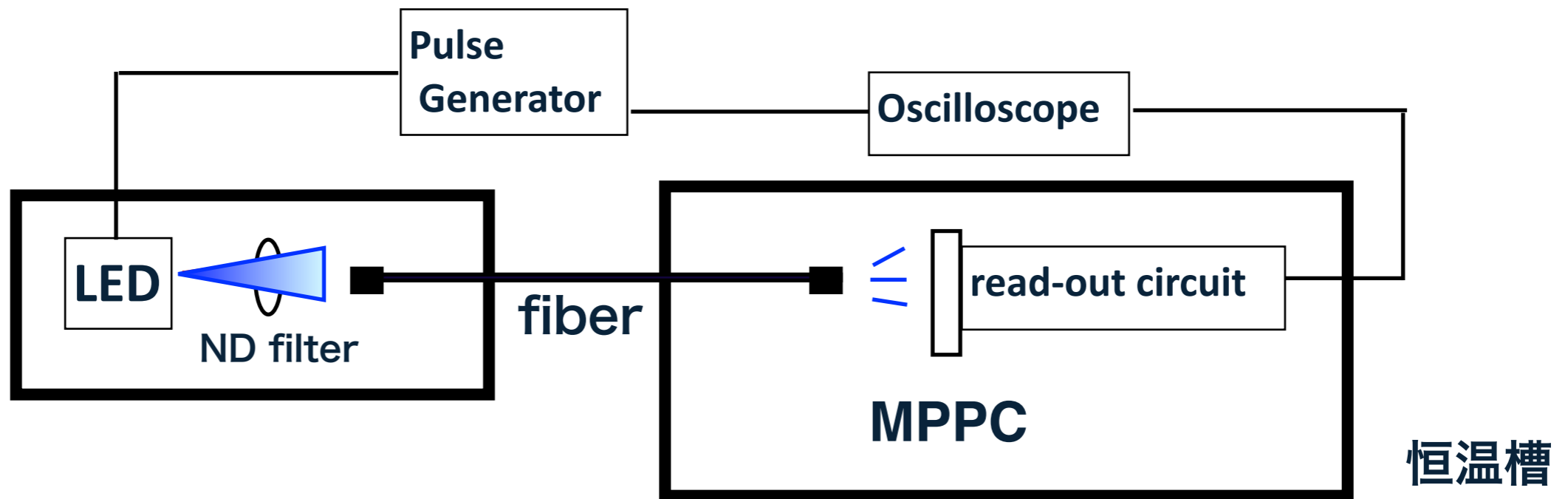
Overvoltage 2.5 V



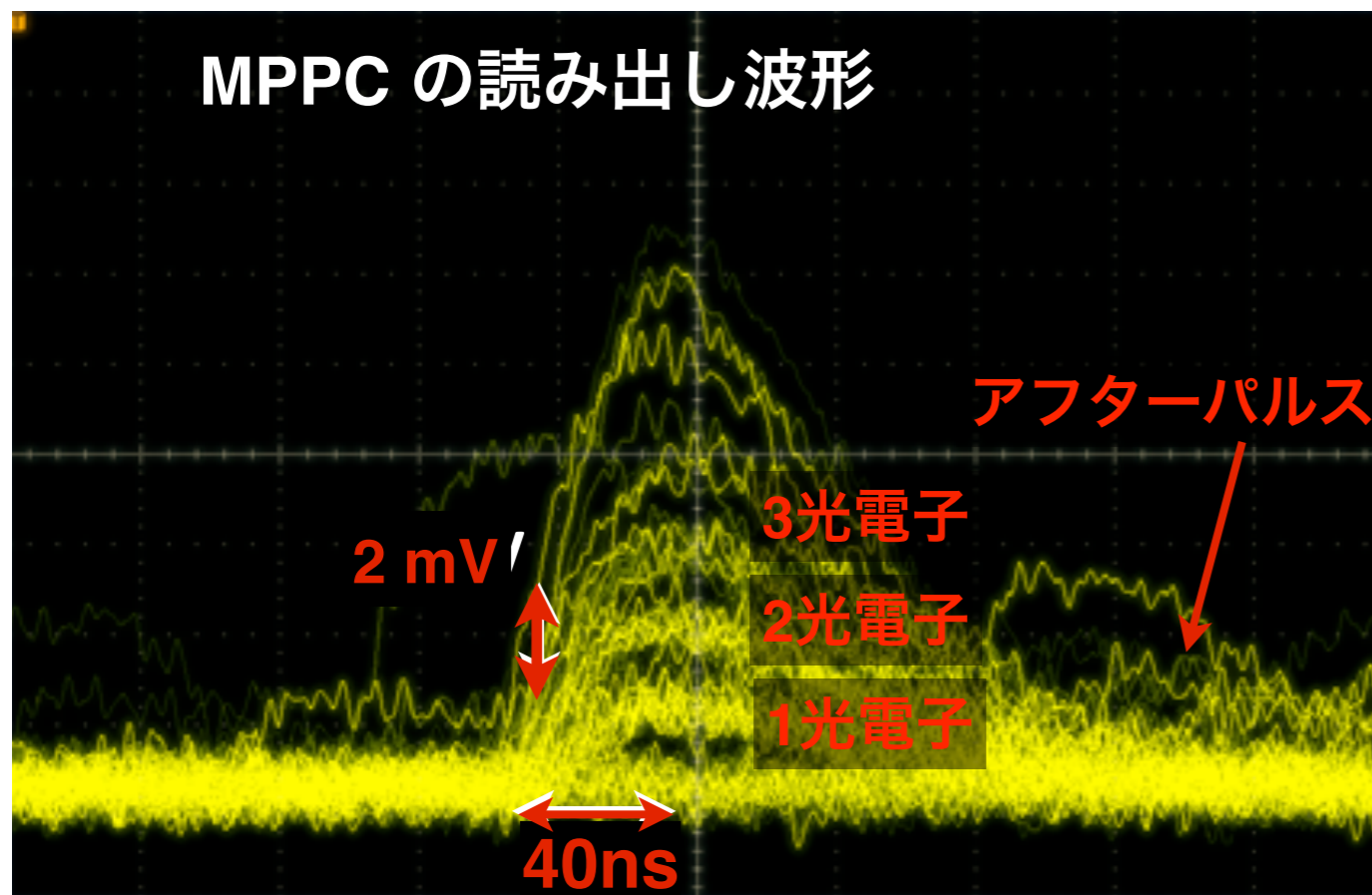
測定値と計算値がよく一致

→各p.e.閾値でのクロストークによるトリガーレートが計算可能に

アフターパルスレート測定系



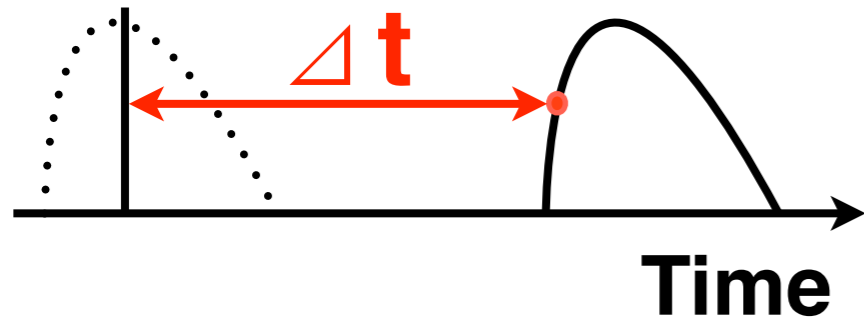
MPPC の読み出し波形



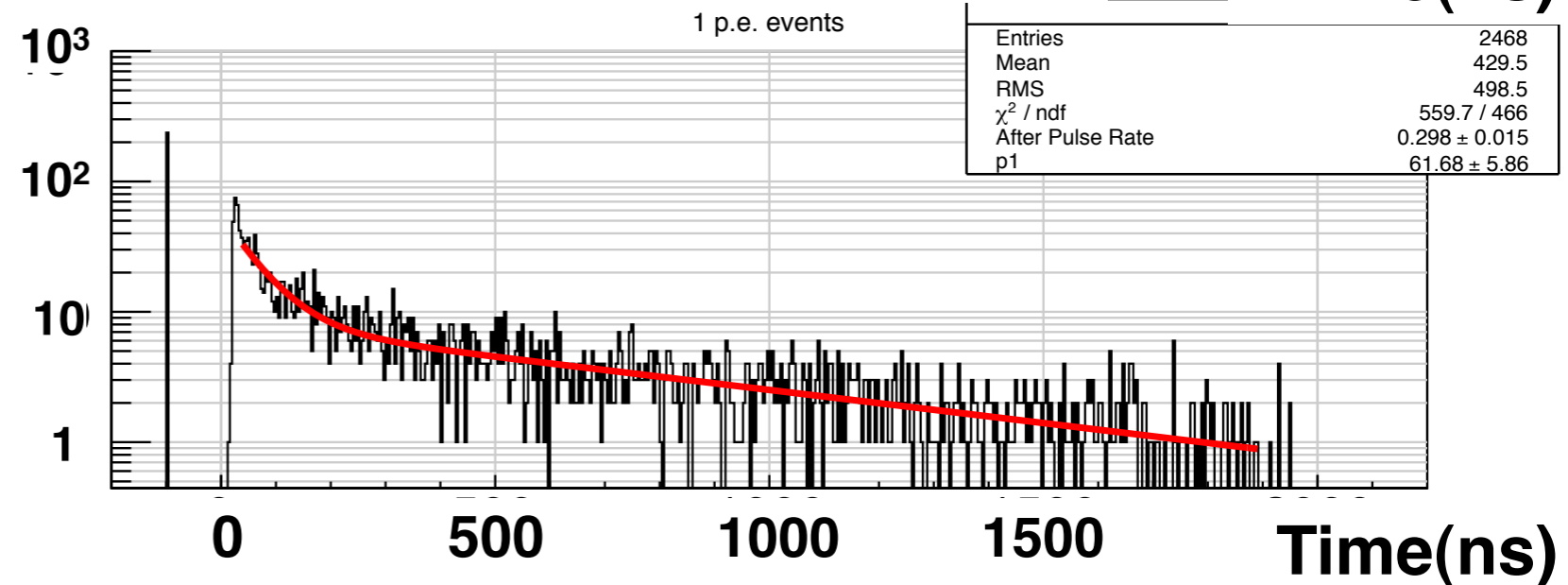
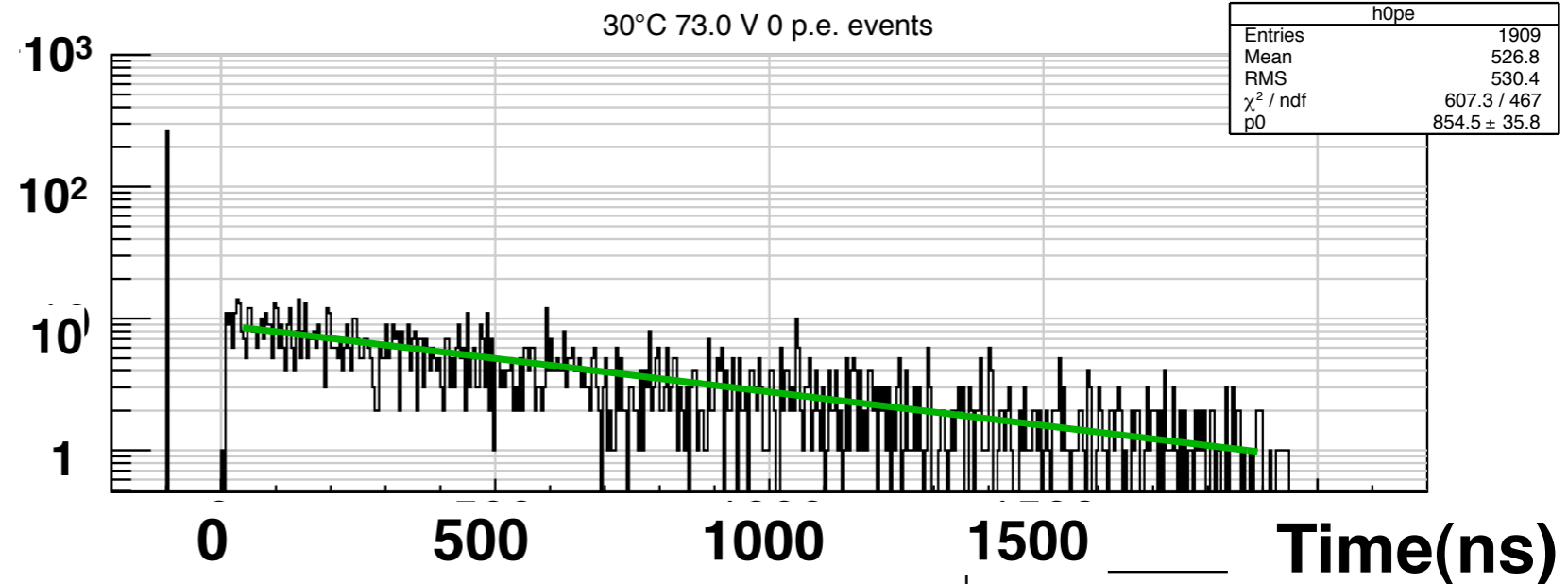
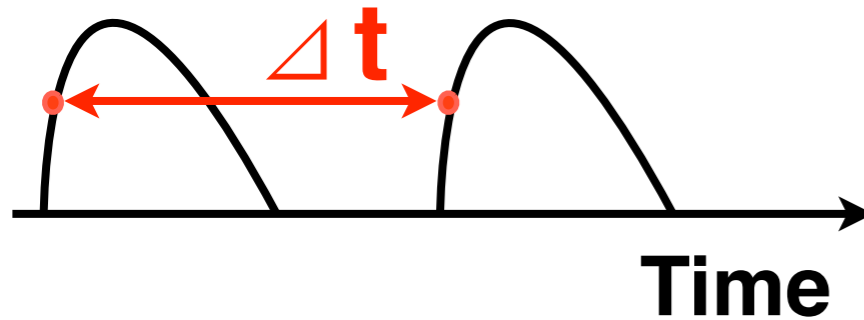
- 0 p.e.と1 p.e.のイベントを取得
- それぞれで次の信号が発生する時間を測定

アフターパルスの解析

0 p.e. event



1 p.e. event



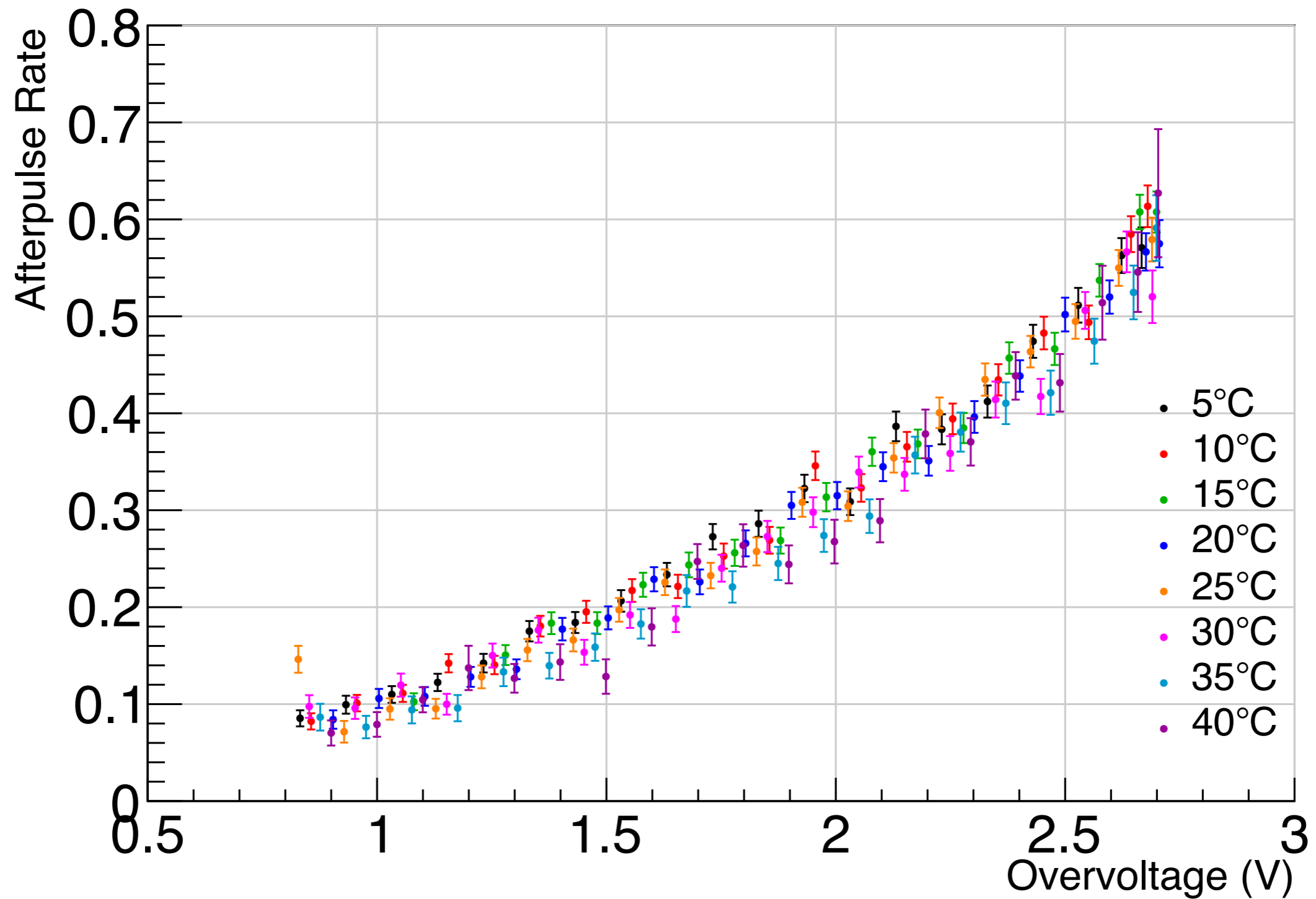
$$p_a \left(\frac{1}{\tau_a} e^{-t/\tau_a} \right) + (1 - p_a) \left(\frac{1}{\tau_{\text{dark}}} e^{-t/\tau_{\text{dark}}} \right)$$

p_a : アフターパルスレート

τ_a : アフターパルスの時定数

τ_{dark} : ダークカウンタの時定数

アフターパルスレート

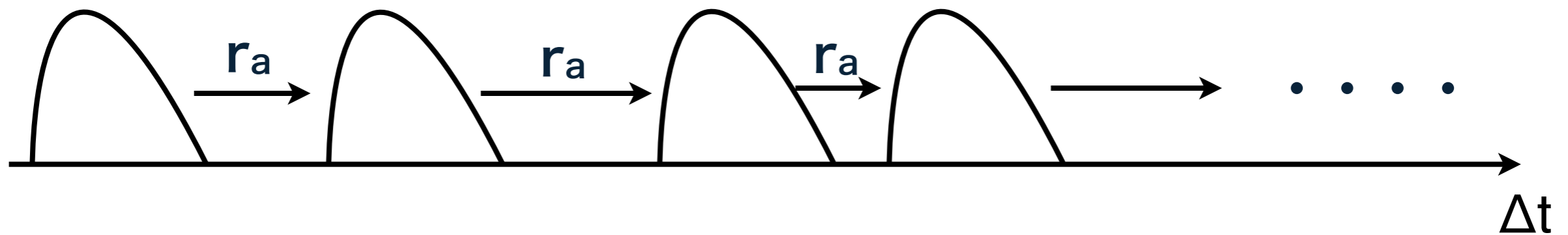


トリガーレートの計算

- ダークカウント + 夜光バックグラウンド (NSB)

- アフターパルスレート r_a

▶ factor $\frac{1}{1 - r_a}$



- クロストーク

▶ $\lambda_{C.T.}$ から計算

→ 4 p.e. 閾値

$$(f_{\text{NSB}} \cdot \text{PDE} + f_{\text{dark}}) \times \frac{1}{1 - r_a} \times \{1 - (P(0) + P(1) \times P(0) + P(2) \times P(0)^2 + P(1) \times P(1) \times P(0))\}$$

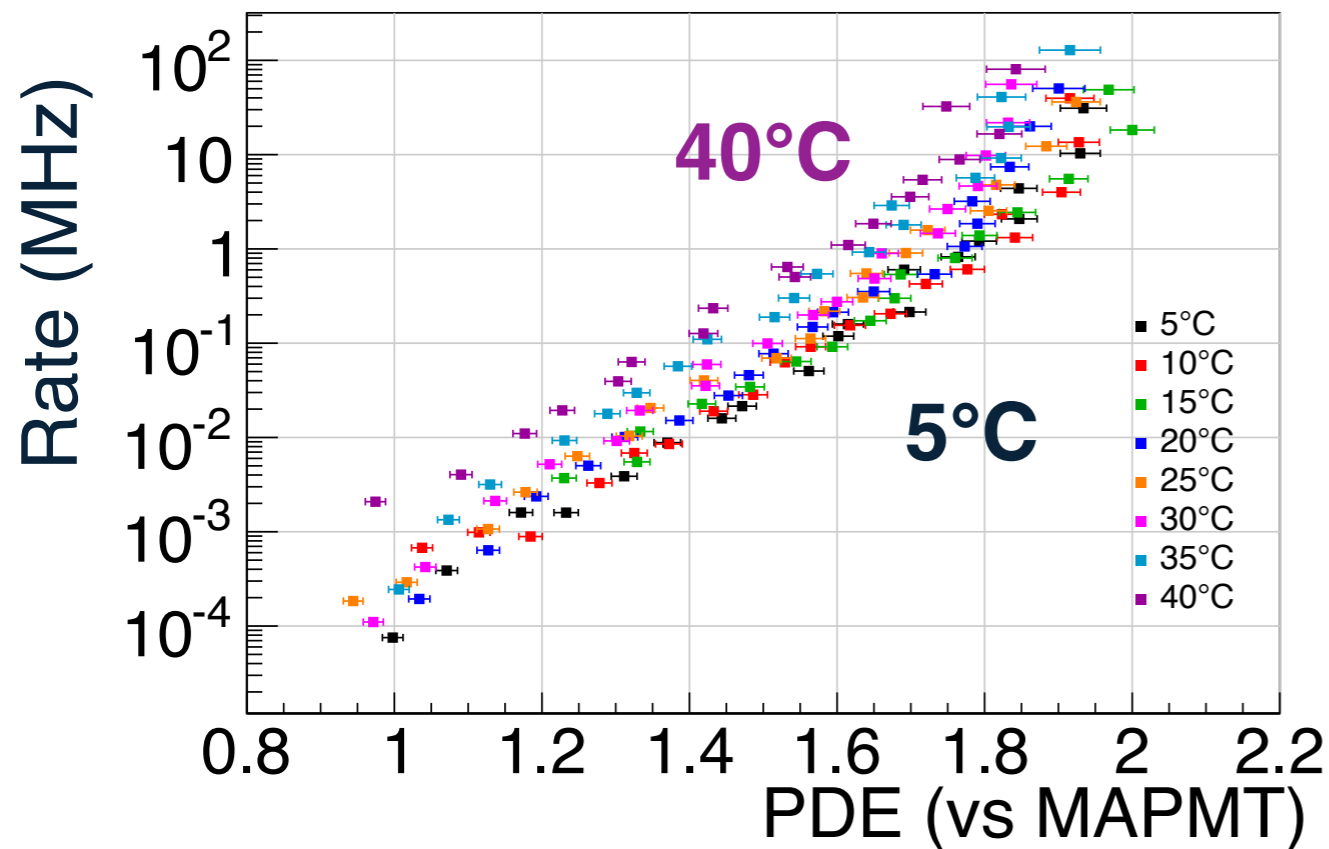
f_{NSB} : 夜光バックグラウンドレート

f_{dark} : ダークカウント

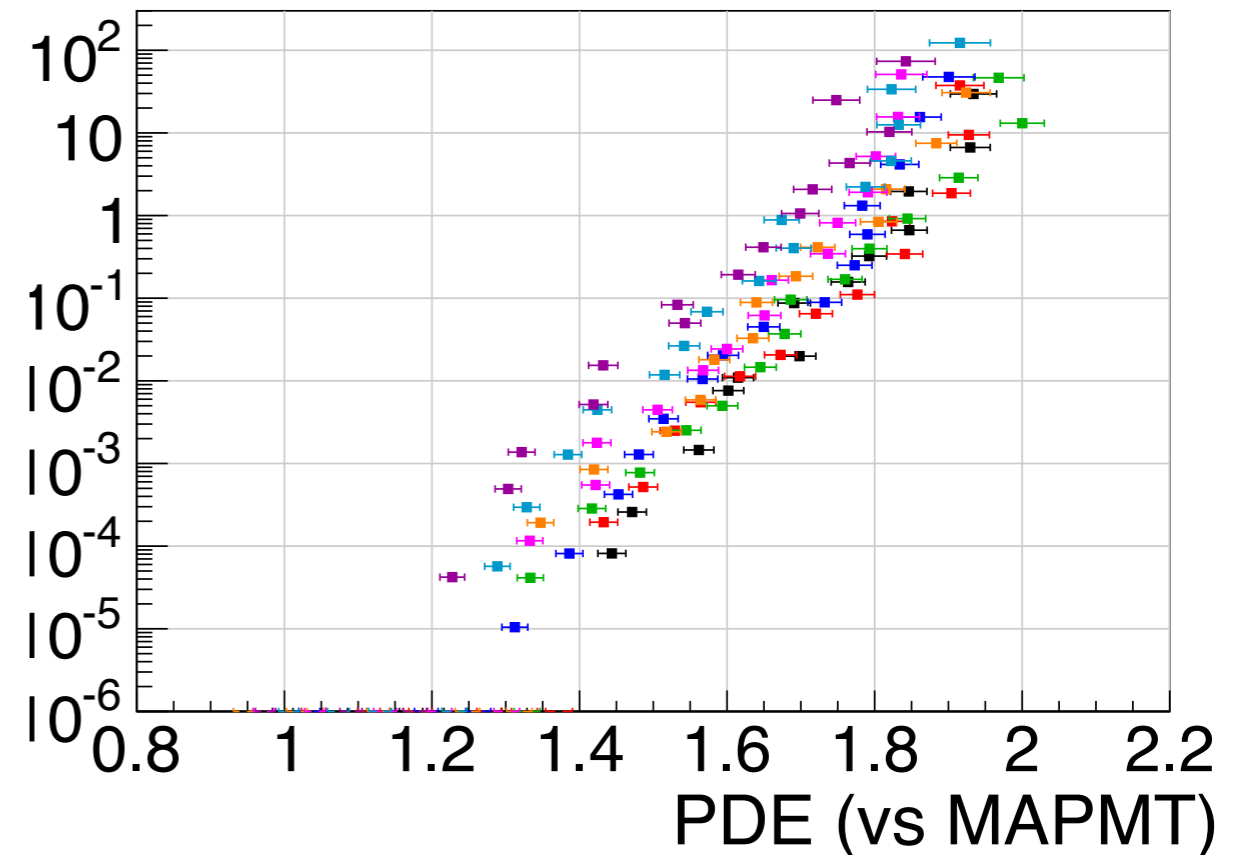
計算結果

- 6mm × 6mm pixel
- 夜光バックグラウンドレート = 5 MHz (SST)

Channel Trigger Rate (≥ 4 p.e.)



Channel Trigger Rate (≥ 8 p.e.)



高PDEで ~ 10 MHz

\sim kHzまで下げたい (望遠鏡のトリガーロジックに依存)

5°C から 40°C で10倍の増加 (夜光バックグラウンドレートに依存)

まとめと今後

- クロストークとアフターパルスの測定から、各 p.e. 閾値でのトリガーレートが計算可能になった
- 今後、望遠鏡のトリガーロジックを含めたシミュレーションが重要
- クロストークレートが改善されたMPPPCでの測定