

# MPPC の性能評価

P 6

清水 康之  
森本 悠介

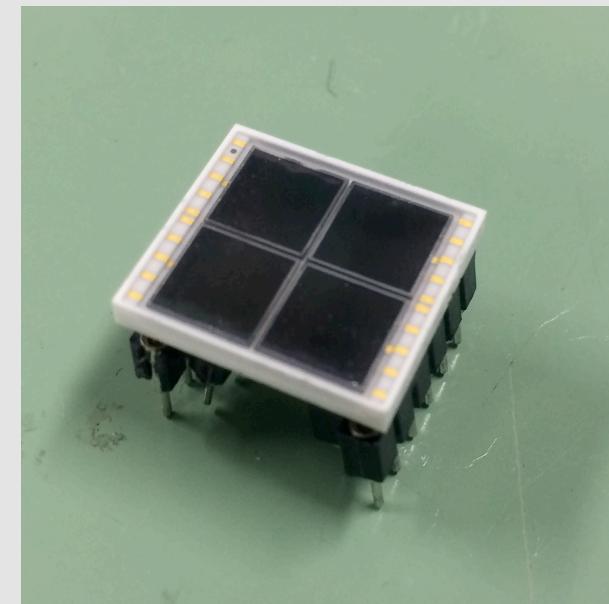
2014年2月24日

# MPPC とは

Si 半導体による光検出器で複数のガイガーモード APD のピクセルから成る検出器

## 特徴

- ・ 優れたフォトカウンティング能力を持つ
- ・ 高ゲイン & 高検出効率
- ・ 低いバイアス電圧 (69V ~ ) で動作
- ・ 磁場の影響を受けない



# MPPC の動作原理

APD の各 pixel はガイガーモードで動作するため、p. e. を検出すれば、一定の電荷を放出する。

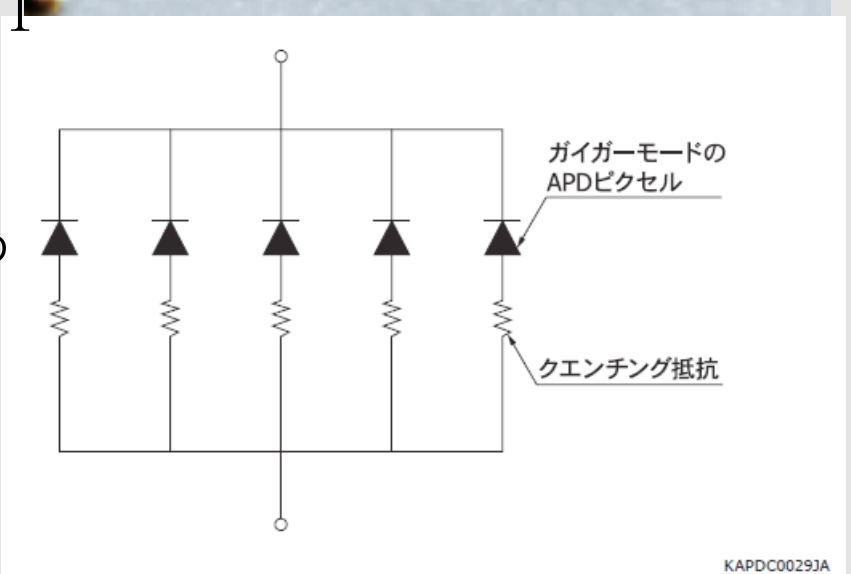
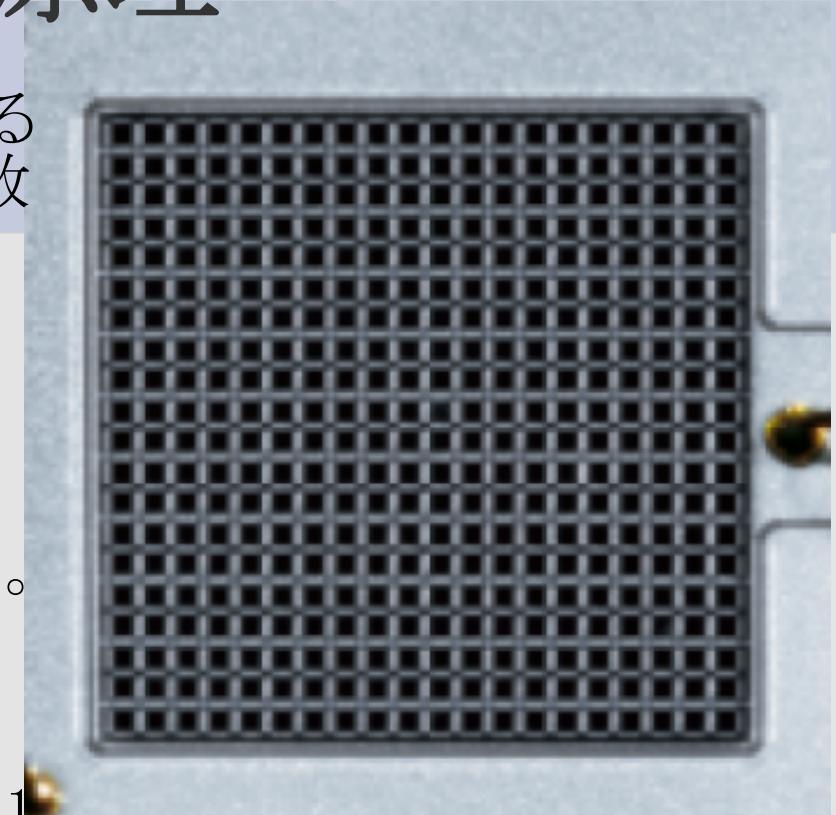
これを用いて

光を検出した pixel 数 = 光電子の数

として、フォトカウントすることができる。

## 欠点

- 1pixel で同時に観測できる p. e. の数は 1 p. e. まで
- APD が充電し終わる前に光を検出した場合、放出する電荷は一定値ではなくなる
- 熱電子によるノイズ（後述）
- クロストークが多い（後述）
- 不感領域が存在



# 性能評価

## 性能評価項目

- ゲイン

1p. e. の電荷の倍増率

- ノイズレート

1秒間あたりの熱電子によるノイズ数

- クロストークレート

クロストークが起きる頻度

クロストーク : 1pixel が電荷を放出したとき、別の pixel  
を誘発して電荷を放出させる現象

これら 3 項目のバイアス電圧依存性を評価する

# ゲインの測定

測定：

Gainは右式に従うため、MPPCの1 pixelが、1p.e.を検出したとき放出する電荷量を求めればGainが決まる

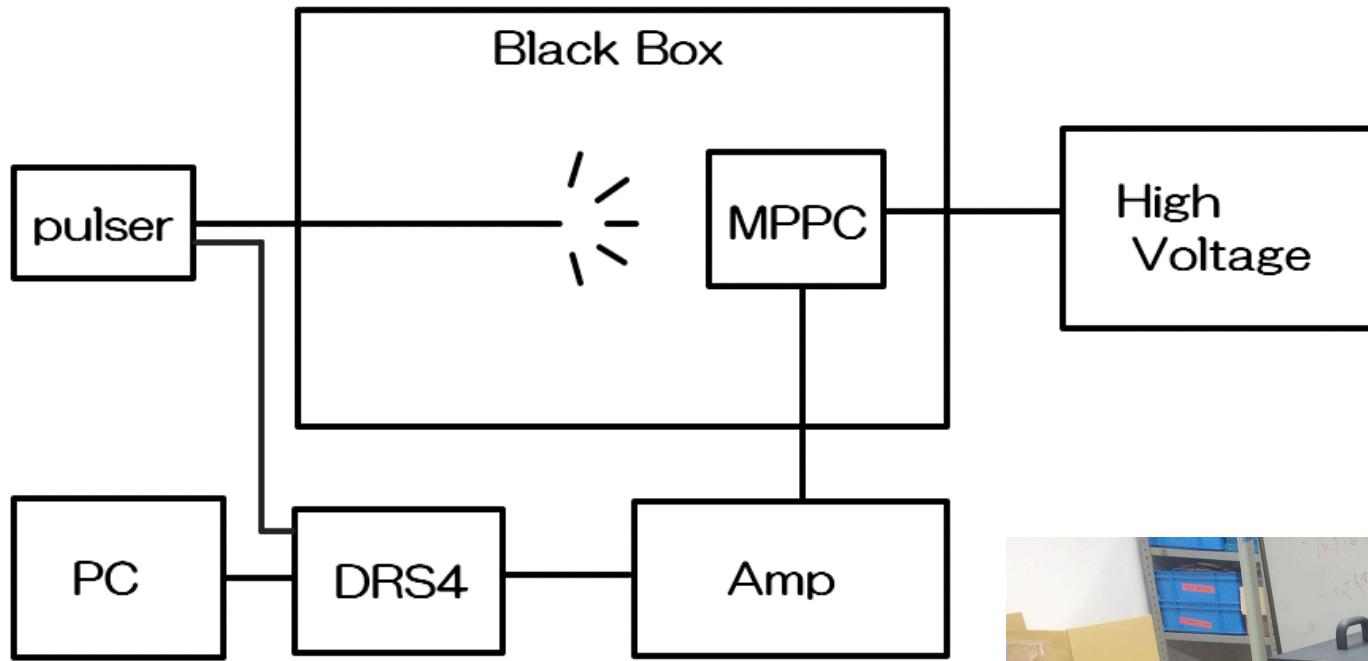
また、Gainはバイアス電圧に比例することもわかる

$$G = \frac{C}{e} (V_{bias} - V_0) \\ = \frac{Q}{e}$$

$V_0$  : APDの降伏電圧

$C$  : APDの静電容量

# ゲインの測定セットアップ



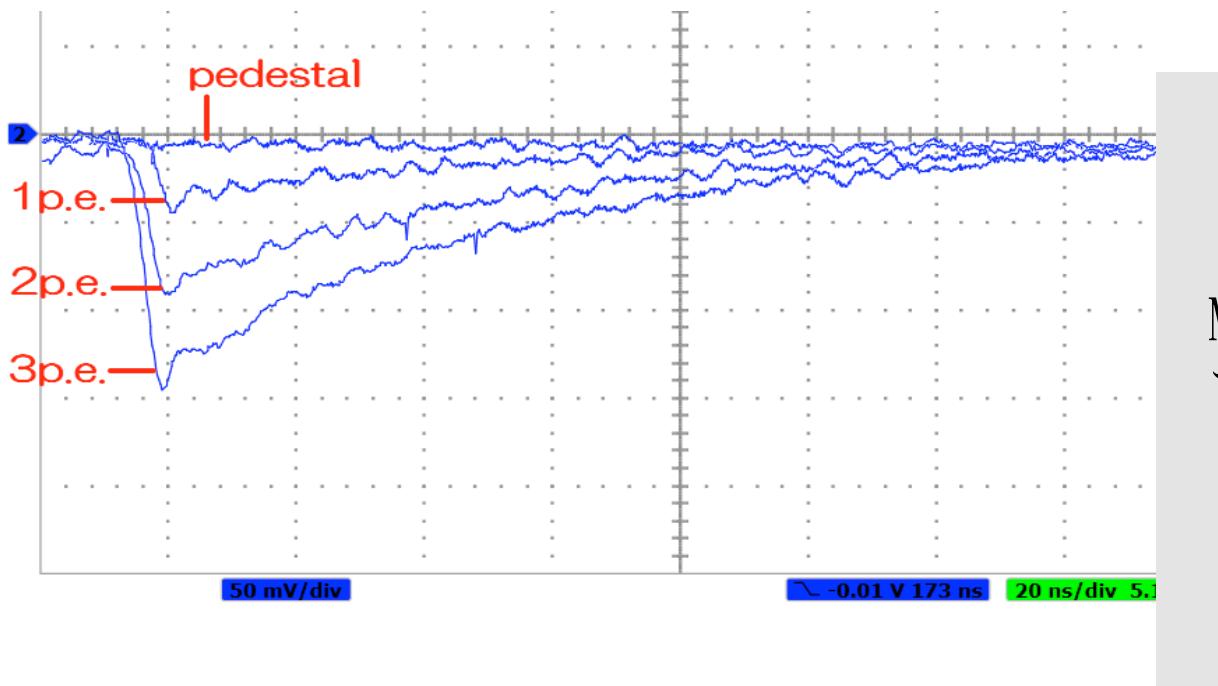
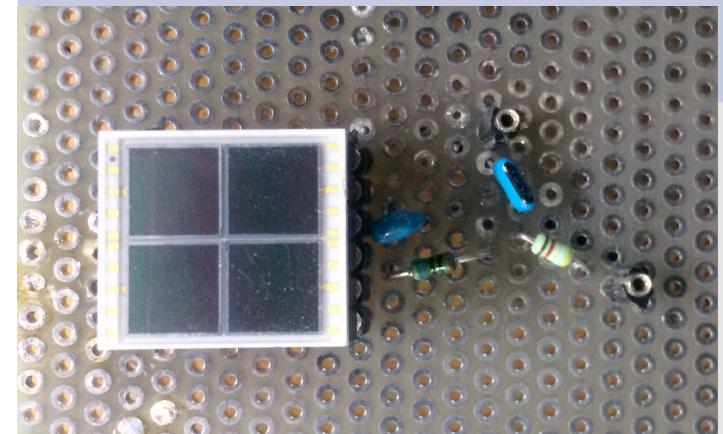
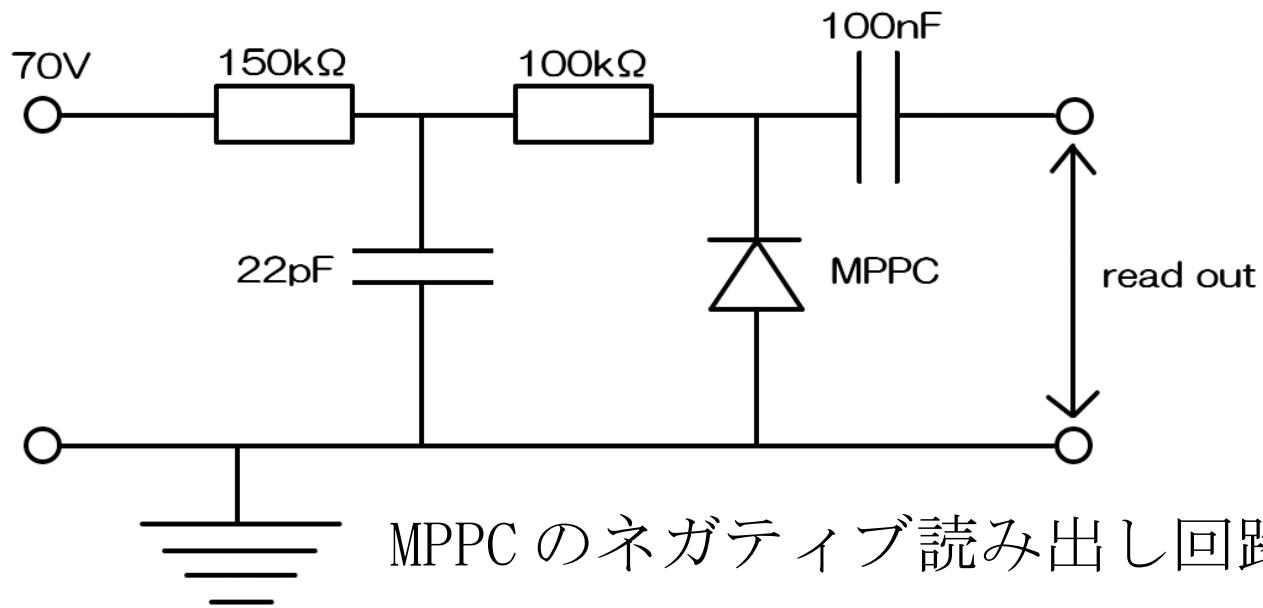
ゲイン測定のためのセットアップ

pulser からの光を MPPC で検出

バイアス電圧を変化させて測定する

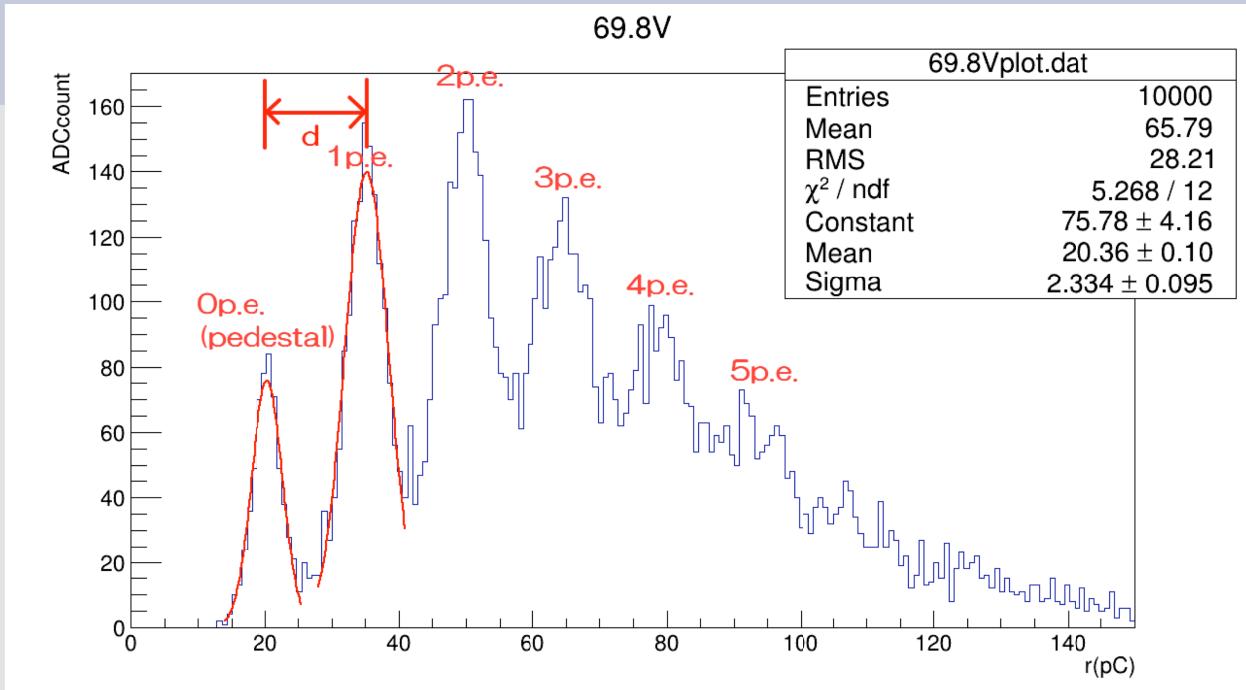


# ゲインセットアップ



MPPC が放出する電荷をネガティブで読みだす

# ゲインの解析



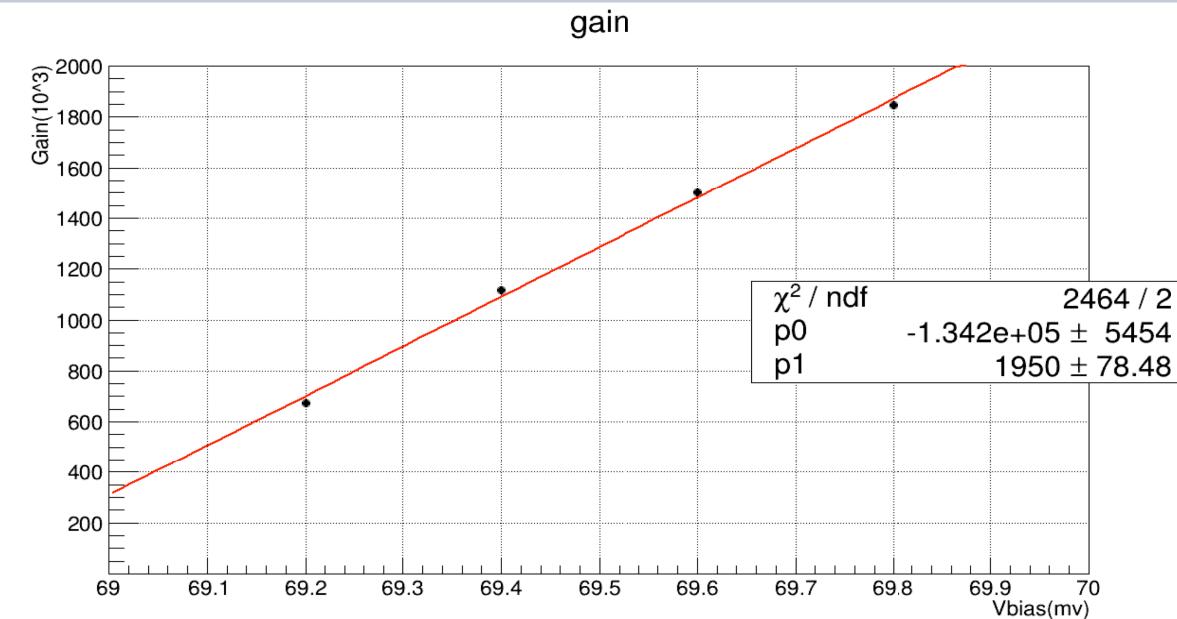
$$Q = \frac{d \times r}{A}$$

$$G = \frac{d \times r}{A \times e}$$

$A$  : *AMP* の倍増率

検出したシグナルを積分して、 0p. e. 、 1p. e. に  
対応する電荷量を求める。  
電荷量分布の 1p. e. - 0p. e. より  $Q$  を求めた

# ゲイン結果



確かに Gain はバイアスに比例して増える  
また 69V の電圧で  $10^6$  の Gain を得  
ることができる

$$G = \frac{C}{e} (V_{bias} - V_0)$$

$$= \frac{d \times r}{A \times e}$$

このときの 1pixel あたりの降伏電圧、静電容量はそれぞれ

$$V_0 = \left| \frac{p_0}{p_1} \right| = 68.82 \text{V}$$

$$C = p_1 \times 10^3 \times e = 0.312 \text{pF}$$

となる

# ノイズレート

- MPPC の熱ノイズ

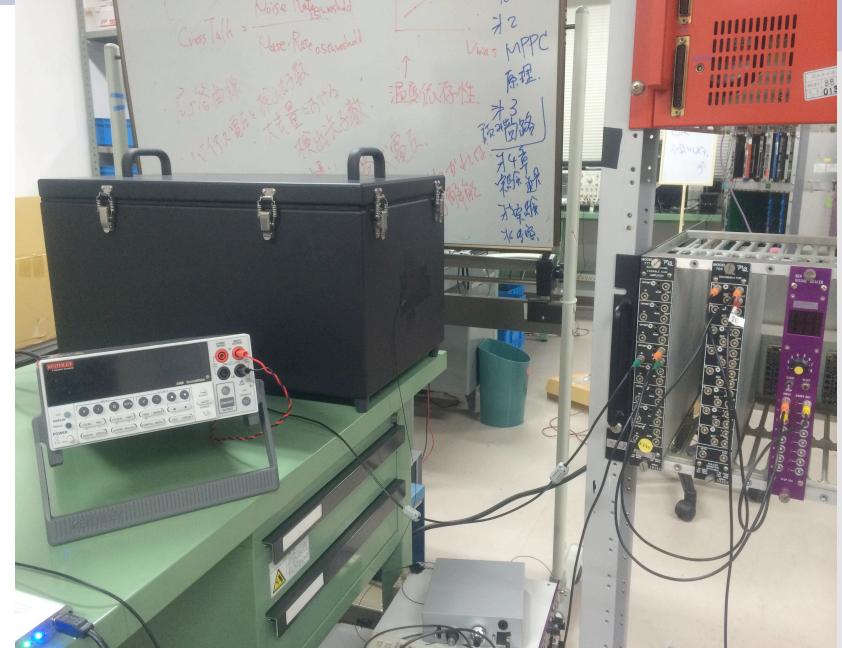
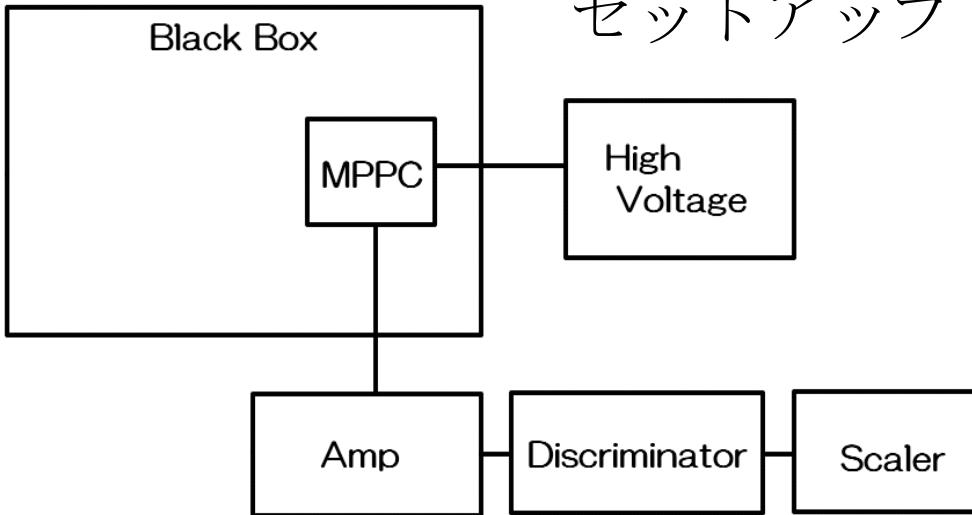
APD は熱電子によっても p. e. と同じ電荷を放出する

ランダムに起こること以外では入射光の p. e. と区別できない

- 热電子によるノイズを検出する

またノイズレートのバイアス電圧依存性を見る

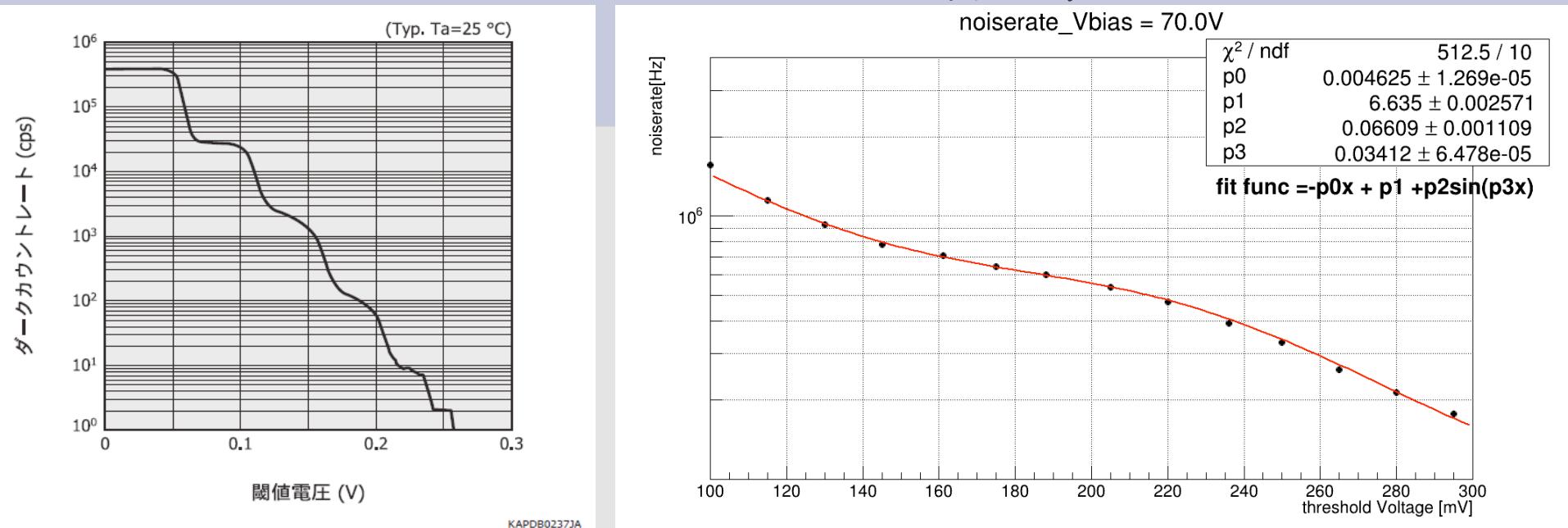
# ノイズ測定



測定方法：

光を当ててない状態の MPPC にバイアス電圧をかけて、discriminator で threshold を適当な値でかけてやり、threshold を越える熱電子による pulse の数を scaler でカウントする

# ノイズレート結果



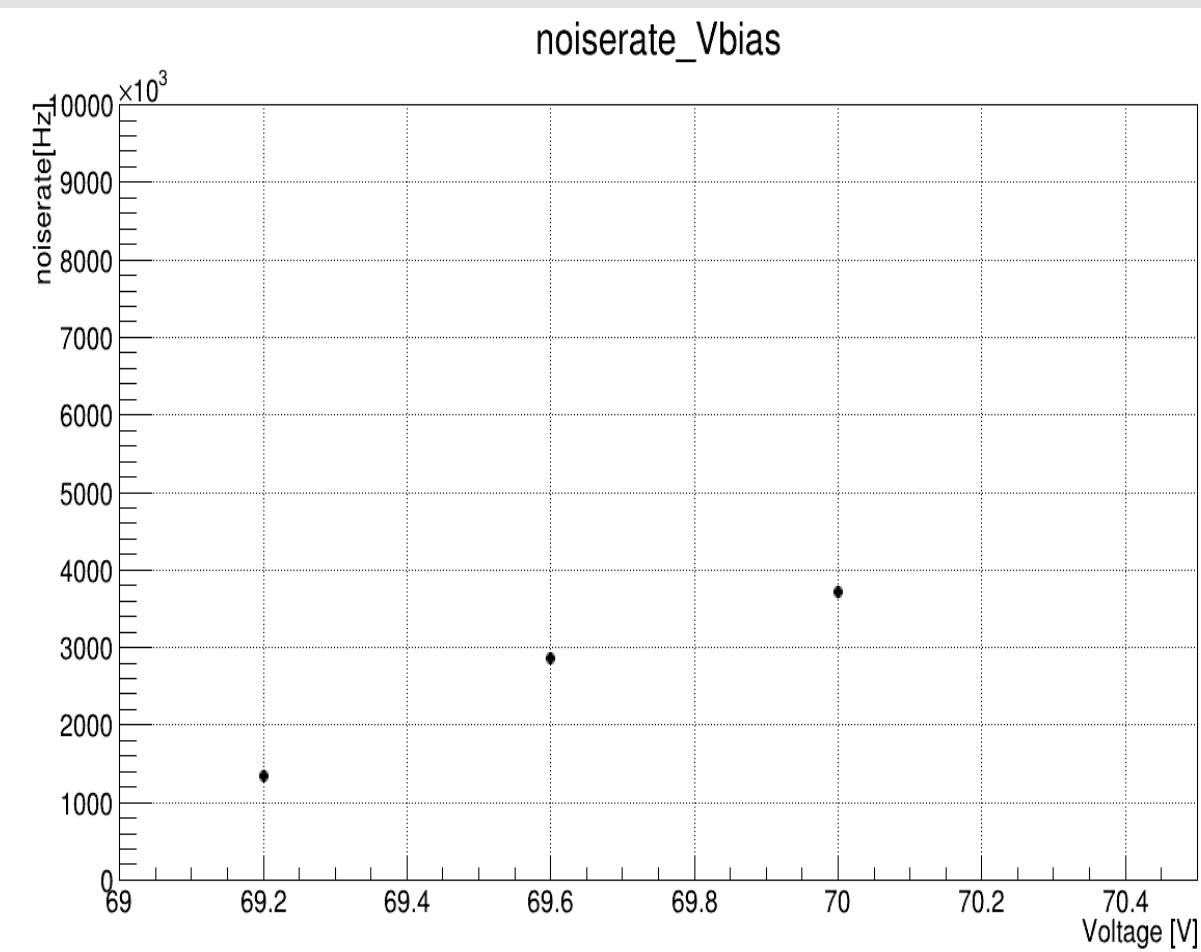
左図は理想的なノイズレート 右図は実験結果の一部  
 $\text{threshold}$  の値を  $-100\text{mV} \sim -300\text{mV}$   
 まで変化させていくことで,  
 $\text{threshold}$  を越える pulse 数が周期的に変化することが見て取れる

この周期より  $0.5\text{p. e.}$   $\text{threshold}$  と  $1.5\text{threshold}$  を求め、  
 差し引くことにより  $1\text{p. e.}$  の pulse 数を求めた

熱電子は大半が  $1\text{p. e.}$  と同じパルスを出すため、  
 1秒間あたりの  $1\text{p. e.}$  の pulse 数をノイズレートとした

# ノイズレート

バイアス電圧とともにノイズレートの増加が  
みてとれる

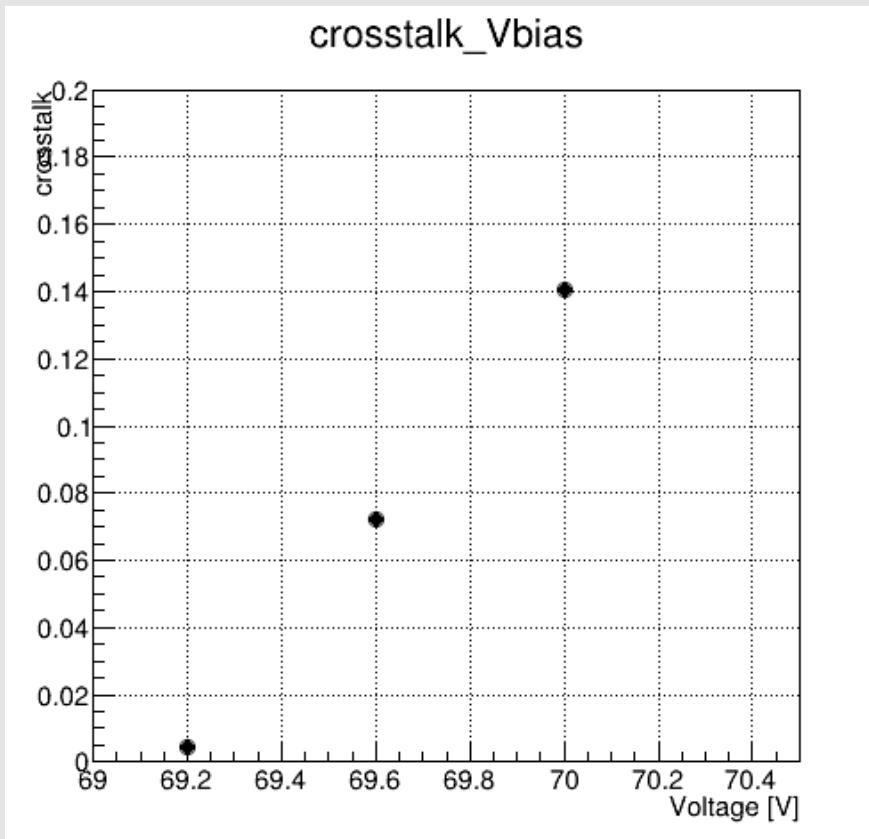


# クロストーク

- ・ クロストークとは 1pixel に電荷がはいってきたとき、APD での増倍中に 2 次 p. e. が発生して別の pixel に入つて 2. p. e. 以上の信号が観測される現象
- ・ 熱電子によるノイズの大きさは主に 1p. e. と同じであり、2p. e. 以上のノイズはクロストークが原因
- ・ よって下式より求まる

$$Crosstalk = \frac{Noiserate_{1.5\text{p.e.}thr}}{Noiserate_{0.5\text{p.e.}thr}}$$

# クロストーク結果



バイアスの増加とともにクロストークは増加する

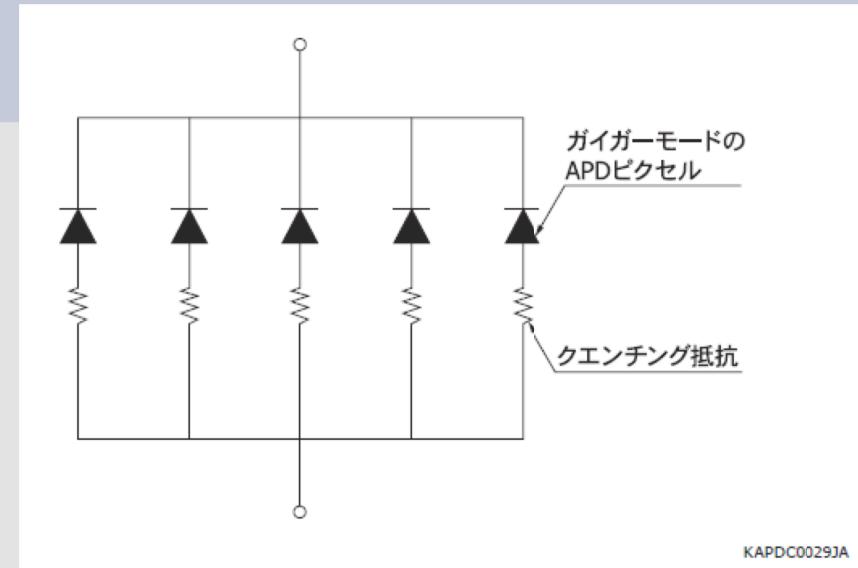
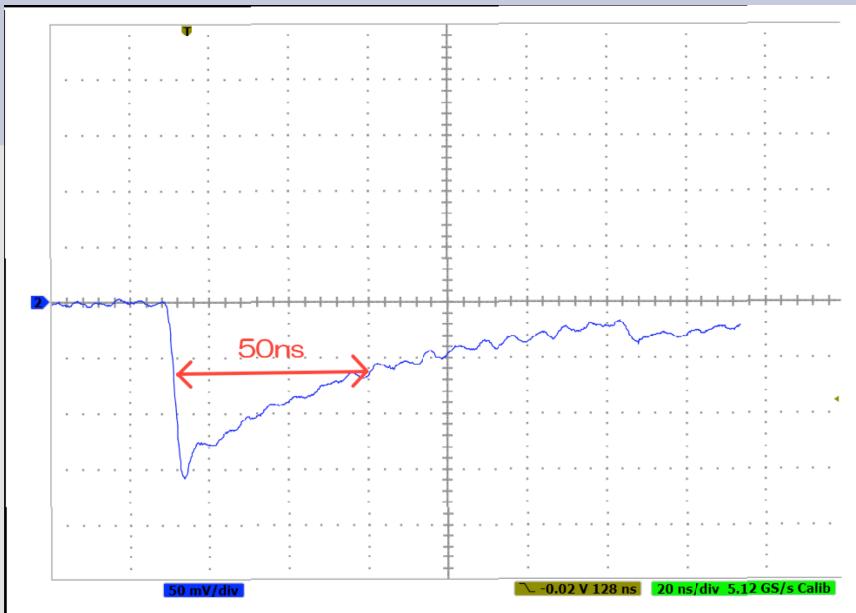
# 分解能に影響する要因

- Gainに関しては光子数とピクセル数  
また光源とpixelの距離が近いと同じpixel  
にpixelの充電が終わる前に次のp.e. が入  
射してくるため放出電荷の線形性が崩れ、  
フォトカウントの分解能が悪くなる
- ノイズレートに関して  
1pixelAPDが電荷を放出してから充電するま  
でのたちさがり時間（今の場合は立ち上がり  
時間）が長いと検出する電荷パルスがパイル  
アップしてしまい正確な電荷数を数えられな  
い

# まとめ

- ゲインに関して  
充分多くの pixel で光を検出する  
同じ pixel に立て続けに p. e. が入らない程  
度に光源との距離を離す  
今回も pulse の光量をさげると分解能が上  
がったことからも正しい
- ノイズレートに関して  
たちさがり時間を短くする

# 今後の課題



KAPDC0029JA

- MPPC のたちさがり時間（半値幅）は

$$T_d = C_{pixel} \cdot R_{pixel} \cdot \ln 2$$

であり、たちさがり時間のテールの長さは MPPC のクエンチング抵抗、APD に依存するため、改善は難しい

- 一般にクエンチング抵抗は温度が上がれば下がるため、温度を上げて測ればたちさがり時間が短くなる

ご清聴ありがとうございました