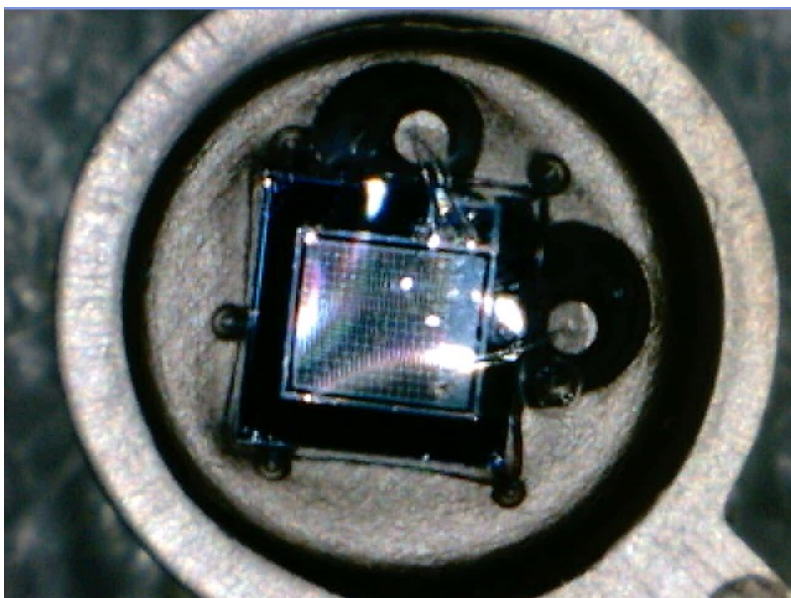


# 高感度半導体光検出器MAPDの性能評価



平成19年 2月28日

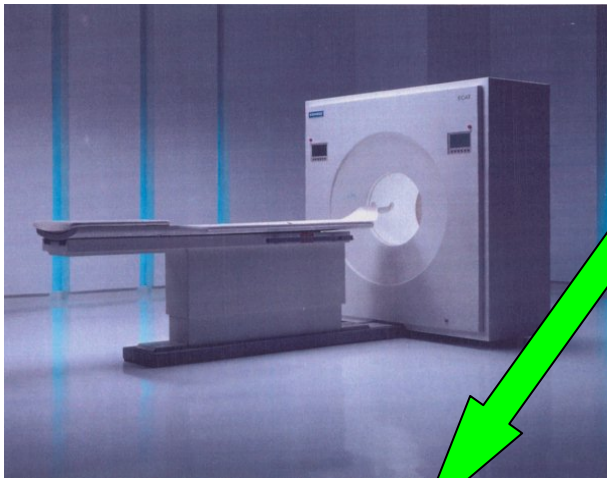
濱端 哲史

指導教官 新川 孝男 教授  
松村 徹 助手

# 新型光検出器の必要性

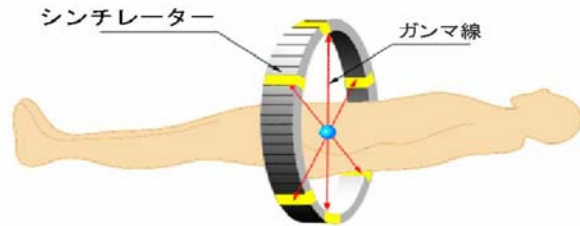
PET・・・体内の癌の位置を特定する装置

陽電子放出核種フッ素18で標識されたブドウ糖  $\xrightarrow{\text{投与}}$  癌細胞に蓄積



フッ素18から出る $\gamma$ 線を検出  
癌の位置を特定

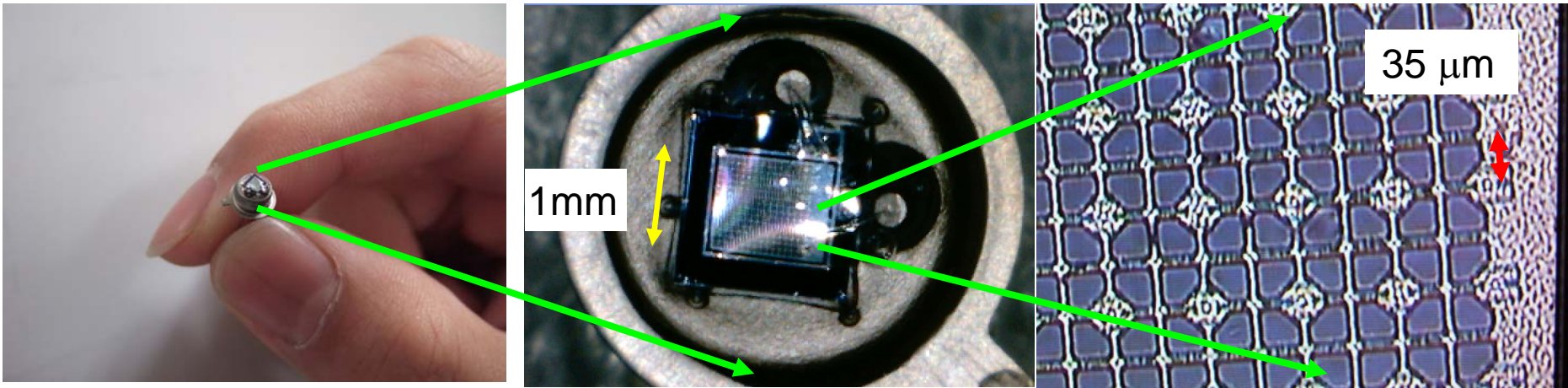
別途CTやMRIで体内を撮影する必要があるが、  
光検出器に光電子増倍管を用いているためMRI  
と一体化した**PET-MRI**は実現していない



**磁場中で動作する光検出器が必要！**

# 高感度半導体光検出器MAPD

**M**ulti-pixel **A**valanche **P**hoto **D**iode



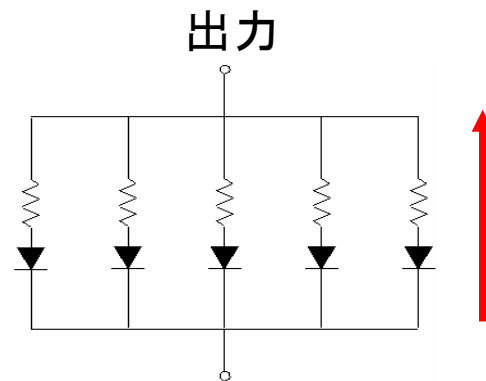
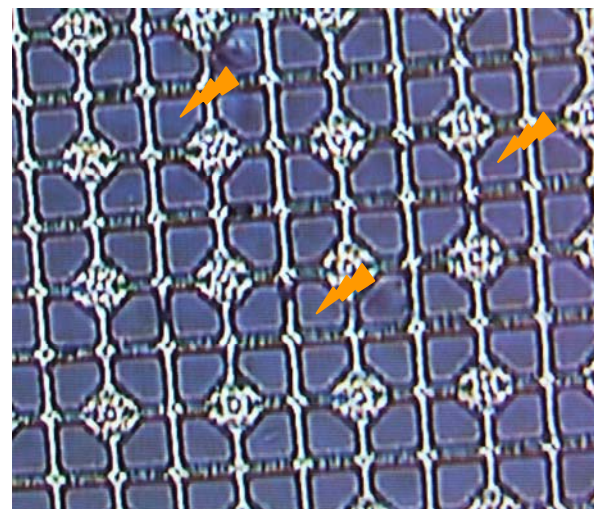
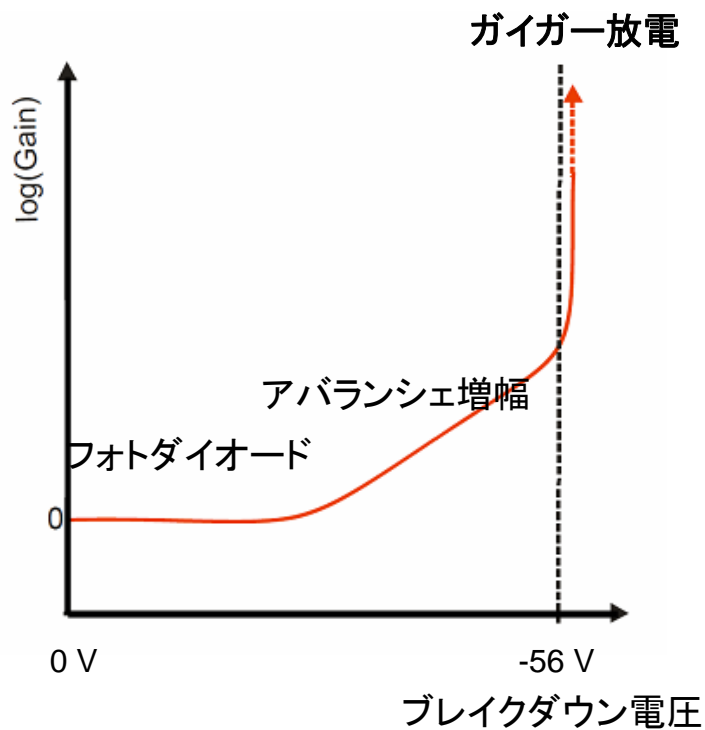
## 構造

- ・pn半導体光検出器
- ・ガイガーモードで動作する多ピクセルのAPD素子

## 特徴

- ・高感度(1光子を検出可能)
- ・コンパクト
- ・磁場中で動作可能

# MAPDの動作原理



逆バイアス電圧

出力信号： 各APDピクセルの和

入射光子数に対応

# 研究目的 と 測定項目

## 目的

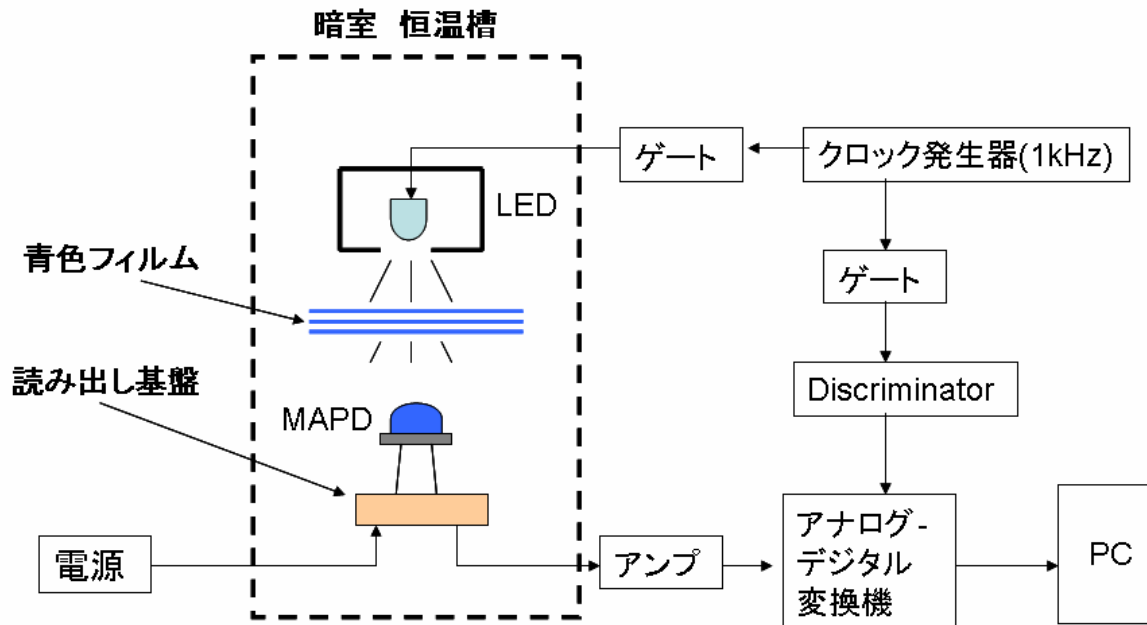
PET-MRIへの応用を目指した  
MAPDの性能評価

測定サンプル: Mikron社製(ロシア) S60型

## 測定項目

1. 増幅率
2. ノイズ計数率
3. クロストーク率
4. 光子検出効率 (有感領域)

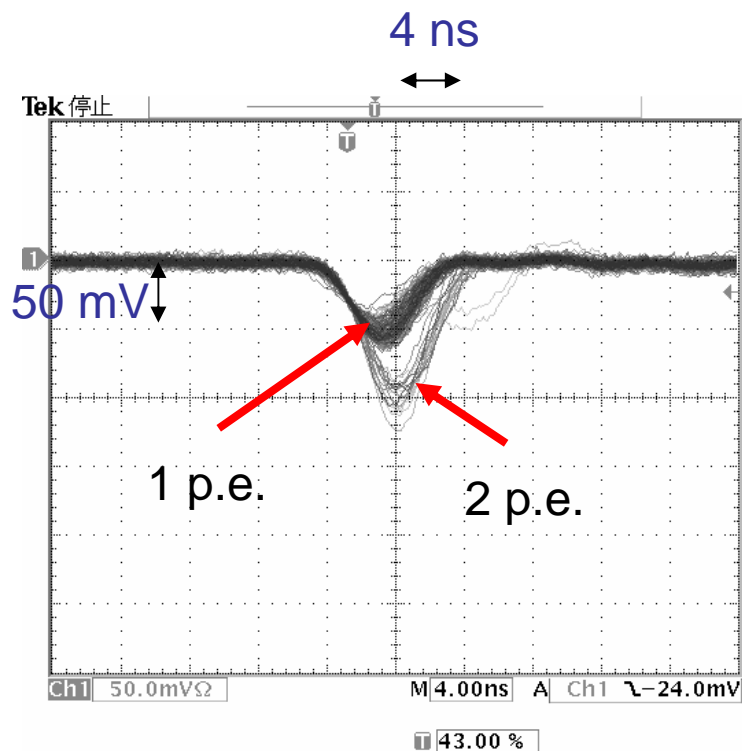
# セットアップ



- LEDを1 kHzで発光させる
  - 光はフィルムにより数光子に減光
- LEDに同期してMAPDの信号を読み出す

# オシロ信号波形とADC分布

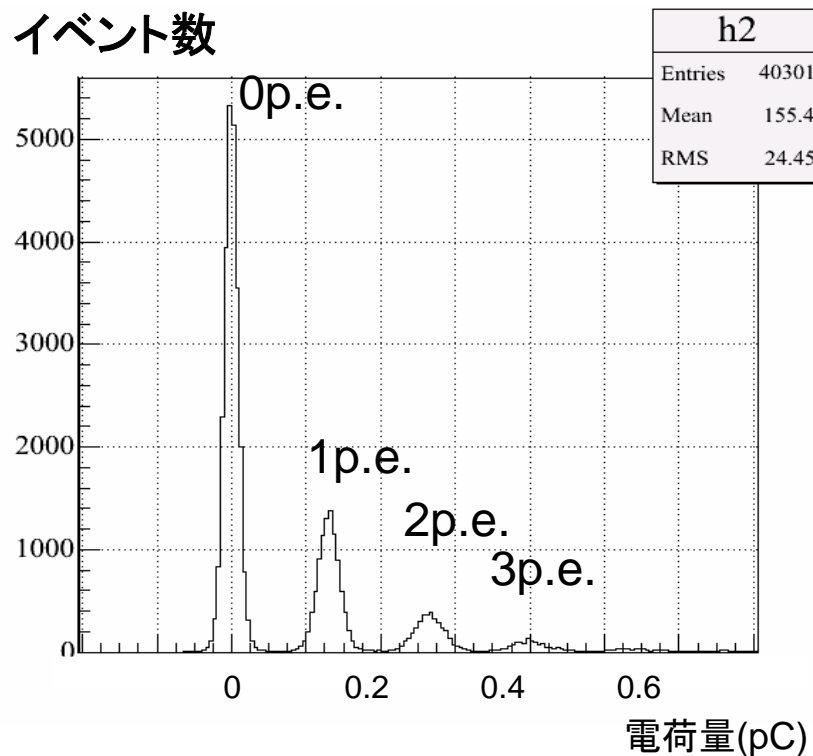
※ p.e. : 光電子 (photo-electron)



オシロスコープの信号波形

パルスの面積が電荷に対応

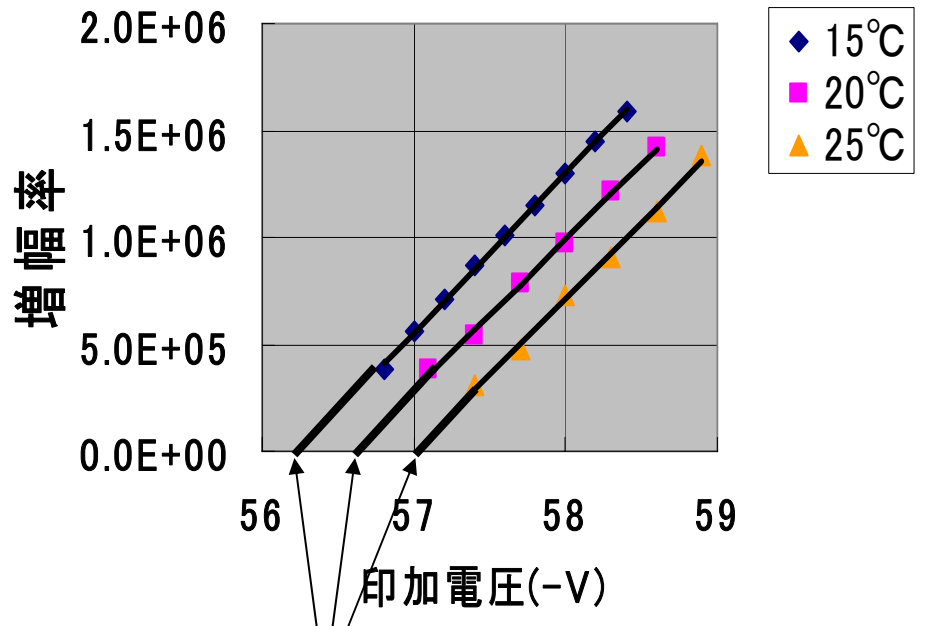
イベント数



ADCによる光電子分布図

# 1. 増幅率とブレイクダウン電圧

S60A 電圧-増幅率特性



ブレイクダウン電圧

$$\text{増幅率} = \frac{1}{e} C(V - V_b)$$

$V_b$  ; ブレイクダウン電圧

10<sup>6</sup>倍の増幅率

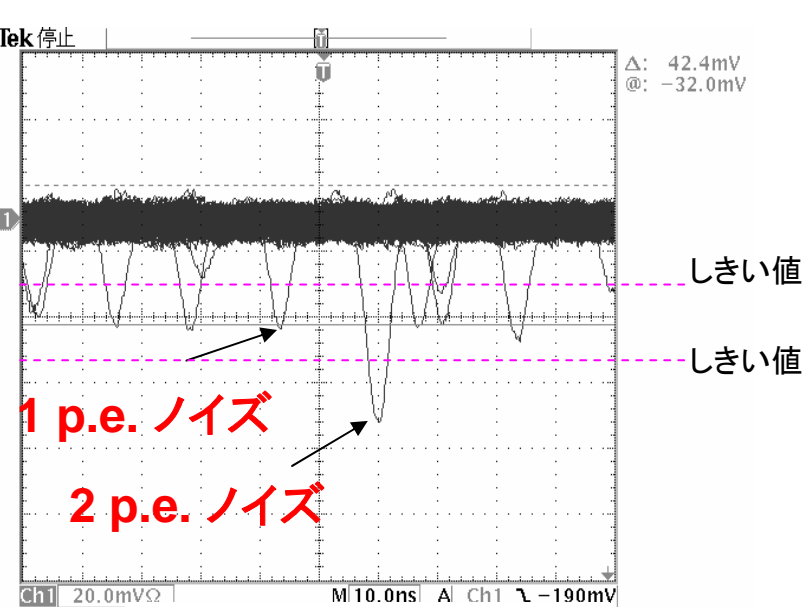
増幅率の温度依存性 -4.4%/°C

**0.1°C程度の温度制御が必要**



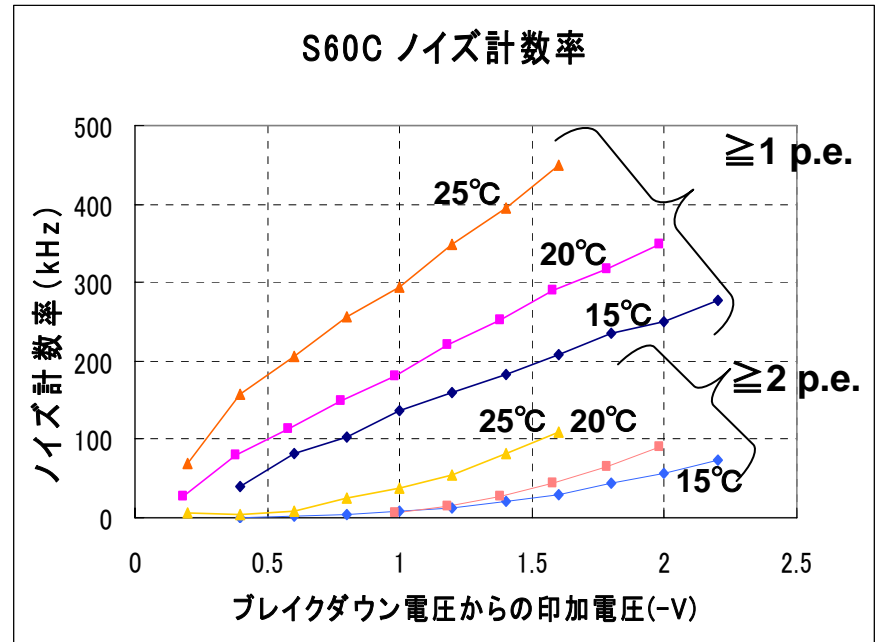
## 2. ノイズ計数率

シリコン半導体 → 熱電子によりランダムにノイズがでる



ノイズのオシロ波形  
(10秒間蓄積)

15 Feb 2007  
15:24:05

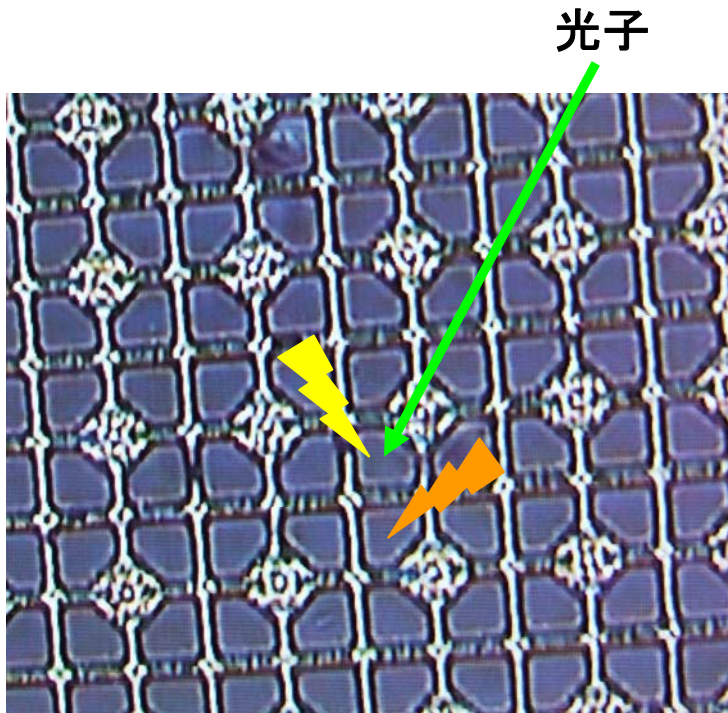


ノイズの大半は1 p.e.

温度が上昇するとノイズは増加

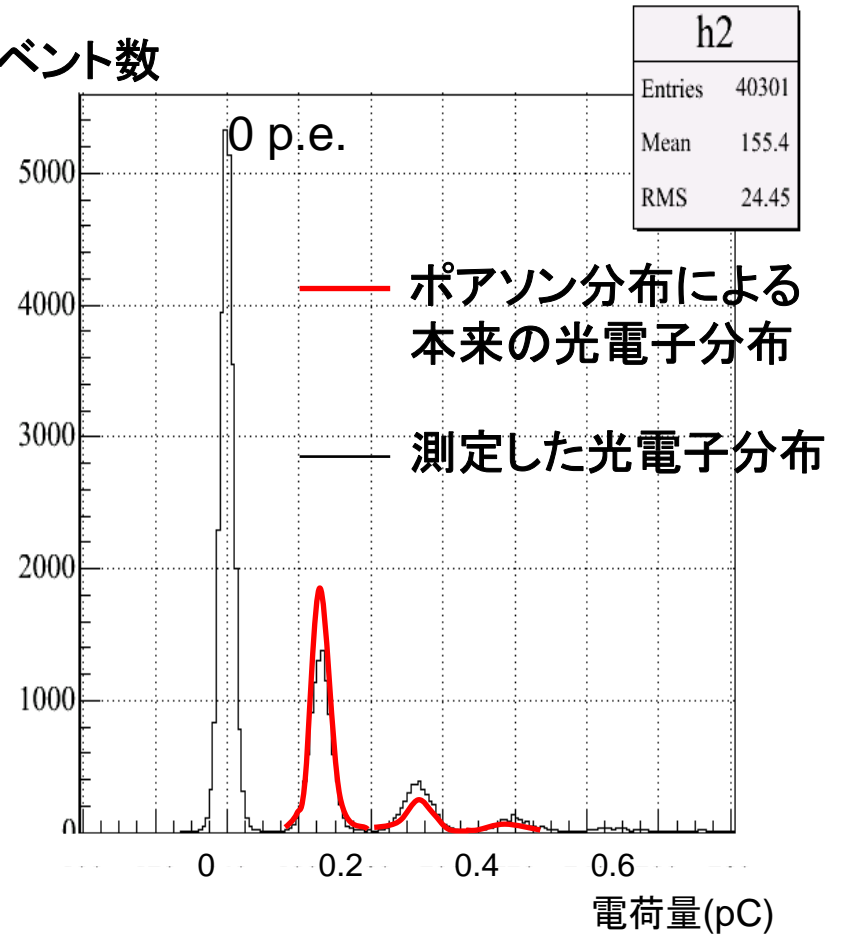
光電子数のしきい値を上げるとノイズは減少

### 3. クロストーク率



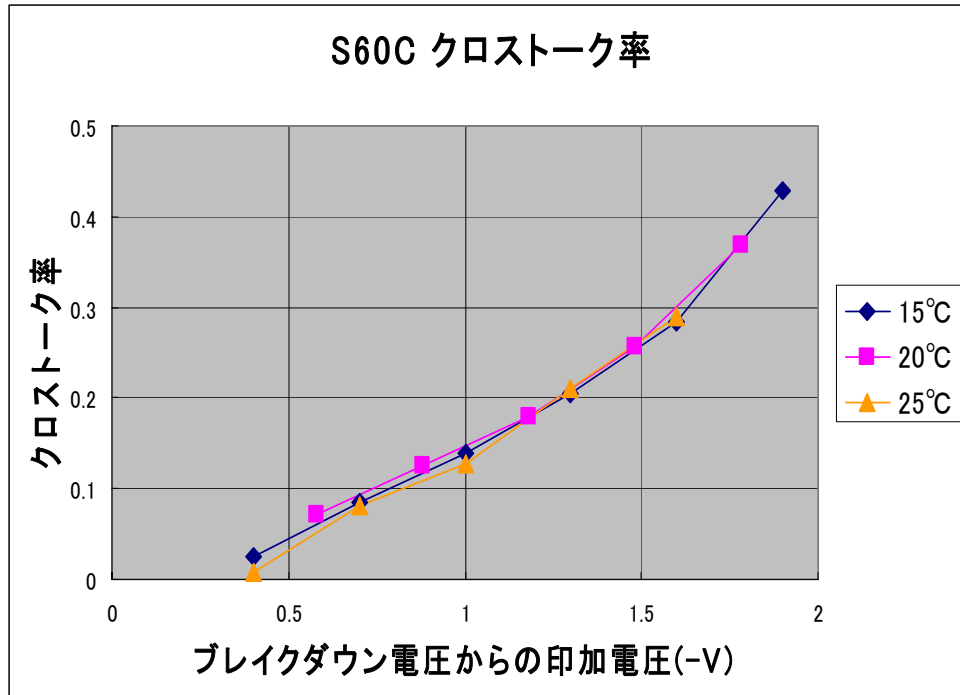
1つのピクセルがガイガー放電し、  
他のピクセルもガイガー放電

イベント数



1 光子しか受光していないのに2 光子以上にカウントしてしまう

# 測定結果



- 電圧が高いほどクロストーク率も増加
- 1光子受光すれば10~30%クロストークを起こす
- 温度依存性はない
- クロストークは光量に対するシグナル数の線形成に影響するが、PETには影響しない

1 光子受光した際に2 光子以上のシグナルをだす割合を計算

# 光子検出効率 (PDE)

Photon Detection Efficiency

$$PDE = QE \times \mathcal{E}_{Geiger} \times \mathcal{E}_{Pixel}$$

$QE$  量子効率

波長依存性により 0.5~0.8

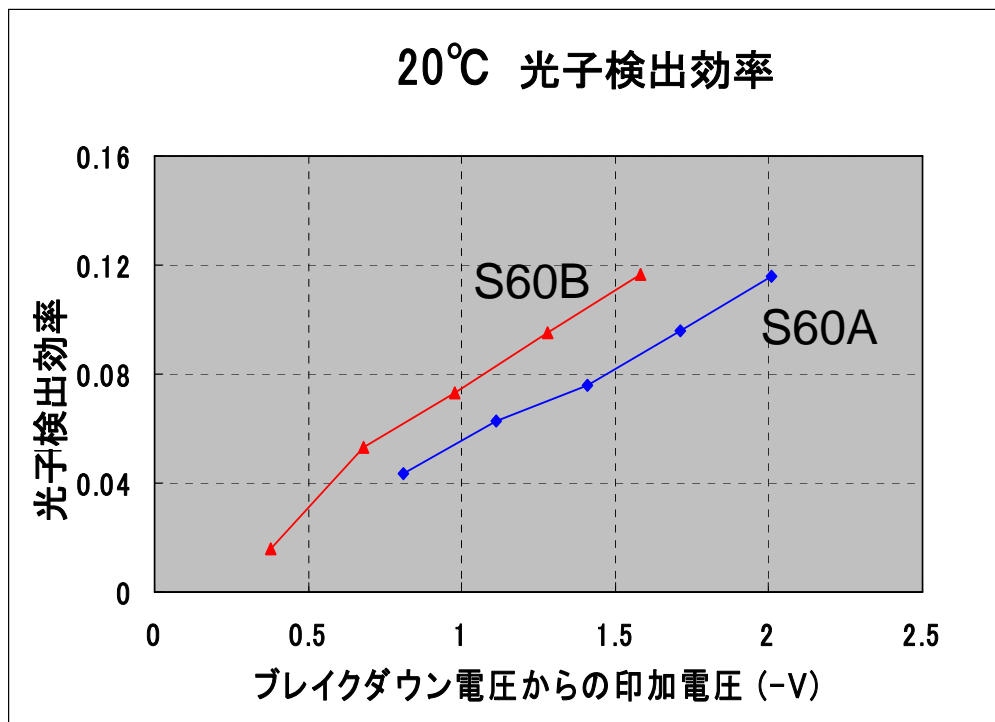
$\mathcal{E}_{Geiger}$  ガイガー放電を起こす確率

バイアス電圧依存性により0.6~0.8

$\mathcal{E}_{Pixel}$  ピクセルに占める受光面の面積比

ピクセル数が増えると小さくなる

# 光子検出効率(PDE)

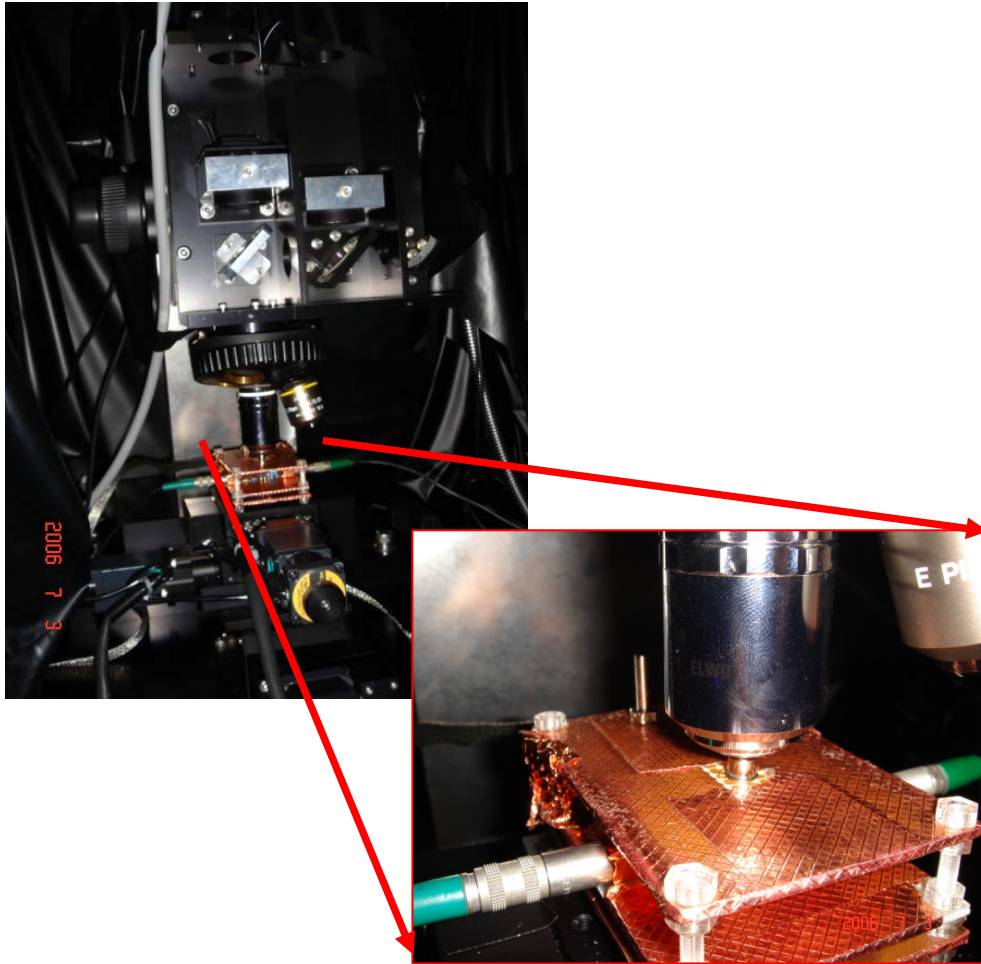


- ・ 光子検出効率は6~10%
- ・ 光電子増倍管の約1/2

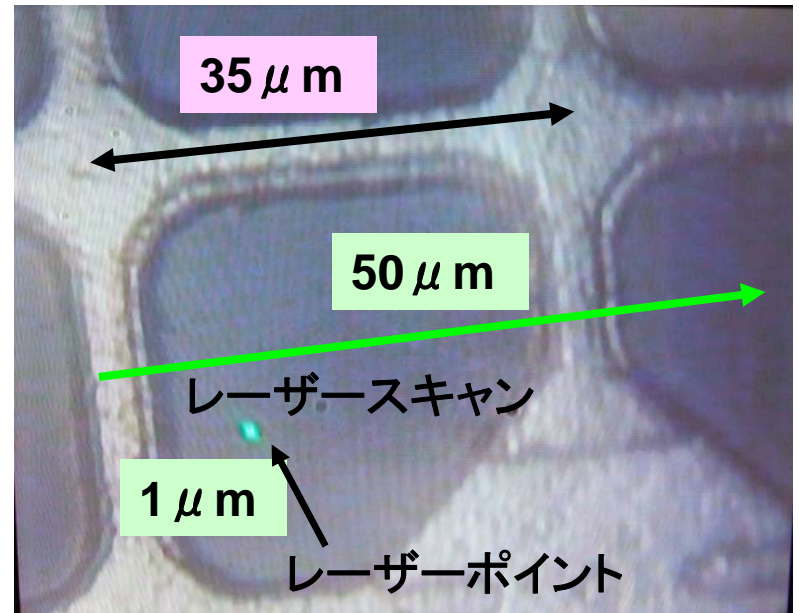


光子検出効率の向上が必要

# レーザースキャン

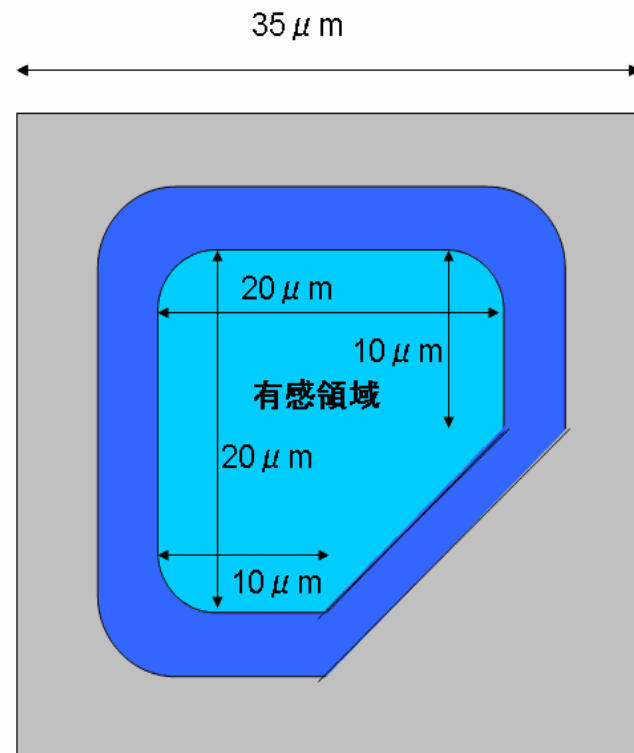
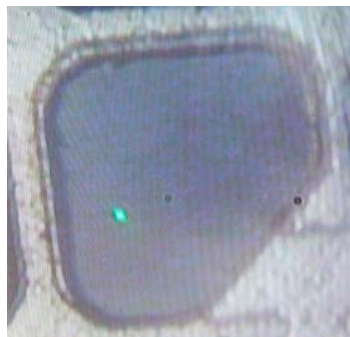
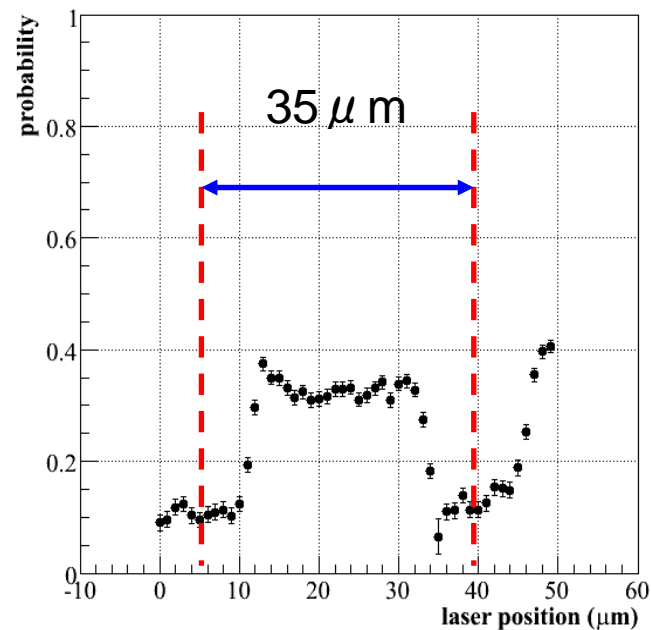


1 ピクセルをレーザースキャン



# 有感領域

## スキャン結果



1 ピクセルに占める有感領域は**30~35%**

# 結論

- 増幅率はPETの要求を満たしているが、光子検出効率は改善が必要である。
- ノイズ、クロストークは統計的に処理することで影響を最低限に抑えられる。

温度制御、光子検出効率の向上により  
PET-MRI用光検出器として用いることは  
可能である



# まとめ

今回、PET-MRIを目指して、光電子増倍管に代わる光検出器MAPDの性能評価を行った。

- 増幅率は $10^6$ 倍
- ノイズは3光子以上をカウントすることで無視できる
- クロストーク30%はPETには問題ない
- 光子検出効率は2倍程度の向上が必要

光子検出効率の向上と温度、電圧の制御を行えばPET-MRIに使用可能。