

# APDによるカロリメーターの読み出し

福井大学工

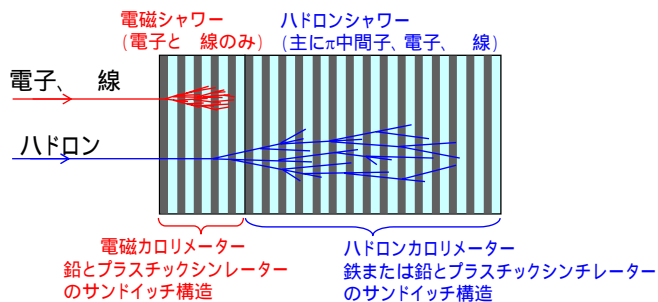
岩瀬俊高、吉田拓生、今井大輔、渡邊泰典

## Introduction

カロリメーター：粒子のエネルギー測定、粒子の種類の見別

サンプリングカロリメーター：

鉛や鉄などの重い物体中で発生するカスケードシャワーを利用する

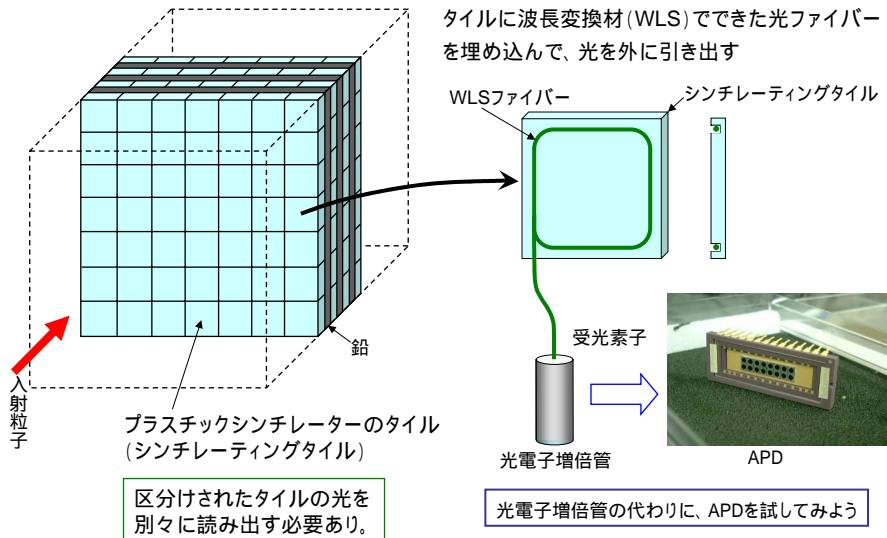


入射粒子のエネルギーを全て吸収し、

その内の一部(シンチレーター中での電離損失分 = シンチレーターの発光量)を測定

入射粒子のエネルギーに比例

## シンチレーティングタイル・ファイバー型カロリメーター



## APDの長所・短所

### 長所:

- 量子効率 (光電効果で電子をたたき出す確率) が大きい ~ 90%
- 受光面が小さく (~ 1.5 mm)、コンパクト
- 磁場中でもOK
- 応答が速い (~ 1ns)

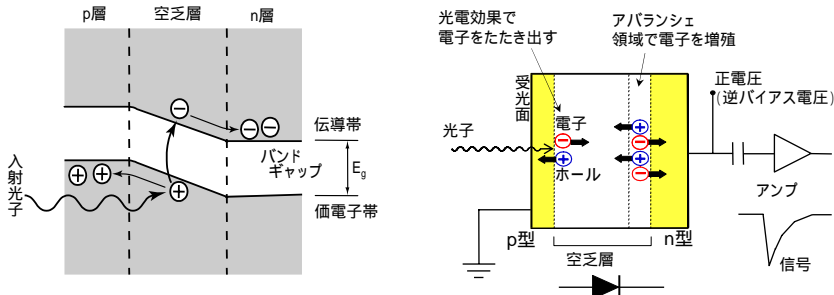
### 短所:

- 二次電子の増倍率が低い (~ 数百倍)。  
(PMTの増倍率は100万倍)

↓

これで測定は可能なのか!

## APDの動作原理と特徴



空乏層に可視光が入射すると相互作用により電子-ホール対が発生します。

電子-ホール対が発生

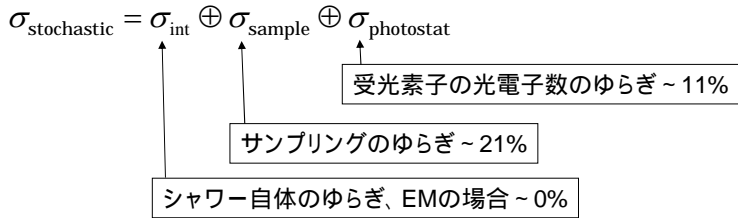
電子が高電界で加速され格子原子に衝突

電子-ホール対が新たに発生

## APDのカロリメーターへの応用

カロリメーターのエネルギー分解能  
 T. Suzuki et al., NIM A432 (1999) 48より  
 8mm厚鉛 + 2mm厚シンチレーティング・タイルで  
 電磁シャワーに対して:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_{\text{stochastic}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \sigma_{\text{const}} = \frac{23\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 1\% \quad (A \oplus B \equiv \sqrt{A^2 + B^2})$$



## 受光素子による影響 $\left( \frac{\sigma_{\text{photostat}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \text{の項} \right)$

平均光電子数  $N_{pe} \pm \text{ゆらぎ} = \text{平均入射光子数 } N_p \times Q \pm \sqrt{N_p Q}$

$Q$ : 量子効率

↓ Gain  $M$  の受光素子で増幅

平均出力信号  $\pm \text{ゆらぎ} = M N_p Q \pm M \sqrt{N_p Q F}$

$F$ : 过剩雑音係数 (Excess Noise Factor)  
Gain  $M$  自体のゆらぎ

↓

$$\frac{\sigma_{\text{photostat}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} = \frac{\text{ゆらぎ}}{\text{平均出力信号}} = \sqrt{\frac{F}{N_p Q}}$$

光電子増倍管:  $Q=0.2$ ,  $F=1.2$

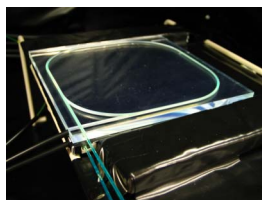
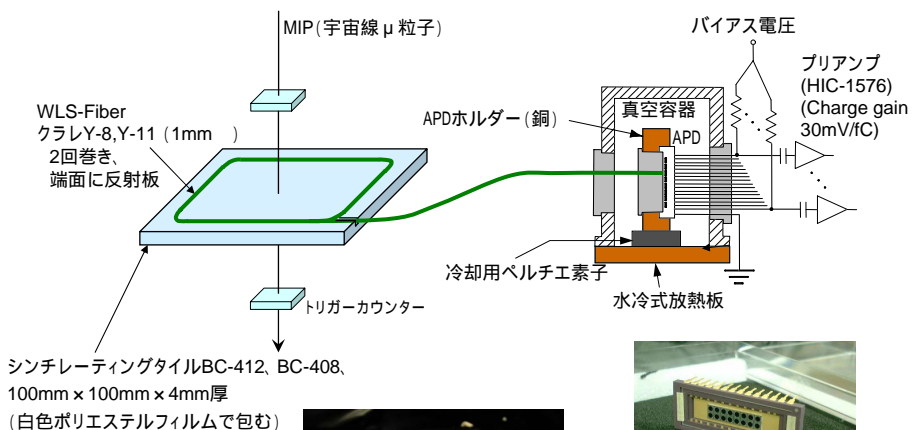
↓ 4.5倍

↓ 3倍

↓ 4.5倍

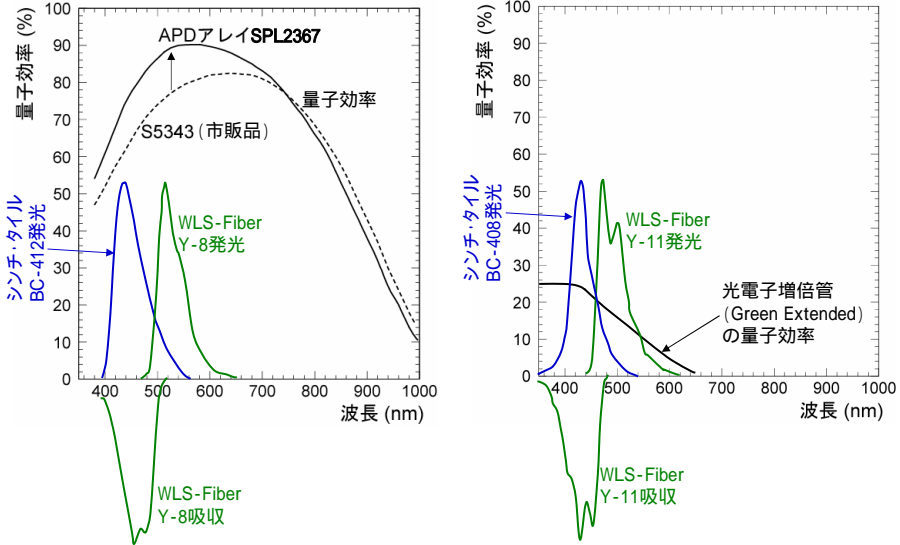
APD:  $Q=0.9$ ,  $F=M^{0.28} = 3.6 @ M=100$ ,  $5.4 @ M=400$

## APDアレイによるシンチレーティングタイル・ファイバーの読み出し



APDアレイ SPL2367 (特注品)  
HAMAMATSU PHOTONICS  
受光面: 1.5mm、ピッチ: 2.2mm

シンチレーティングタイル、WLSファイバーの吸収/発光スペクトル



- ①BC412, Y-8 ②BC408, Y-8 ③BC412, Y-11 ④BC408, Y-11

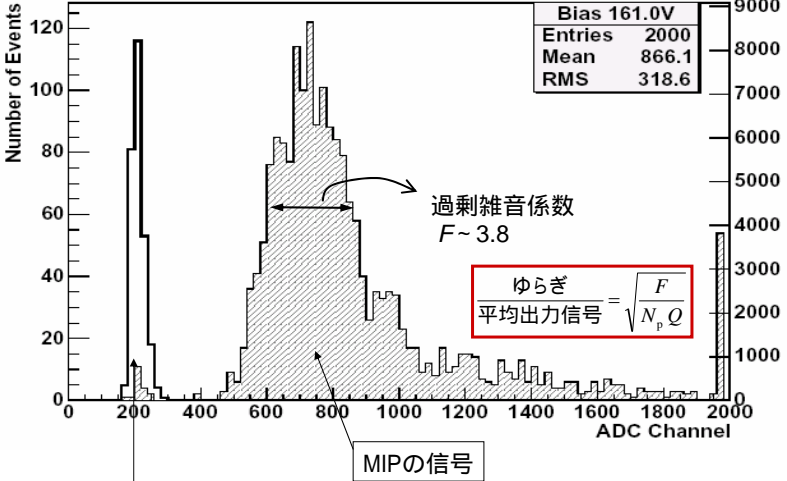
測定 1

④BC408, Y-11

- 常温(25 )
- 2000events

平均光電子数  $N_{pe} \sim 151$ 個

Bias 161.0 V 光電子増倍率  $M \sim 224$



Pedestal = ノイズ分布(ショットノイズ、プリアンプノイズ)

## 測定2

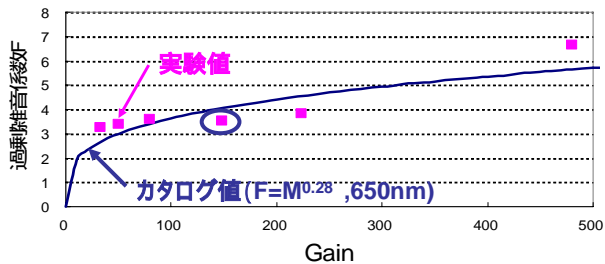
### 測定条件

- 常温 (25 )
- 2000events

タイル, WLS-fiber	平均光電子数(個)
BC412,Y-8	76
BC408,Y-8	115
BC412,Y-11	161
BC408,Y-11	151

## 測定3

④BC408, Y-11



光電子増倍管:  $Q=0.2$ ,  $F=1.2$

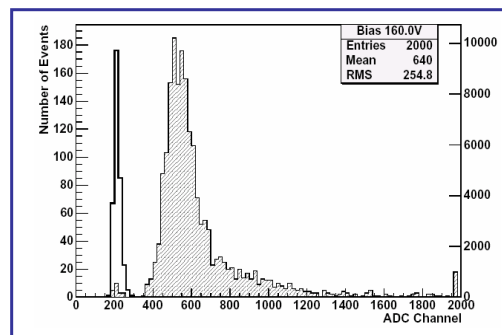
4.5倍

2.9倍

APD:  $Q=0.9$ ,  $F = 3.53$  (Gain148)



およそ1.2倍の向上が期待



## まとめ

- APDでMIPの信号を測定できる
- カロリメーターの性能向上を図ることができる

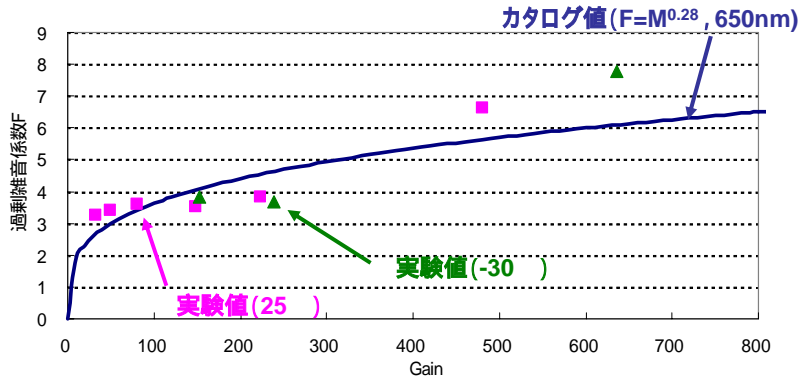
## 今後の課題

- カロリメーターの読み出しにAPDを用いる場合の最適条件(最適温度、最適Gainなど)を見出す。
- シンチレーティング・タイルの読み出し
  - MIPの信号に対して、光電子増倍管でも実際に測定しAPDとの比較
    - シンチレーティング・タイルの厚さ2mmのものでの測定
    - カロリメーターの雛形を作製し、APDによる読み出し実験
- APDを冷却し温度に対する依存性を調べる。

以下のページは、予備のスライド

# APDの基本特性 (Gain $M$ と過剰雑音係数 $F$ の関係)

④BC408, Y-11

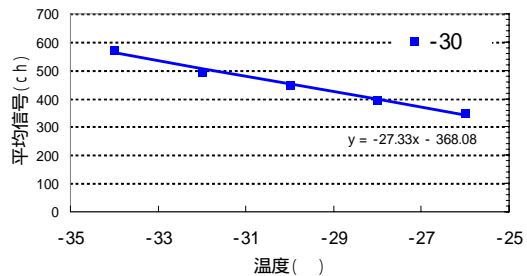


## 測定4

④BC408, Y-11

152.0V	平均信号(ch)	過剰雑音係数 F	Gain
-26	349.7	4.2	118
-28	394.6	4.35	134
-30	448.4	3.82	152
-32	492.2	4.43	167
-34	574.2	3.95	194

1 あたり  
5.1%の増加





溝付きプラスチックシンチレーティングタイル (100mm × 100mm × 4mm)

