

APDによるカロリメーターの エネルギー分解能向上

福井大工

今井大輔、吉田拓生

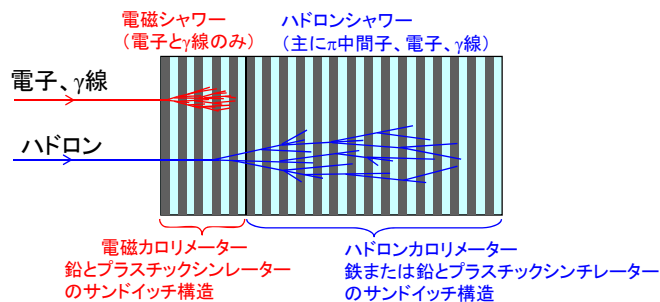
※APD～アバランシェフォトダイオード

Introduction

カロリメーター：粒子のエネルギー測定、粒子の種類の識別

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

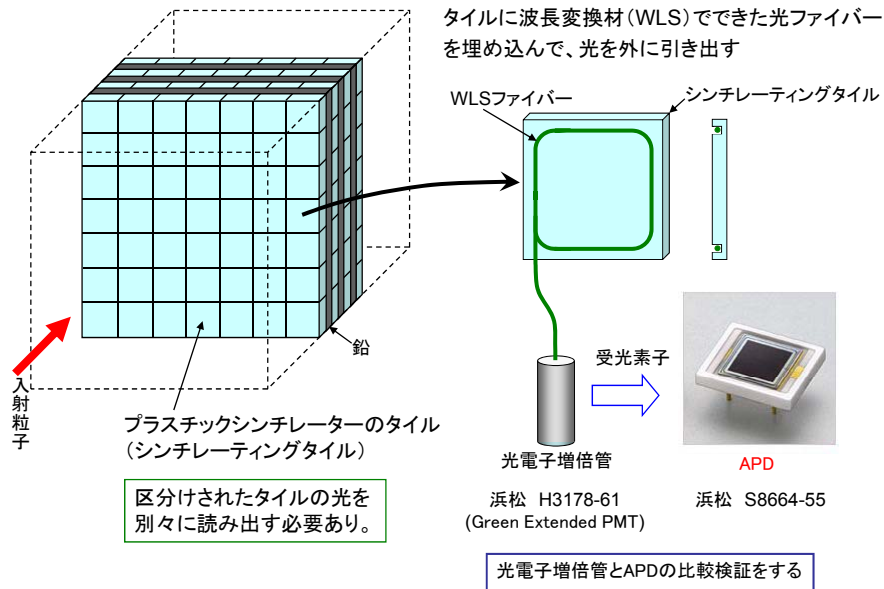


入射粒子のエネルギーを全て吸収し、

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

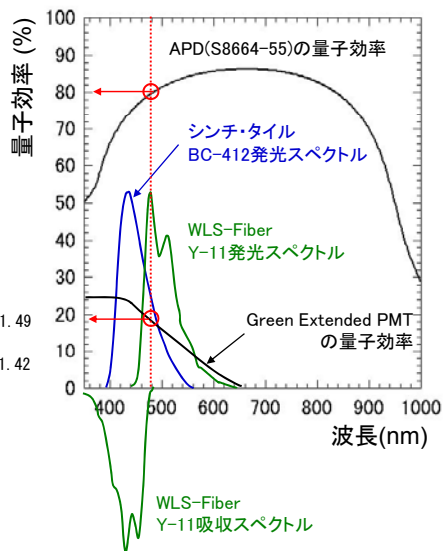
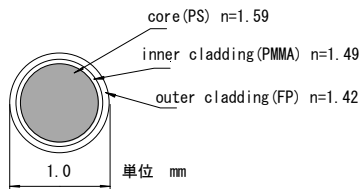
シンチレーティングタイル・ファイバー型カロリメーター



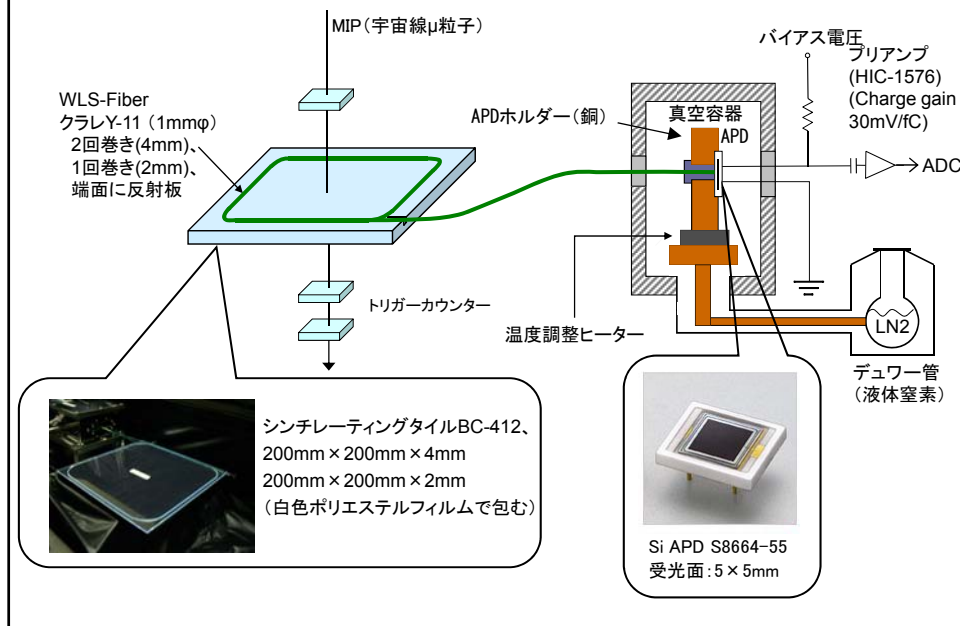
シンチレーティングタイル、WLSファイバーの吸収/発光スペクトル

Plastic Scintillator
BICRON
BC-412

WLS Fiber
Kuraray Co.,Ltd
Y-11



APD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



受光素子による影響

Q : 量子効率

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

↓ Gain M の受光素子で増幅

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

F : 過剰雑音係数 (Excess Noise Factor)
Gain M 自体のゆらぎ

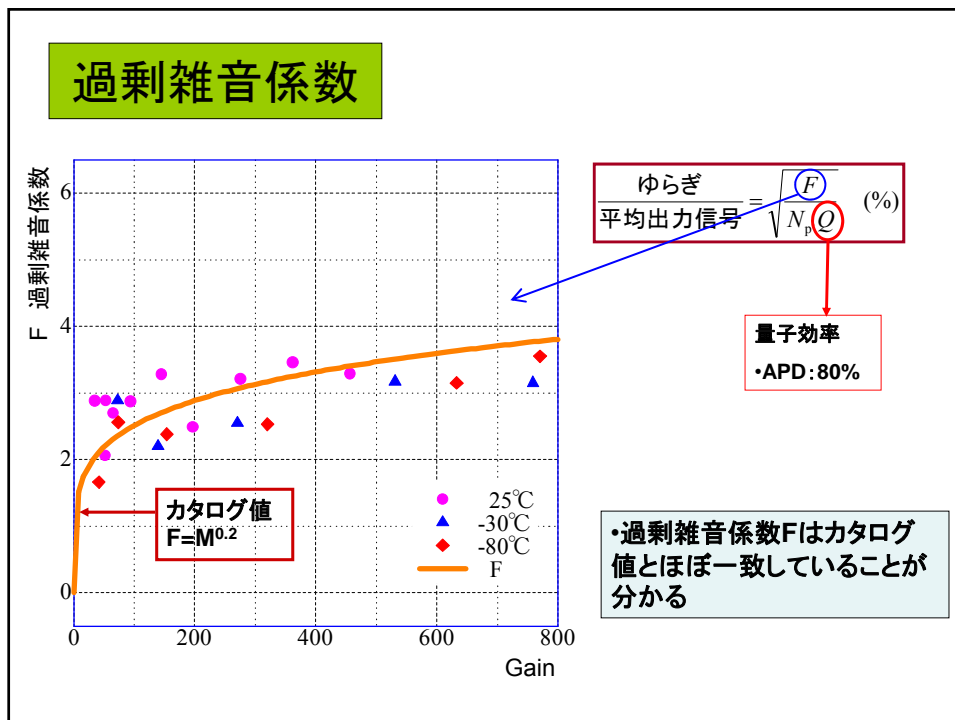
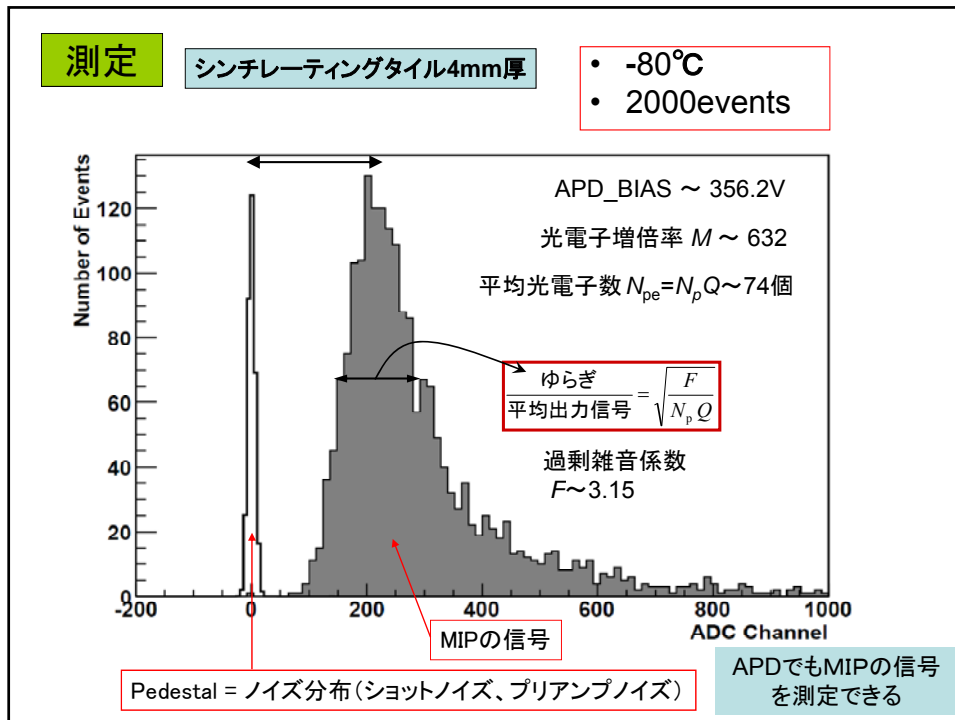
エネルギー分解能 $\frac{\sigma}{E} = \frac{\text{ゆらぎ}}{\text{平均出力信号}} = \sqrt{\frac{F}{N_p Q}}$

光電子増倍管: $Q=0.2$, $F=1.2$

↓ 4.0倍

APD: $Q=0.8$, $F=M^{0.2} = 2.4 @ M=80$, $3.6 @ M=600$

2倍 3倍



エネルギー分解能の比較

シンチレーティングタイル2mm厚

APD

HAMAMATSU PHOTONICS
Si APD S8664-55

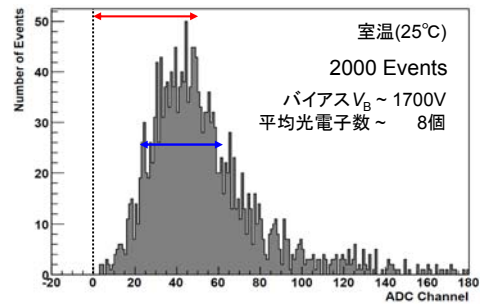
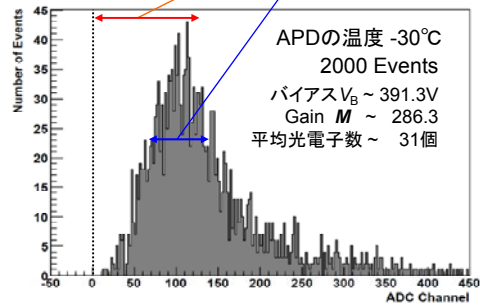
25 %

光電子増倍管

HAMAMATSU PHOTONICS
Green Etched PMT
H3178-61

30 %

$$\text{エネルギー分解能} = \frac{\sigma(\text{信号の揺らぎ})}{E(\text{平均出力信号})}$$



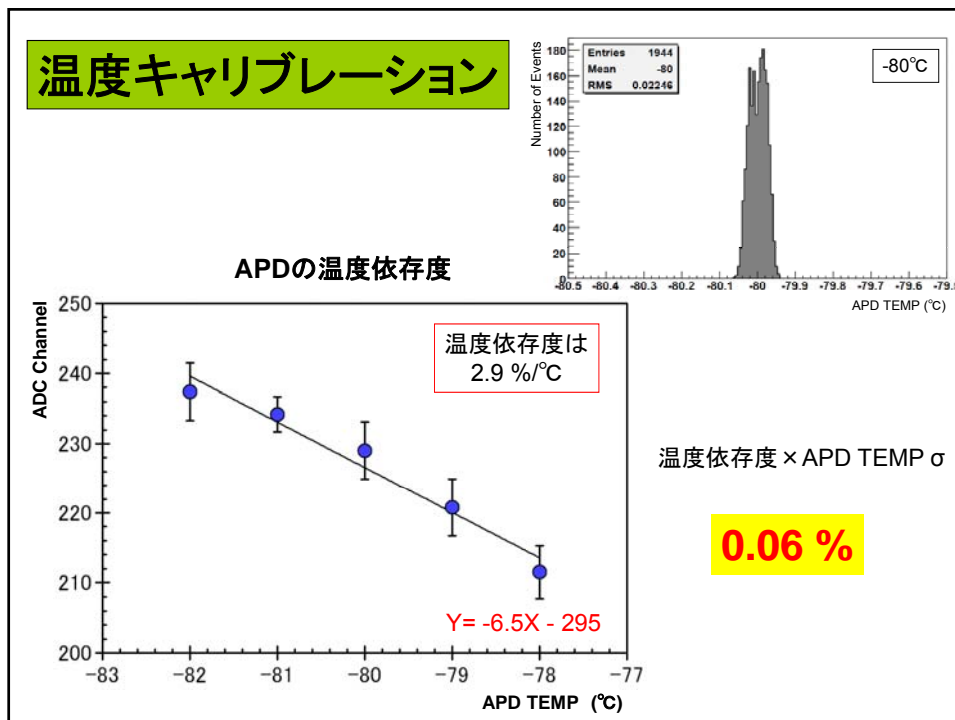
結論

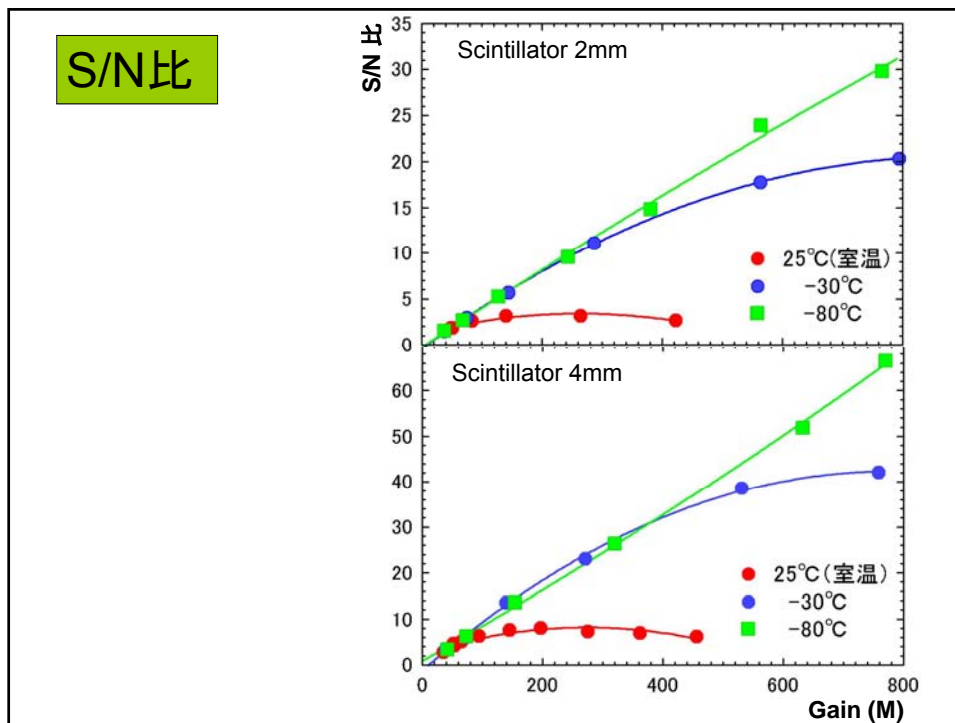
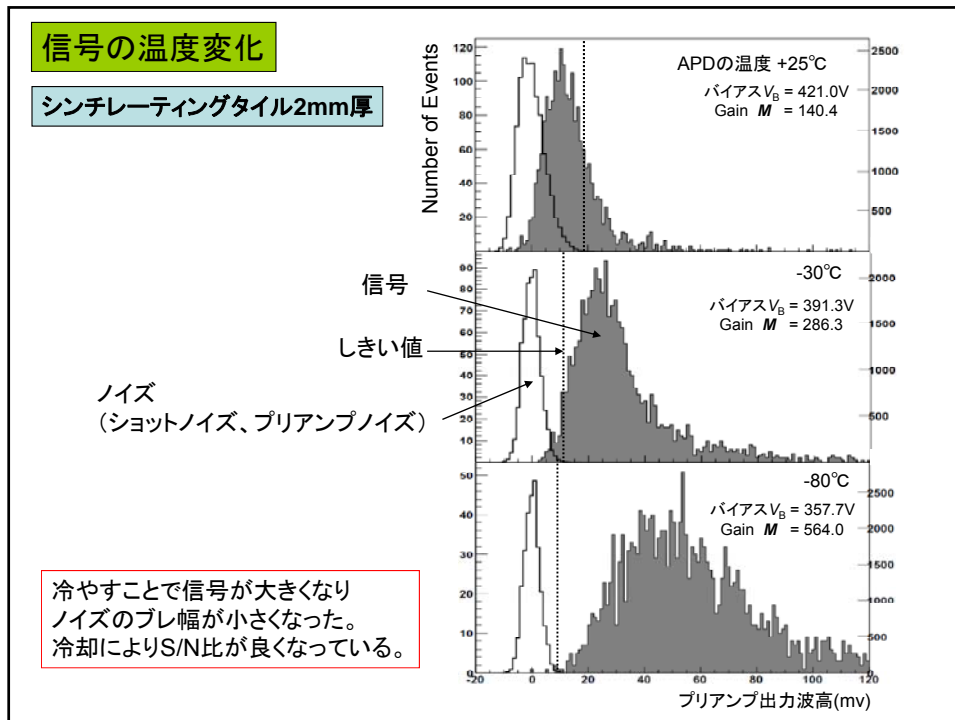
- APDでもMIPの信号を測定できる
- APDによるカロリメーターのエネルギー分解能向上を図ることができる

今後の課題

カロリメーターの雛形を作製し、APDによる読み出し実験

予備スライド





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(1~5mm)、コンパクト
- 磁場中でもOK
- 応答が速い(~1ns)

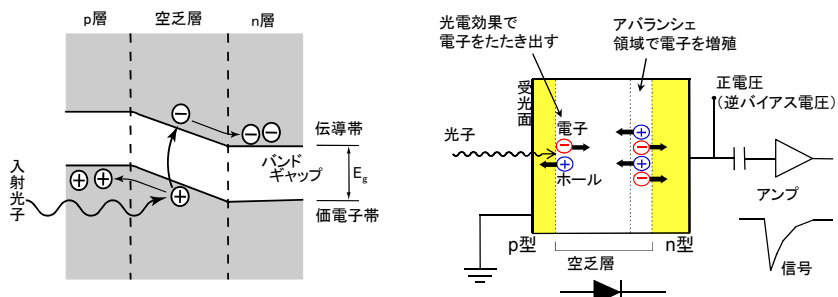
短所:

- 二次電子の増倍率(Gain)が低く(~数百倍)S/Nがよくない。
(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。

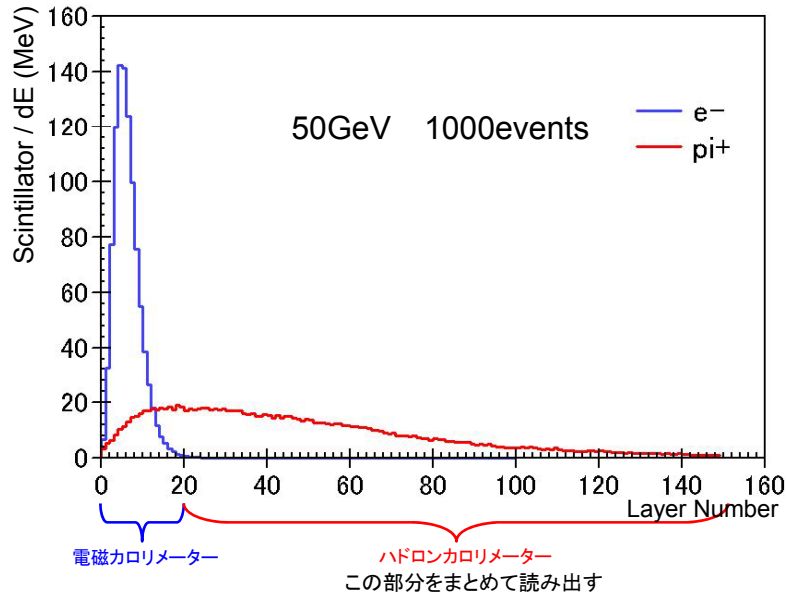
電子-ホール対が発生

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

カロリメーターシミュレーション

Pb 8 mm Scintillator 2mm



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:

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

$$\sigma_{\text{stochastic}} = \sigma_{\text{int}} \oplus \sigma_{\text{sample}} \oplus \sigma_{\text{photostat}}$$

受光素子の光電子数のゆらぎ~11%

サンプリングのゆらぎ~21%

シャワー自体のゆらぎ、EMの場合~0%

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

ハドロンシャワーに対して:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_{\text{stochastic}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \sigma_{\text{const}} = \frac{40\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 1\% \quad (A \oplus B \equiv \sqrt{A^2 + B^2})$$

$$\sigma_{\text{stochastic}} = \sigma_{\text{int}} \oplus \sigma_{\text{sample}} \oplus \sigma_{\text{photostat}}$$

↑ シャワー自体のゆらぎ、EMの場合～24%
 ↑ サンプリングのゆらぎ～30%
 ↑ 受光素子の光電子数のゆらぎ～11%