

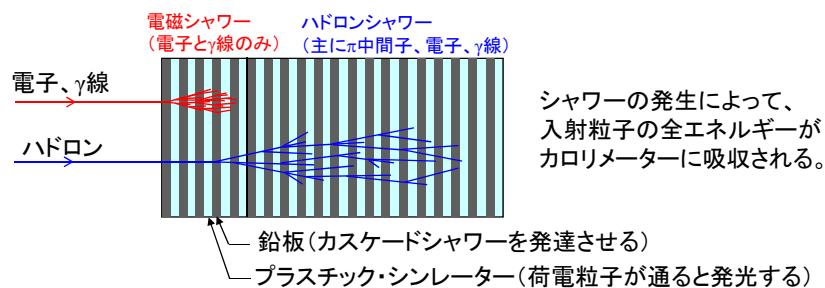
# APDを用いた雛形カロリメーター の作製とその性能評価

福井大工

奥村容子、吉田拓生、井上博貴、山口光司、吉村香

## カロリメーター

高エネルギー粒子のエネルギー測定、粒子の種類の識別  
鉛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

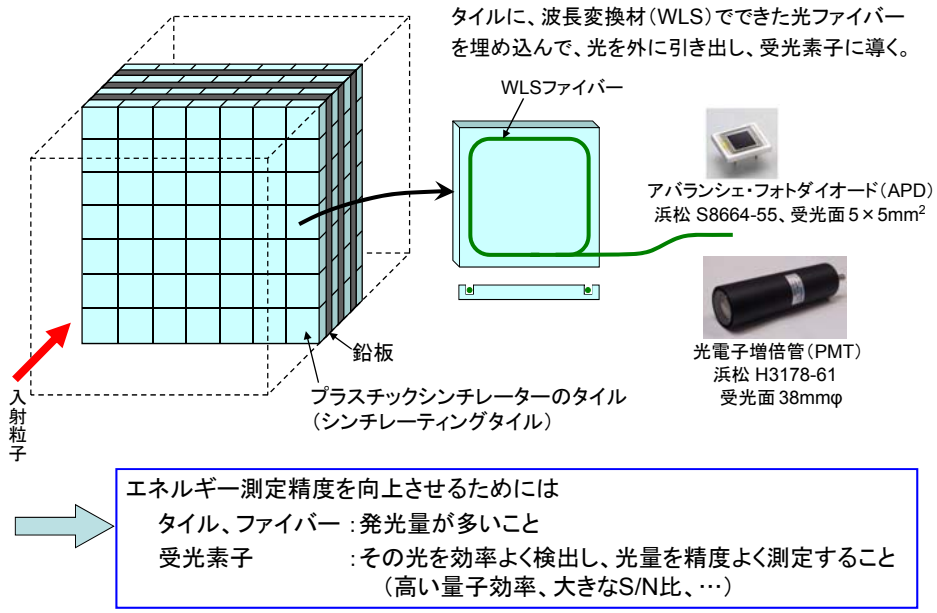


入射粒子のエネルギーが高いと、シャワー中の粒子数が増え、シンチレーターの発光量が増える。



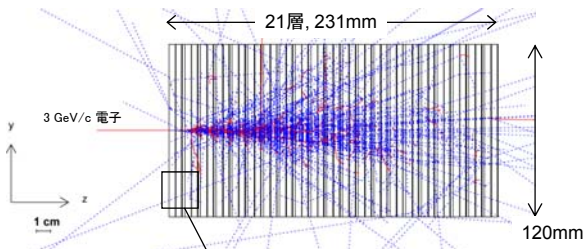
シンチレーターの発光量が入射粒子のエネルギーに比例

### 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

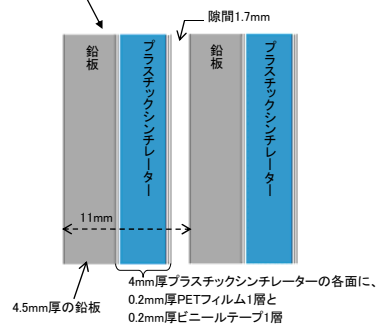


### 電磁カロリメーター(雑型)の設計・製作

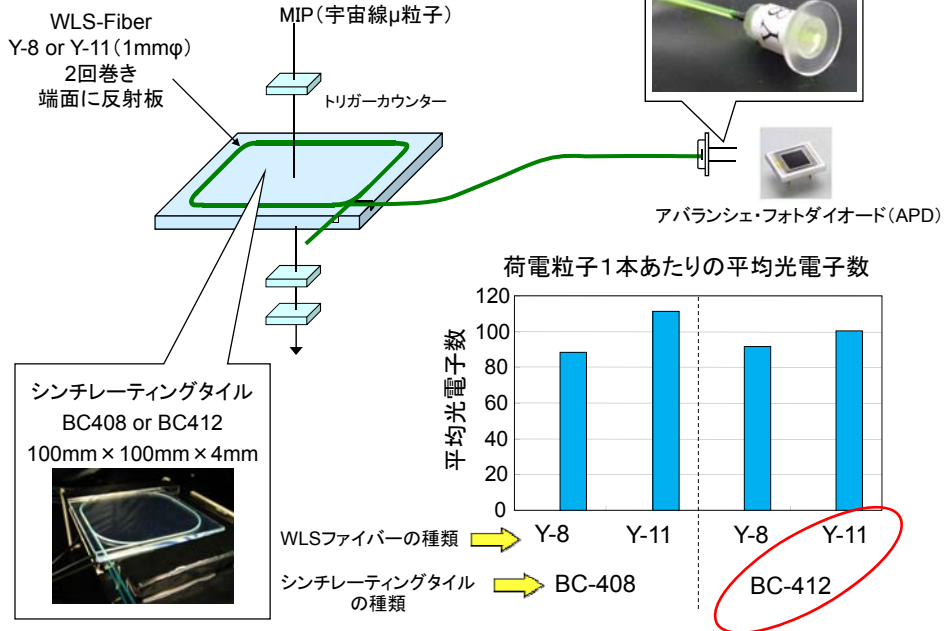
シミュレーションによる構造設計: 電磁シャワーの90%以上を吸収できるように



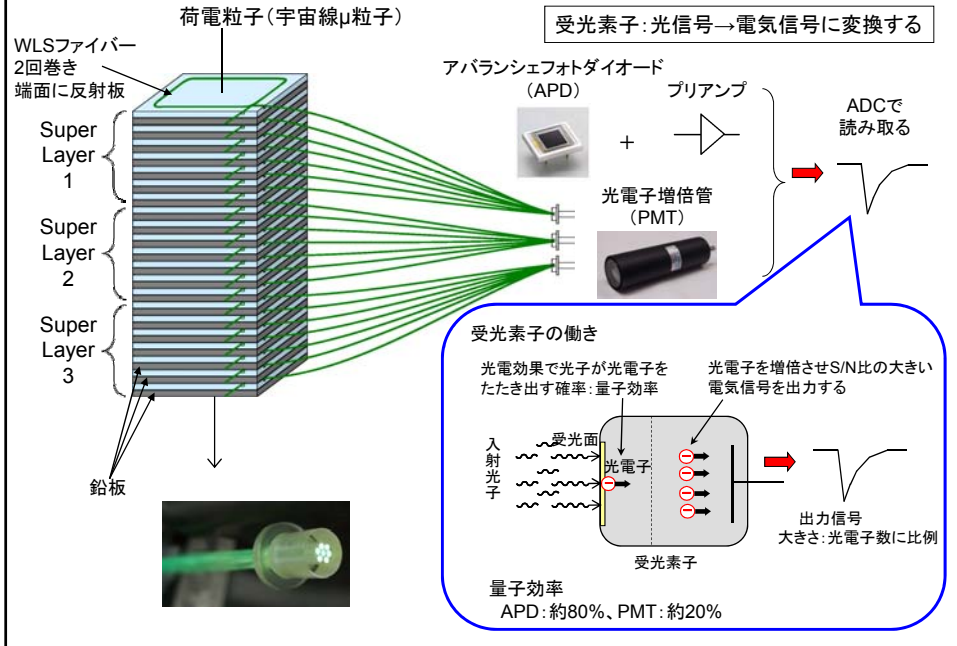
設計のとおり製作



### シンチレーティングタイルとWLSファイバーの選定

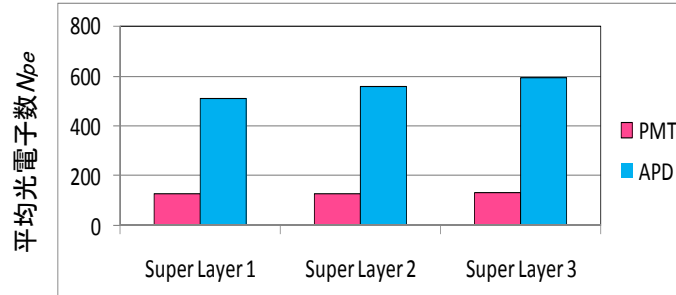


### シンチレーティングタイル・ファイバーの発光の測定



### 光電子数の測定結果

荷電粒子1本あたりの平均光電子数



PMTよりも、APDを用いた方が約4倍たくさん光電子が得られる。



$$\text{相対誤差} = \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均出力信号}} = \frac{\sqrt{N_{pe}}}{N_{pe}} = \frac{1}{\sqrt{N_{pe}}}$$

エネルギー測定精度を向上させるためには、APDが有利

### エネルギー分解能の比較

#### 光電子増倍管

HAMAMATSU PHOTONICS  
Si APD S8664-55

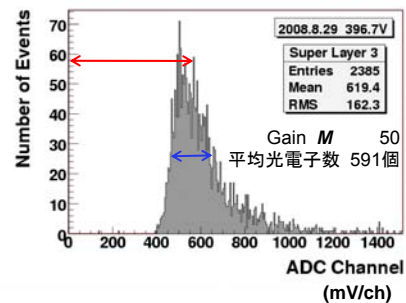
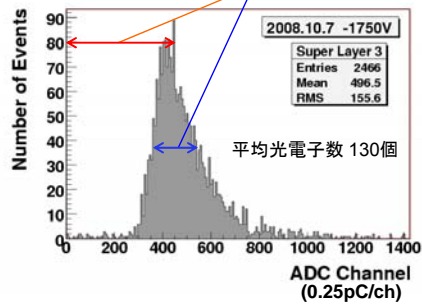
**31.5%**

#### APD

HAMAMATSU PHOTONICS  
Green Etched PMT  
H3178-61

**26.7%**

$$\text{エネルギー分解能} = \frac{\text{半値幅 (FWHM)}}{\text{平均値}}$$



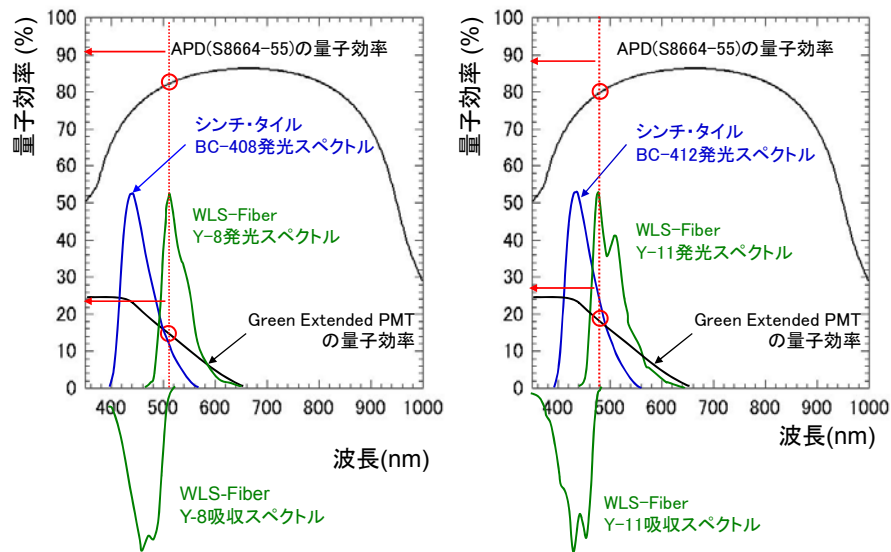
#### 結論

- APDを用いた場合、PMTの約4倍の光電子を得られた。
- APDはPMTに比べ、エネルギー分解能を高めることができる。

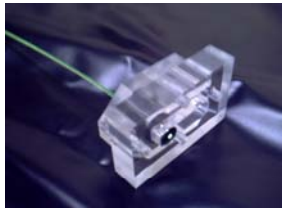
#### 今後の課題

- シミュレーション結果との比較。
- 実際に高エネルギーの電子やガンマ線を照射して測定。

## シンチレーションタイル、WLSファイバーの吸収/発光スペクトル



## 実験装置の写真



光電子増倍管接続面。  
アクリルで接続台を作り、表面をアルミナパウダーで鏡面研磨した。



光電子増倍管に繋がらないファイバーの端面。  
この面に反射材を貼り、光を光電子増倍管に導く



シンチレーションタイルに反射材を巻き、  
ファイバーには防護テープを巻いて実験を行う。

### 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:

測定精度  $\rightarrow \frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_{\text{stochastic}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \sigma_{\text{const}} = \frac{40\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 1\%$

入射粒子のエネルギー  $\left( A \oplus B \equiv \sqrt{A^2 + B^2} \right)$

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

シャワー自体のゆらぎ ~ 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%

### 受光素子による影響

$\left( \frac{\sigma_{\text{photostat}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \right)$  の項

$Q$ : 量子効率

平均光電子数  $N_{pe} \pm$  ゆらぎ = 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

平均出力信号  $\pm$  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

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

光電子増倍管:  $Q=0.2$ ,  $F=1.2$

4.0倍

2倍

3倍

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