

カロリメーターのエネルギー分解能向上の研究

福井大工

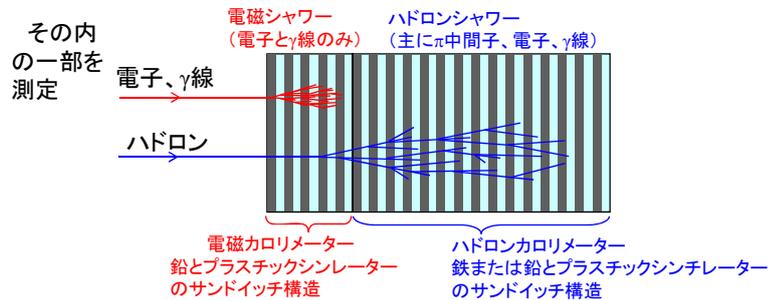
石川直樹、吉田拓生、奥村容子、林幸治

はじめに カロリメーター: 粒子のエネルギー測定や種類を識別する装置

サンプリングカロリメーター: 吸収層と検出層を交互に重ねた積層構造のカロリメーター

吸収層: 粒子を吸収し、カスケードシャワーを発生させる層

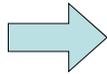
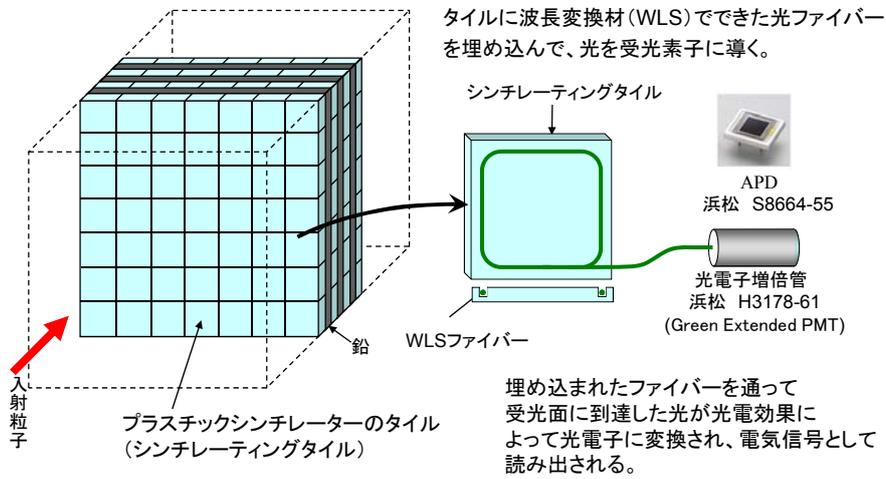
検出層: カスケードシャワーを構成する粒子数を検出する層



入射粒子のエネルギーを全て吸収し、
シンチレーターでの電離損失分=シンチレーターの発光量

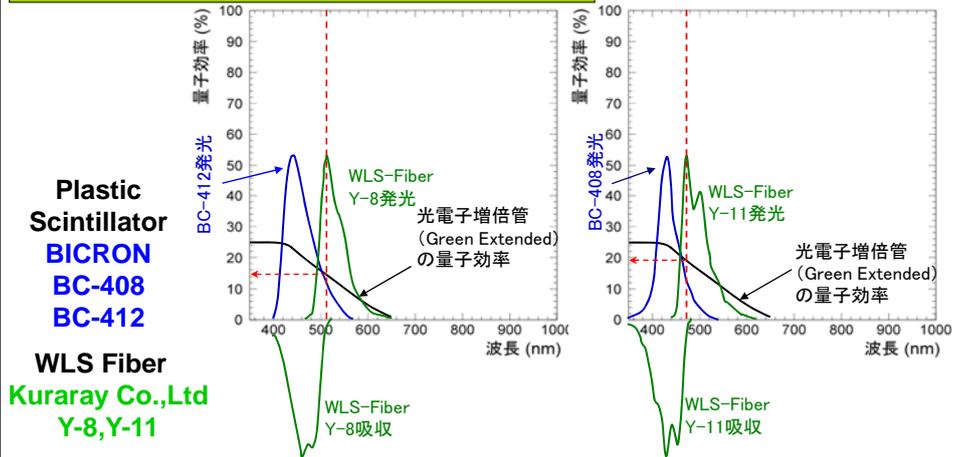
入射粒子のエネルギーに比例

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



エネルギー分解能を向上のため、導く光子数が大きくなるようにタイル、ファイバー、受光素子を選択する。

シンチレーティングタイルとWLSファイバーの選定

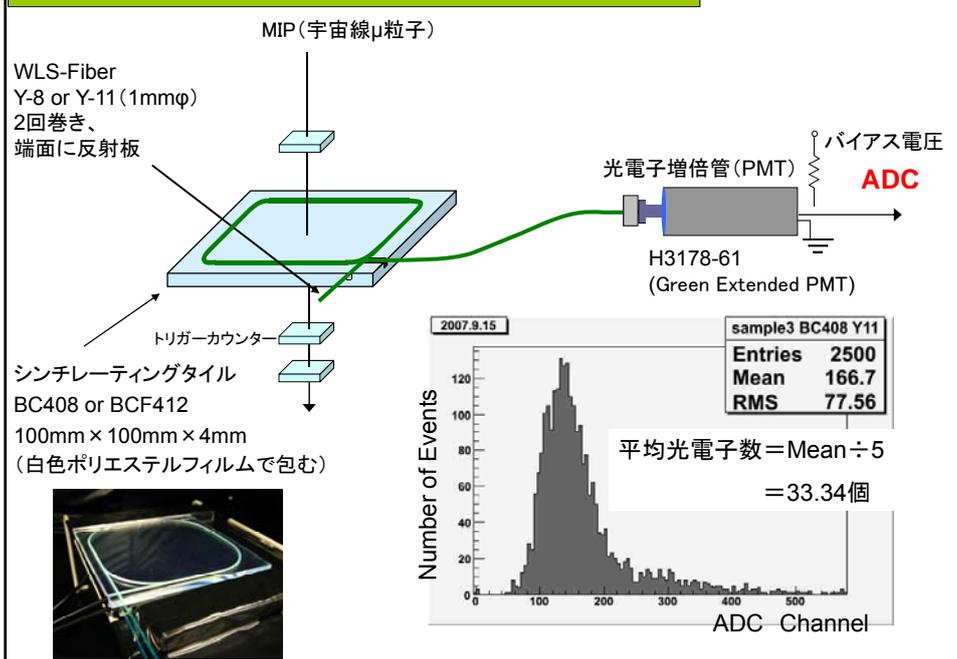


量子効率が大きくなるようにタイルとファイバーを選択し、試料として組み合わせる。

試料は次の4種類

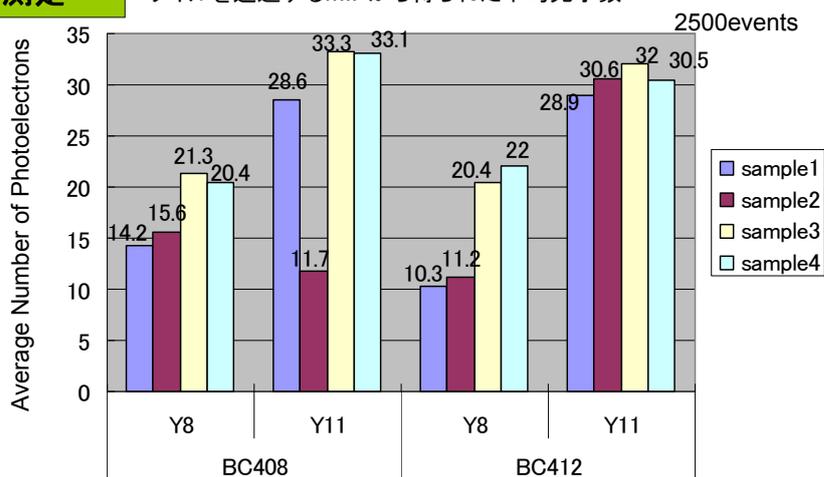
- ①BC408 Y-8 ②BC408 Y-11 ③BC412 Y-8 ④BC412 Y-11

PMT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



測定

タイルを通過するMIPから得られた平均光子数

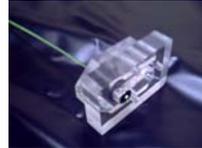
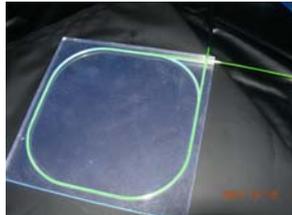
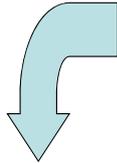


この結果から、PMTで計測したとき、平均光電子数を最も多く得られるのはBC408 Y-11の試料であることがわかった。

試料: BC408-Y11の信号が減少した原因の調査

試料の1つの信号数が減少した原因を調査することにした。
光電子数が減っていることから、PMTに届く前で光漏れを起こしているのではないかと推測しファイバーに光を入射した。

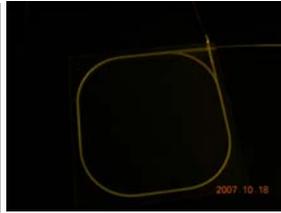
照明を落とすと...



WLSファイバーのPMTとの接続面



BC408 Y-11

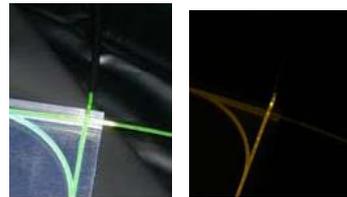
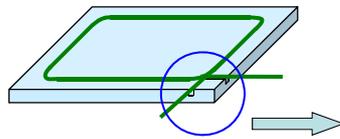


BC412 Y-8

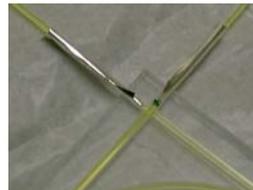
ファイバーの一部が強く傷つき、光が漏れていることがわかる。

ファイバーの損傷を防ぐ

ファイバーが強く光を漏らす部分の特徴として、
タイルの縁と強くこすれてしまう場所にあることが
上げられる。



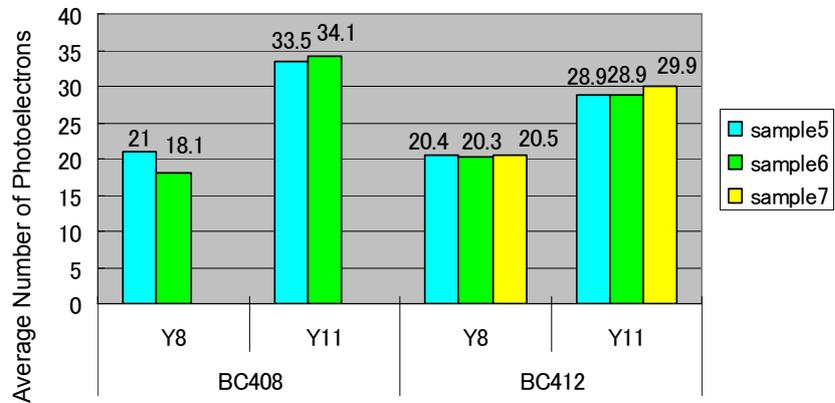
ファイバーがタイルの縁でこすれないように、
シンチレーティング光を反射する素材の防護
テープを巻く。



ポリエステル系のテープで巻かれたファイバー

測定2

防護されたファイバーを用いた平均信号数読み出し



ファイバーを守るテープを巻くことで、ファイバーの損傷をおさえ、安定した結果をえることができた。

結論

PMTが検出した平均光電子数が最も大きかった試料は

シンチレーションタイル: BC408

WLSファイバー: Y-11

である。

また、ファイバーに防護テープを巻くことでファイバーの損傷を抑え、安定した結果を得ることができる。

課題

PMTより大きな量子効率をもつAPDの使用も視野に入れているので、APDで効率よく光電子を検出させる試料の決定を行う。

以下は予備のスライド

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:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_{\text{stochastic}}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \sigma_{\text{const}} = \frac{14\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 1\% \quad (A \oplus B \equiv \sqrt{A^2 + B^2})$$

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

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%

受光素子による影響

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

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 $\pm \text{ゆらぎ} = M N_p Q \pm M \sqrt{N_p Q F}$

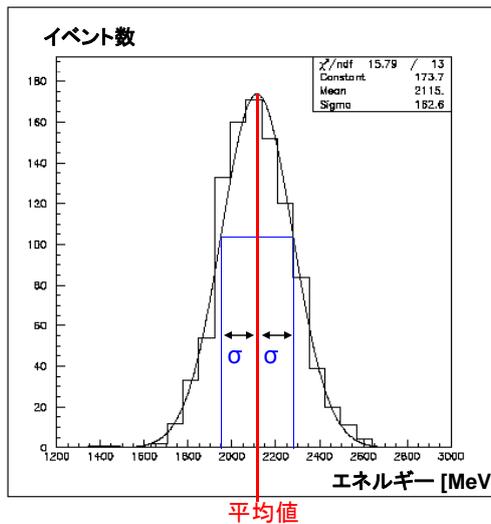
F : 过剩雑音係数
(Excess Noise Factor)
Gain M 自体のゆらぎ

↓

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

光電子増倍管: $Q=0.2$ 、 $F=1.2$

エネルギー分解能



- 粒子をカロリメーターに1000回打ち込む。
- シンチレータ層で観測されたエネルギー(光量に比例する)の分布をヒストグラムで表している。

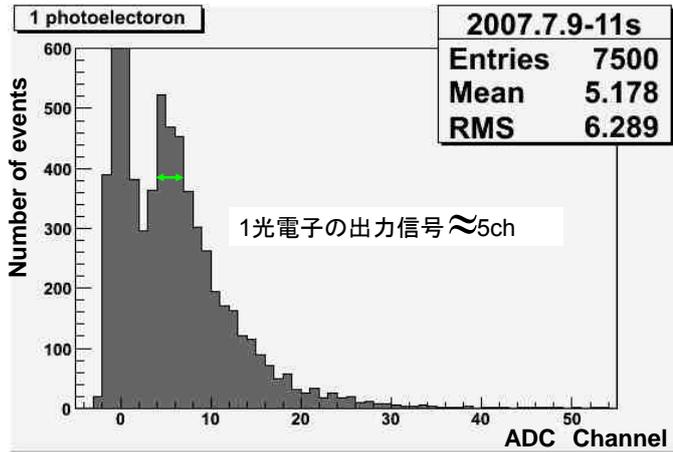
$$\text{エネルギー分解能} = \frac{\sigma}{\text{平均値}} \times 100 \quad [\%]$$

1光電子の出力信号の検出

1光電子の出力信号を取り出す。

PMTの受光素子とWLSファイバーの間に光量を20%にまで減少させる

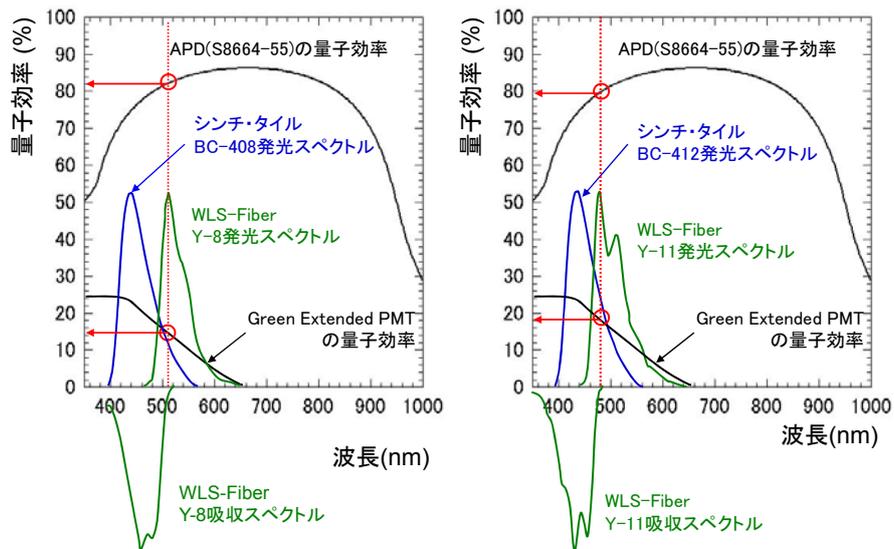
光学フィルムを挟んで1光電子の信号分布を調べた。



ADC:株式会社豊伸社CAMAC MODEL 7219

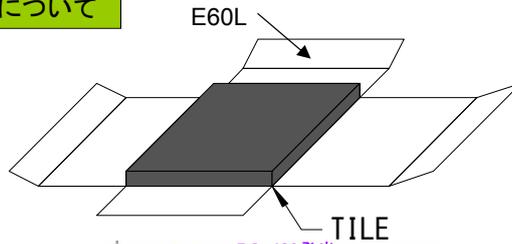
結果から1光電子の出力信号は5chとした。

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

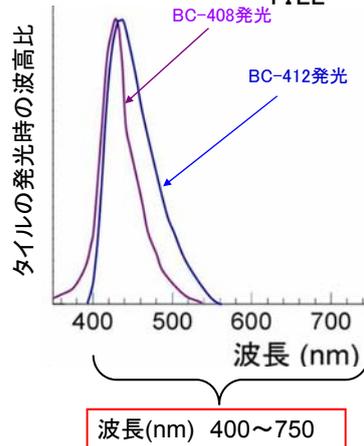


タイルを包む反射材 TORAY E60VIについて

タイルを包む反射材:ルミラー-E60L
 はシンチレーションタイルを右図のよう
 に包み、400nm~750nmまでの光で
 97%の反射率がある。



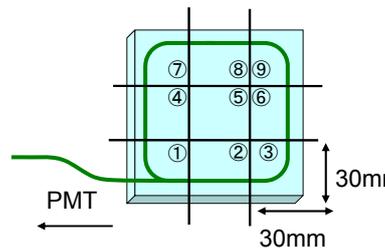
本研究で使用するシンチレーションタイルの
 発光スペクトルを右図に示した。
 シンチレーション光の損失なくファイバーに吸
 収させることができる。



シンチレーションタイル分割位置での減衰の評価

試料の中で最も平均光電子数が大きかったBC408 Y-11を用いる。
 シンチレーションタイルとMIPの照射の位置関係で平均信号数は変わるだろうか。

100mm×100mmのシンチレーションタイルを
 30mm×30mmの9区画にわけ、1区画ごとに平均
 信号数が変化するか考える。



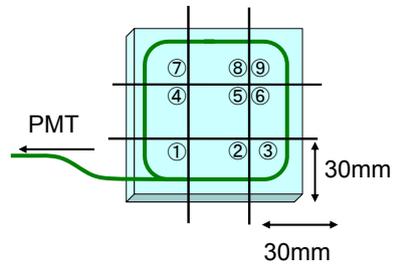
光電子数 Y_M の減衰はMIP照射位置から
 PMTまでの距離 x の関数で、

$$Y_M = Y_0 \left[\exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right) + R \cdot \exp\left(-\frac{2L-x}{\lambda}\right) \right]$$

- λ : 光の減衰長 (m)
- R : 反射率
- L : ファイバーの長さ(m)
- X : MIP照射位置からPMTまでの距離(m)
- Y_0 : 荷電粒子が通過した位置($x=0$)での光電子数

表される。

シンチレーションタイル分割位置での信号評価



最小位置: ⑤ 33.66個

最大位置: ⑧ 34.82個

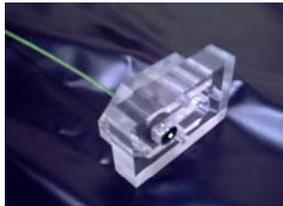
タイルの位置による信号の大きさの変化はないと判断する。

Average Number of Photoelectrons

⑦	⑧	⑨
34.2	33.7	34.6
④	⑤	⑥
33.7	33.7	34.8
①	②	③
34.7	34.1	34.2

シンチレーションタイルの分割位置は左の図と対応。

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。