

カロリメーターで用いるAPDの 過剰雑音の研究

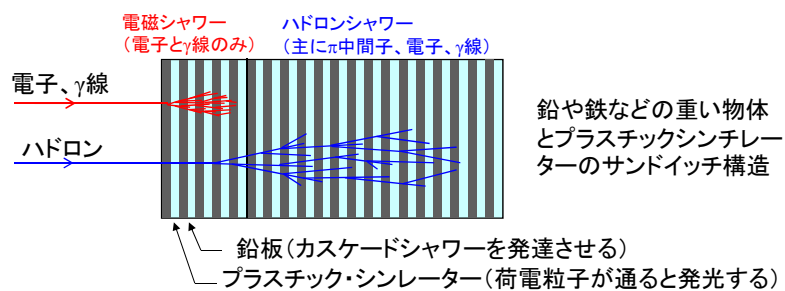
福井大学工学部

清水佑亮、小村祥太、井上博貴、吉田拓生

カロリメーター

カロリメーター…素粒子実験で粒子のエネルギー測定、粒子の種類の識別で用いられる

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

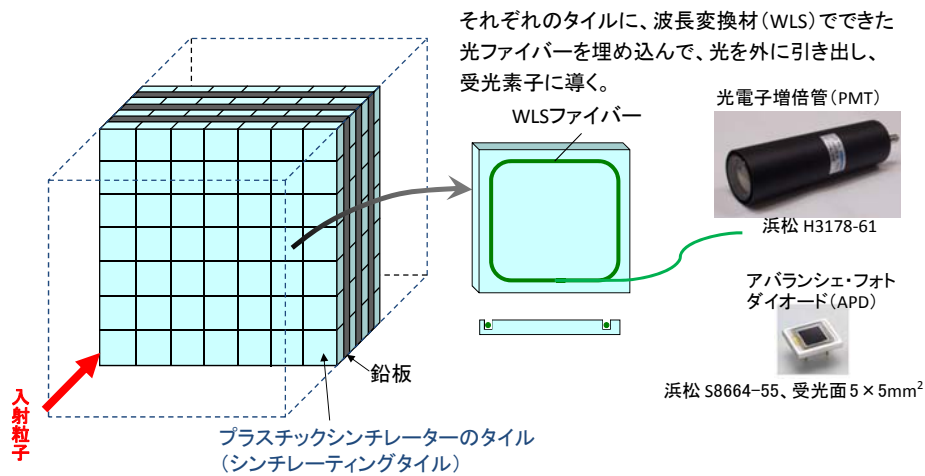


入射粒子のエネルギーが高くと、シャワー中の粒子数が増え、シンチレーターの発光量が増える。

↓

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

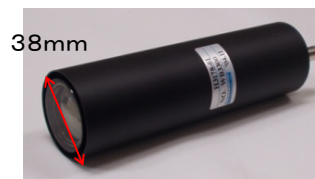


エネルギー測定精度を向上させるためには

- タイル、ファイバー : 発光量が多いこと
- 受光素子 : その光を効率よく検出し、光量を精度よく測定すること (高い量子効率、大きなS/N比、…)

受光素子の特徴

- ・光電子増倍管 (PMT)
 - ・量子効率が低い $\sim 25\%$
(量子効率とは光電効果で光子が電子をたたき出す確率)
 - ・ノイズが小さい(過剰雑音が小さい)
 - ・管のサイズが大きい
 - ・磁場の影響を受けやすい
- ・アバランシェフォトダイオード (APD)
 - ・量子効率が大きい $\sim 90\%$
 - ・ノイズが大きい(過剰雑音が大きい)
 - ・素子のサイズが小さい
 - ・磁場の影響を受けない



光電子増倍管 (PMT)
浜松 H3178-61

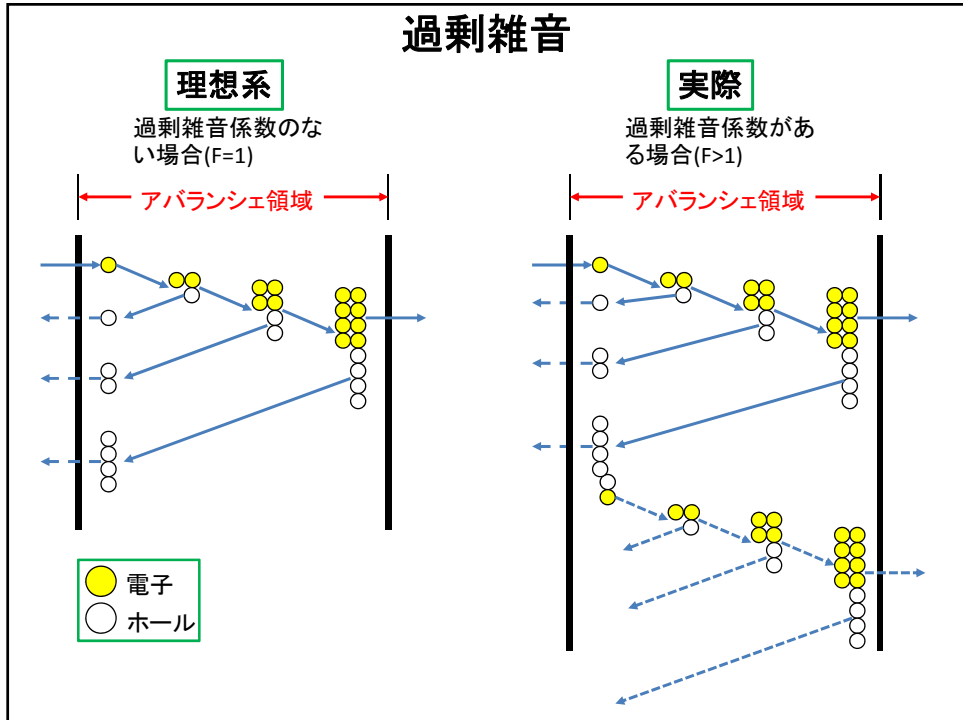
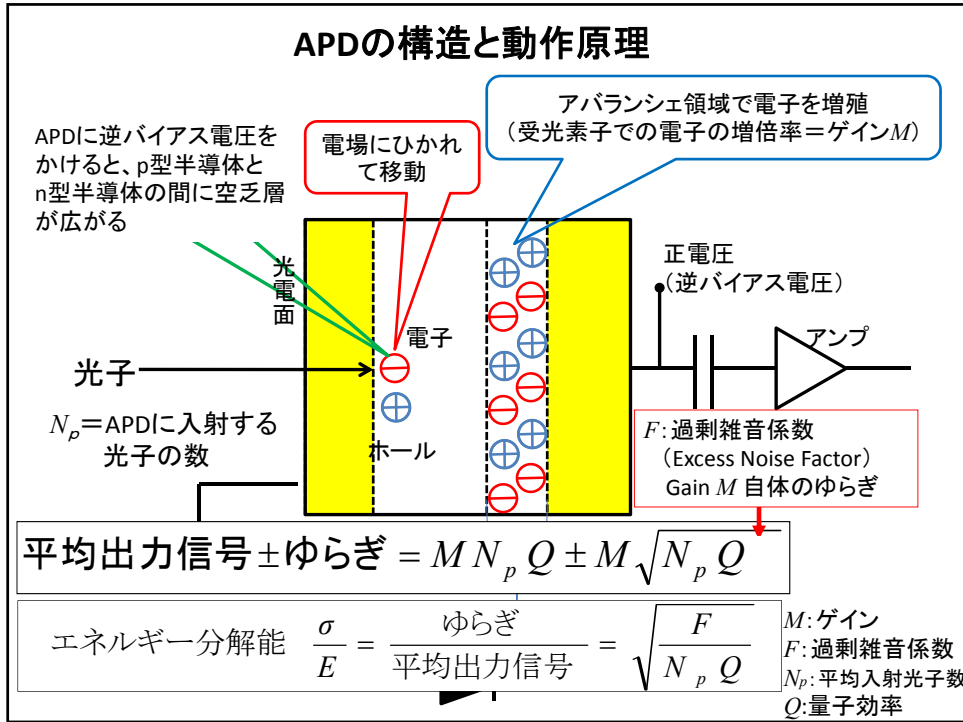
5mm



アバランシェ・フォトダイオード (APD)
浜松 S8664-55

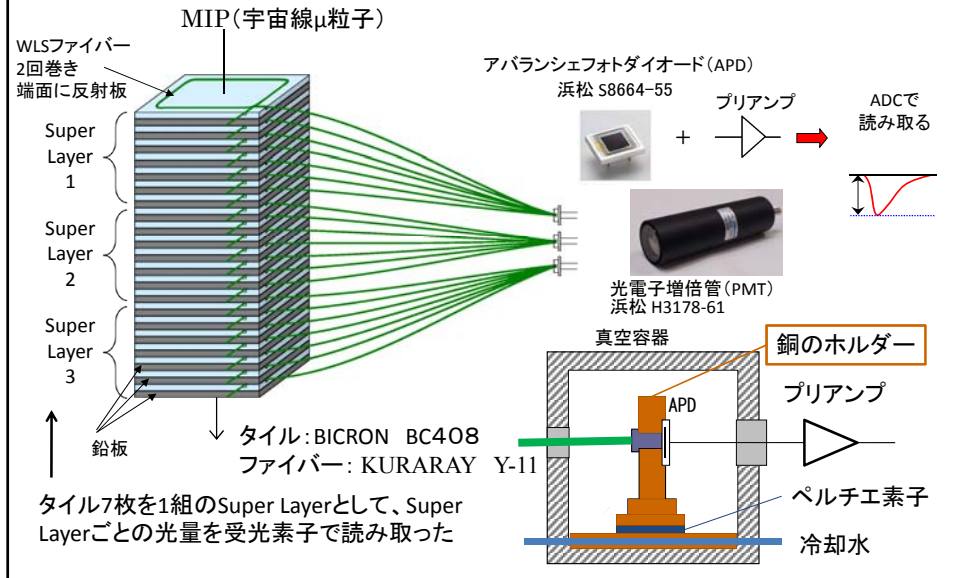


アバランシェフォトダイオードを使用することでカロリメーターの分解能向上が見込める

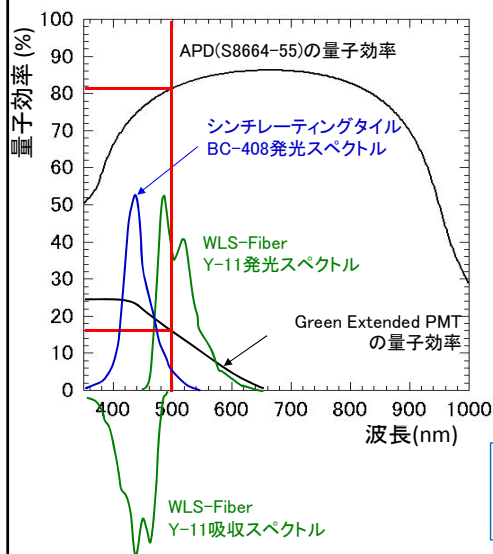


シンチレーティングタイル・ファイバーの発光の測定

カスケードシャワーの最小単位となるMIP(最小電離粒子)のエネルギー分解能の測定、及び光電子数の数を調べた。



タイルファイバーの受光波長の特性

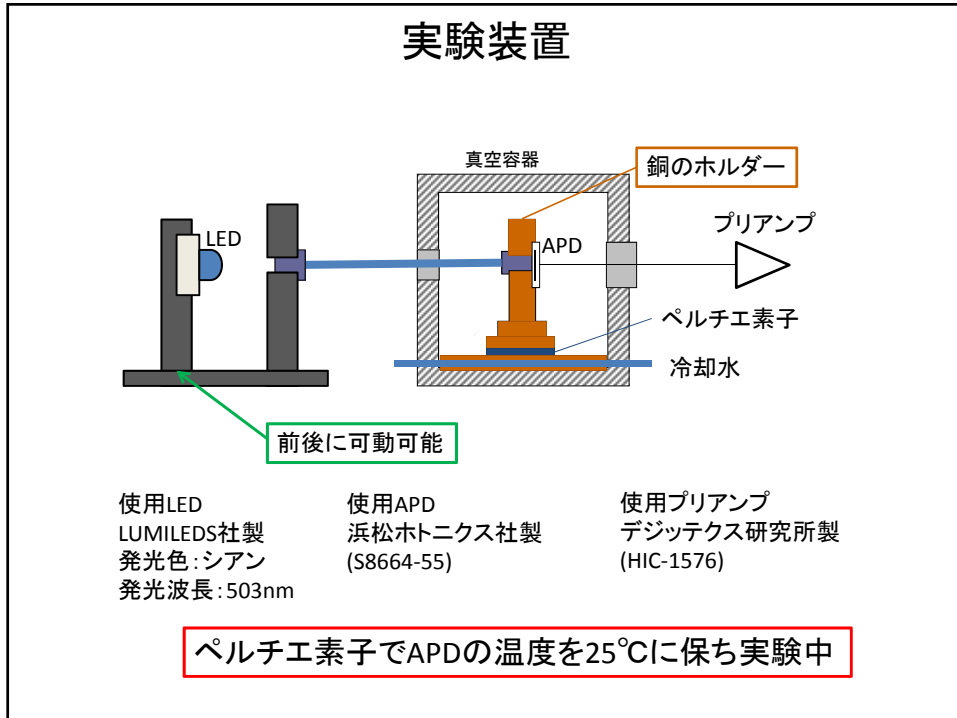
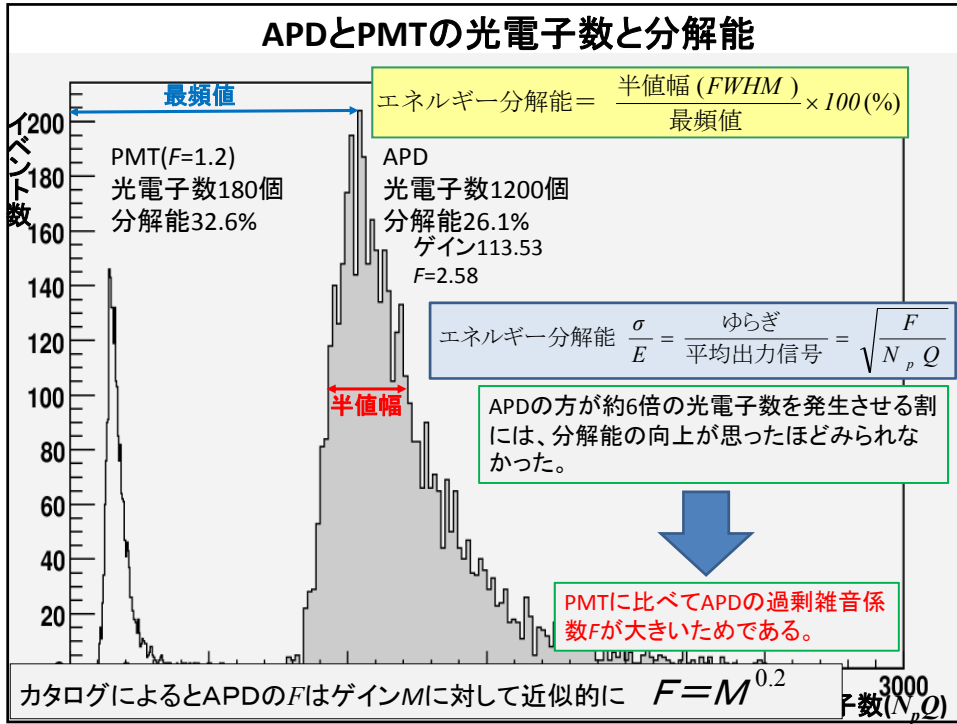


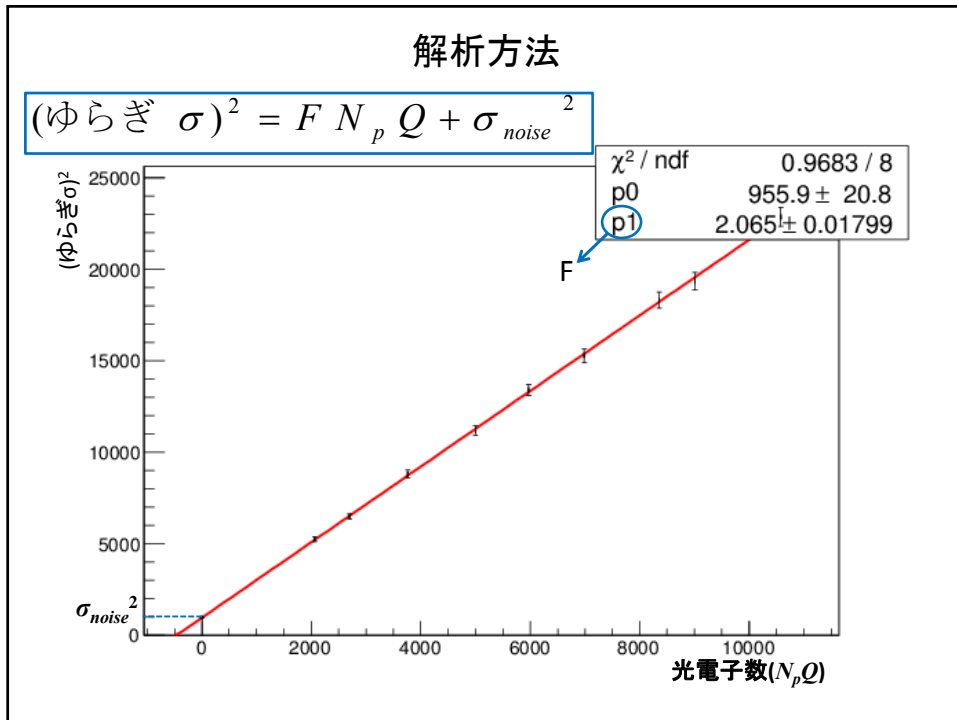
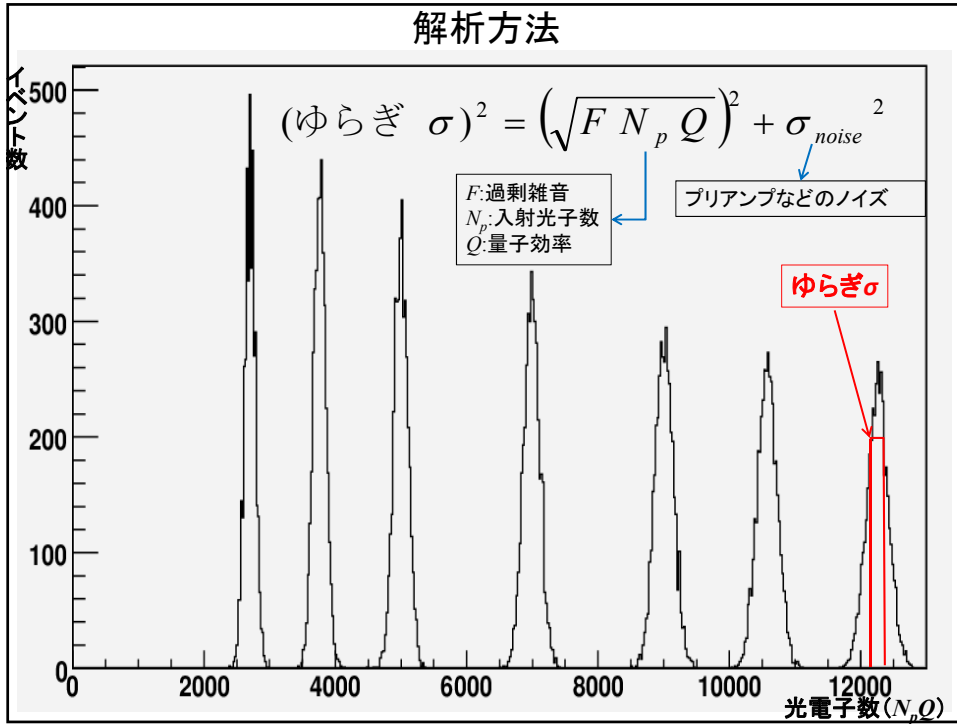
ひな形カロリメーターに使用するシンチレーティングタイルとファイバーの選定。

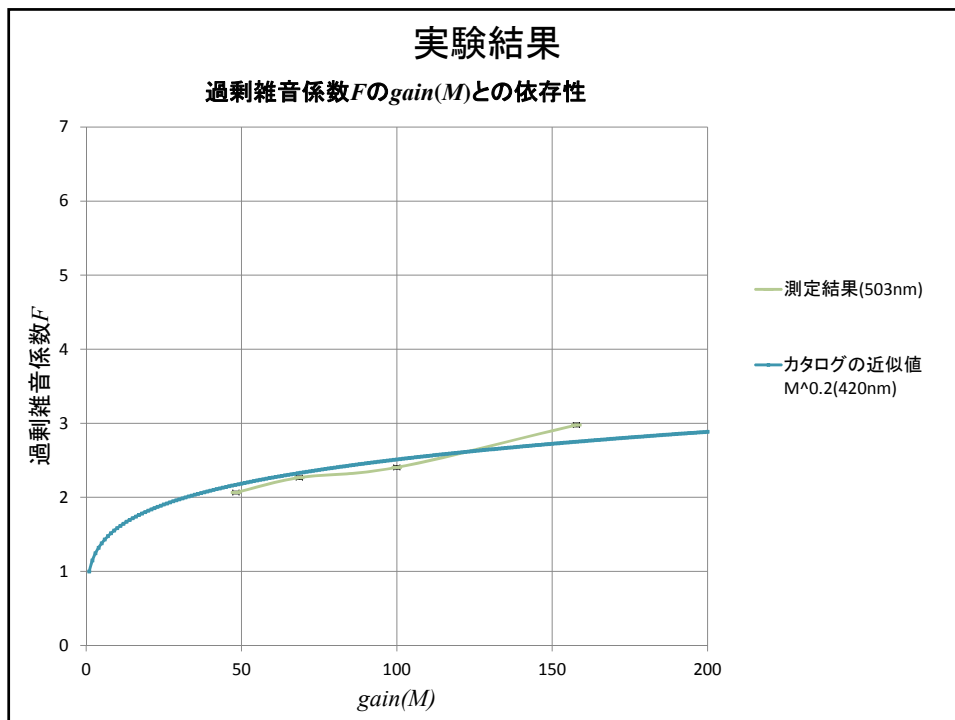
- ・タイルの発光スペクトルとファイバーの吸収スペクトルが一致している。
- ・ファイバーの発光スペクトルがPMT、APDにおいて十分高い量子効率をもつ波長である。



WLSファイバー: KURARAY のY-11
シンチレーティングタイル: BICRONのBC-408
を使用。







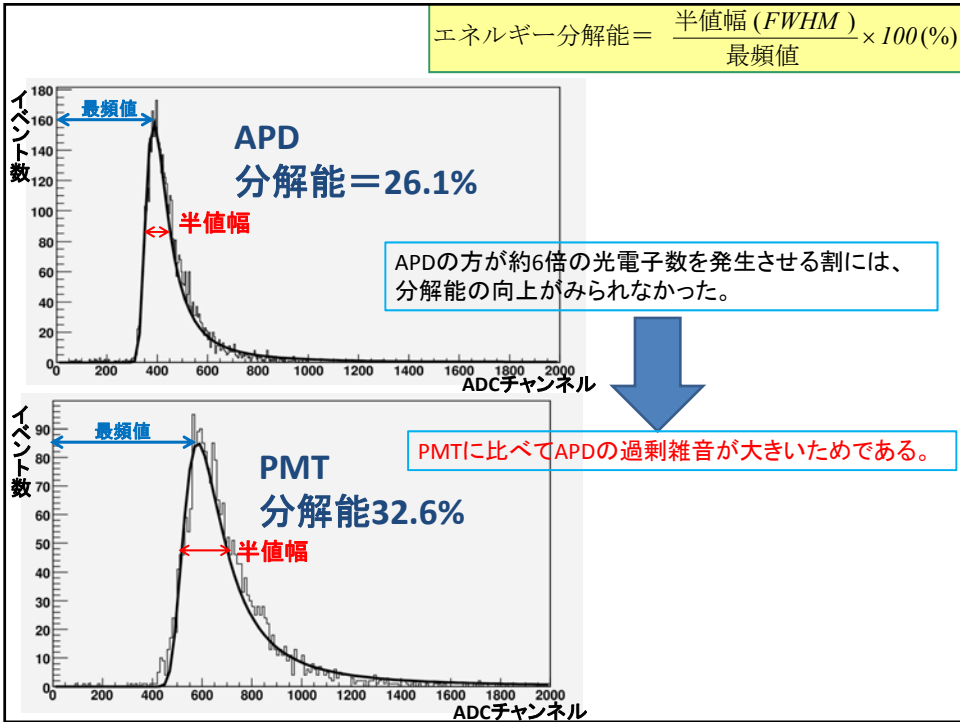
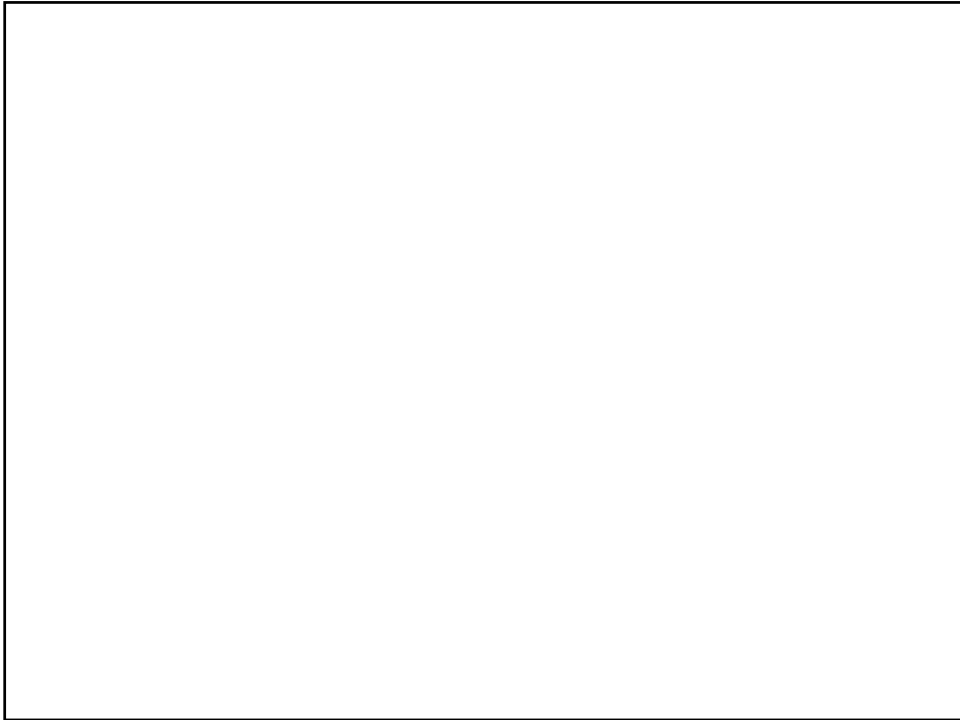
結論

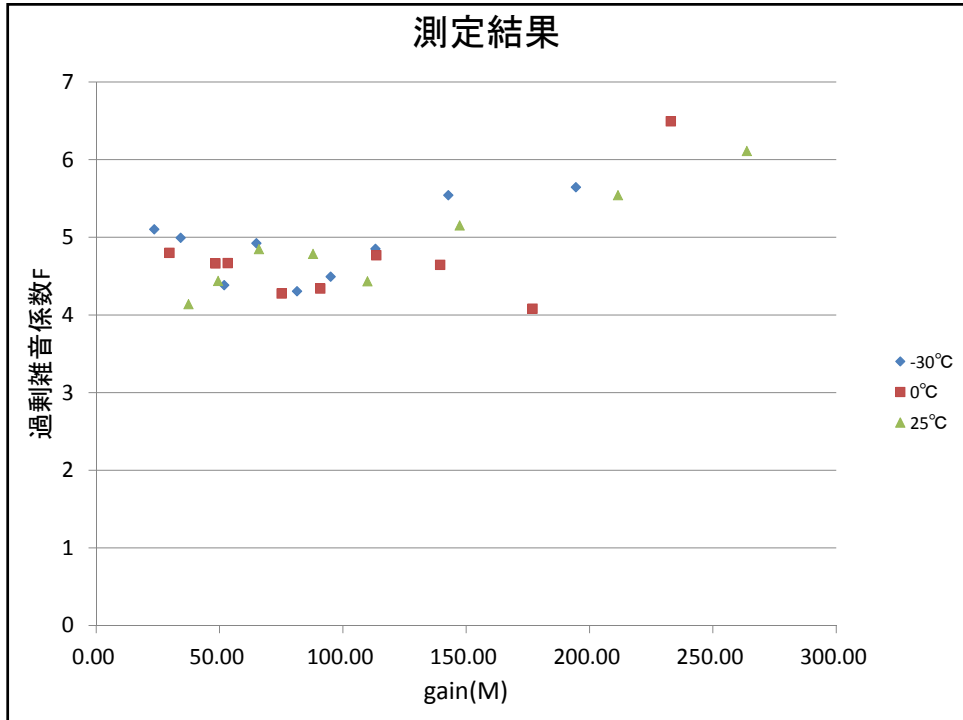
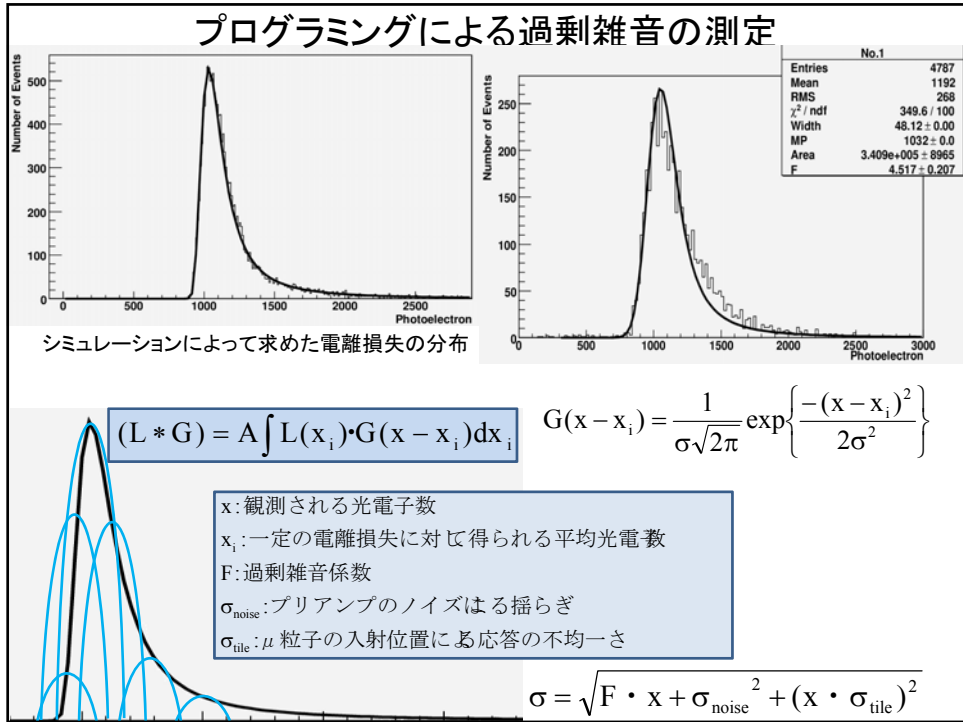
APDの温度が常温(25°C)の時の過剰雑音を計測することができた。
よって、これからは

- ・APDを冷却し動作温度に対する過剰雑音の計測
- ・LEDの発光波長を変えて、波長領域に対する過剰雑音の計測

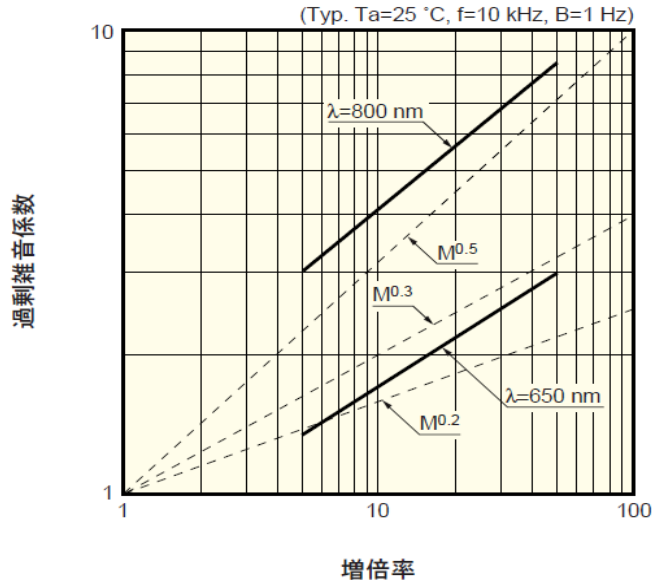
を進めていくことにより、
APDの過剰雑音をもっと小さくする波長領域や動作温度を調べる
ことにより、カロリメーターのさらなる分解能向上を目指す。

また、さらに光電子増倍管の過剰雑音係数も測定し、APDと比較する。

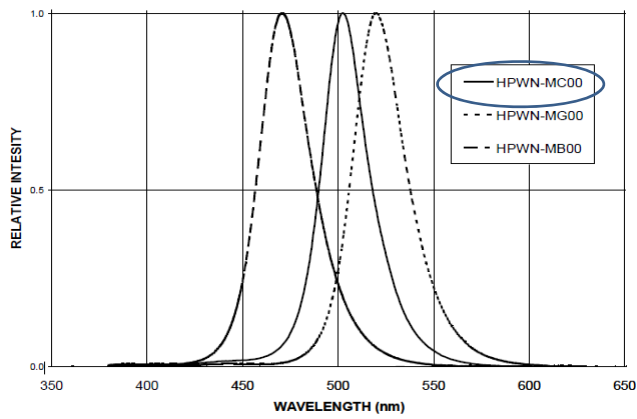




■ 過剰雑音指数－増倍率



使用したLEDの波高分布



使用したLEDの指向性

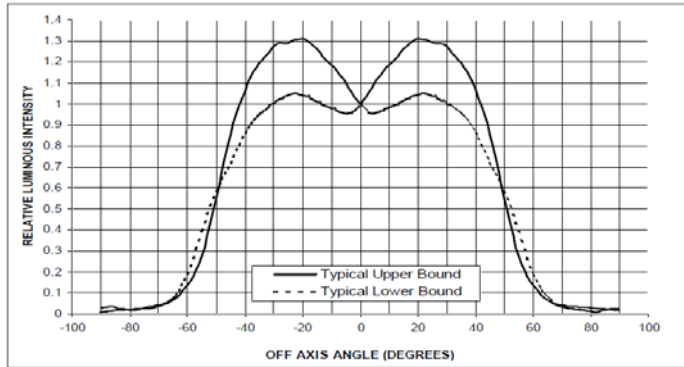
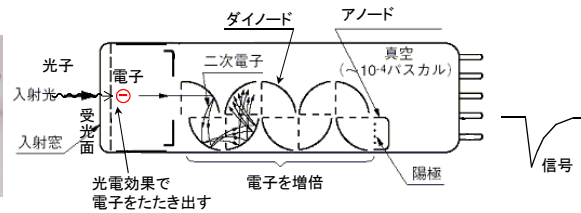


Figure 5g. HPWN-Mx00 Relative Luminous Intensity vs. Off Axis Angle

光電子増倍管



光電子増倍管 (PMT)
浜松 H3178-61
受光面 38mmφ



光電面に当たった光子は、ある確率で光電効果を起こし、光子の総数に比例する個数の光電子を管内に放出する。これらの電子は第一ダイノードと光陰極の間につくられている電界によって数百eVに加速され、第一ダイノードに衝突して二次電子を放出する。ダイノードから放出される二次電子の数は、一般にそれをたたく‘一次’電子の数よりもずっと多い。この二次電子が今度は第二ダイノードに向かって加速され、第二ダイノードからさらにその数倍の個数の二次電子をたたき出す。こういう過程が第三、第四、…のダイノードでつぎつぎと繰り返される。その結果、最後のダイノードから放出される大量の二次電子が陽極に集められる。

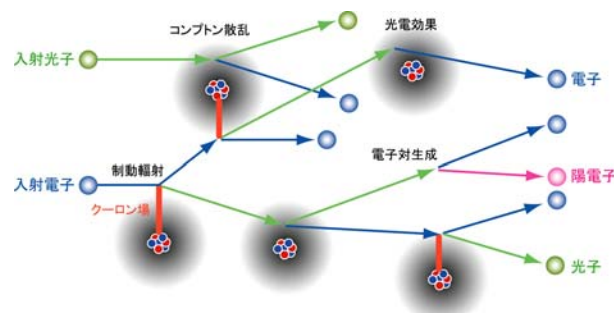
MIP(minimum ionizing particle)=最小電離粒子

荷電粒子が物質中を通過するとき、エネルギー損失が最小になるエネルギーが存在する。このようなエネルギー状態の粒子を、その粒子によらず最小電離粒子と呼ぶ。

今回の実験では、高い貫通力を持ち約4GeVのエネルギーを持つ宇宙線 μ 粒子を、このMIPとみなして、 μ 粒子がカロリメーターを貫通した際のシンチレーションタイルの発光を受光素子によって測定した。

ハドロン、電磁シャワー形成の原理

ハドロンが物質中に入ると、その物質中の核子との弾性散乱はもとより非弾性相互作用も起こる。このような衝突反応において π およびK中間子、陽子または中性子などからなる数個の2次粒子が放出される。2次粒子群も粒子の生成を続けるため、粒子数は増加していく。ハドロンシャワー中で π^0 中間子が生成された場合、2つの光子(γ 線)に崩壊し電磁シャワーを発達させる。



タイルの発光量

今回使用したシンチレーターは、プラスチックシンチレーターで、密度は 1.03 g/cm^3 である。この場合、阻止能を求めるBethe-Blochの式に従えばプラスチックシンチレーターの1cmあたりのエネルギー損失は 2.1 MeV となる。今回用いたプラスチックシンチレーターの厚さは 4 mm であるから、MIPはここに 0.8 MeV のエネルギーを落とすことになる。また、一般にプラスチックシンチレーターは、 100 eV あたり1個の光子を発生させるため、タイルに 0.8 MeV のエネルギーが落とされたとき、 8000 個の光子が発生することになる。

ハドロンシャワー

エネルギーが 5 GeV 以上の強い相互作用をするハドロンが物質中に入ると、その物質中の核子との弾性散乱はもとより、非弾性相互作用も起こる。このような衝突反応によって π および K 中間子、陽子または中性子などからなる数個の2次粒子が放出される。2次粒子群も粒子の生成を続けるため、粒子数は増加していく。

電磁シャワー

高エネルギーの電子または γ 線が物質中に入射すると、制動放射と電子陽電子対生成を繰り返して、電磁カスケードシャワーを形成する。

電磁シャワーにはさまざまな反応（制動放射、電子・陽電子対生成、光電効果、電離損失、トムソン散乱、コンプトン散乱、シンクロトロン放射、チェレンコフ放射など）。