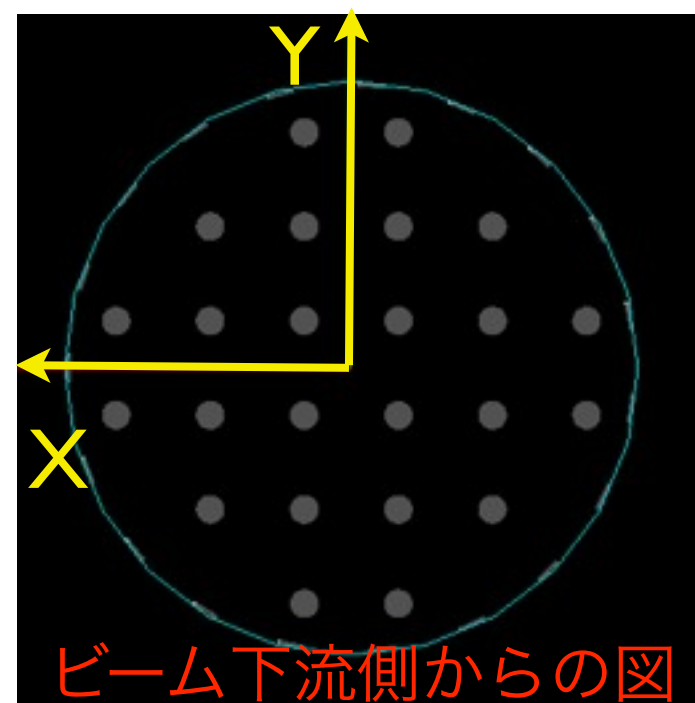
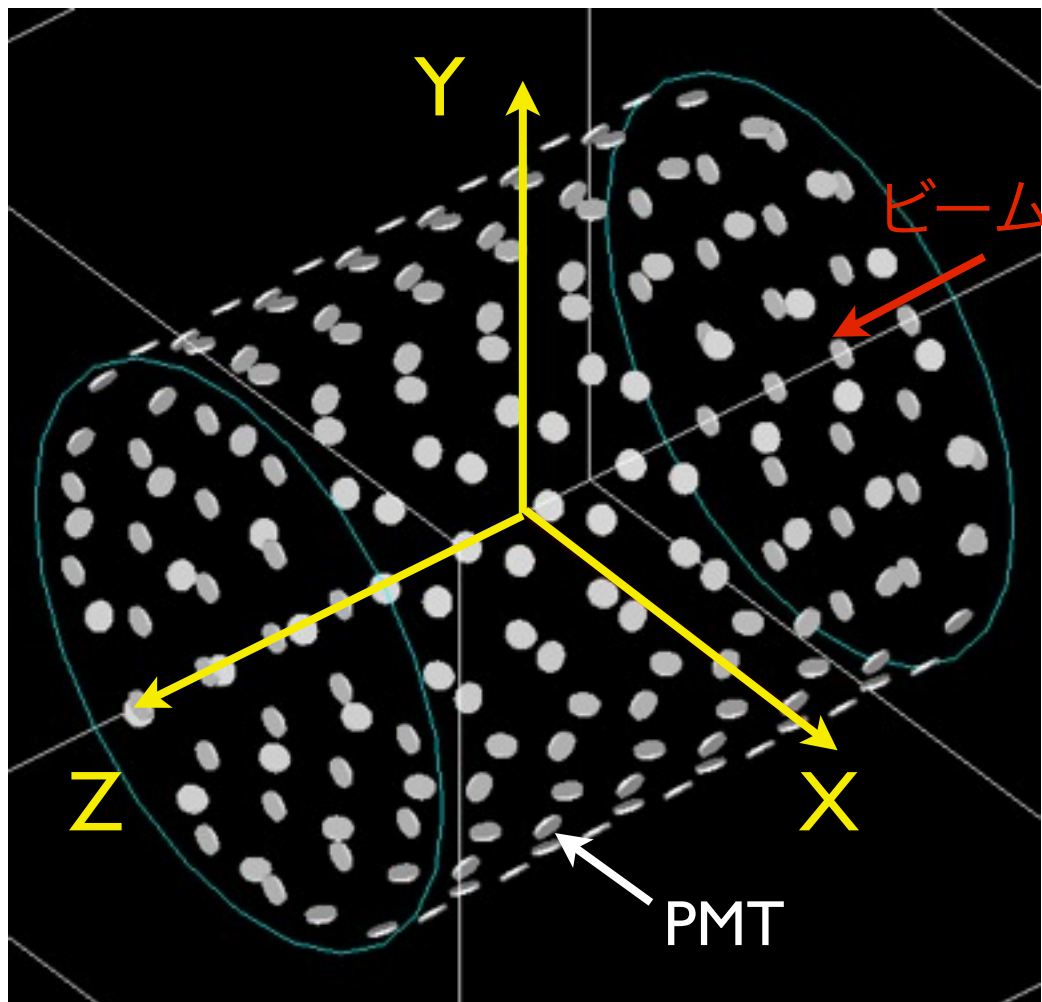


水手エMC

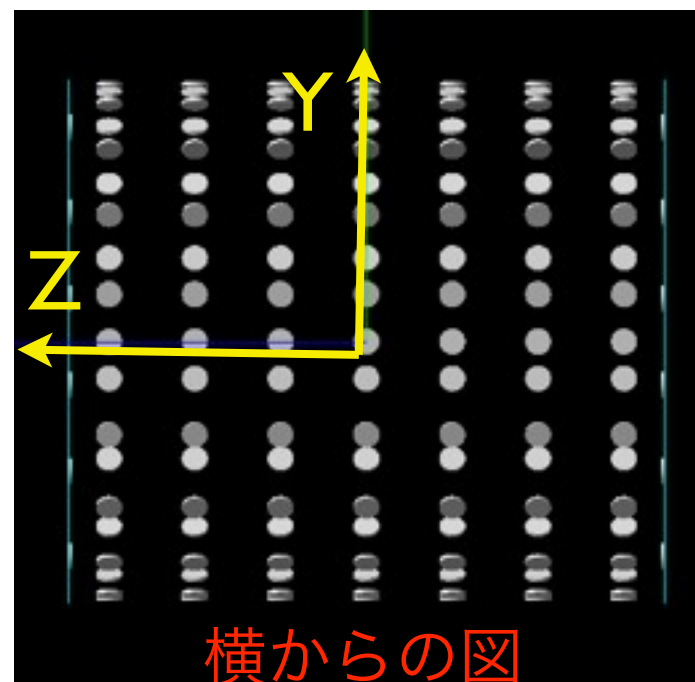
村上 明

現時点での検出器デザイン



ビーム下流側からの図

上流側も同じ



横からの図

タンク(円柱): 直径1.4m, 高さ1.6m

(Fiducial volume: 直径0.8m, 高さ1m)

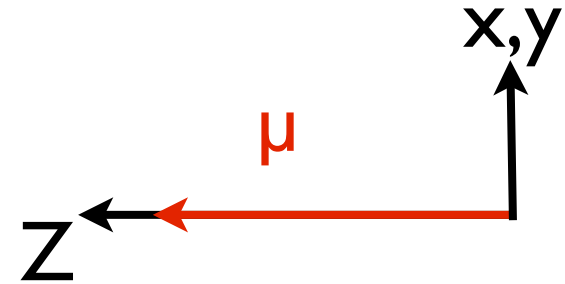
PMT本数: 181 (蓋: 24×2 , 側面: 133)

(PMT半径: 3.5cm, 間隔: 25 cm,)

→ coverage ~ 7%

MC setting

- ミューオン
 - Kinetic Energy : 300 MeV
 - Vertex : タンク内の全領域に対して一様確率
 - Direction : (0,0,1)
- Hit PMT : 光電子が入射したPMTのこと



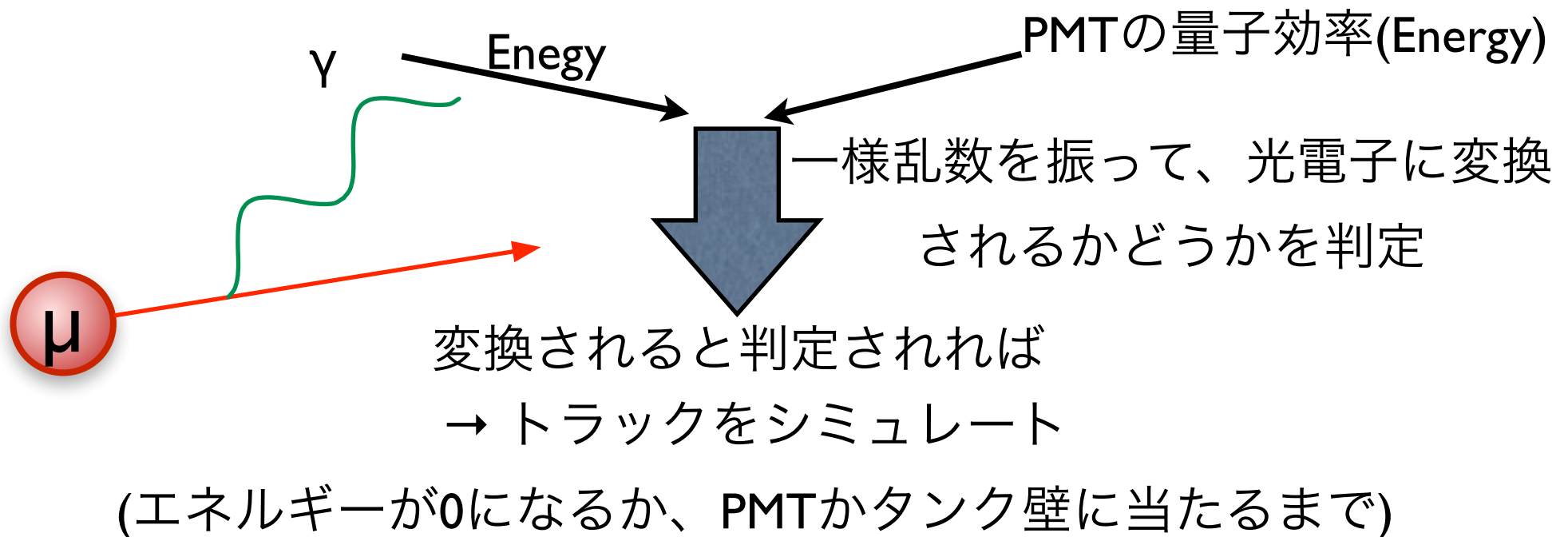
$$Acceptance = \frac{N_{p.e.}^{in}}{(N_{p.e.}^{gen})}$$

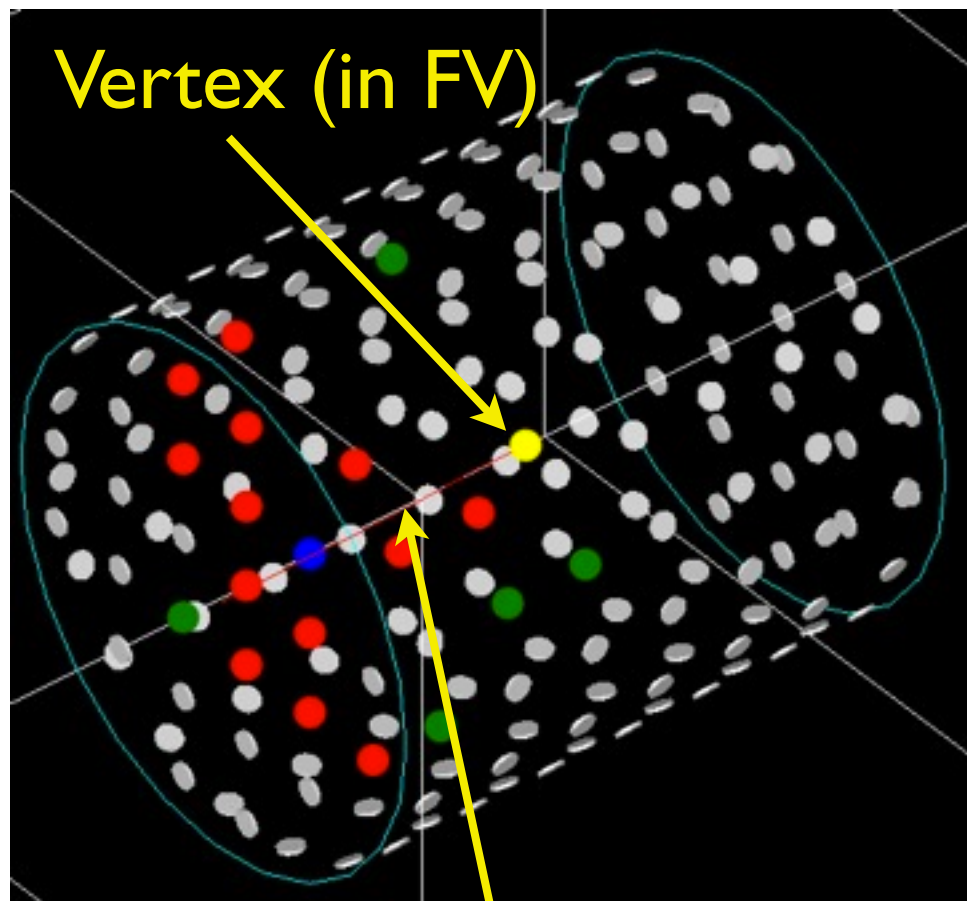
$$N_{p.e.}^{in} = \text{Total \# of p.e. into PMTs}$$

$$N_{p.e.}^{gen} = \text{Total \# of generated p.e.}$$

- 何本のPMTで、どの程度の光量が得られるか。

- チェレンコフ放射による optical photon の全てのトラックについてシミュレートしていくと膨大な時間がかかる。
- そこで、光子が生成された際に、光子のエネルギーとPMTの光電面での量子効率を元に、PMTで光電子に変換されるかを予め計算し、変換されるものについてののみ、トラックをシミュレートする。





緑・赤・青のマーカはそれぞれ以下の数のp.e.が入射したことを示す。

緑: p.e. = 1

赤: $1 < \text{p.e.} < 10$

青: $10 \leq \text{p.e.}$

赤線：入射ミューオンのトラック

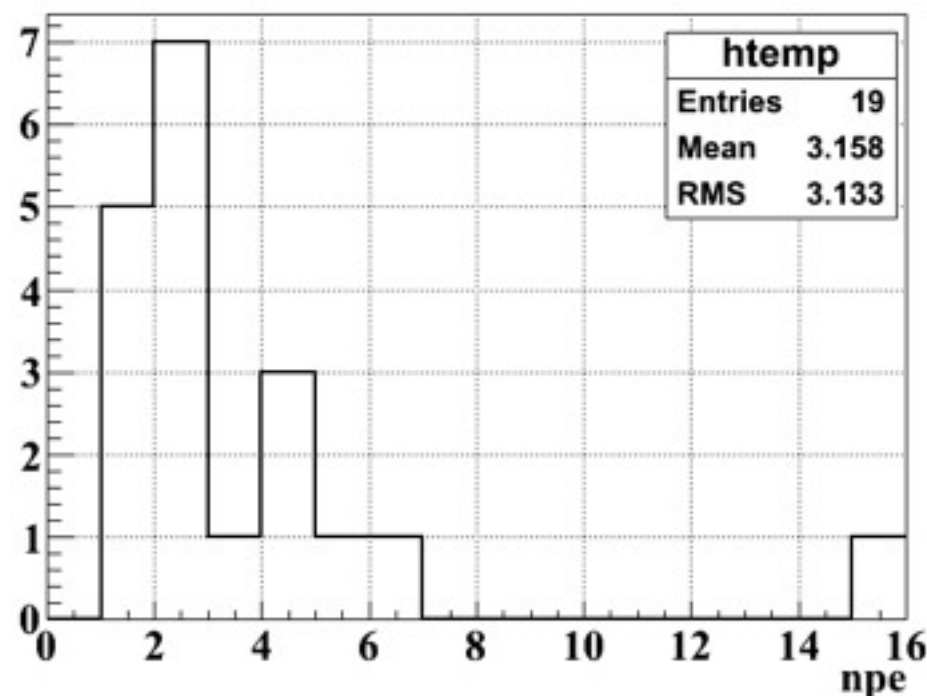
of optical photons : 29813

of photo-electrons : 895

of Hit PMTs 19

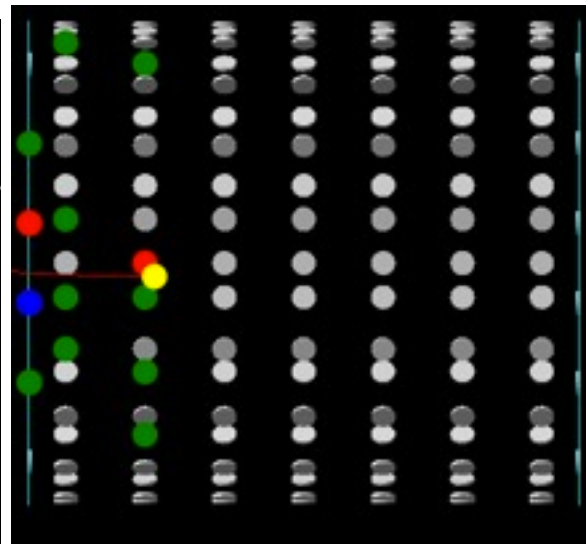
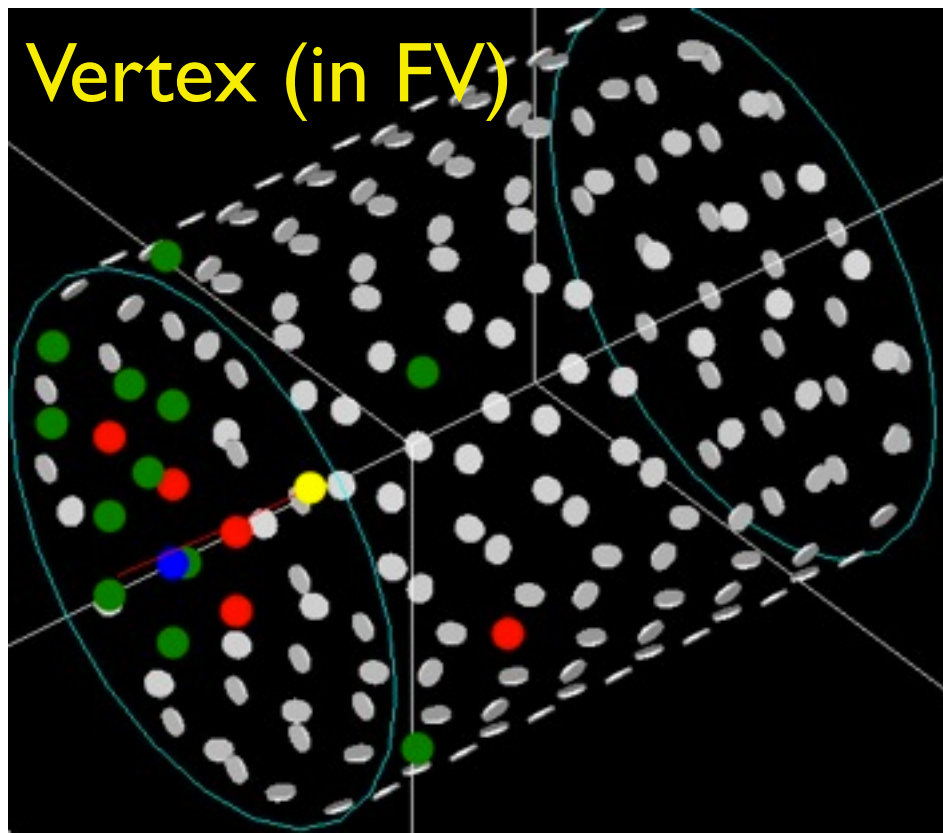
Total # of p.e. into PMTs 60

Acceptance(%): 6.704 (=60/895)

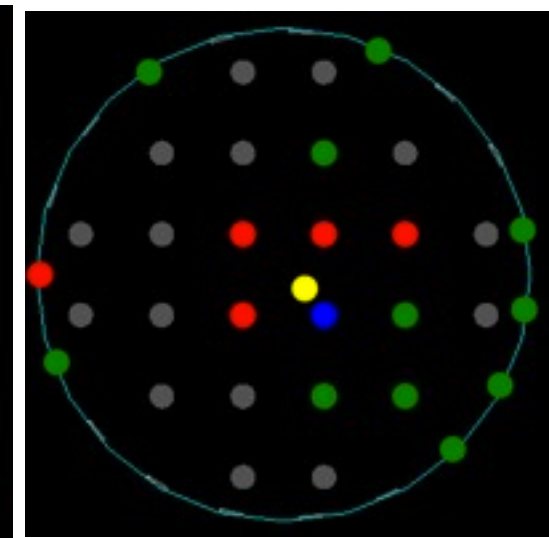


npe : # of p.e. into one PMT

Vertex (in FV)



横からの図



ビーム下流側
からの図

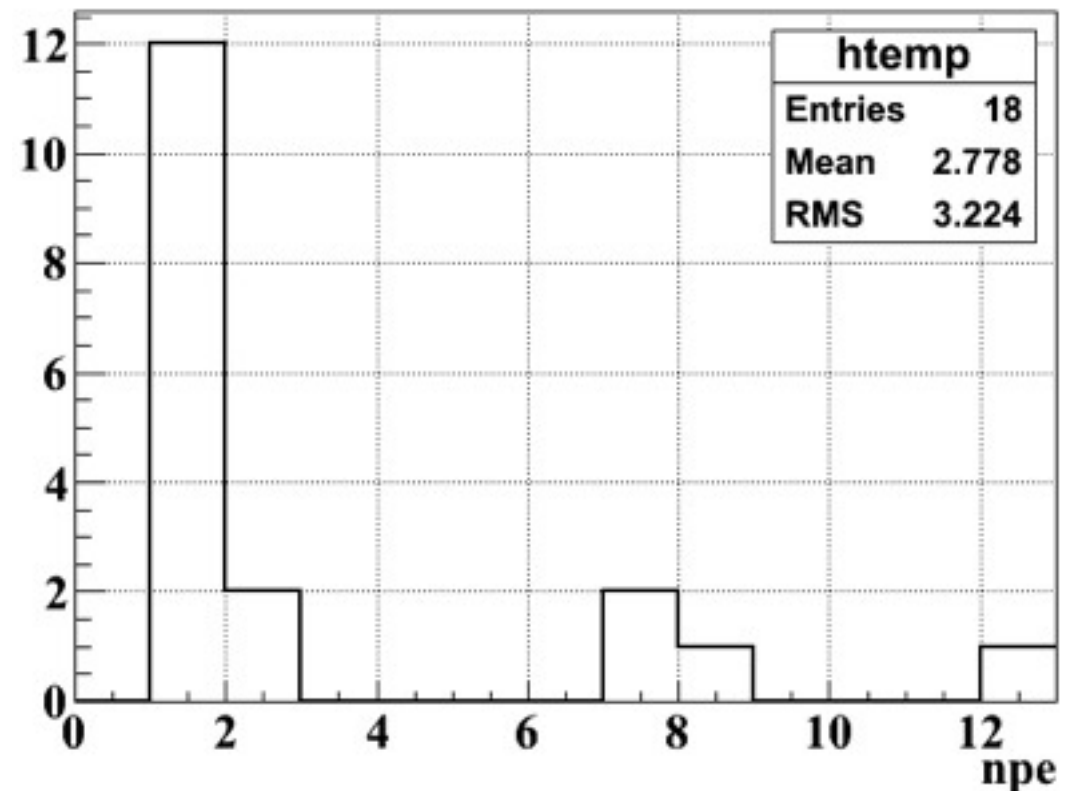
of optical photons : 17379

of photo-electrons : 494

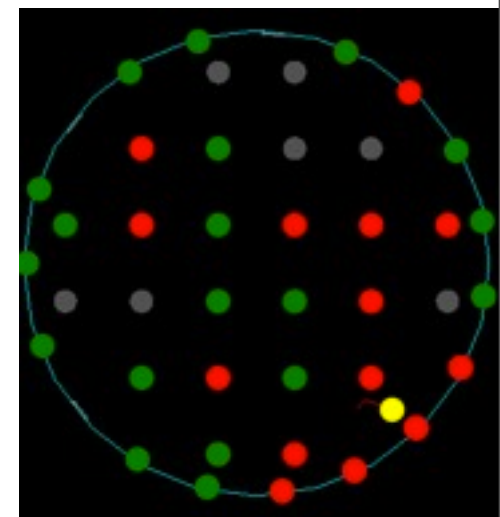
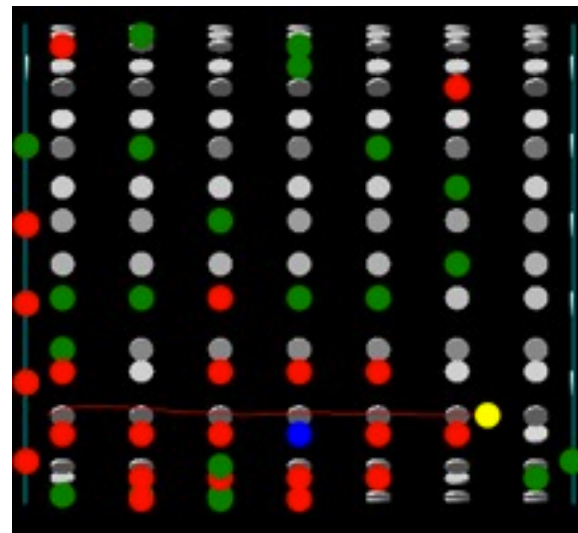
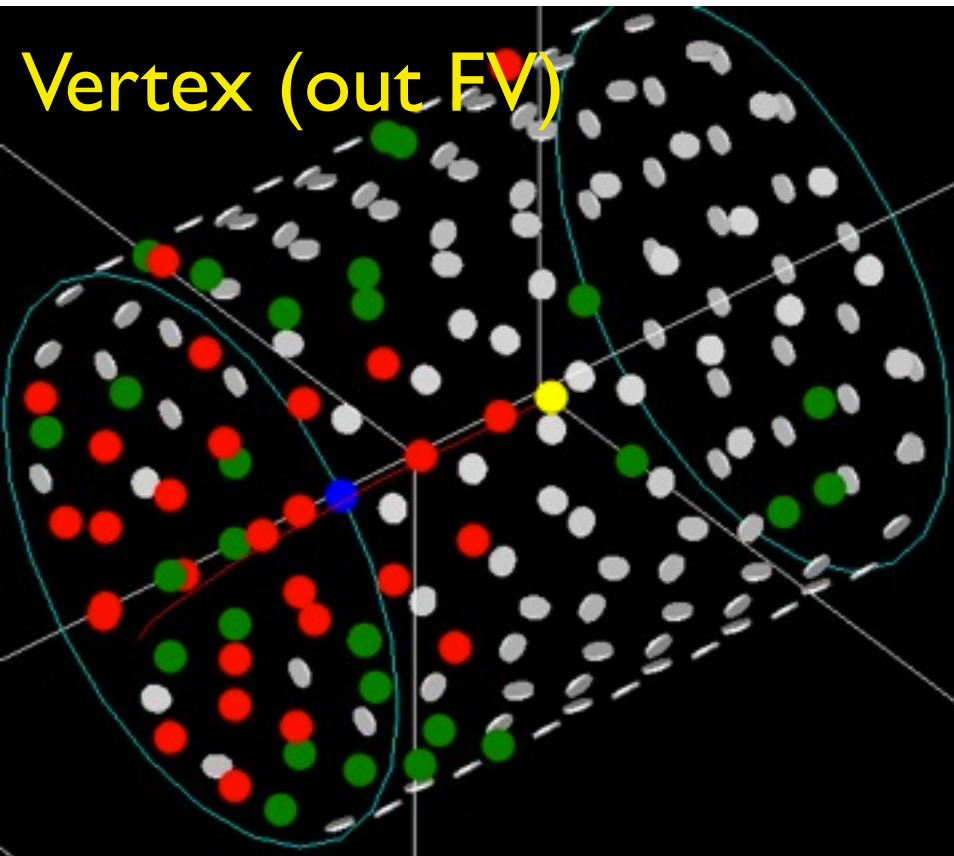
of Hit PMTs 18

Total # of p.e. into PMTs 50

Acceptance(%): 10.12



Vertex (out FV)



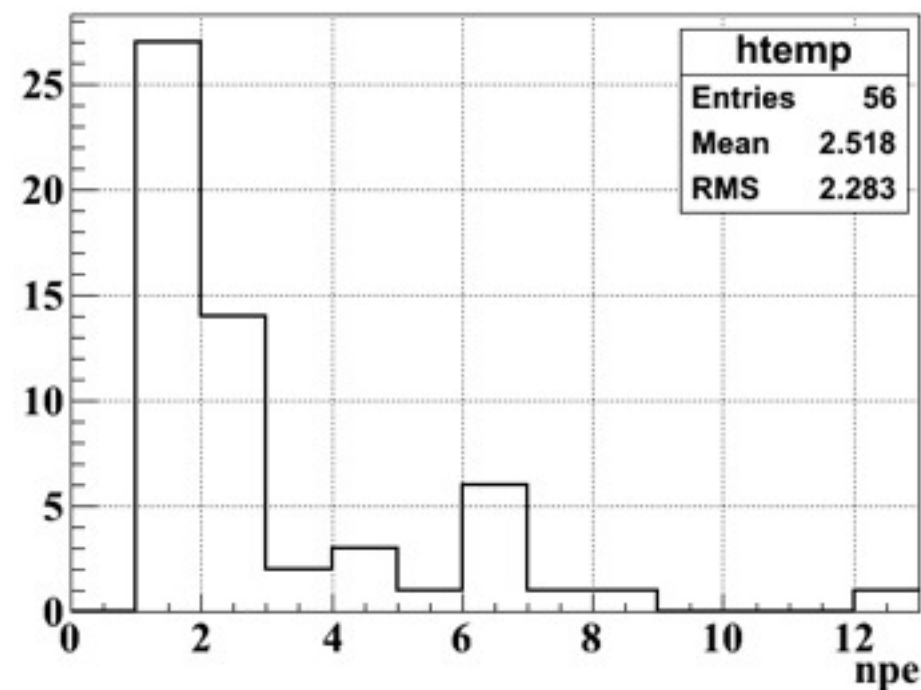
of optical photons : 51976

of photo-electrons : 1518

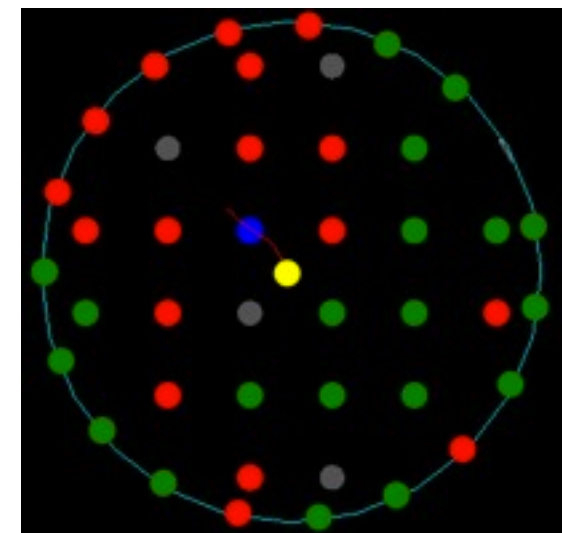
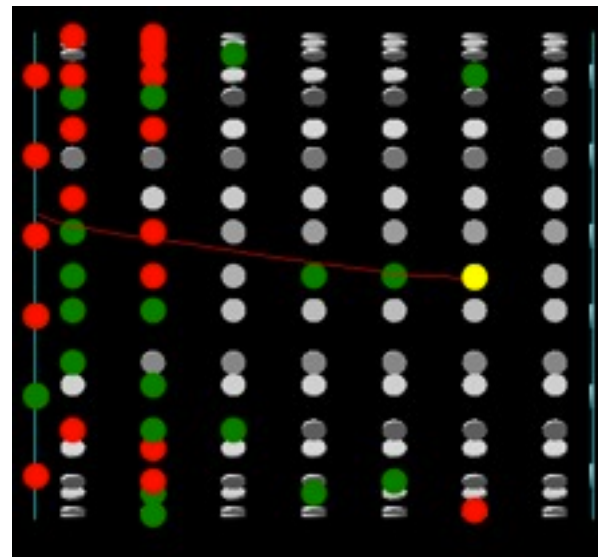
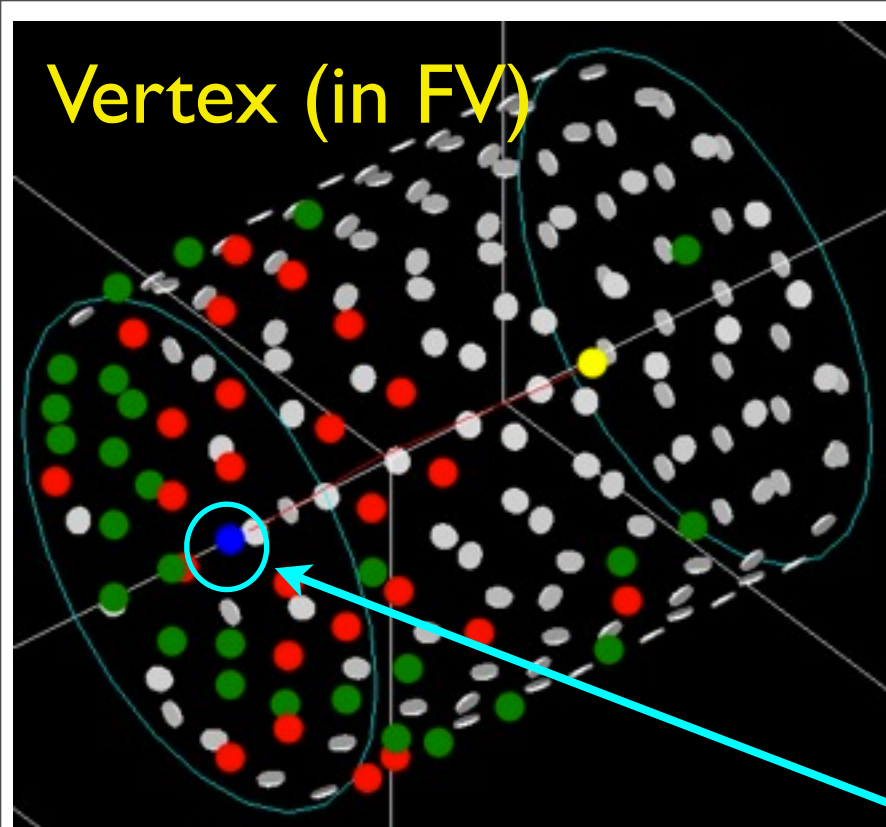
of Hit PMTs 56

Total # of p.e. into PMTs 141

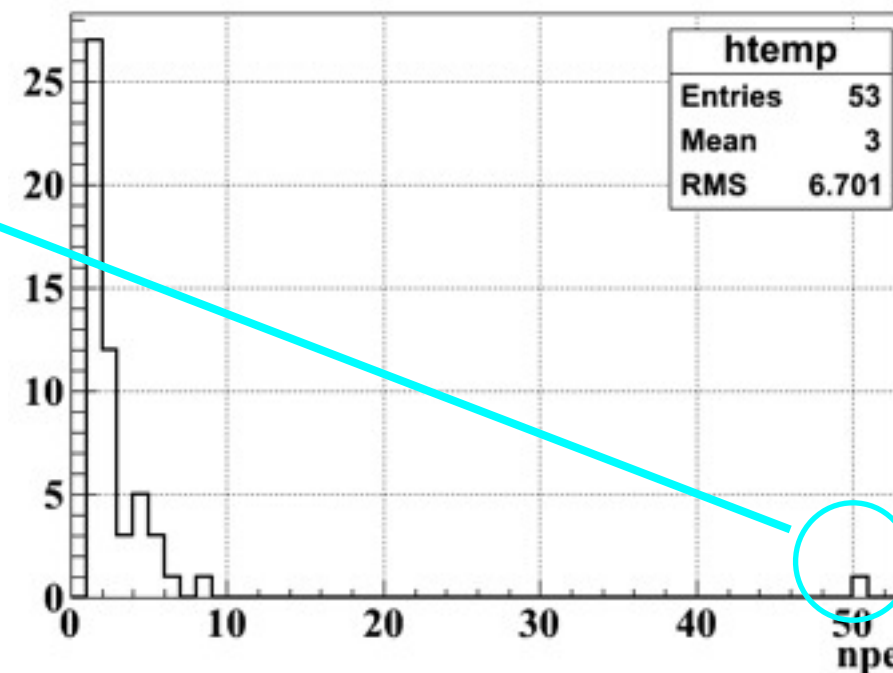
Acceptance(%): 9.289



Vertex (in FV)

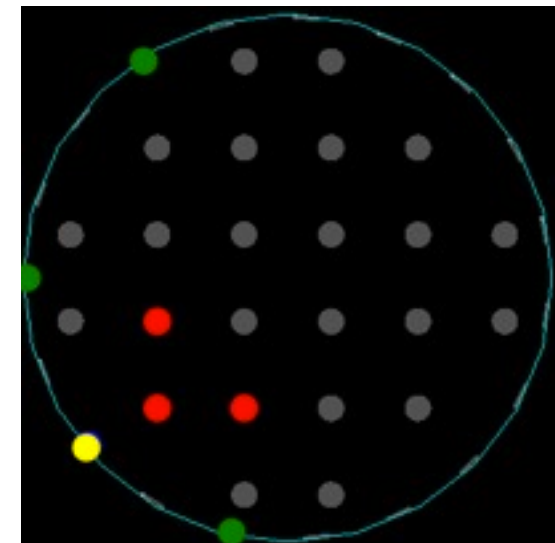
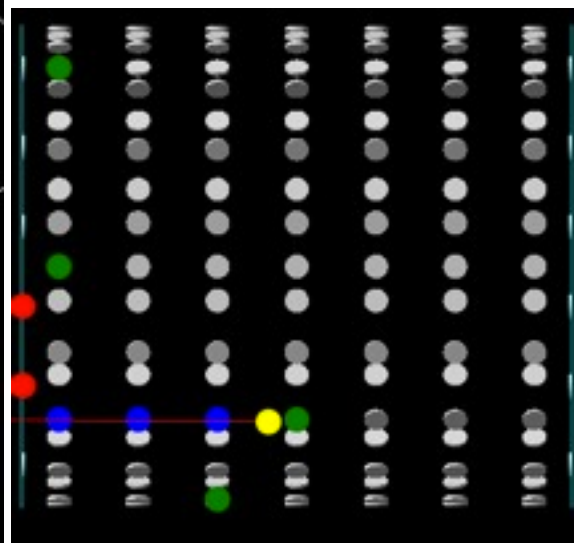
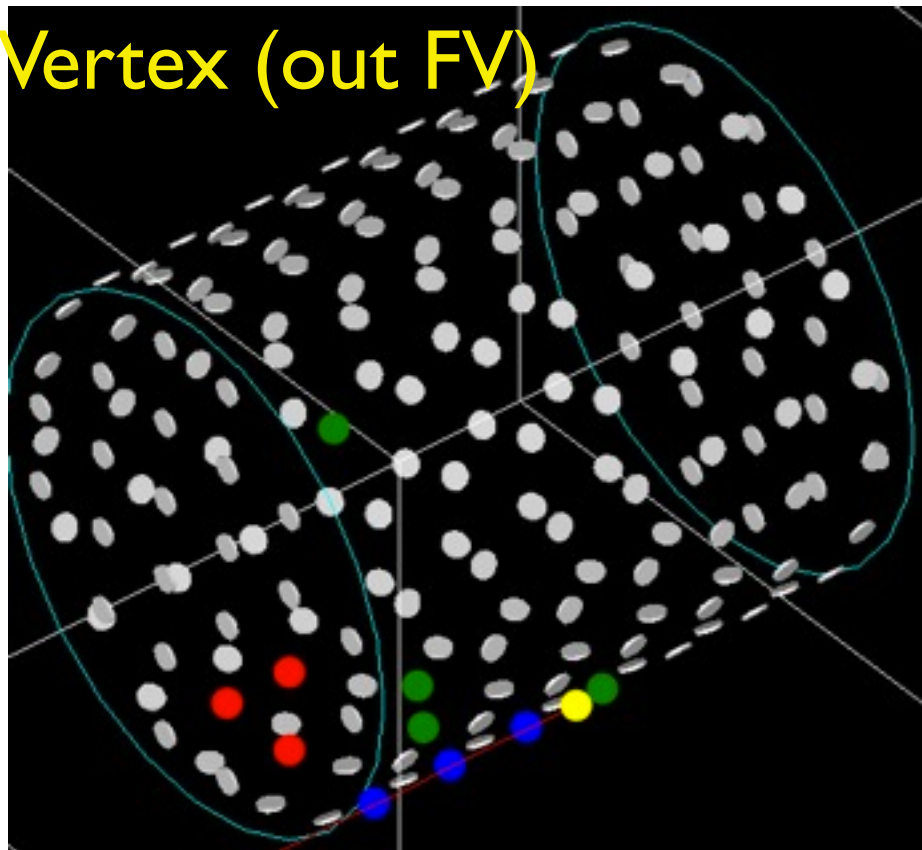


of Hit PMTs 53
Total # of p.e. into PMTs 159
Acceptance(%): 11.3 (npe>0)

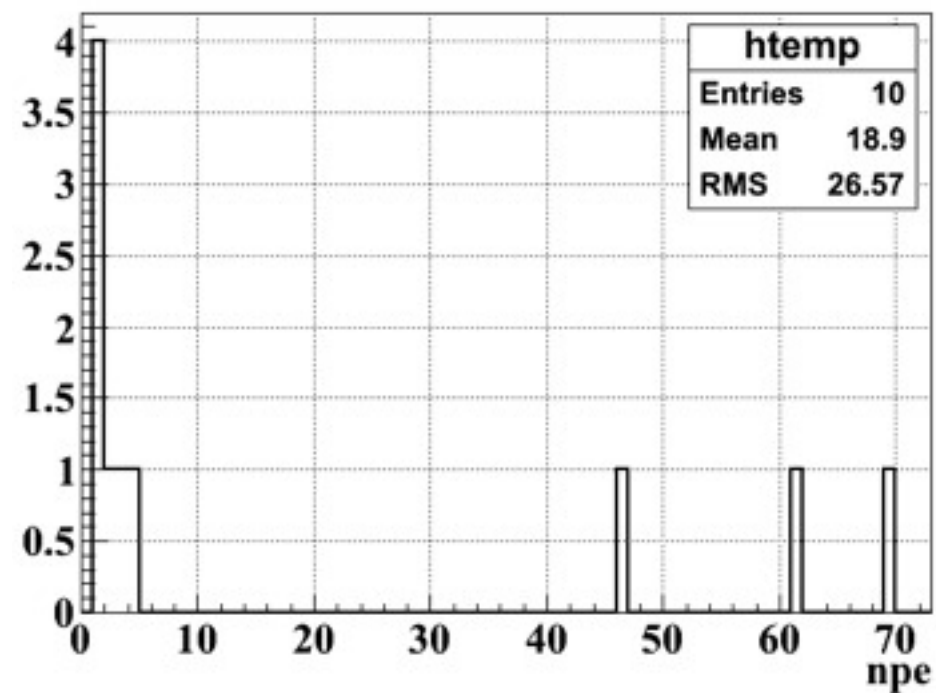


ミューオンがPMTの側を通過した際に、大量のチェレンコフ光が入射したものである。

Vertex (out FV)

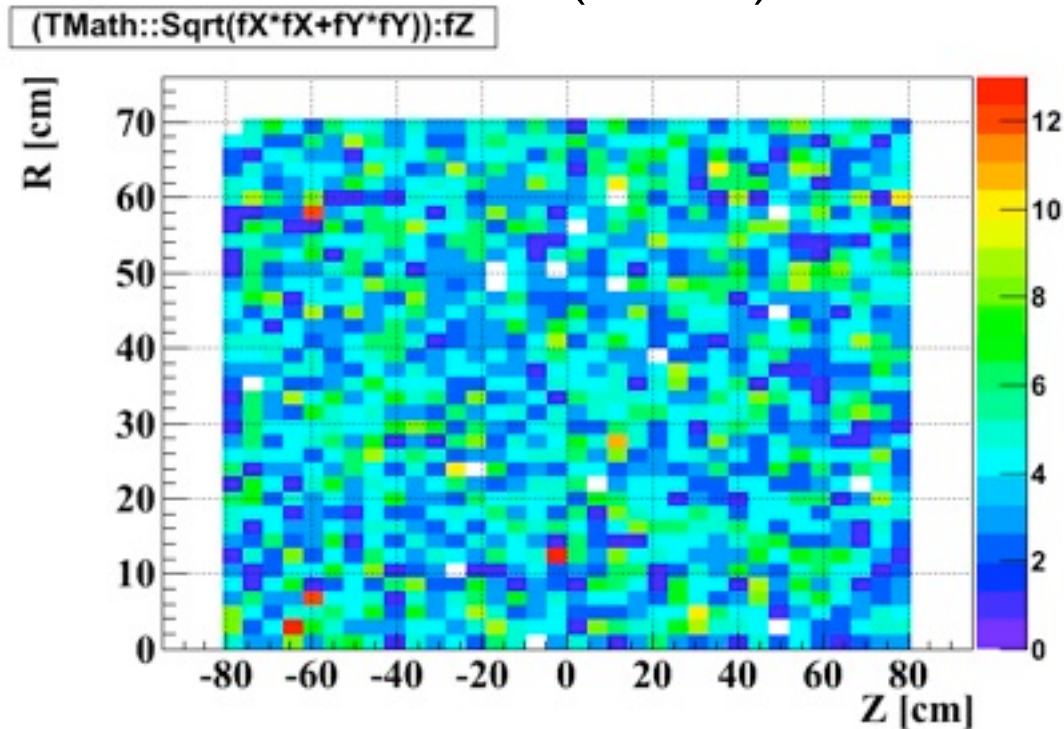


of optical photons : 29366
of photo-electrons : 888
of Hit PMTs 10
Total # of p.e. into PMTs 189
Acceptance(%): 21.28

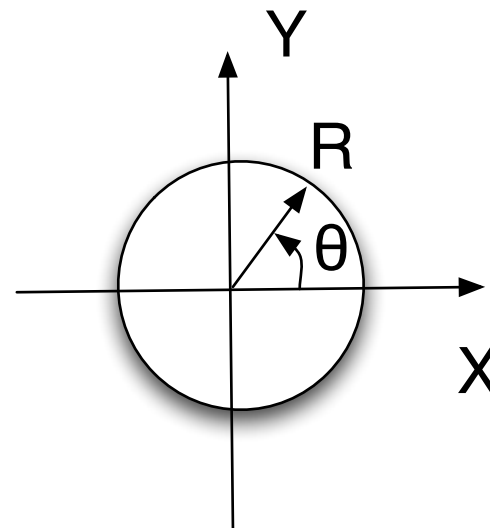
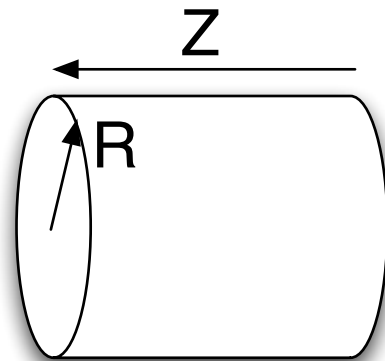
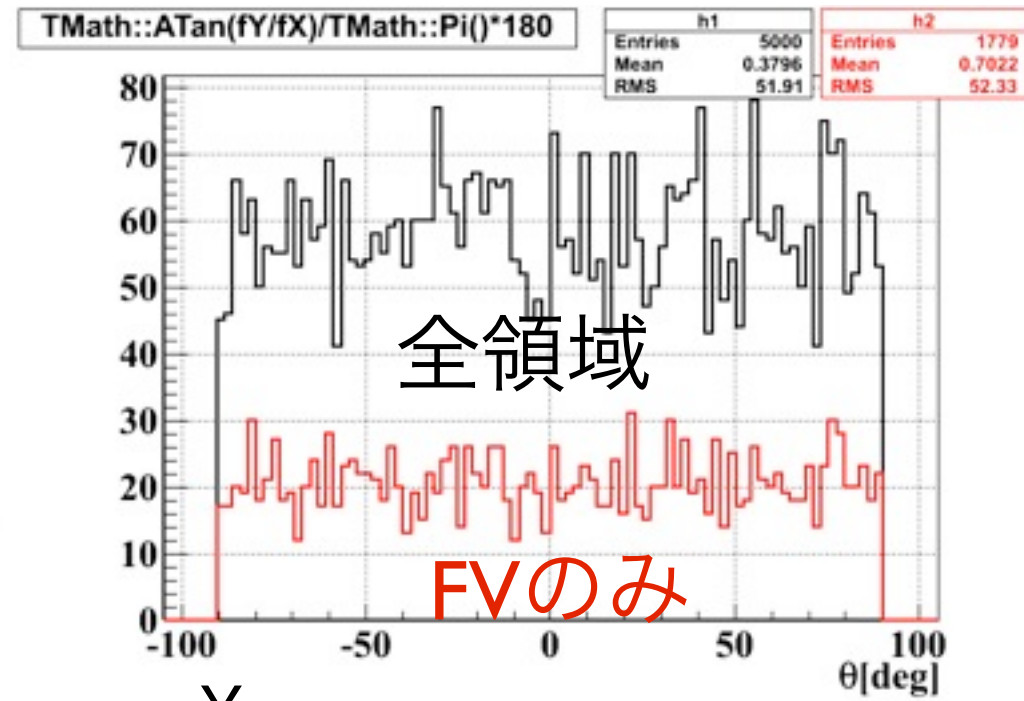


- とりあえず5000イベントMCを振ってみた。

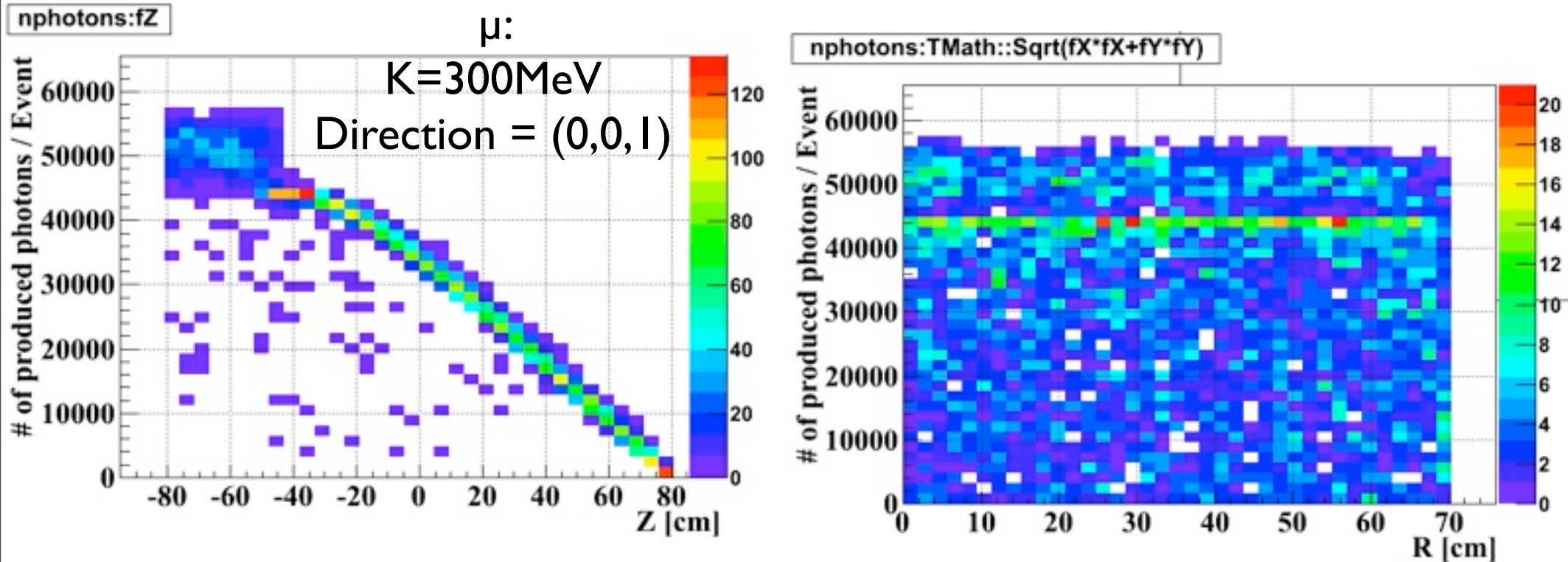
Vertex 分布 (R vs Z)



Vertex 分布 (θ)

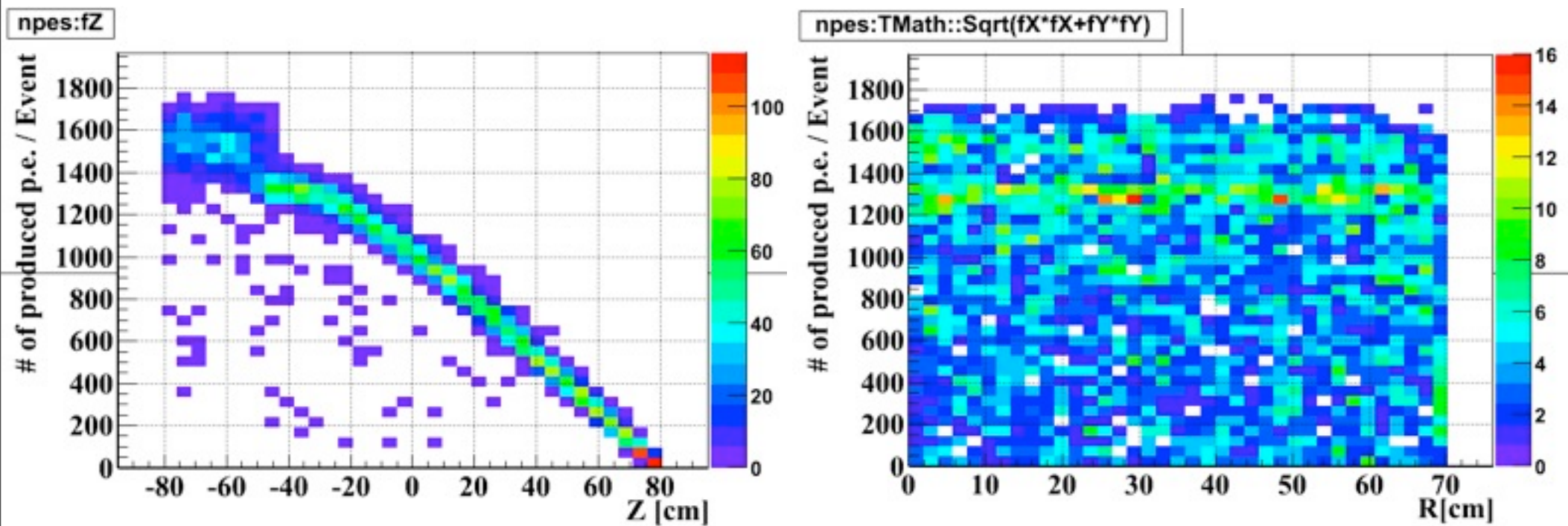


of produced photons / Event



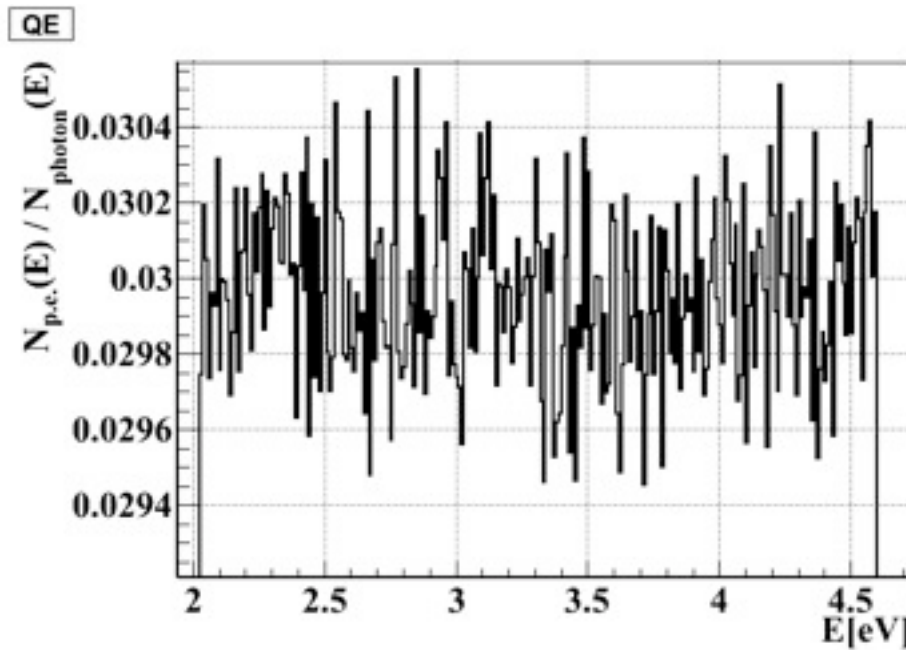
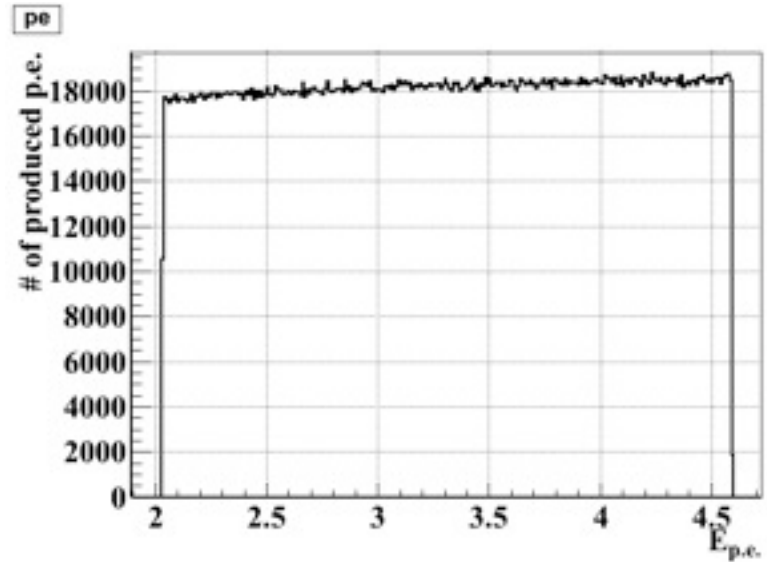
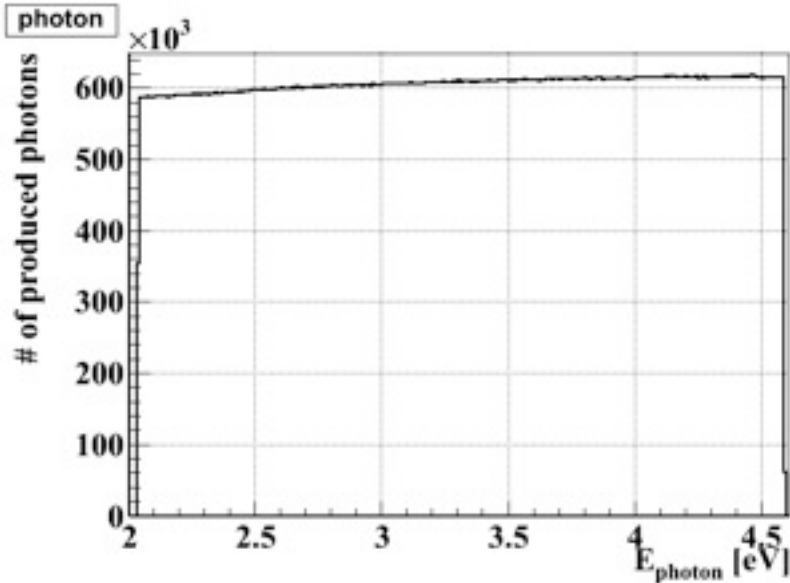
- -Zに行くほど、ミューオンのタンク内でのパスが長くなるため、より多くの光子が生成される。
- 長いパスの後半になるほど、エネルギーは減少し、光子の生成効率は減少している。
- R方向にはZ方向ほど目立った傾向が見られない(タンク端:R~70で生成数が減少している程度)

of produced p.e. / Event

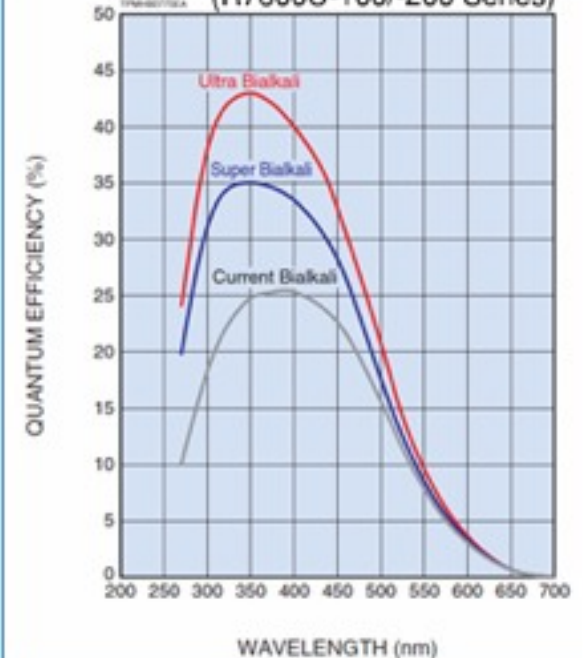


- photonの時と同様の傾向

Energy dependence of QE



Typical Spectral Response Characteristics
(R7600U-100/-200 Series)



明らかに低く、エネルギー依存性が見られない

コードを見直す

```
G4double QuantumEfficiency(G4double energy){
```

```
    const G4int nEntries = 35;
```

```
    G4double PhotonEnergy[nEntries] =
```

```
    { 2.034*eV, 2.068*eV, 2.103*eV, 2.139*eV,
      2.177*eV, 2.216*eV, 2.256*eV, 2.298*eV,
      2.341*eV, 2.386*eV, 2.433*eV, 2.481*eV,
      2.532*eV, 2.585*eV, 2.640*eV, 2.697*eV,
      2.757*eV, 2.820*eV, 2.885*eV, 2.954*eV,
      3.026*eV, 3.102*eV, 3.181*eV, 3.265*eV,
      3.353*eV, 3.446*eV, 3.545*eV, 3.649*eV,
      3.760*eV, 3.877*eV, 4.002*eV, 4.136*eV,
      4.275*eV, 4.427*eV, 4.591*eV };
```

```
    G4double QE[nEntries] =
```

```
    { 0.03, 0.035, 0.04 , 0.05 ,
      0.06, 0.07 , 0.08 , 0.1 ,
      0.11, 0.13 , 0.08 , 0.16 ,
      0.17, 0.18 , 0.20 , 0.21 ,
      0.23, 0.235, 0.24 , 0.245,
      0.25, 0.255, 0.255, 0.255,
      0.25, 0.25 , 0.245, 0.24 ,
      0.23, 0.22 , 0.195, 0.18 ,
      0.175, 0.14, 0.1};
```

```
    G4int i;
```

```
    if( energy<PhotonEnergy[0] || energy>PhotonEnergy[nEntries-1] ) return 0;
```

```
    for(i=0; i<nEntries; i++)
```

```
        if( energy>PhotonEnergy[i] ) return QE[i];
```

```
    return 0;
```

```
}
```

→ PhotonEnergy[]は低い順で並んでいるため、このifの条件式だと常にQE[0]が呼ばれることに。。。

→ if(energy<PhotonEnergy[i])に修正

→ これだと $2.034\text{eV} < E_{\text{photon}} < 2.068\text{eV}$ の光子に対してQE[i]=0.035を使用する。

→ QE[0]=0.03を使用したければ以下のようにする。

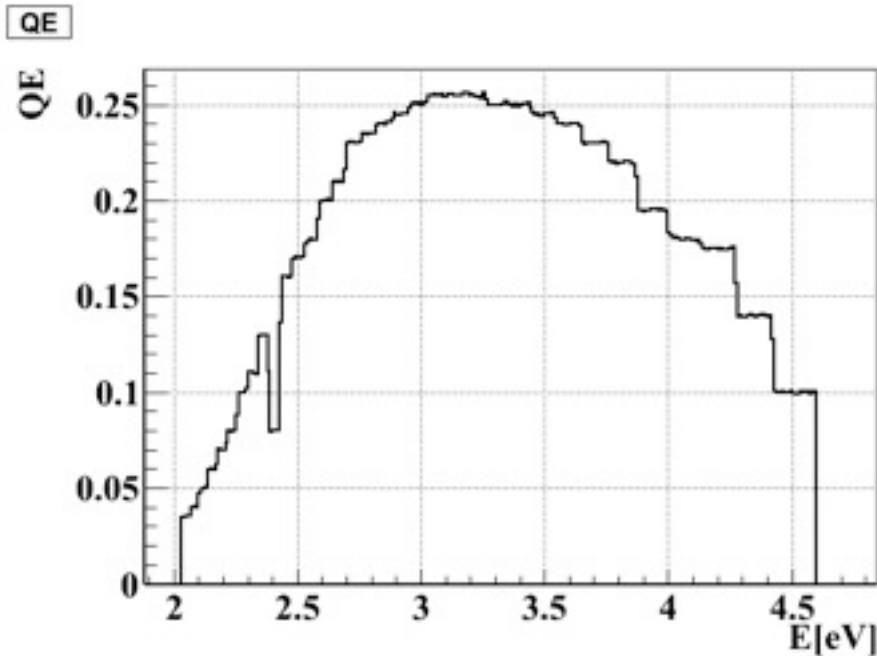
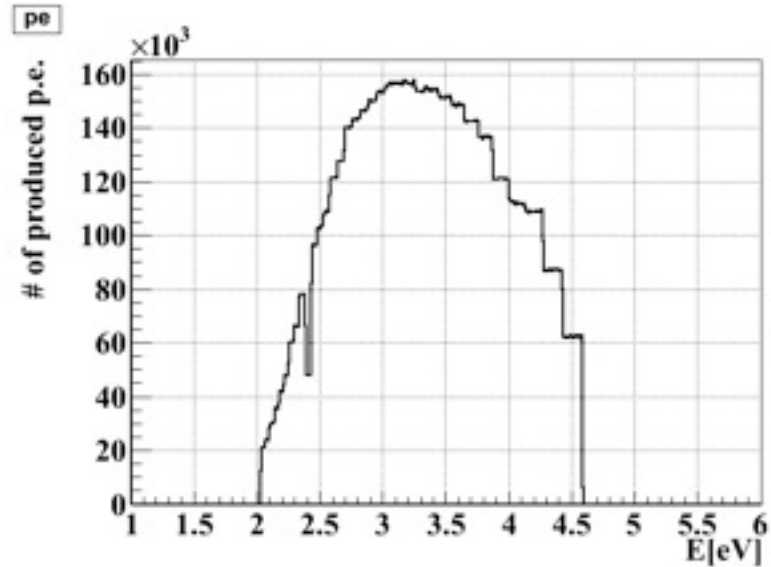
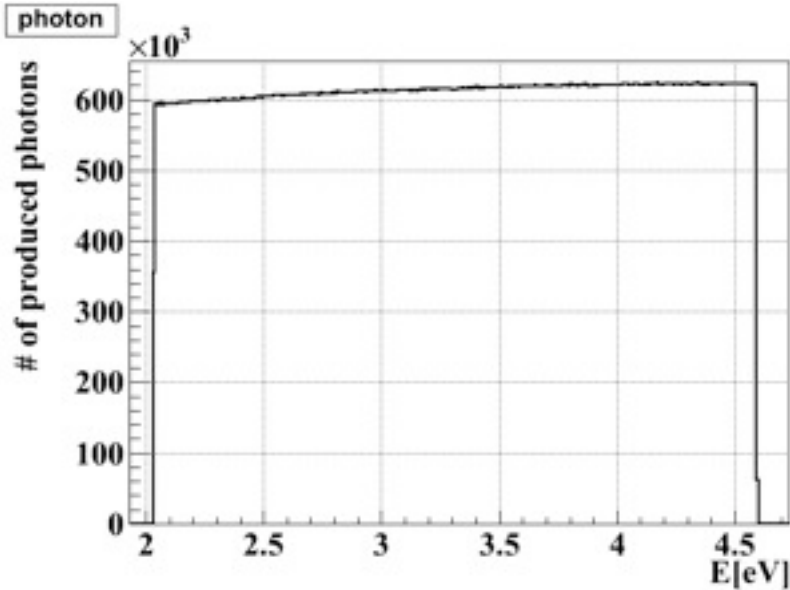
```
for(i=1; i<nEntries; i++)
```

```
    if( energy>PhotonEnergy[i] ) return QE[i-1];
```

→ テーブル作成時はどちらの意図か？

- 再度MCを振ってみて、QEを算出する。
- 他のMCの設定は前と同じ。

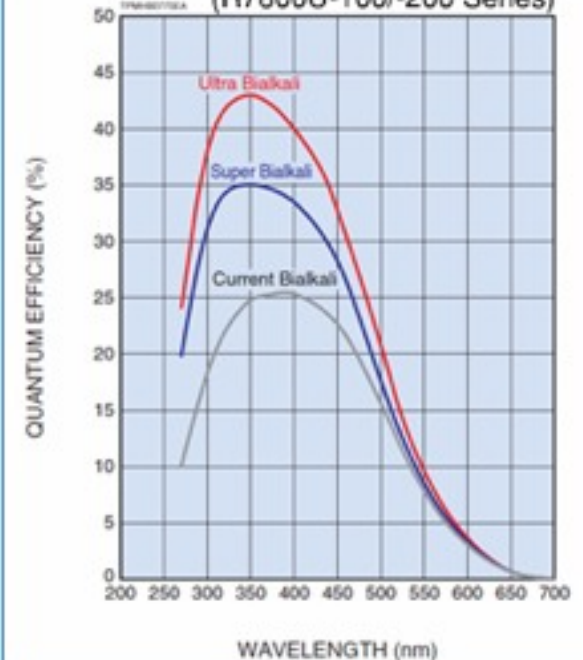
Energy dependence of QE



→ カタログのQEに類似した形に。

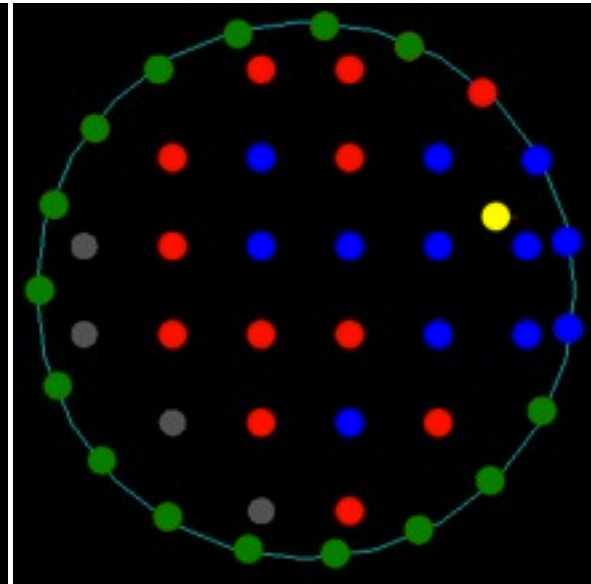
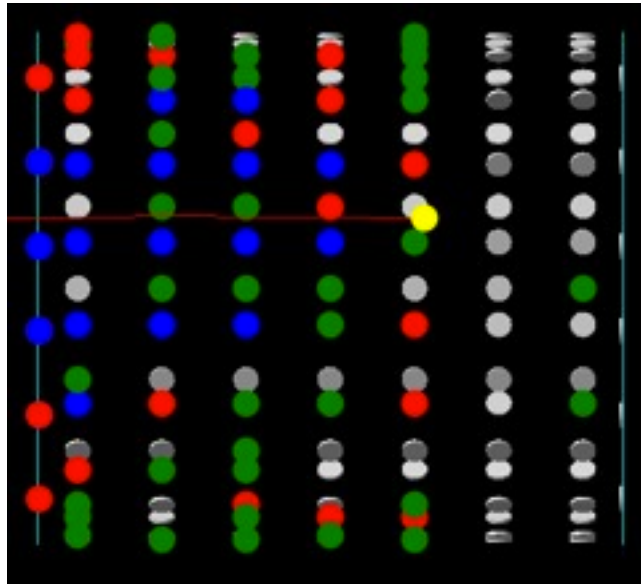
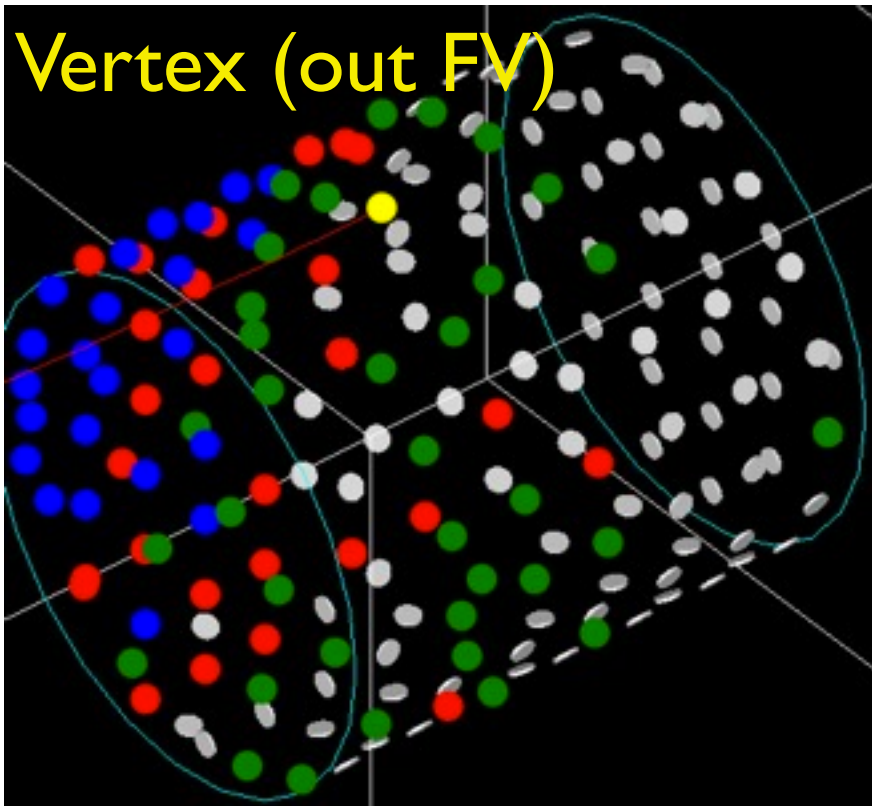
高エネルギー領域はまだ詰める必要あり。

Typical Spectral Response Characteristics
(R7600U-100/-200 Series)



- 再度イベントディスプレイから見ていく

Vertex (out FV)



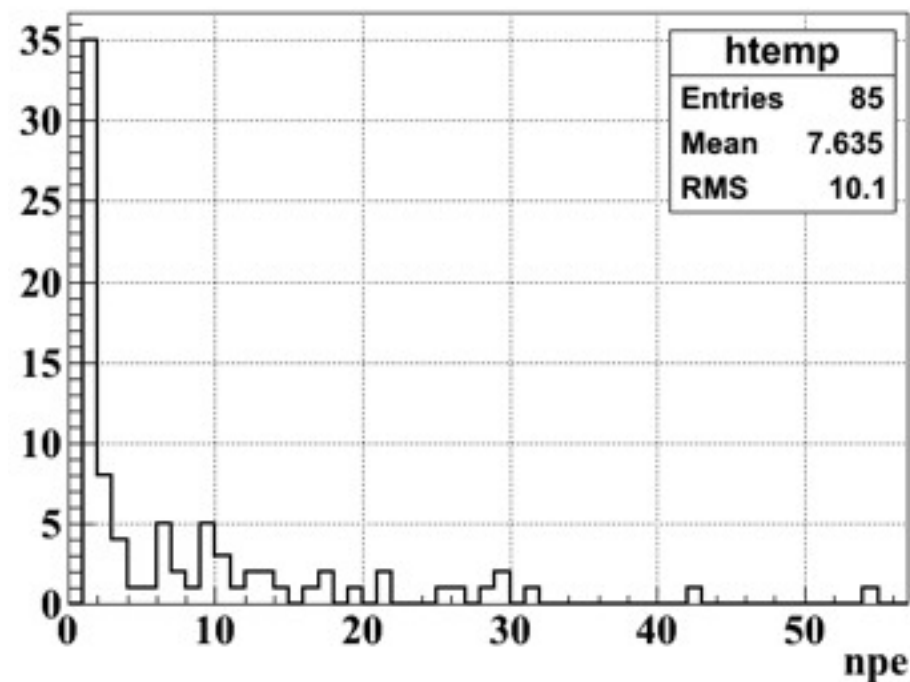
of optical photons: 41999

of photo-electrons : 7774

of Hit PMTs 85

Total # of p.e. into PMTs 649

Acceptance(%): 8.348

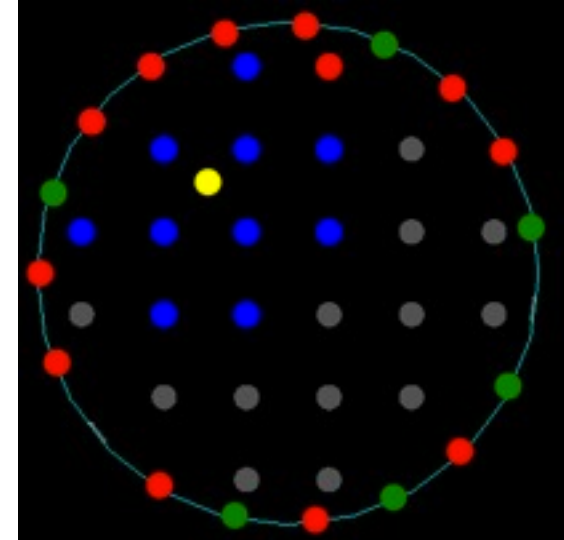
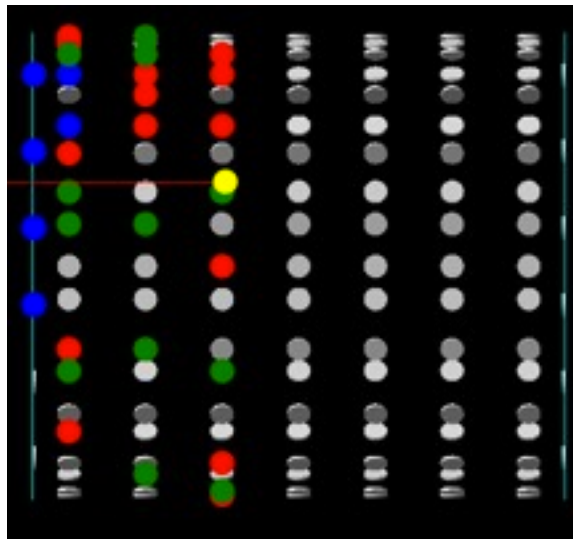
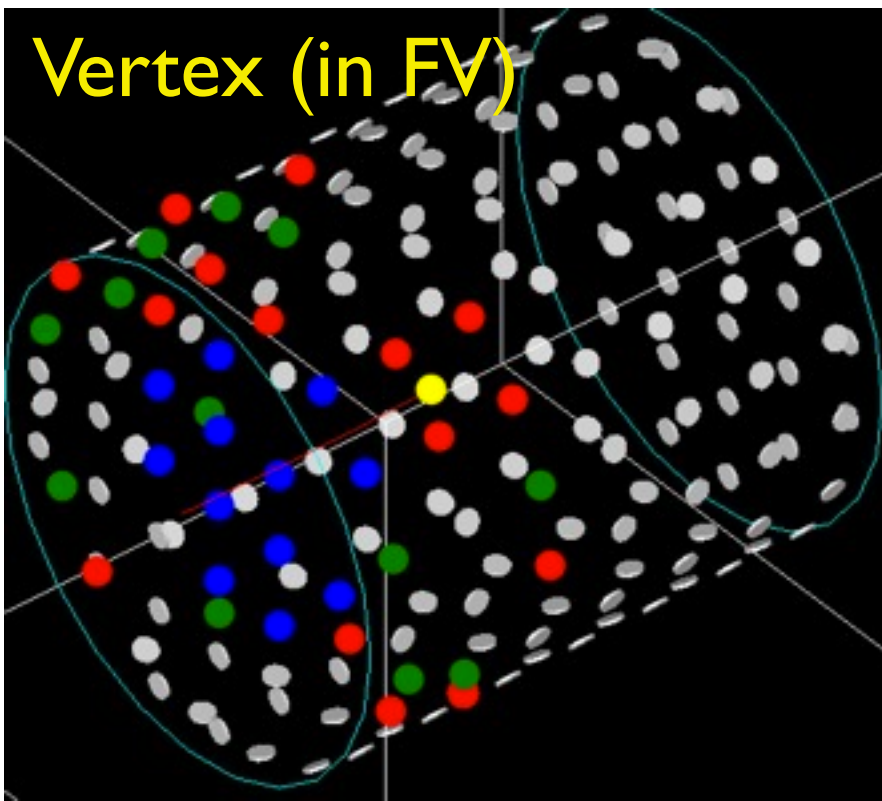


修正前と比べて、生成され光電子数が大幅に増加

→ ヒットのあったPMTの数、各PMTあたりの光電子数が増加。

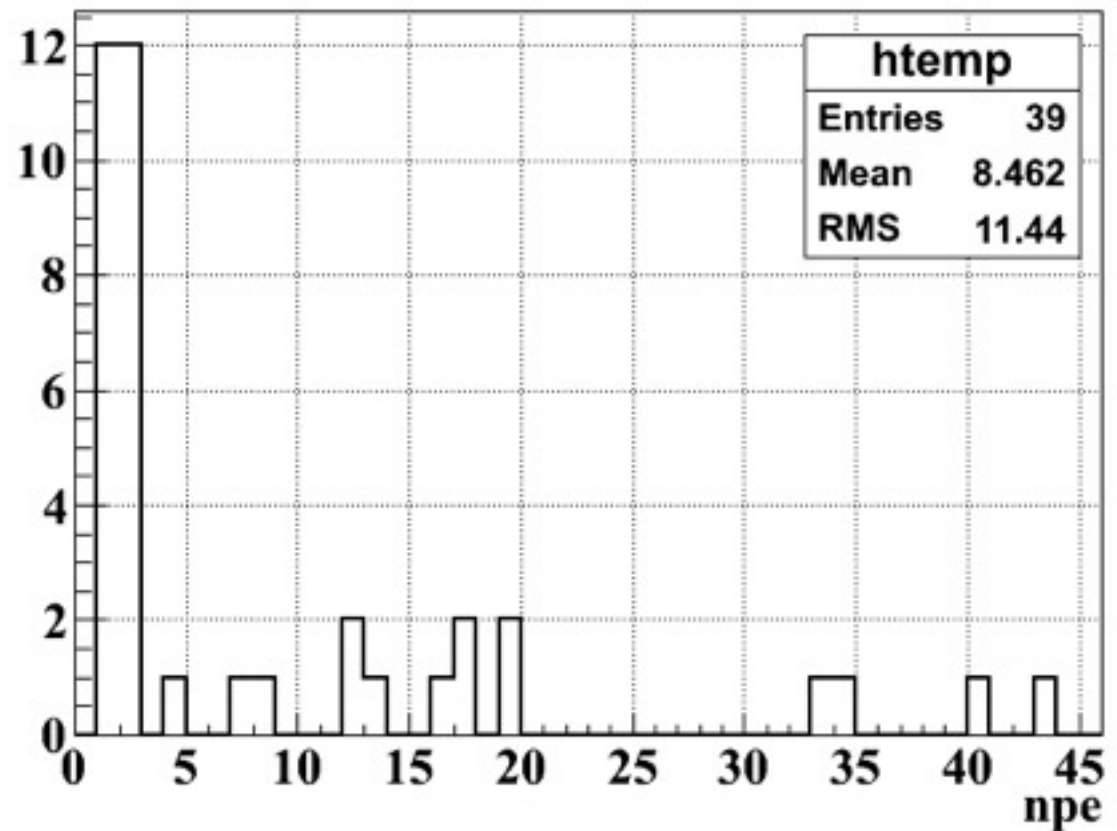
→ カット条件にもよるが、検出効率は上がっているはず。

Vertex (in FV)

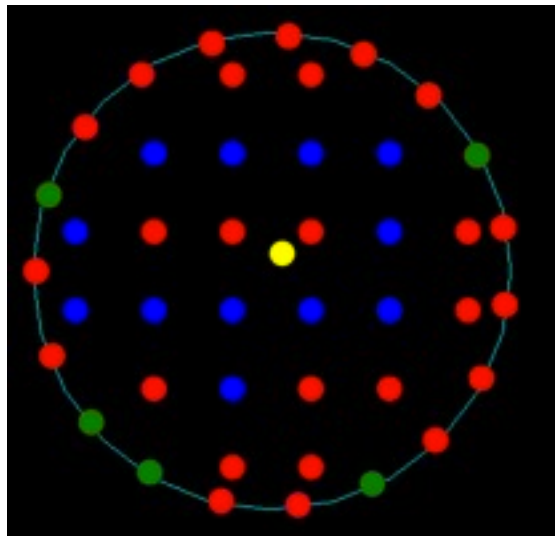
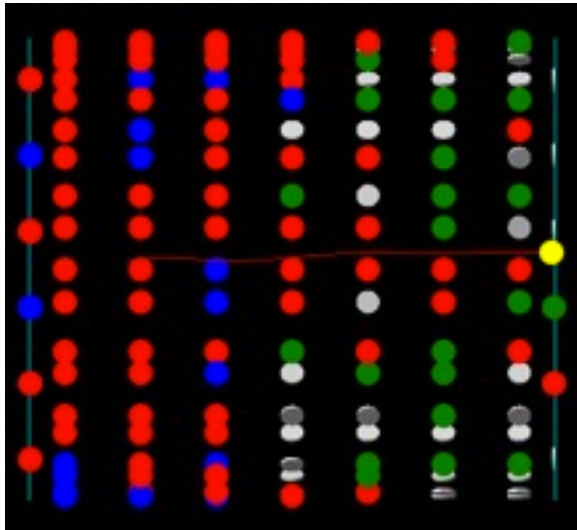
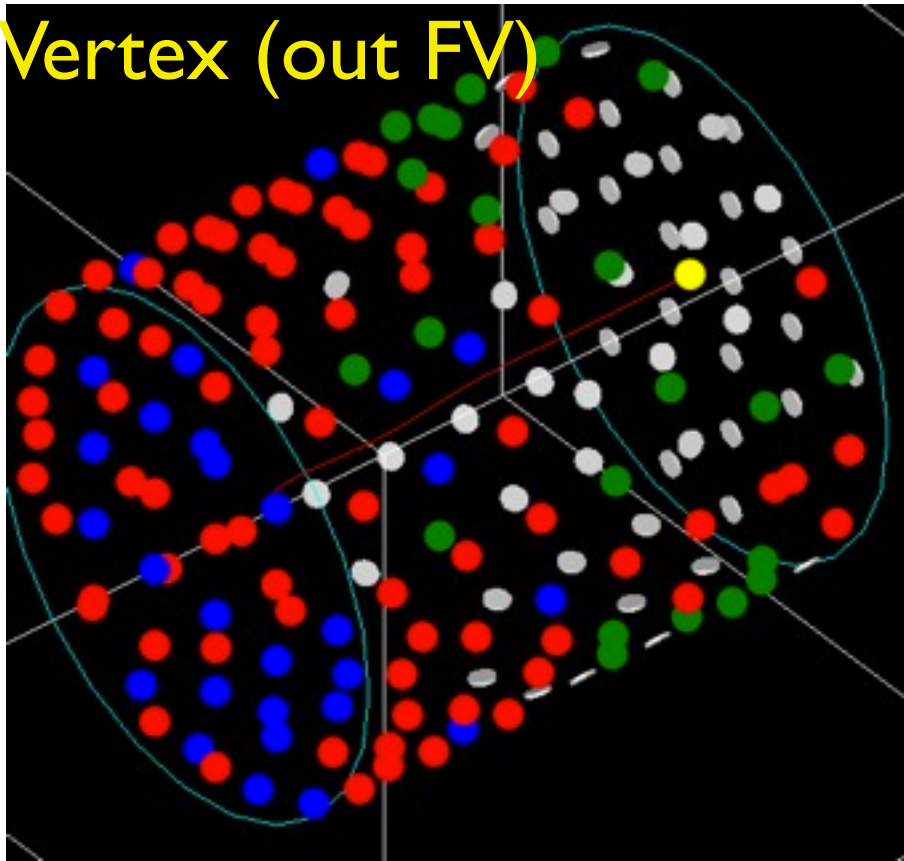


of optical photons : 24354
of photo-electrons : 4557

of Hit PMTs 39
Total # of p.e. into PMTs 330
Acceptance(%): 7.242

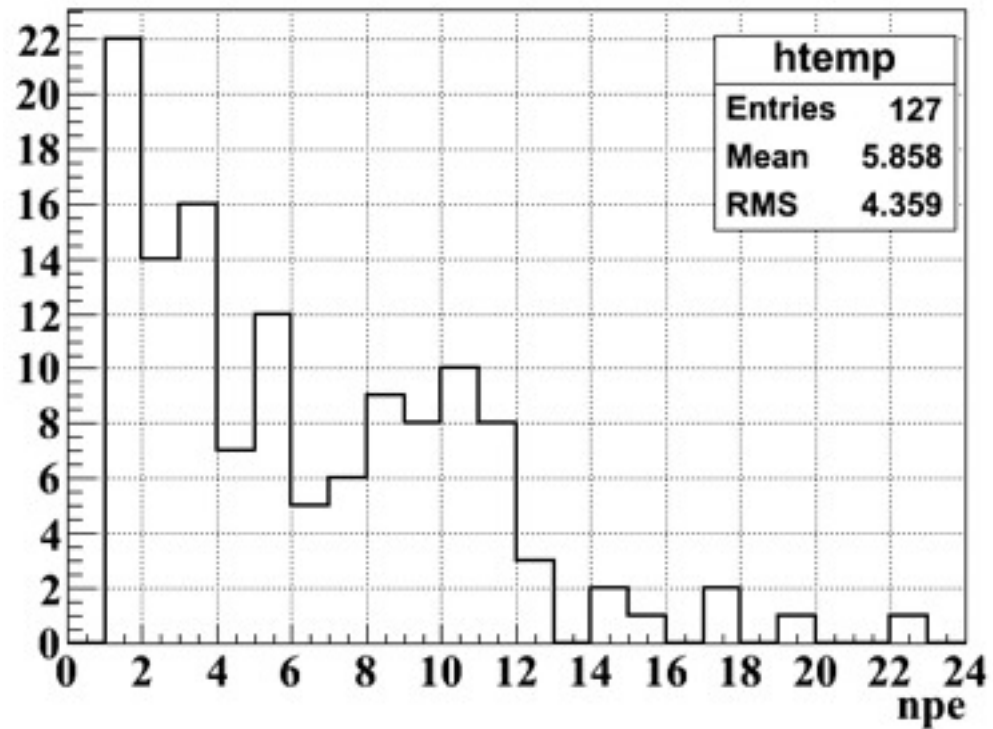


Vertex (out FV)

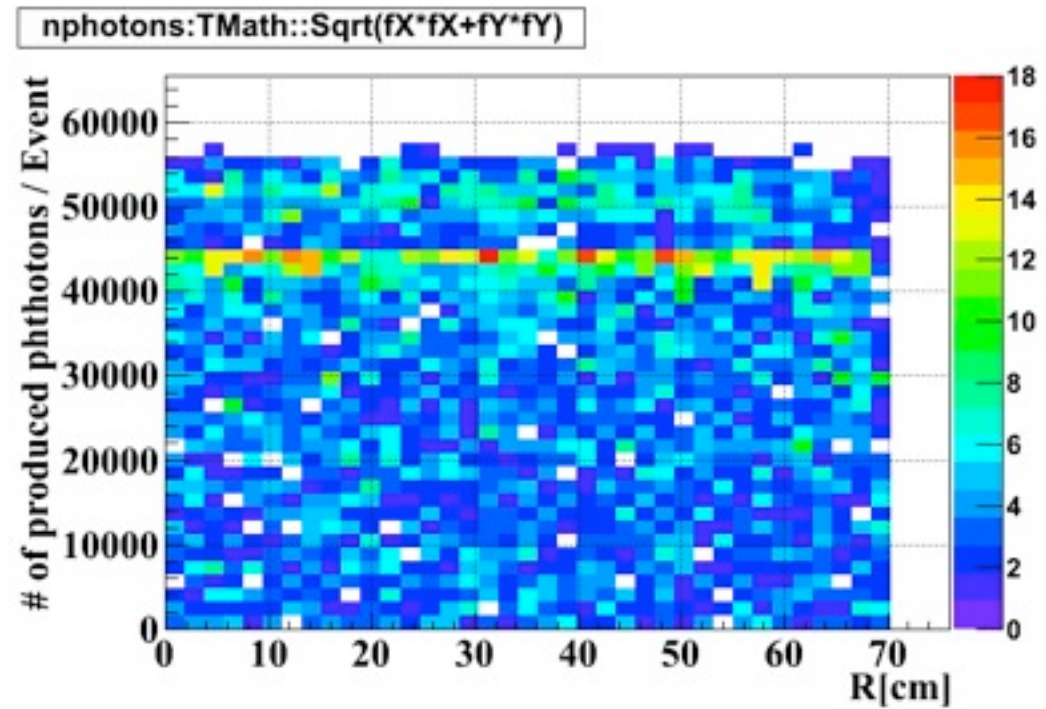
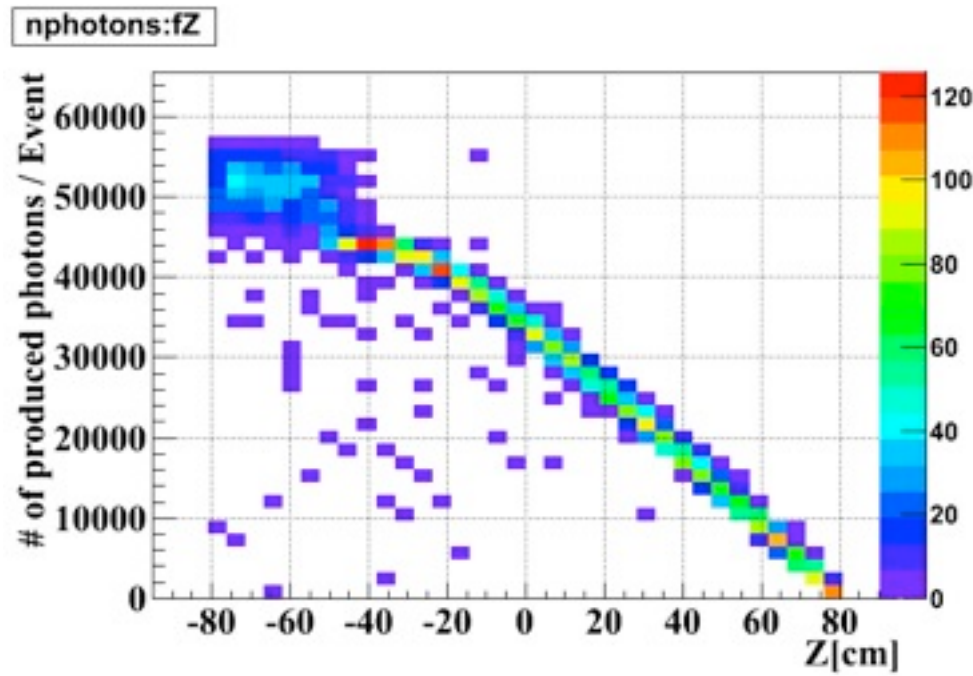


of optical photons: 49770
#r of photo-electrons : 9125

of Hit PMTs 127
Total # of p.e. into PMTs 744
Acceptance(%): 8.153

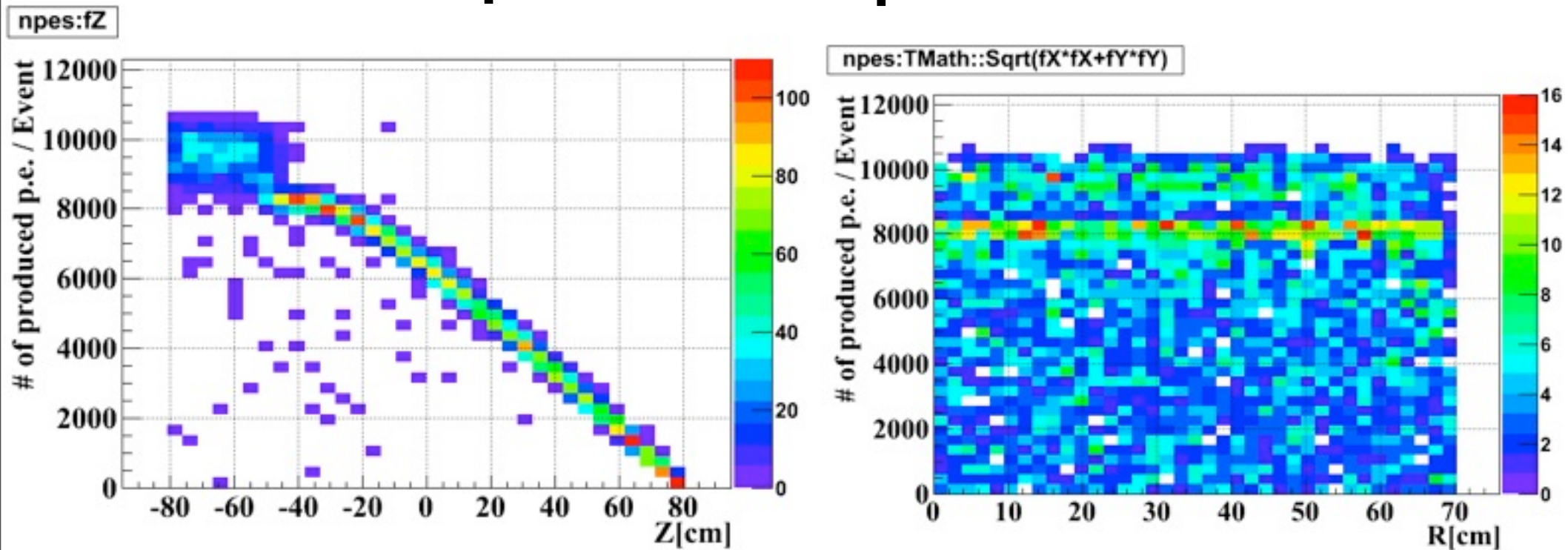


of produced photons / Event



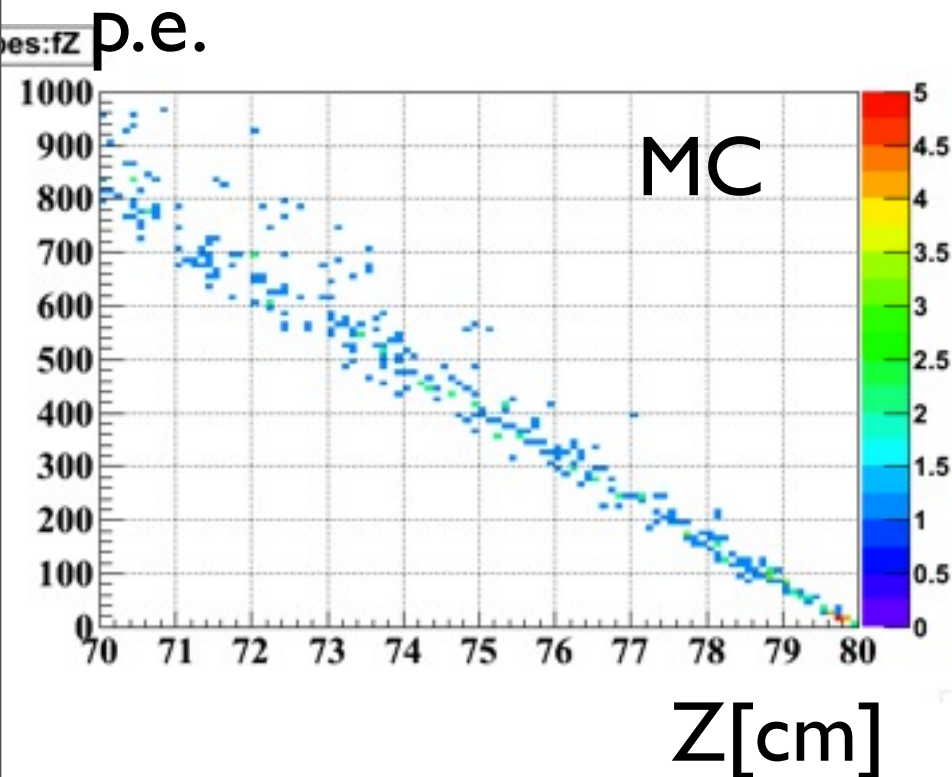
- 修正前と同じ (photon生成に関しては何もいじっていないから当然)

of produced p.e. / Event



- 修正前と同じ傾向は同じ。ただし、生成光電子数の絶対値が修正前より増加している。
- QEの修正による。

of produced p.e.(タンク端付近)



- vetexがタンク蓋付近($Z=80\text{cm}$)の際の光電子
- 水中のパスの長さが短いものによるチェレンコフ光を見る。

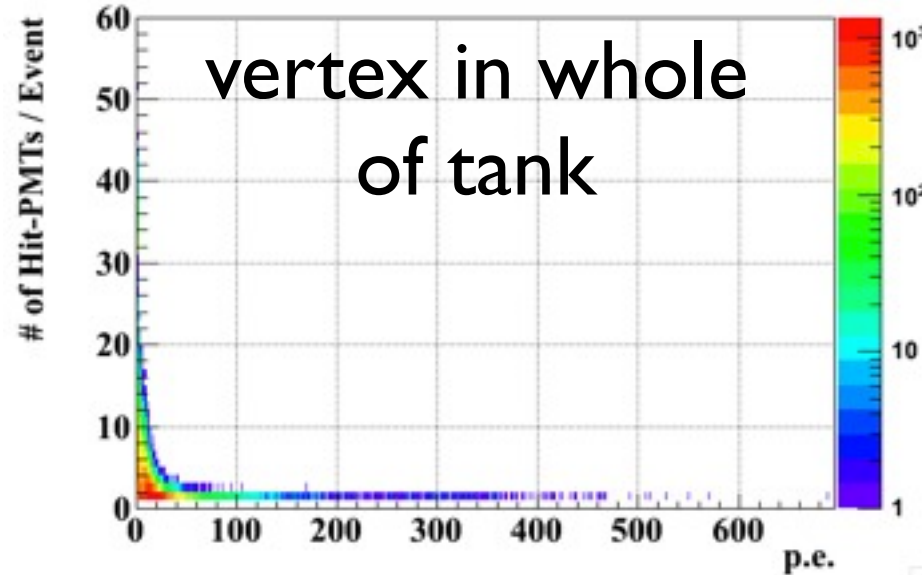
$Z=75\text{cm} \rightarrow \sim 400\text{p.e.}$
 $\rightarrow \text{p.e./path} \sim 80\text{p.e./cm}$

- 以前の将太くんのPMT測定では、水5cm+アクリル1cmで peak p.e. ~ 80 p.e.。
- MCでの予想光量が測定に比べて5倍程度多い。

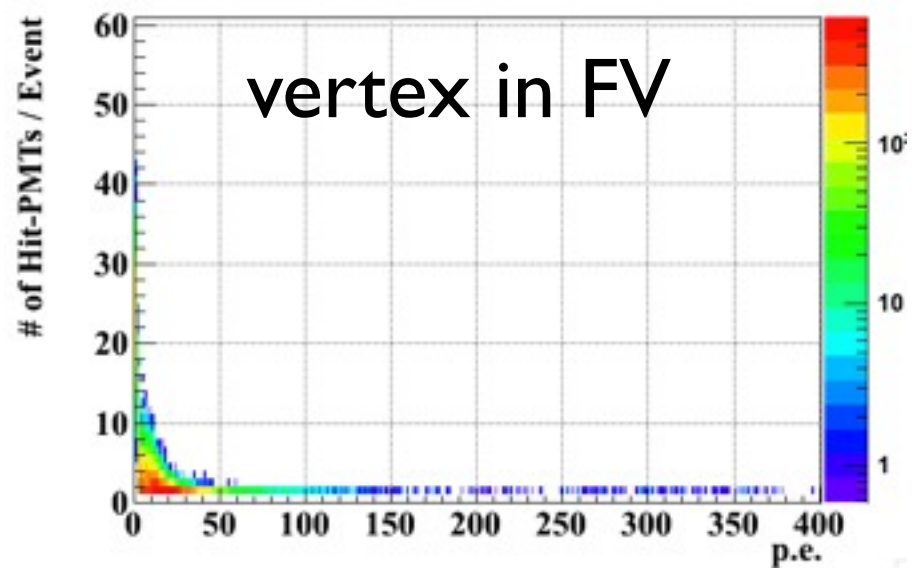
→ 現在MCのコードを確認中

of p.e. into one PMT vs # of Hit-PMTs

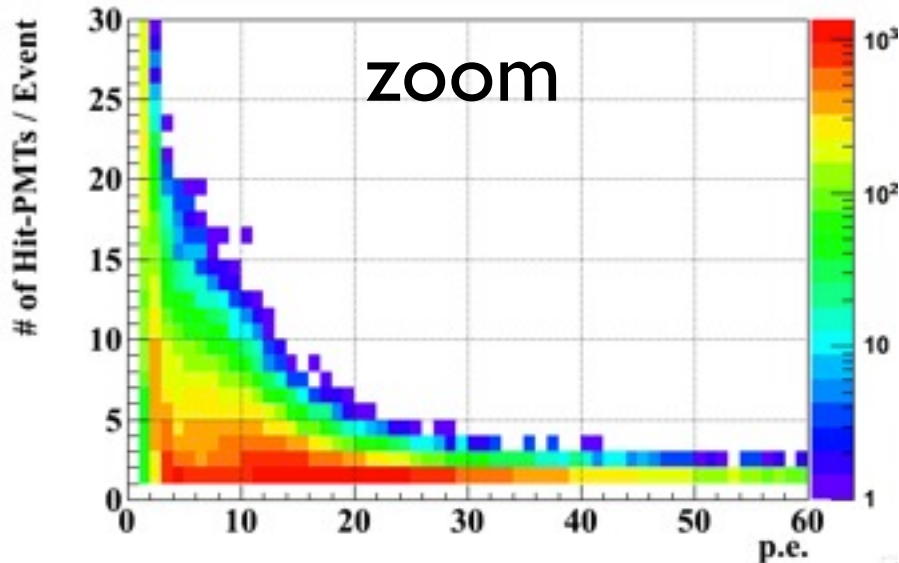
p.e. vs # of Hit-PMTs



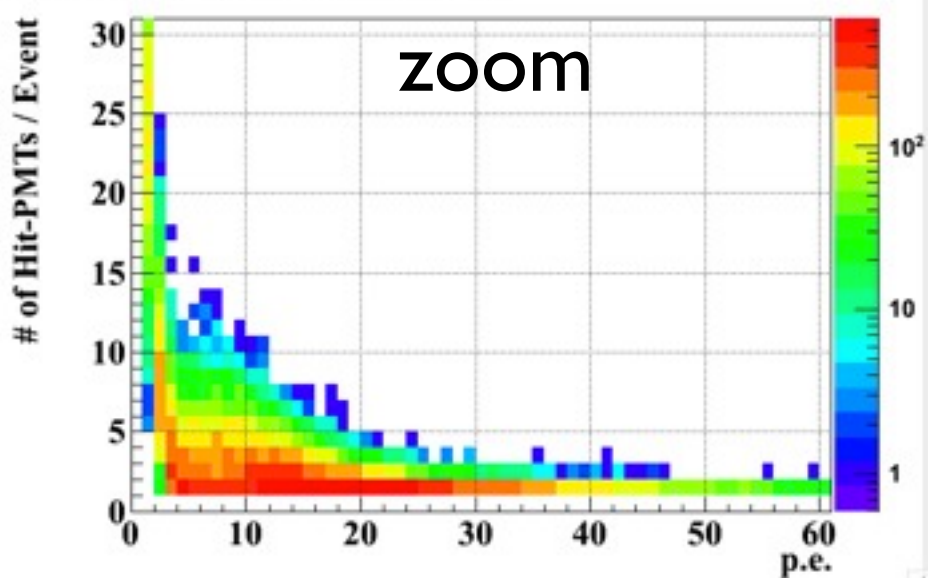
p.e. vs # of Hit-PMTs (vertex in FV)



p.e. vs # of Hit-PMTs

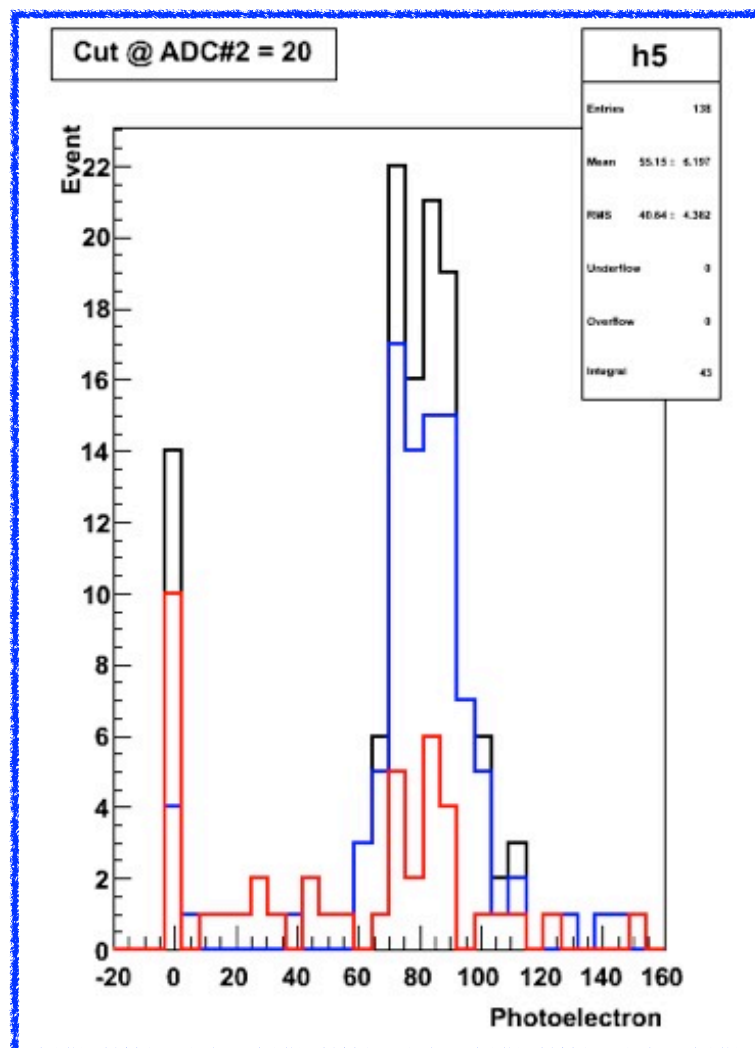


p.e. vs # of Hit-PMTs (vertex in FV)



Backup

測定結果(水あり)



- だいたい**80p.e.**にピーク
- Geant4(水5cm+アクリル1cm)とほぼ一致
- **青のピーク**
 - E=500MeVの μ は65p.e.程度放出、一番下のシンチにも届く
- **赤のピーク**
 - E=200MeVの μ は80p.e.程度放出、一番下のシンチには届かない
- 0p.e.でのピーク $\Rightarrow$ 光ってない
 $\Rightarrow$ シンチは通過したが、水を通らなかった
 - 下のシンチの光量が低い場合 (**赤線**) に多い
 - アクリルでのチェレンコフ光ではなさそうだ (次々ページ、水なしと比較して)
- 要因
 - たまたま μ が2つ通過
 - 途中で散乱???
 - ???