

Front Barrel の宇宙線測定

～発光量の位置依存性～

山形大学 クォーク核物性研究室
佐藤啓之

平成 15 年 5 月 15 日

1 実験の目的

KEK-PS E391a 実験で使用する Front Barrel カロリメータが完成した。現在、FB の性能を評価するために、様々な測定を行っている。今回は、FB に垂直に入射した宇宙線で測定される光量の位置依存性の解析を行った。

2 Setup

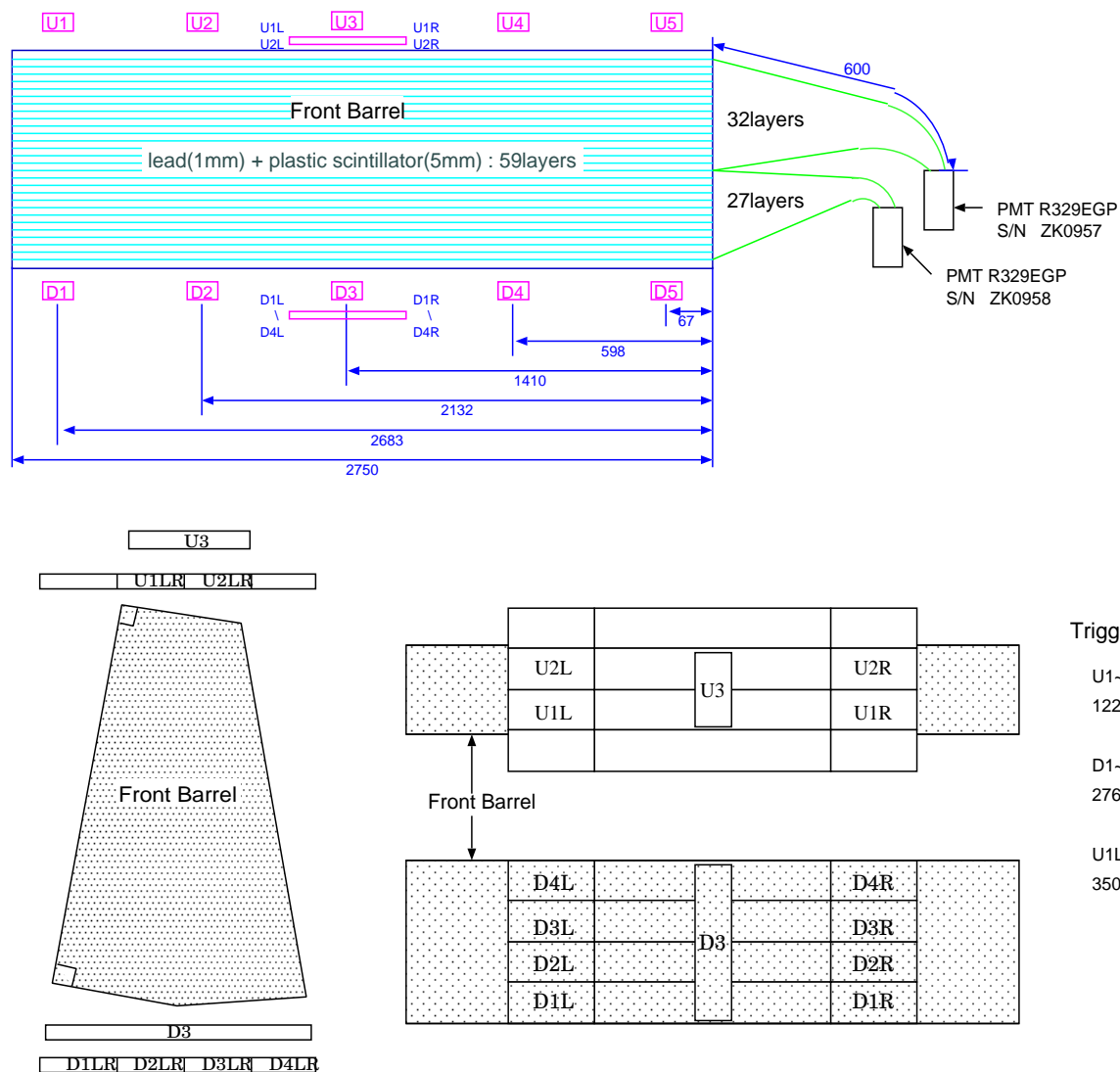


図 1: 宇宙線測定 Setup

- Front Barrel の上下に宇宙線をとらえるための plastic scintillator を設置。
- PMT からの距離の依存性や斜め入射での特性を測定するために 5ヶ所 (U1~U5, D1~D5) に Trigger Counter を設置。
- Front Barrel 中心に十分な統計量で測定できるように大きな plastic scintillator (U1LR~U2LR, D1LR~D4LR) を設置。

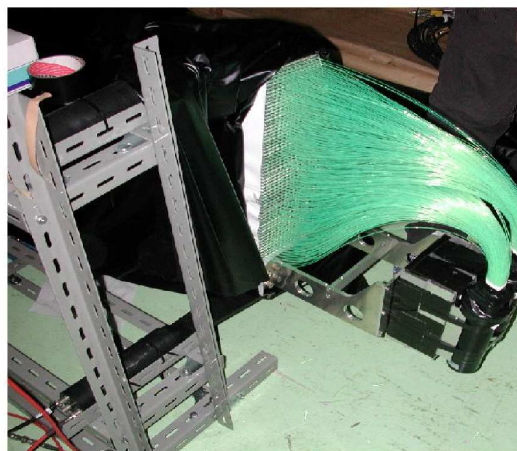
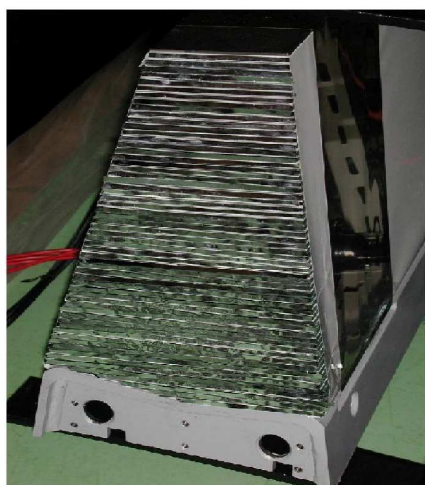


図 2: 製作中の Module と測定の Setup

3 Logic

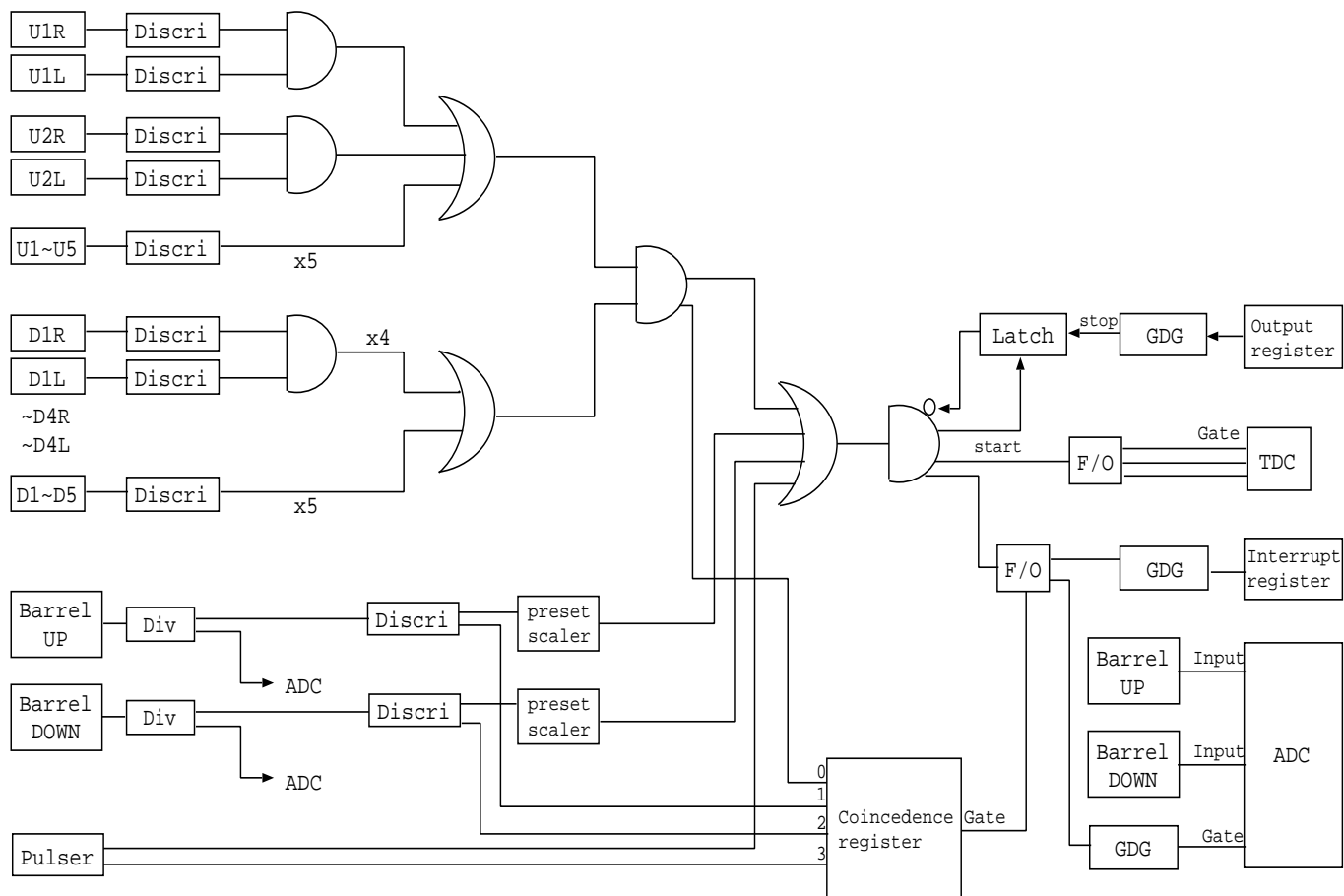


図 3: logic 図

Trigger の説明

- 各 Mode の条件
 - 宇宙線 TriggerUP と DOWN の AND
 - Self BarrelUP もしくは BarrelDOWN
 - Pedestal Pulser のみ
- 各 Mode の判別 Coincidence Register で判断
- Trigger Counter TDC のみ
- Barrel ADC, TDC をとっている

4 解析

解析の手順

- PMT の Gain を測定する
- 宇宙線 Trigger を用いて宇宙線垂直入射時の ADC ヒストグラムを得る
- Gain と ADC ヒストグラムから獲得光電子数を見積もる
- 獲得光電子数と Barrel の位置関係をグラフを使って表す。

PMT Gain 測定法

Front Barrel で測定される光電子数を見積もるために、まず Front Barrel で用いる光電子増倍管の Gain カーブを測定した。緑色の LED を使って 1photo-electron(p.e.) のピークが見えるように調節した光を、光電子増倍管に入れ、得られたヒストグラムから fitting 関数を用いて 1p.e. のピーク間隔を得る。

配置図を次のようにした。

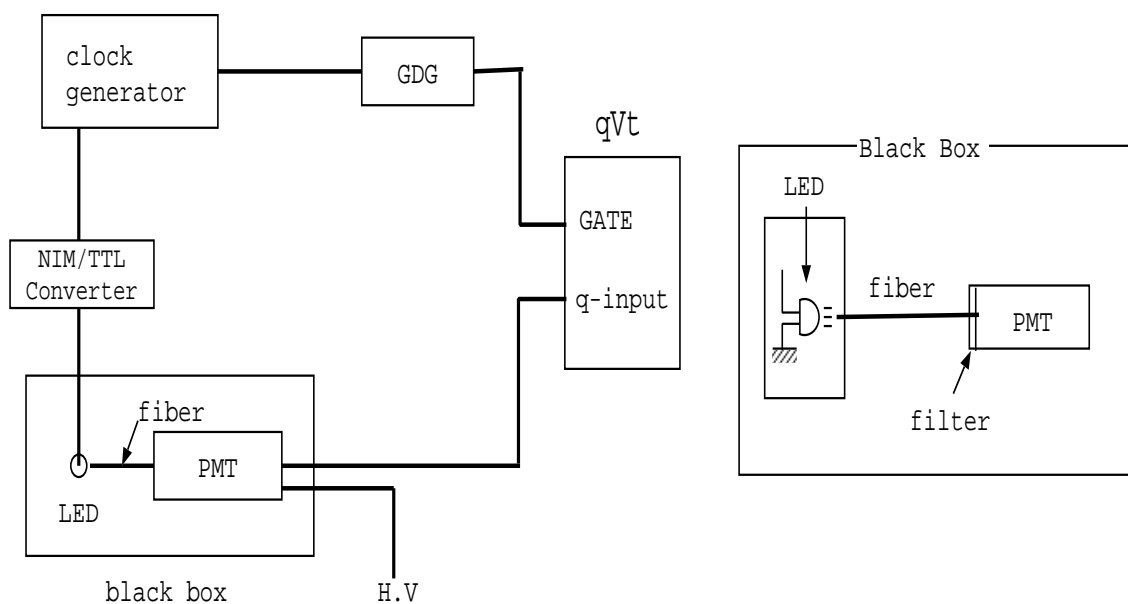


図 4: PMT calibration 配置図

光電子増倍管に印加する電圧を適宜変えていき、印加電圧に対する 1p.e. のピーク間隔を求める。あらかじめ ADC の calibration を行なっておいて、入力電荷に対する ADC channel の関係を得ておけば、1p.e. のピーク間隔に対する電荷量が見積もれる。つまり光子 1 個が光電子増倍管に入ったときに増幅されて出力される電荷量が見積もることができる。その増幅後の電荷量を電子の電荷量 $1.6 \times 10^{-19}(C)$ で割ることによって、光電子増倍管の Gain を見積もることができる。

平均光電子数 N が小さい時はポアソン分布の $N = 1.2.3\dots$ の各ピークがガウス分布になる。それぞれのピークの標準偏差を $\sqrt{N}\sigma$ (σ は $N = 1$ のピークの標準偏差) として、次の関数へ fitting した。

$$R(x) = A \sum_{N=1}^{N_{max}} \frac{\exp^{-\bar{N}} \bar{N}^N}{N!} \frac{1}{\sqrt{2\pi N}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x - pN - q)^2}{2N\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

- x : ADC channel
- $A(p1)$: Normalization Factor
- $\bar{N}(p2)$: 平均光電子数
- $\sigma(p3)$: 標準偏差
- p (p4) : 各ピーク間隔
- q (p5) : ペDESTALピークの channel

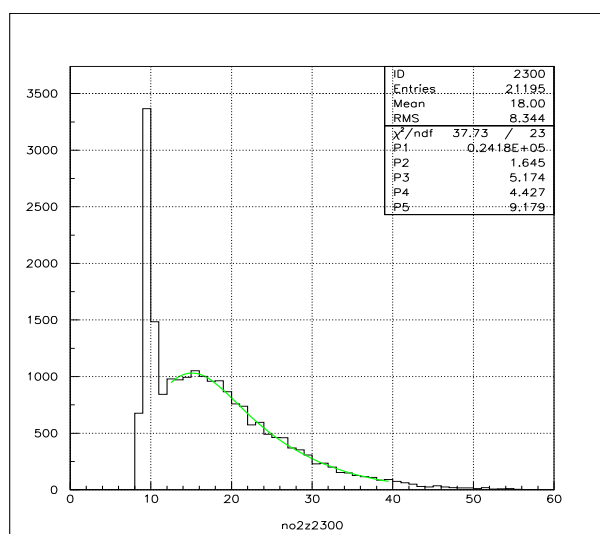


図 5: fitting の一例。平均獲得光電子数が 1.645 個 (p2) で、1p.e. のピーク間隔は 4.427ch(p4) となる。

A, \bar{N}, σ, p, q をパラメーター p1, p2, p3, p4, p5 とし $N_{max} = 10$ で fitting した結果が図 5 である。このようにして測定された PMT の Gain を図 6 に示す。

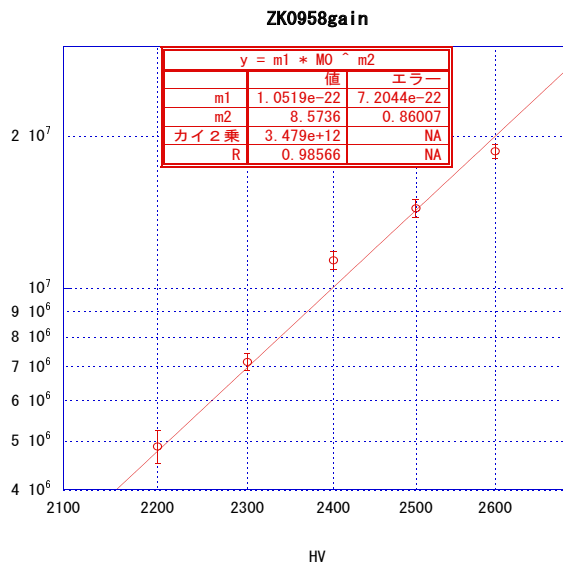
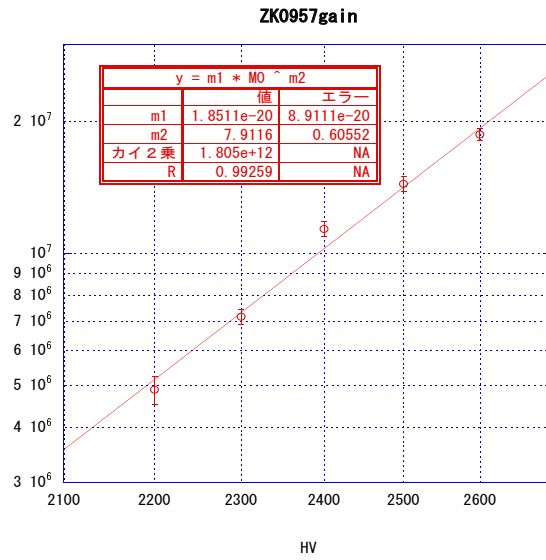


図 6: zk0957 と zk0958 の Gain カーブ

宇宙線 Trigger

TDC ヒストグラムから Trigger が光ったときの範囲を指定し、U1D1～U5D5 のそれぞれの AND をとり、ADC にカットをかけることにより、宇宙線垂直入射の ADC ヒストグラムが得られる。

U1～U5、D1～D5 を用いて測定された宇宙線の TDC ヒストグラムを図 7、fill 前の ADC ヒストグラムを図 8、 $U1 \times D1 \sim U5 \times D5$ へ垂直入射した宇宙線の ADC ヒストグラムを図 9 に示す。

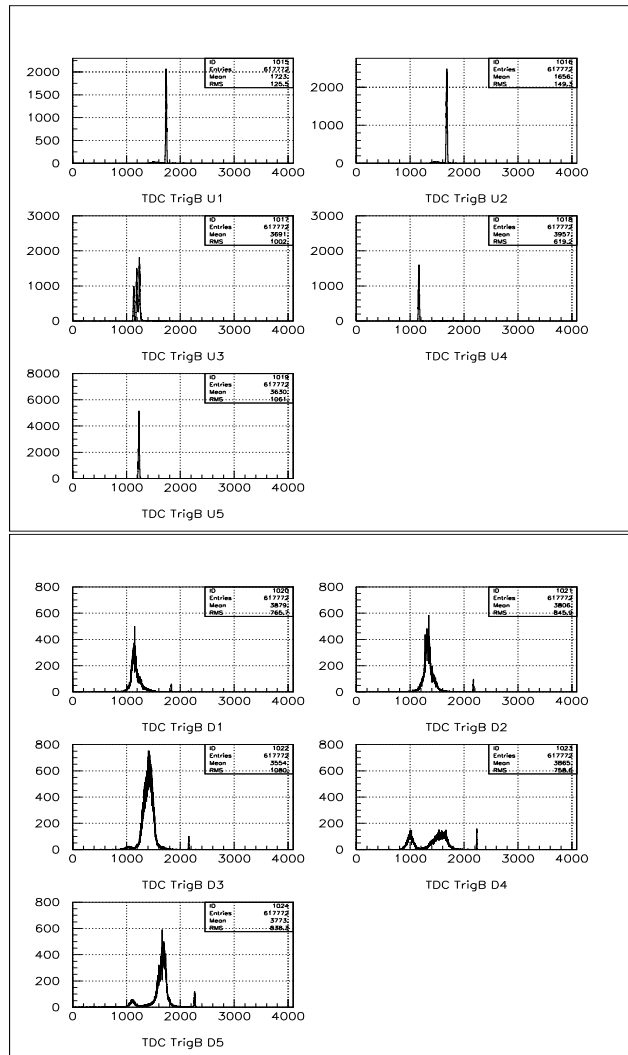


図 7: U1~U5、D1~D5 の TDC ヒストグラム

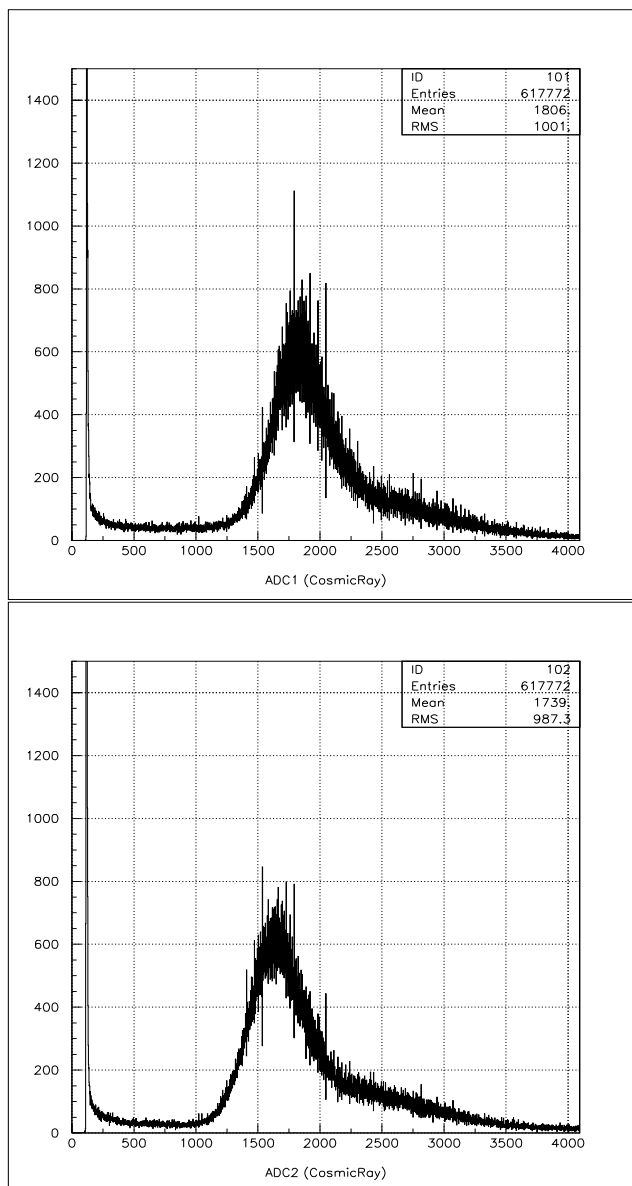


図 8: fill 前の ADC1(上 32 層) と ADC2(下 27 層) のヒストグラム

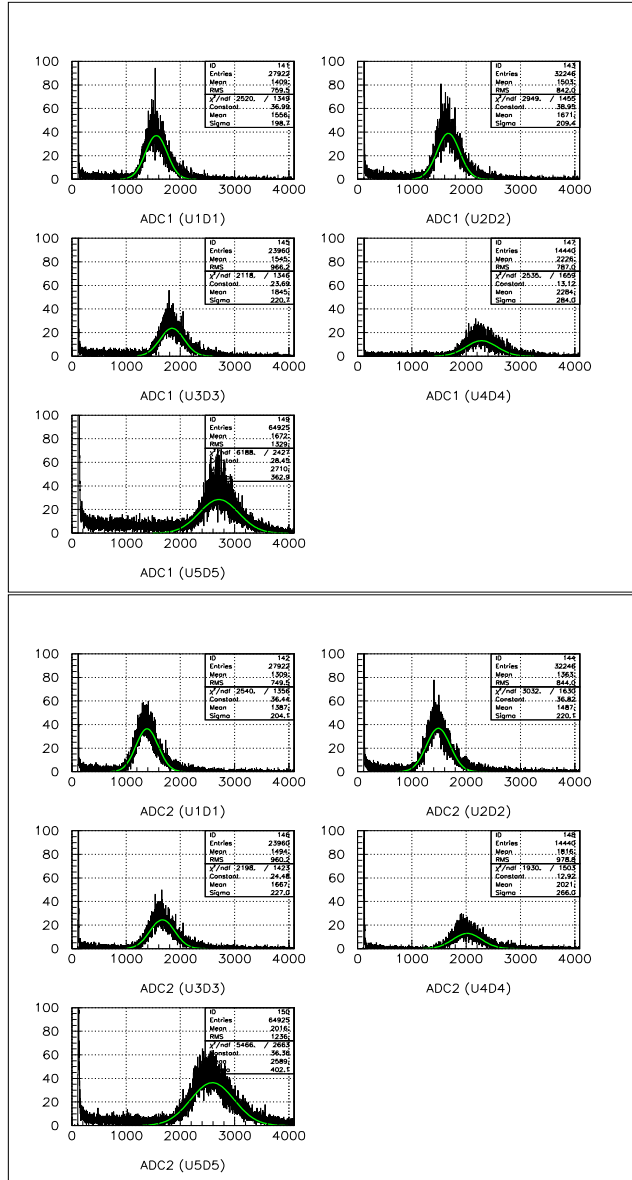


図 9: fill&fit 後の ADC1 と ADC2 のヒストグラム

位置依存性

ADC ヒストグラムのピークの重心とペDESTALの重心の間の channel 数から得られた電荷量を見積もることができ、印加した電圧での Gain と 1p.e. の電荷量 $1.6 \times 10^{-19} (C)$ で割ることによって、獲得光電子数が見積もれる。

このようにして得られた獲得光電子数の位置依存性を図 10(Module 全体) と図 11(1MeV 当たり) に示す。

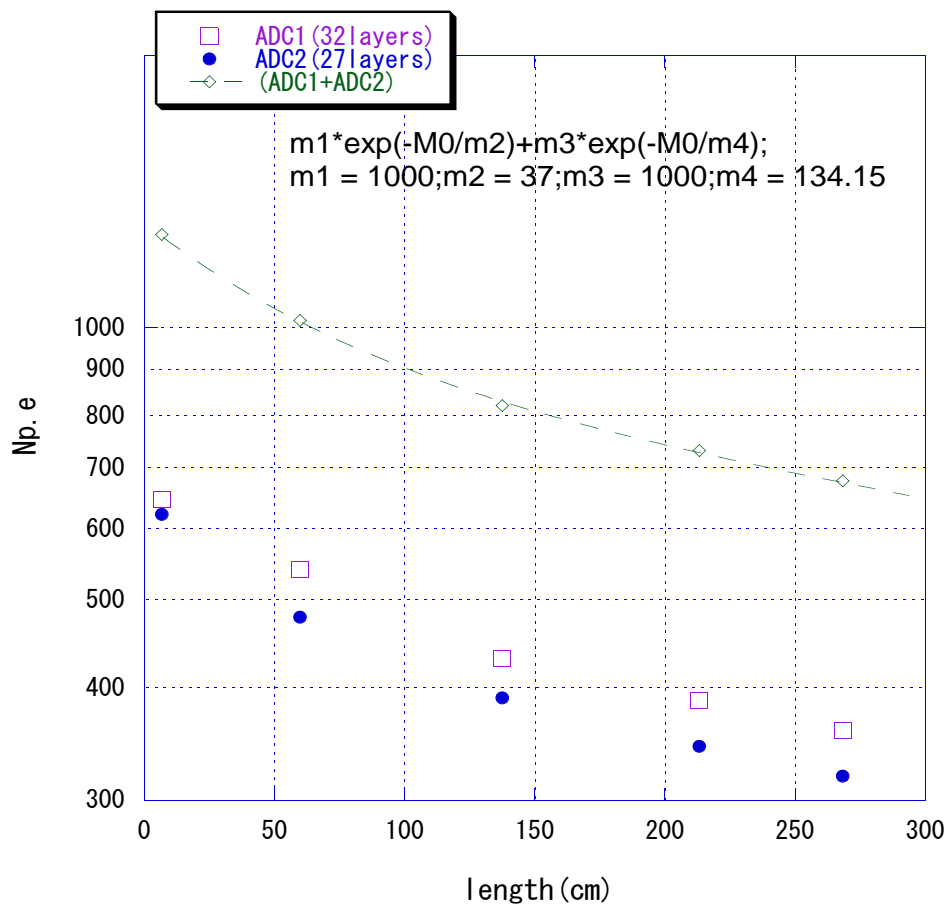


図 10: Module 全体の獲得光電子数の位置依存性

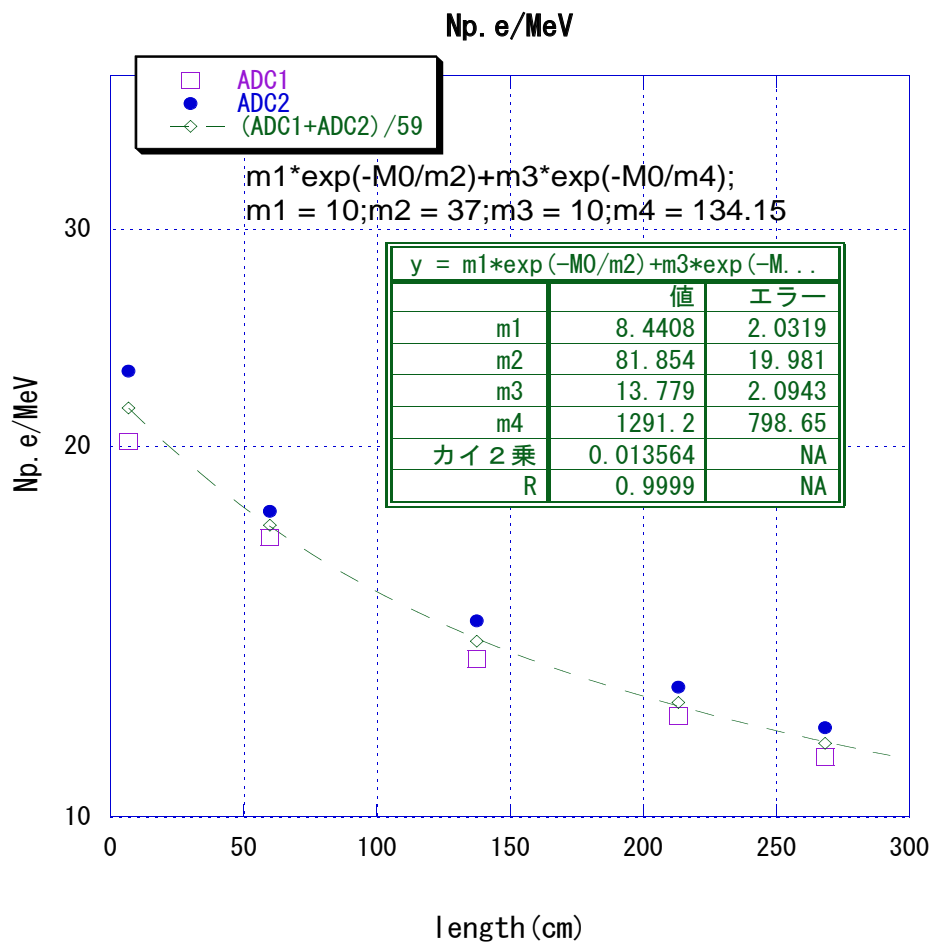


図 11: 1MeV 当たりの獲得光電子数の位置依存性

5 まとめ

2本の光電子増倍管の平均獲得光電子数(1MeV 当たり)と位置の関係は次のようになった。

	67mm(Np.e)	598mm(Np.e)	1410mm(Np.e)	2132mm(Np.e)	2683mm(Np.e)
ADC1(zk0957)	20.2	16.9	13.4	12.1	11.2
ADC2(zk0958)	23.0	17.7	14.4	12.8	11.8

中心付近では1MeV 当たりおよそ13.9p.e.の光量が得られたことになる。

以前に行った1m-Moduleのビームテストの結果得られた光量は、deposit energy 1MeV 当たりおよそ17~21p.e.であった。この値はPMT 両読み時の値なので、単純に2で割ることで片読みの値に換算する。また今回の測定ではプリズム光電面のPMTを用いたため、1m-Moduleのビームテストよりおよそ1.8倍の光量が得られると考えられる。よって換算後の光量はおよそ15.3~18.9p.e.となる。

ビームテストではビームの入射位置から片方のPMTまではfiberの長さがおよそ1.2mあった。今回の測定では1.2mの位置でおよそ17.2p.e.の光量が得られているので、1m-Moduleのビームテストの換算後の光量と矛盾しない結果が得られていると言える。