

リニアコライダー実験用 ストリップ・ファイバー電磁カロリメータの ビームテスト報告2

ーマルチアノード光電子増倍管の性能評価ー

1. テストモジュール
2. マルチアノード光電子増倍管
3. 増幅率
4. 応答一様性
5. 応答線形性
6. まとめ

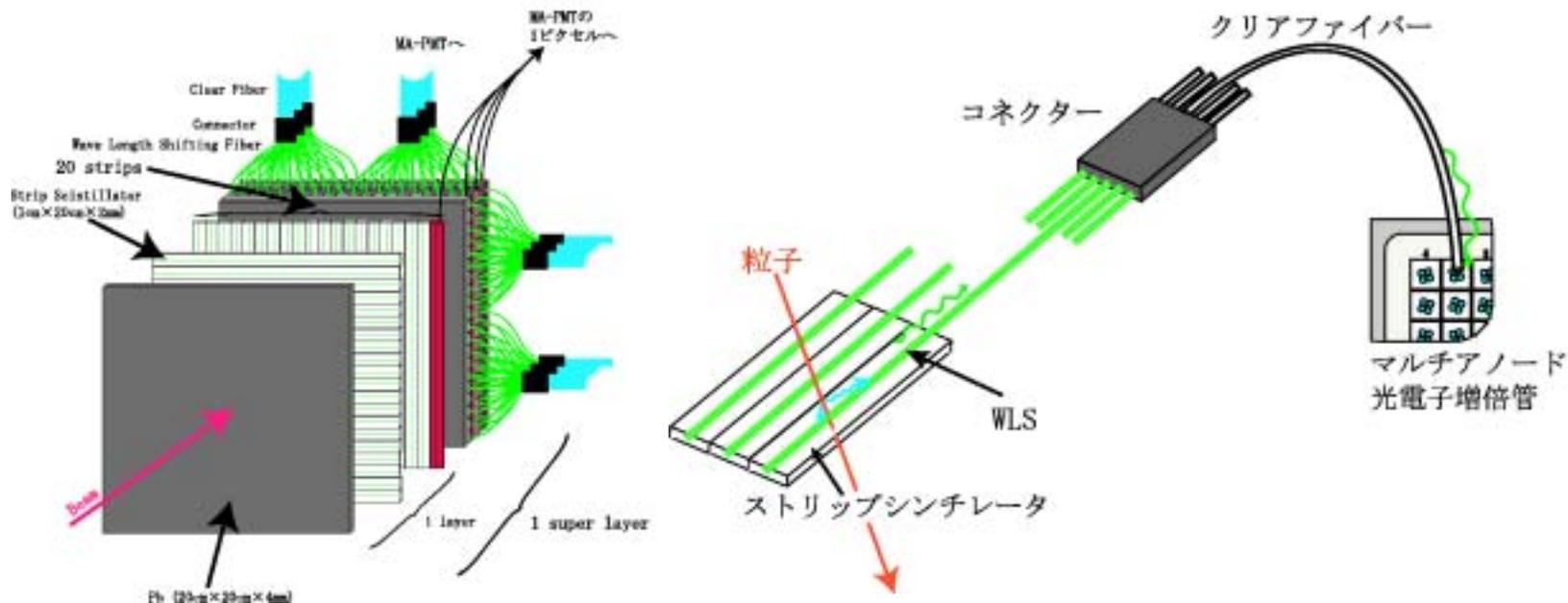
山内 伸 (筑波大)

他リニアコライダーカロリメータ
グループ

KEK、神戸大、甲南大、信州大、
筑波大、新潟大

ストリップ・ファイバー電磁カロリメータテストモジュール

20 × 1 × 0.2cm のストリップシンチレータを直交、
実効1cm角の細かいグラニューラリティ。



240チャンネル

マルチアノード光電子増倍管

光電子増倍管に対する要求

増幅率

$\sim 4 \times 10^6$

応答一様性

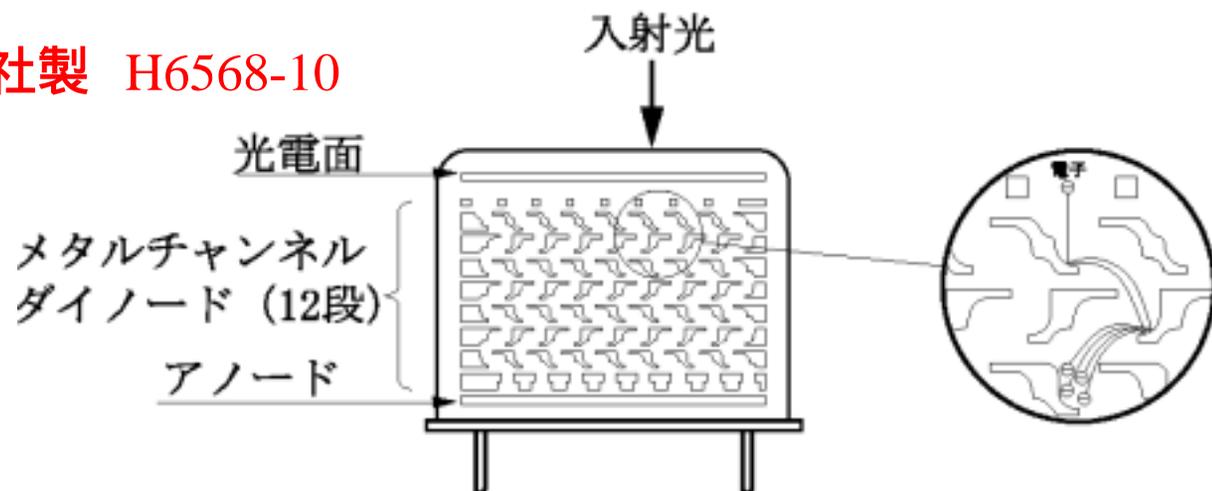
最大の応答が最小の応答の2倍以内

応答線形性

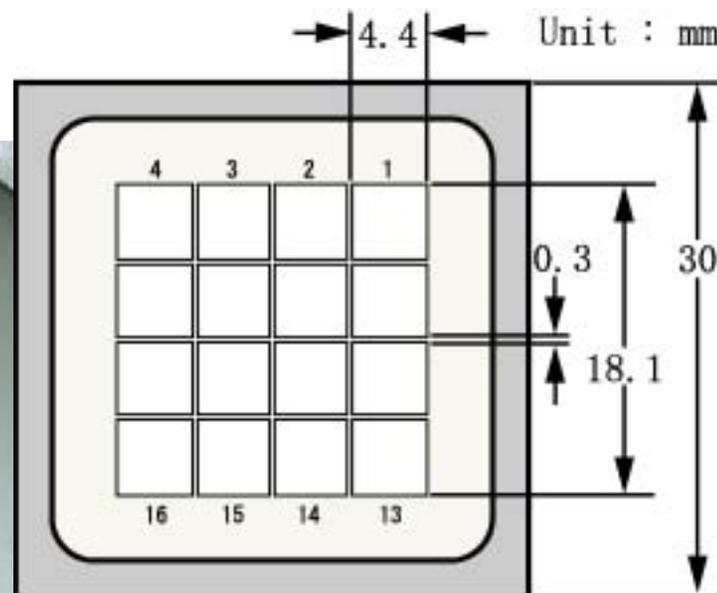
出力電荷200pCまで偏差5%以内

マルチアノード光電子増倍管

浜松ホトニクス社製 H6568-10

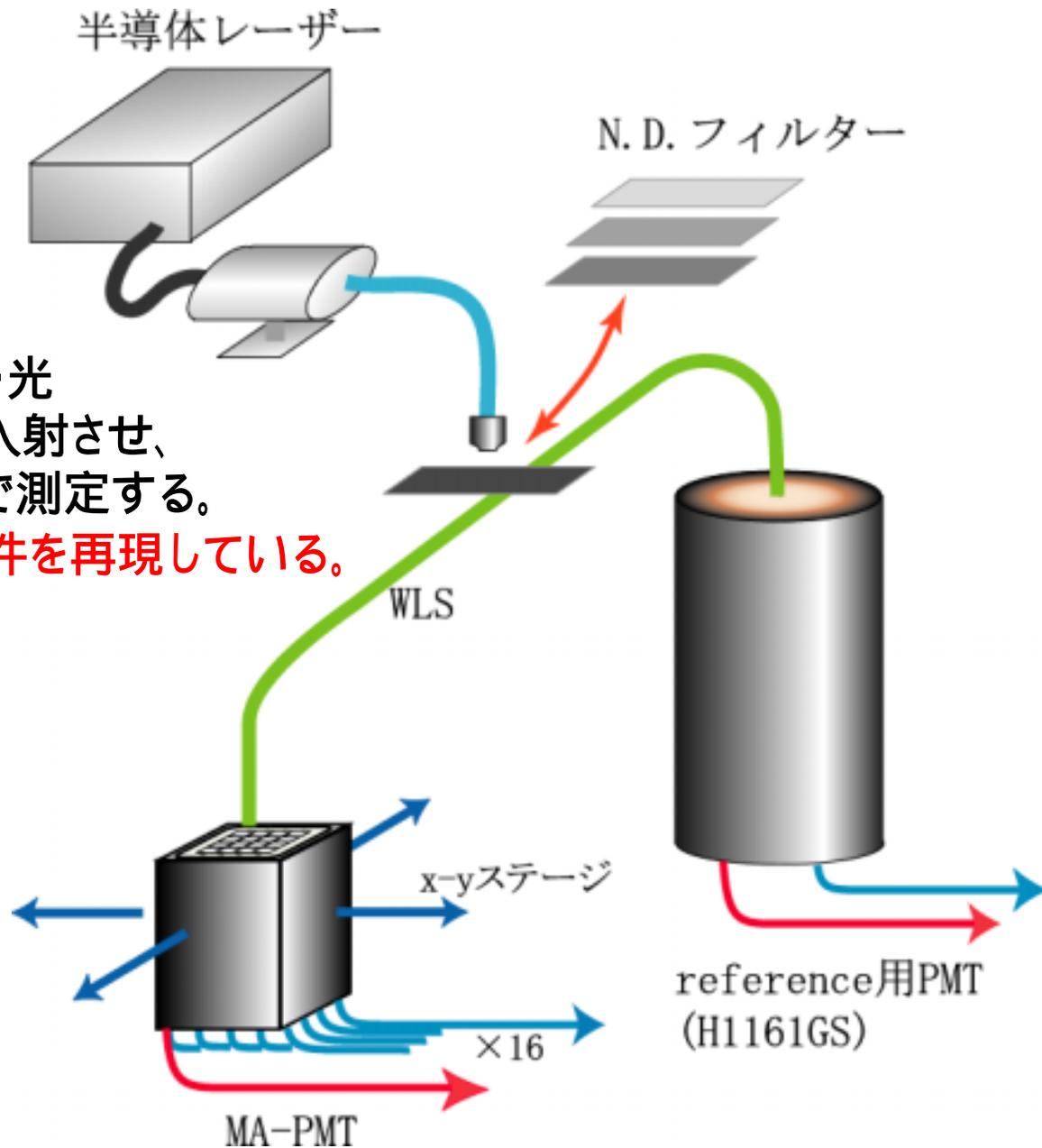


アノード部分が16に分割されており、
1本で16チャンネルの読み出しが可能。



測定装置

波長410nmのレーザー光
をWLS(0.83mm)に入射させ、
WLSからの光をPMTで測定する。
テストモジュールの条件を再現している。



増幅率

テストモジュールにおけるMIP信号は1チャンネル当たり $\bar{N}_{p.e.} \approx 15$ 。
この信号をMA-PMTにより 10pCに増幅させる。 **増幅率 4×10^6**

増幅率の定義

$$G \equiv \frac{Q}{N_{p.e.} \times e}$$

Q : 出力電荷
 $N_{p.e.}$: 第1ダイノードに到達する光電子数
 e : 素電荷

増幅率と印加電圧の関係

$$G(V) = \alpha \times V^\beta$$

α : PMTに固有の定数
 V : 印加電圧

$G(V) = 4 \times 10^6$ とするために必要な印加電圧を V 求めるには、
、 の値を知らなければならない。
シングル・フォトエレクトロンピーク
印加電圧に対する応答の変化

シングル・フォトエレクトロンピーク

光電面から放出される光電子数は
ポアソン分布に従う。

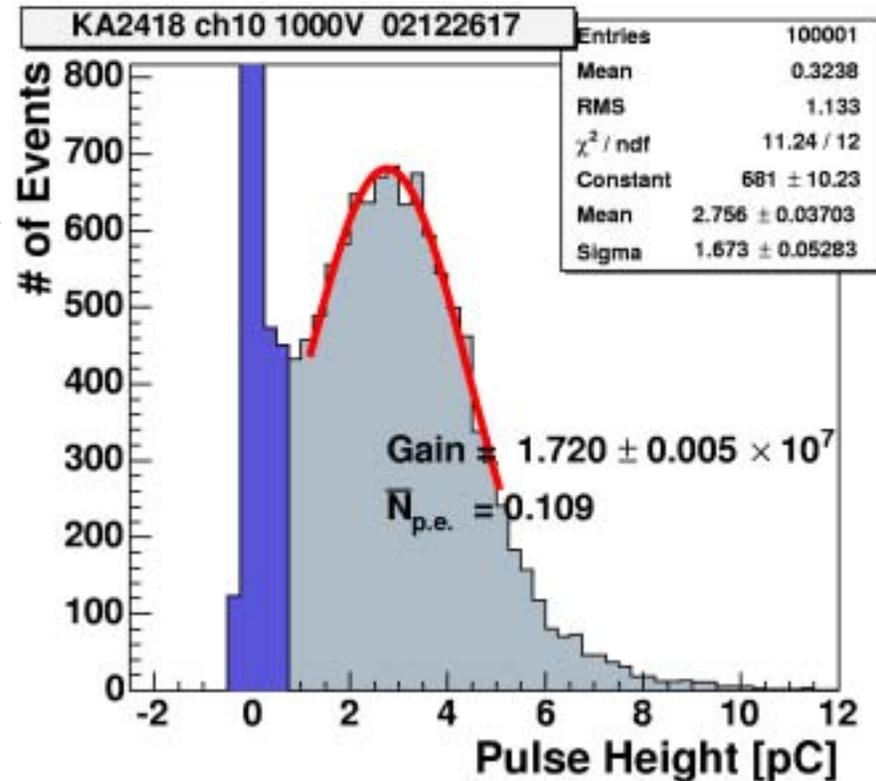
$$P_{\mu}(n) = \frac{e^{-\mu}}{n!} \mu^n$$

光量を平均光電子数 $\bar{N}_{p.e.} = \mu \approx 0.1$
となるように減衰させると、
光電子が1つ出る確率 9%
に対し2個以上出る確率 0.5%
が無視できる。

$$G_{SPP} = \frac{Q_{SPP}}{1 \times e}$$

$$G(V_{SPP}) = \alpha \times V_{SPP}^{\beta} = G_{SPP}$$

$$\alpha = G_{SPP} \times \left(\frac{1}{V_{SPP}} \right)^{\beta}$$



印加電圧に対する応答の変化

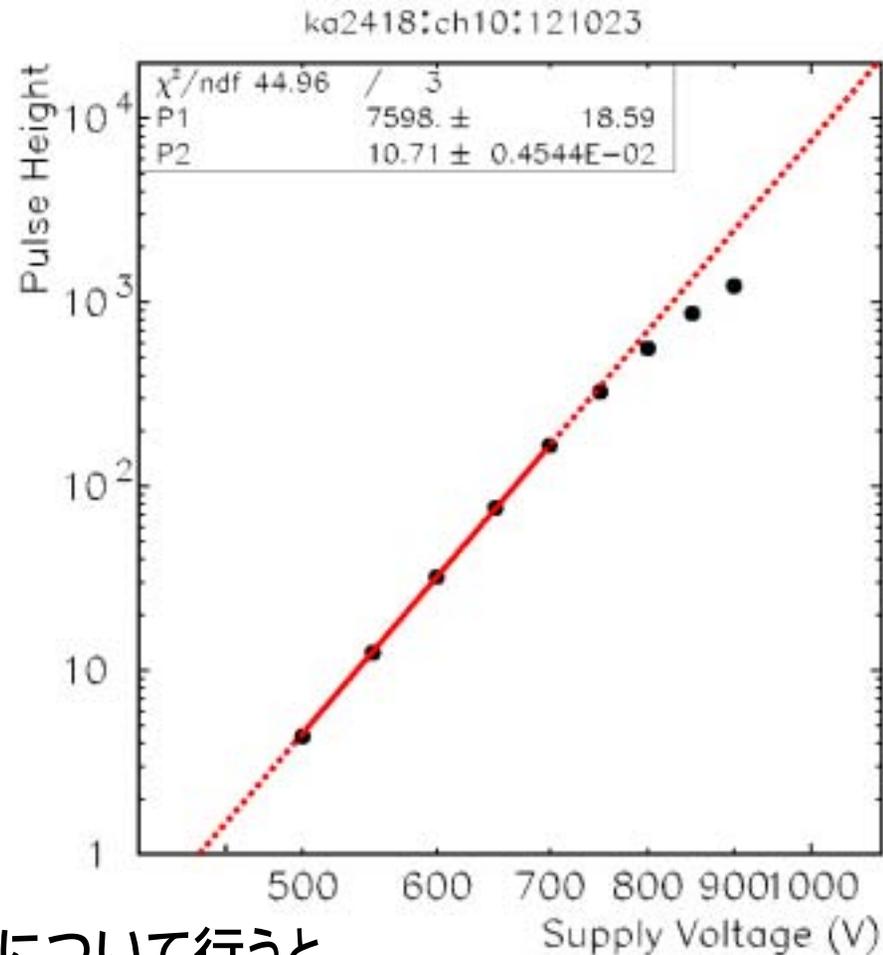
増幅率と印加電圧の関係は、

$$G = \alpha \times V^\beta$$

印加電圧に対する応答の変化を両対数プロットにするとその傾きが β となる。

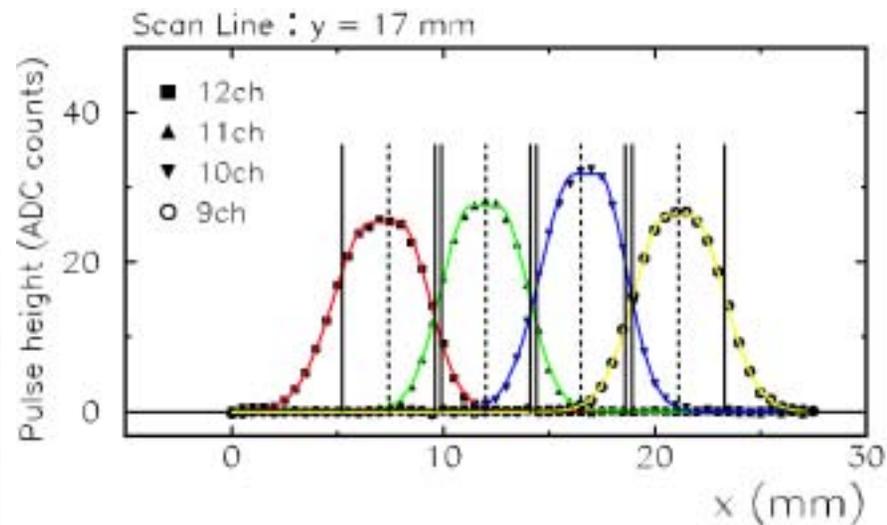
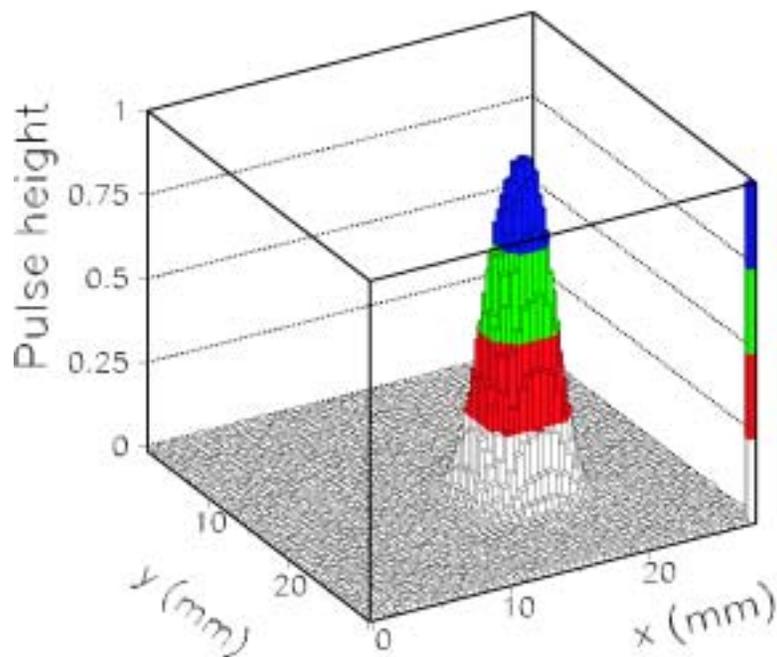
$$G(V) = G_{SPP} \left(\frac{V}{V_{SPP}} \right)^\beta$$

同様の測定をMA-PMT16本について行くと、増幅率 4×10^6 を得るには、印加電圧を800 ~ 850Vに設定すればよい。



応答一様性

光電面上の位置による感度の均一性



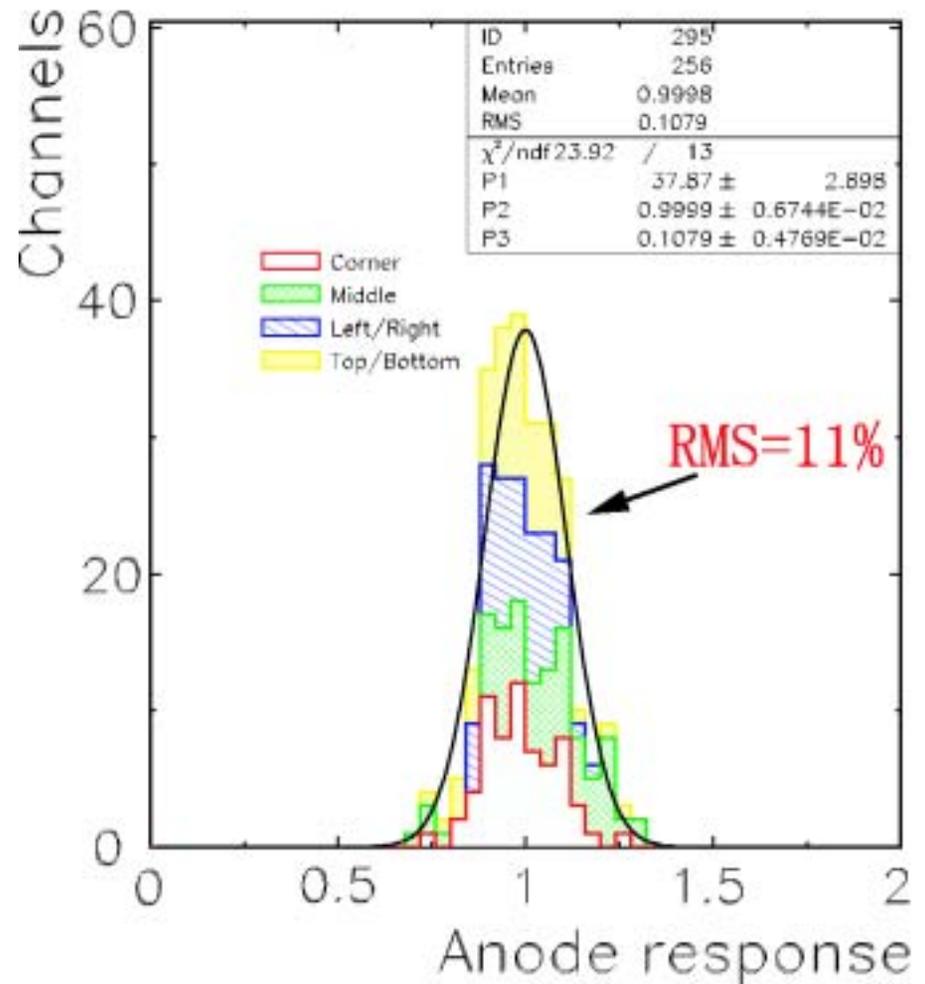
テストモジュールではチャンネルの中心にファイバーを固定する。チャンネル中心位置でのチャンネル間応答一様性が重要。

チャンネル間応答一様性

1本のMA-PMT内での
チャンネル間応答一様性

ch1	ch2	ch3	ch4
0.90	0.82	0.83	0.91
1.02	1.22	1.04	0.96
1.02	1.24	1.09	0.99
0.98	1.04	1.00	0.94
ch13	ch14	ch15	ch16

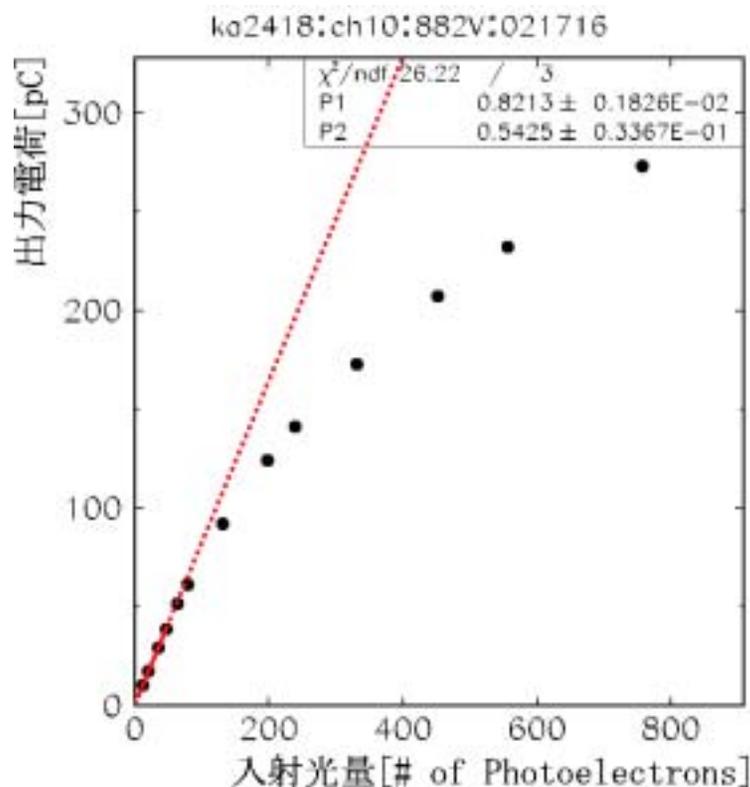
16本(256チャンネル)の応答の分布



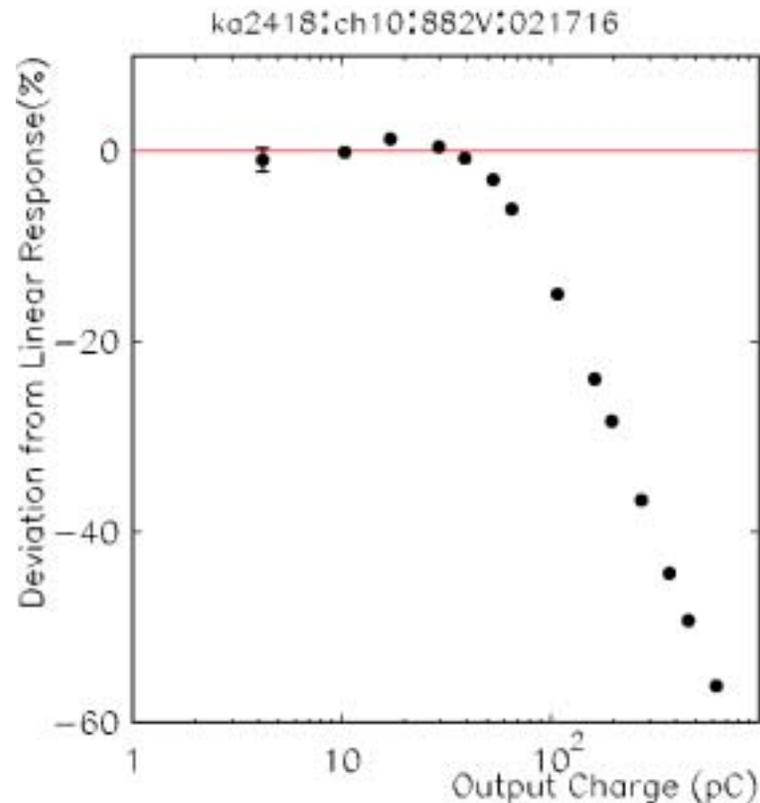
最大の応答が最小の応答の2倍以内 **要求を満たす。**

応答線形性

印加電圧を一定にし、
光量を変化させる。



線形性からのずれ



5% 以内で線形性が保たれるのは ~ 60 pC まで、
要求の 200 pC では $\sim 30\%$ のずれが生じる。

要求を満たさない。ビームテストではサチュレーションを起こす。

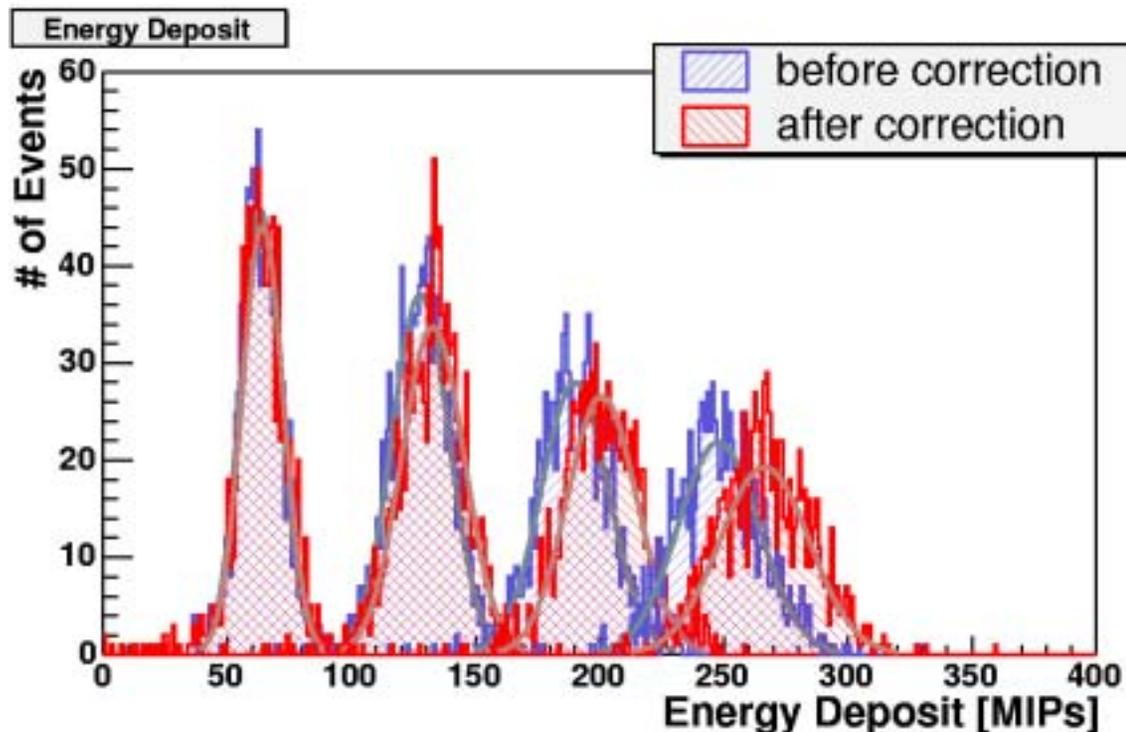
ビームテストデータの補正

ビームテストのデータを補正することにより、
PMTのサチュレーションの効果をなくす。

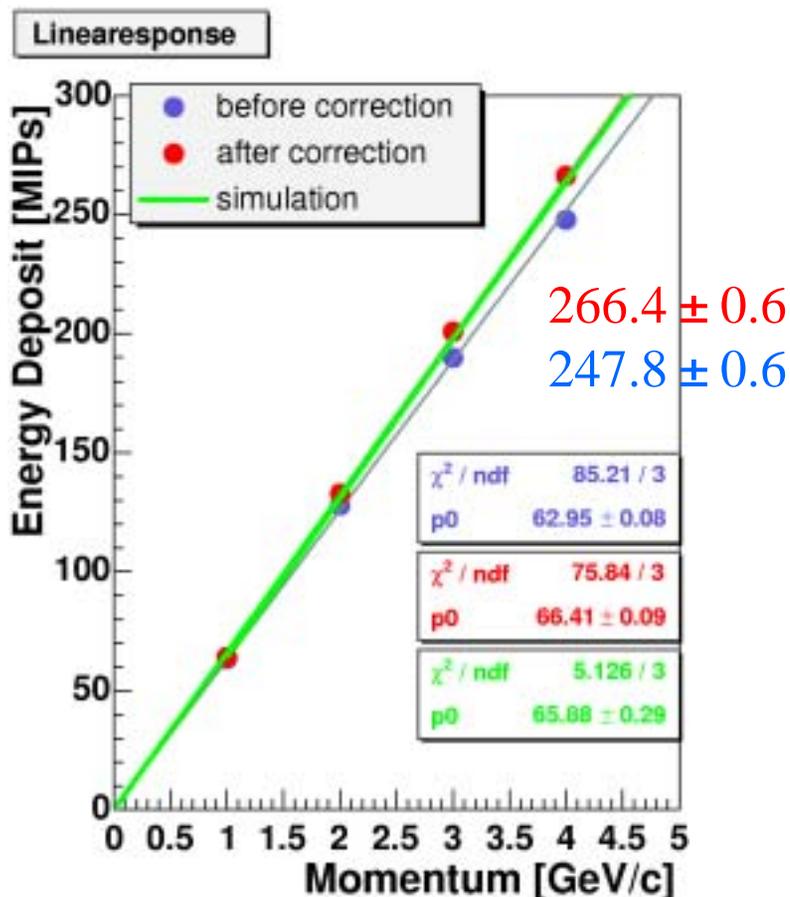
$$Q_{true} = \begin{cases} Q_{obs} & [Q_{obs} < a] \\ \frac{Q_{obs}}{y(Q_{obs})+1} & [a < Q_{obs}] \end{cases}$$

$y(Q_{obs})$: 線形性からのずれ
 a : 線形性が保たれる
最大の出力電荷

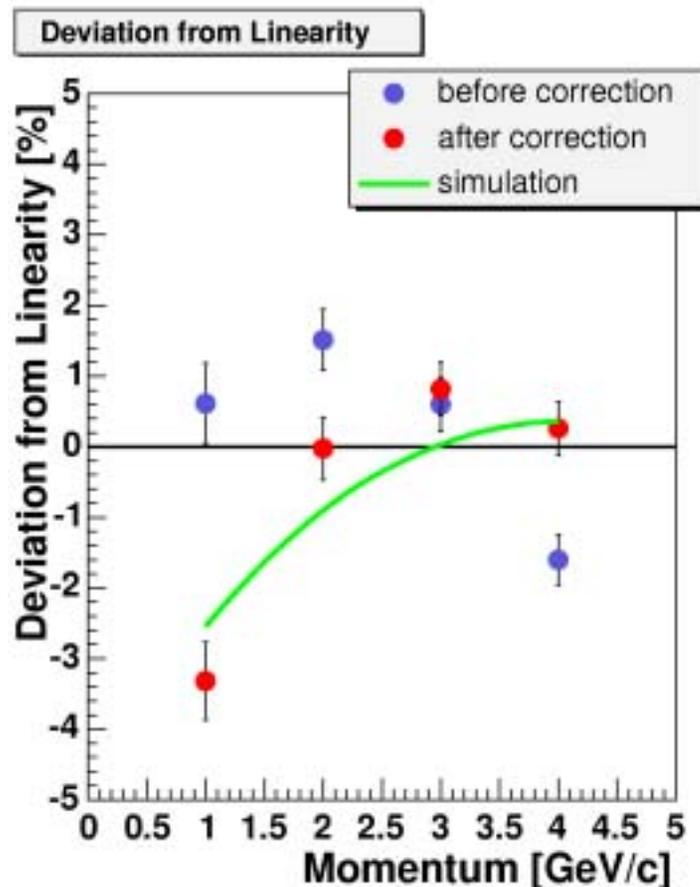
Energy Deposit の補正前と、補正後。



テストモジュールの線形性

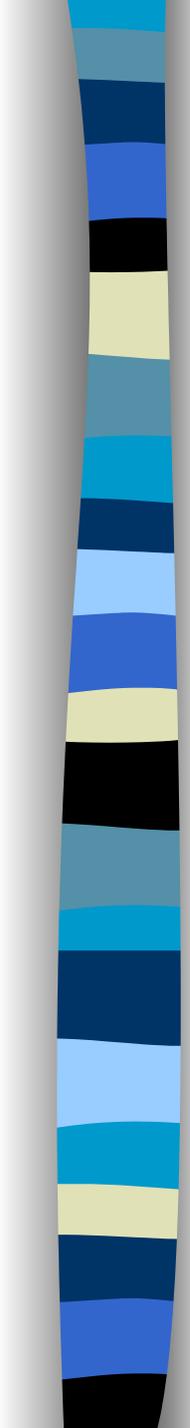


線形性からのずれ



補正前に比べて補正後の方がシミュレーションの結果と一致する。

エネルギー分解能は4GeV/c入射時、
補正前 $6.6 \pm 0.2\%$ 補正後 $6.8 \pm 0.2\%$ となり、違いは見られない。



まとめ

増幅率

要求の 4×10^6 にするには、
印加電圧を800V ~ 850Vに設定すればよい。

応答一様性

256チャンネルの応答の分布から、
最大の応答が最小の応答の2倍以内という要求は
満たされる。

応答線形性

5%以内で線形性が保たれるのは ~ 60pCまで。
200pCでは ~ 30%のずれがあり、要求を満たさない。
したがって、ビームテストではPMTがサチュレーションを
起こしている。
しかし、補正することによりシミュレーションの結果に近づいた。
また、エネルギー分解能はサチュレーションの影響を
受けないことがわかった。