

ミハイパー核分光実験のための
水チエレンコフ検出器の開発
～研究会@熱川～

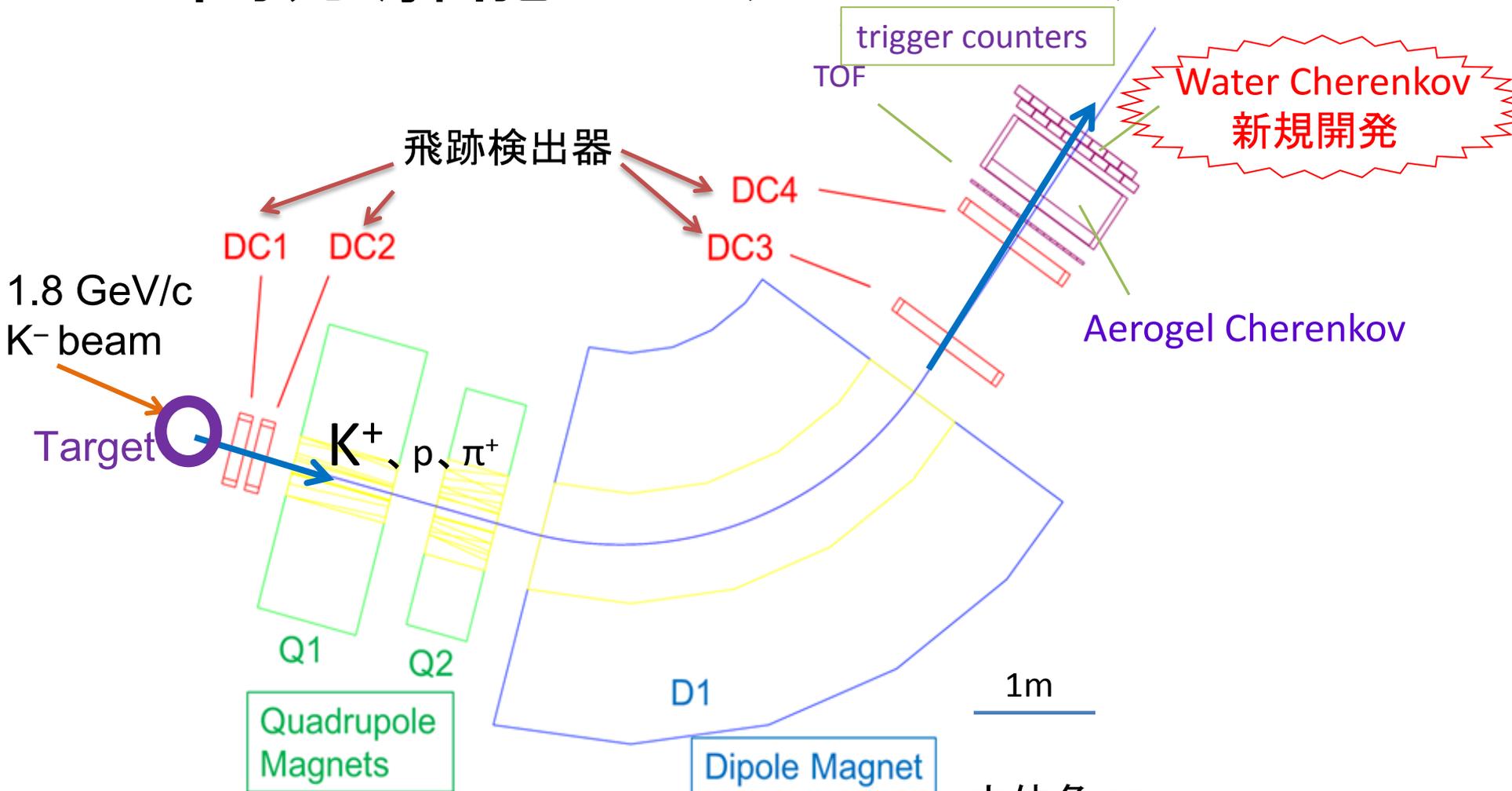
2014/9/26

竹中耕平(京都大)

概要

- 水チェレンコフ検出器の導入
- 開発方針
- ELPHでのテスト実験

高分解能スペクトロメータS-2S



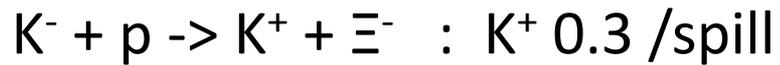
立体角 55msr

運動量分解能 $dp/p < 5 \times 10^{-4}$

運動量領域 1.2 ~ 1.4 GeV/c

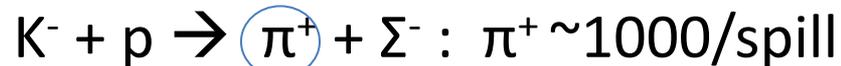
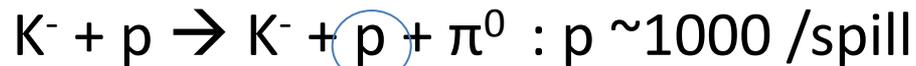
水チェレンコフ検出器の役割

見たい信号



 K^- ビーム : $10^6 / \text{spill}$ のとき

バックグラウンド



π^+ 、 p がトリガーレートを圧迫
データ取得効率が著しく低下  π^+ 、 p のトリガーレートを
100/spill 程度にしたい

π^+ : エアロジェル検出器 : 既存のもので 99.9 % 抑制

p : 水チェレンコフ検出器 : 90 % 抑制を目標に新規開発

水チェレンコフ検出器の原理

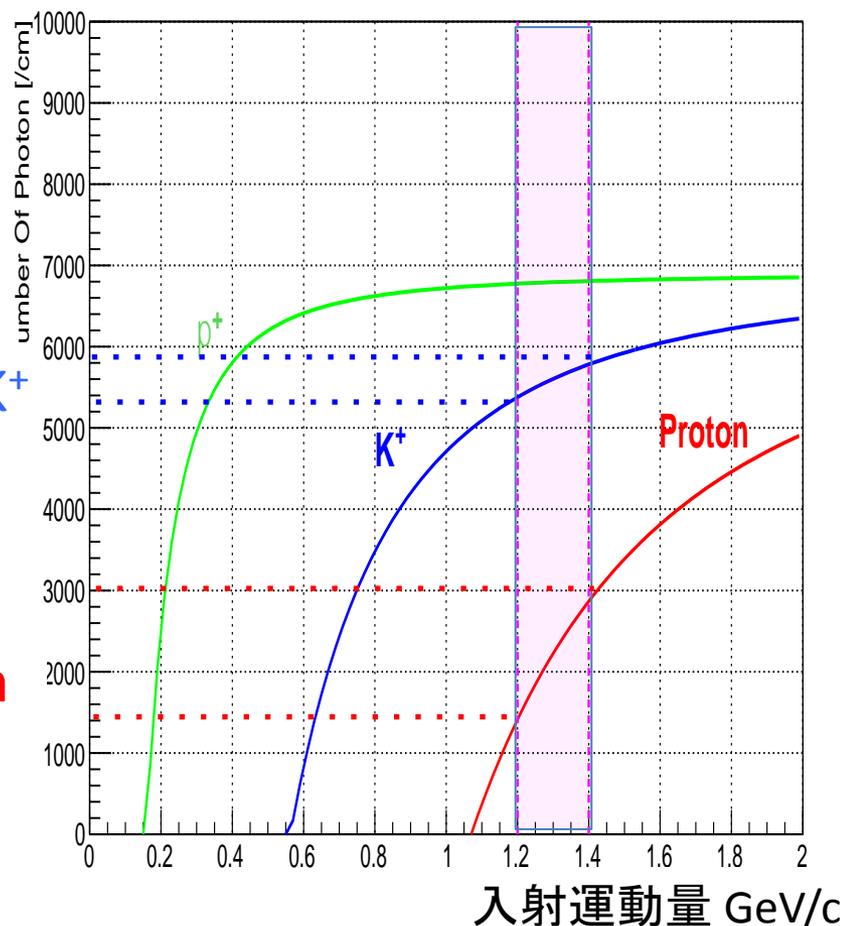
N.P. vs Momentum ($n = 1.33$)

原理:
チェレンコフ光の光量で K^+ と p
をわけ

K^+ 、p の速度の違い
で光量に差が生じる

K^+ と p をはっきりわけ
ためには、光量を大きくして
光量差を大きくすることが
必要

K^+
Proton



純水($n=1.33$)を通過したときの
チェレンコフ光と運動量の関係

概要

- 水チェレンコフ検出器の導入
- 開発方針
- ELPHでのテスト実験

水チェレンコフ検出器の開発方針

チェレンコフ光は光電子増倍管(PMT)を使って光電子として検出するので

光電子数を多くして陽子除去効率を上げる

- 発光量を増やす → 粒子の通過距離を長くする
- 光の減衰、吸収を抑える → 反射材、透過窓の工夫
- 光電子への変換効率を上げる → 量子効率の高いPMTを使う

光電子数 = the number of photoelectron = N.P.E.

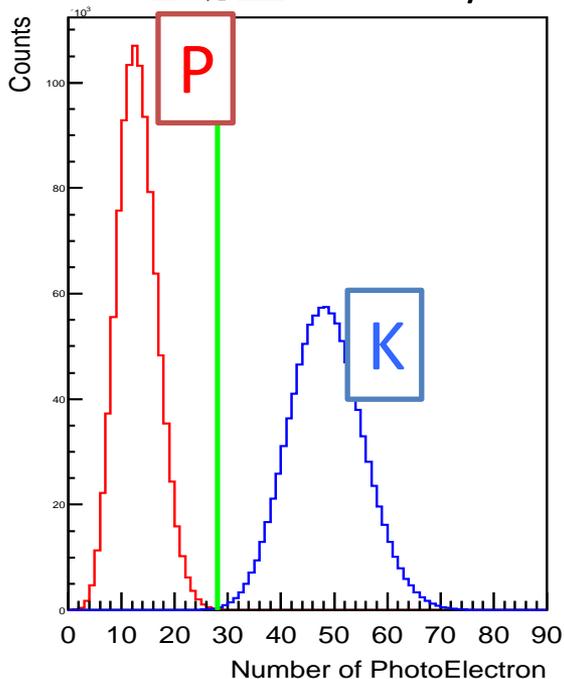
必要な光電子数の見積もり

$$\text{平均光電子数} = a \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \quad n=1.33, \beta = \text{速度}, a \text{ 定数}$$

光電子数分布 : ポアソン分布

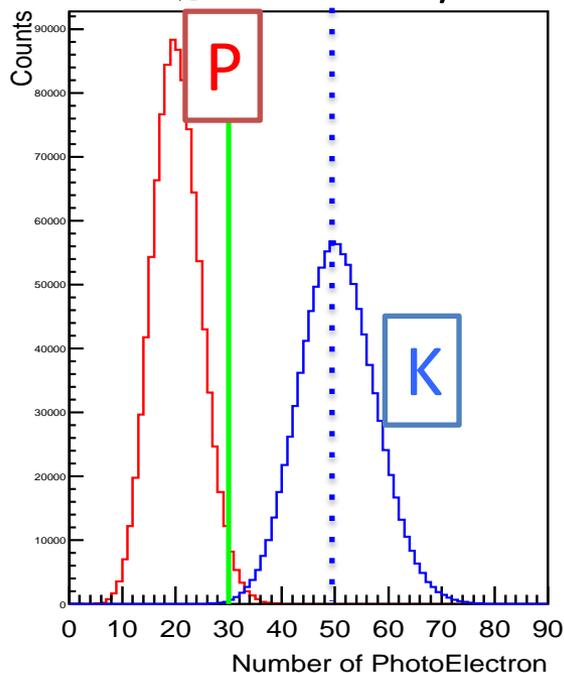
1.3GeV/c K^+ の平均光電子数が50個のとき

運動量 1.2 GeV/c



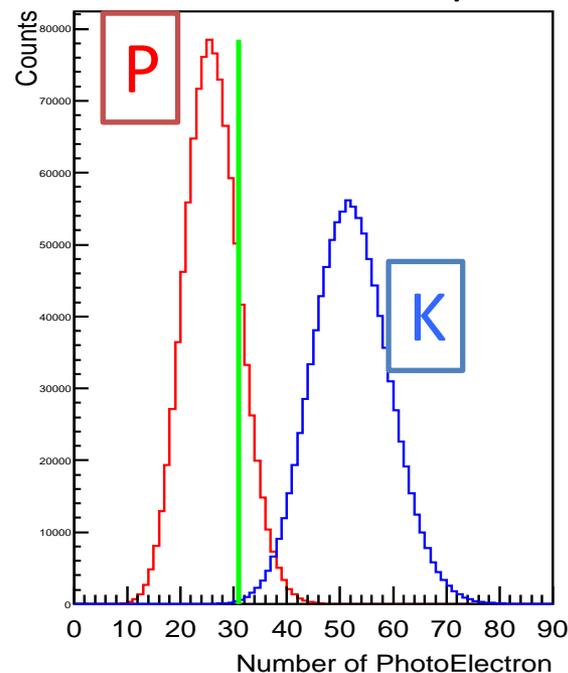
陽子除去効率 : 99.9%

運動量 1.3 GeV/c



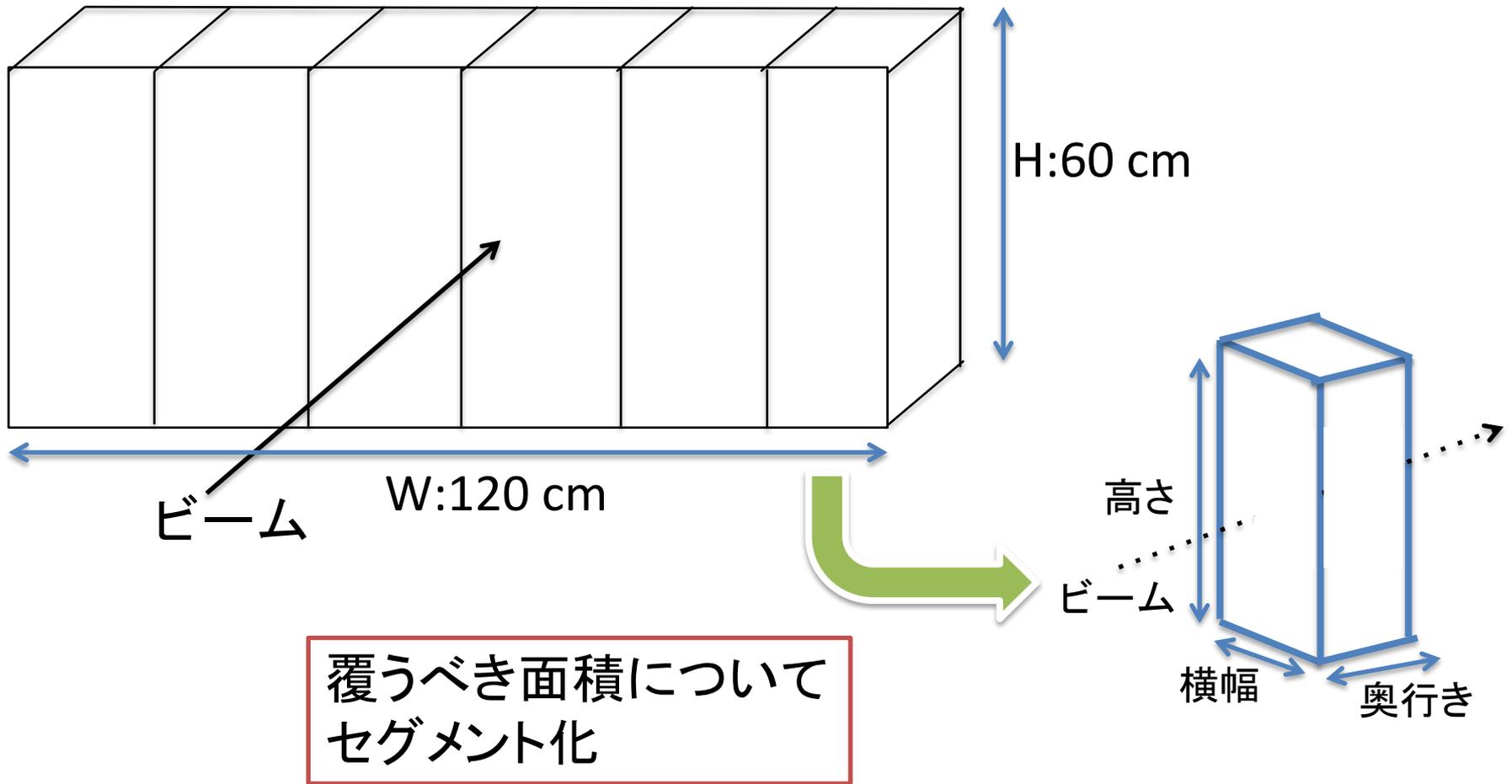
陽子除去効率 : 97.8%

運動量 1.4 GeV/c



陽子除去効率 : 83.3%

Required effective area and segmentation



容器の大きさ

モンテカルロシミュレーションを用いて光電子数を計算した

: 光電子増倍管の量子効率、窓の透過率、反射材の反射率を考慮

高さ → 散乱粒子の広がりにあわせた: 60 cm

横幅 20 cm 奥行き 15 cm に決定

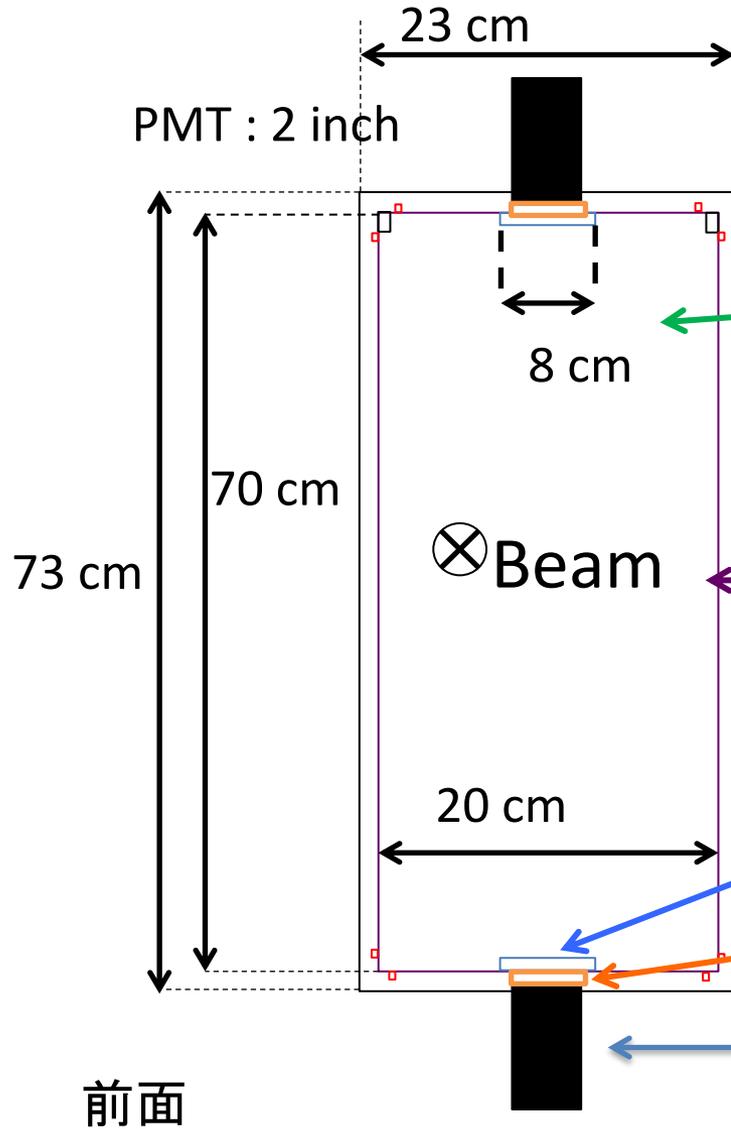


高さ70cm, 横20cm, 厚み15cmに決定

光電子数



製作した試作機



有感領域の大きさ

70cm H 20 cm W 15 cm T

輻射体 : 純水 ($n=1.33$)

容器 : アクリル

乱反射材 : Tyvekシート
(耐性、反射性、安価)



窓 : UVTアクリル
厚さ 5mm

PMT 窓 : UVガラス

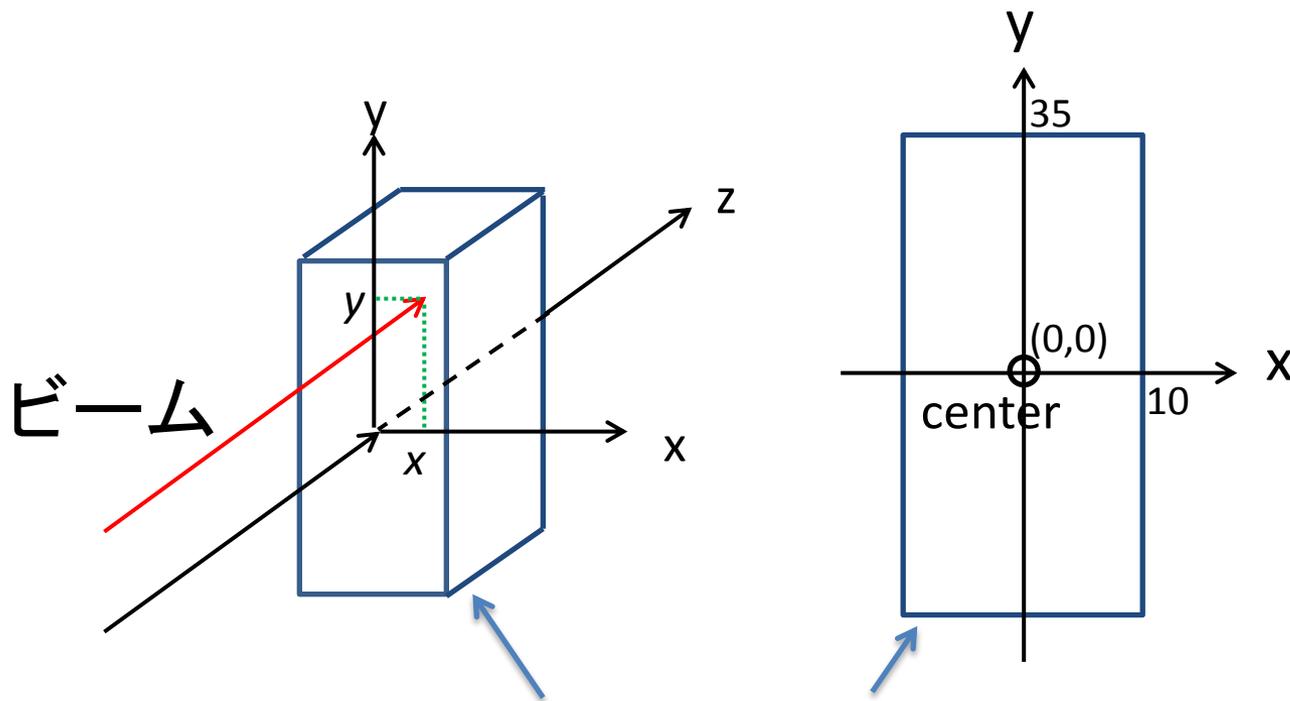
PMT : H11284(SBA)
量子効率35%

前回 :
H7195(25%)

概要

- 水チェレンコフ検出器の導入
- 開発方針
- **ELPHでのテスト実験**

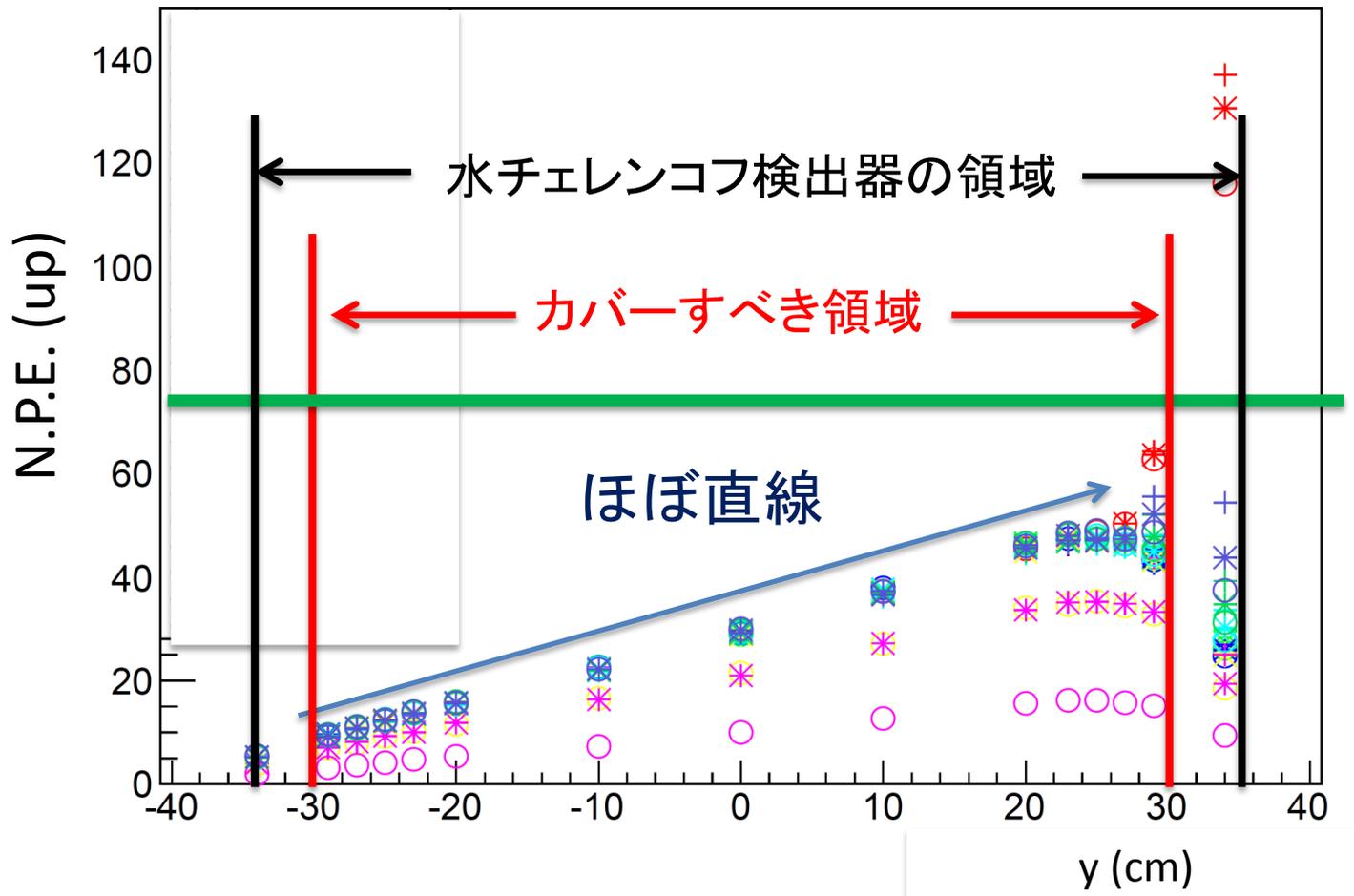
X,Y,Zの定義



水チェレンコフ検出器

N.P.E.の入射y依存性

simulation



上下を足すと
ほぼ一定になる

Geant4の計算から予想されるN.P.E.の入射y依存性

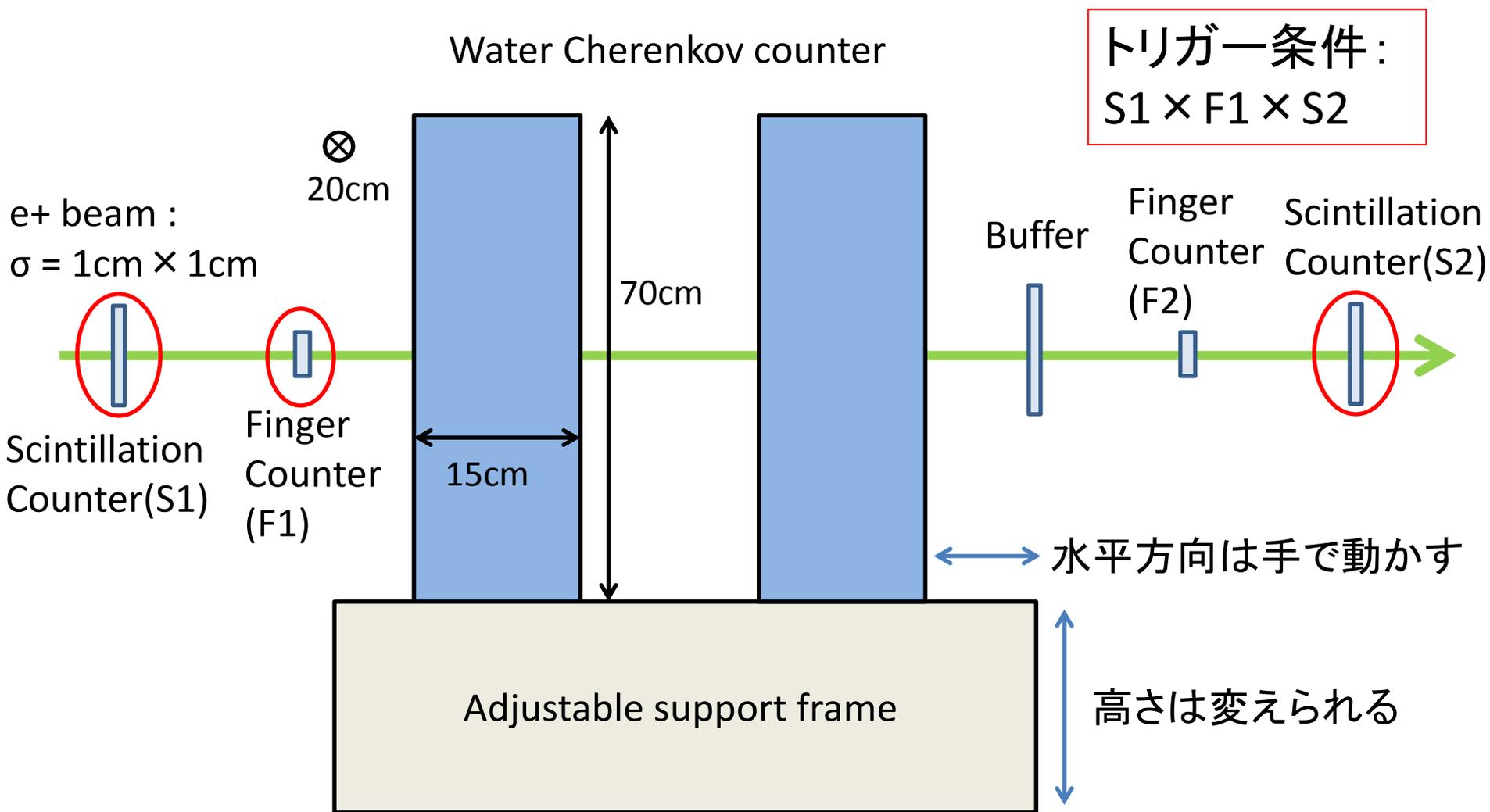
実験の目的

- K^+ のN.P.E.>50 & 陽子除去効率>90%を確認する
- N.P.E.の位置(xy)依存性の調べ、それを考慮した上で陽子除去効率を見積もる

ELPH

- GeV γ 実験棟の陽電子ビームライン
- Beam : e^+ 500MeV/c
- Beam intensity : 1kHz
- Beam spot : 1cm*1cm

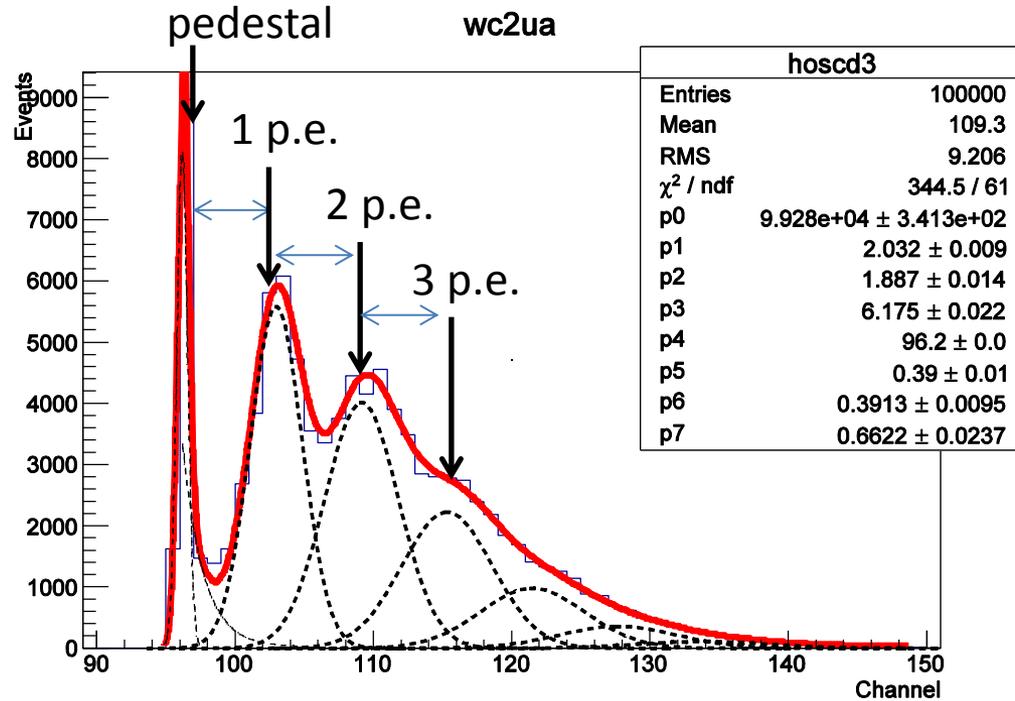
ELPHにおけるテスト実験のSetup1



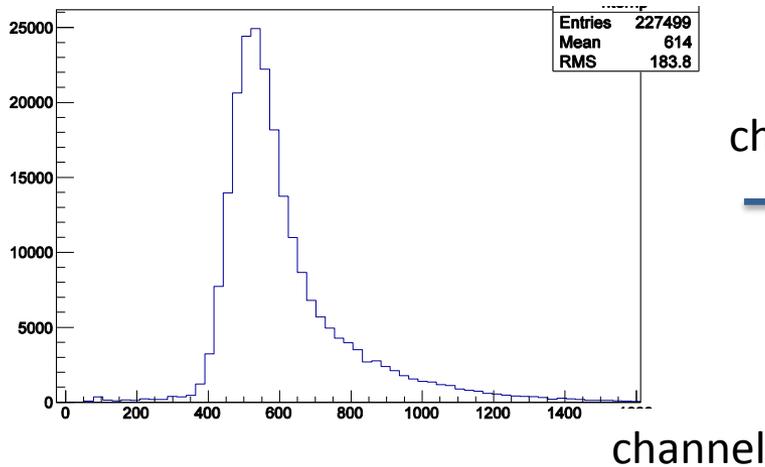


PMT装着用窓からLEDを見たときの写真

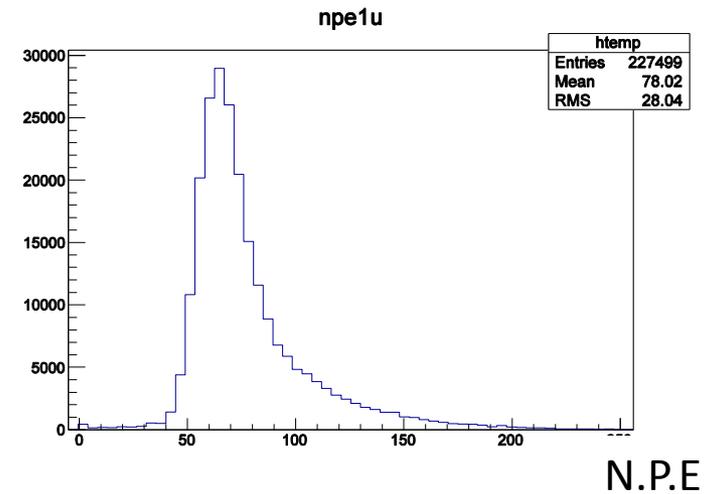
LEDのヒストグラムによるCalibration



1 photoelectron (p.e.)当たりの
チャンネル数を求め、WCの
ADCヒストグラムをN.P.E.に変換



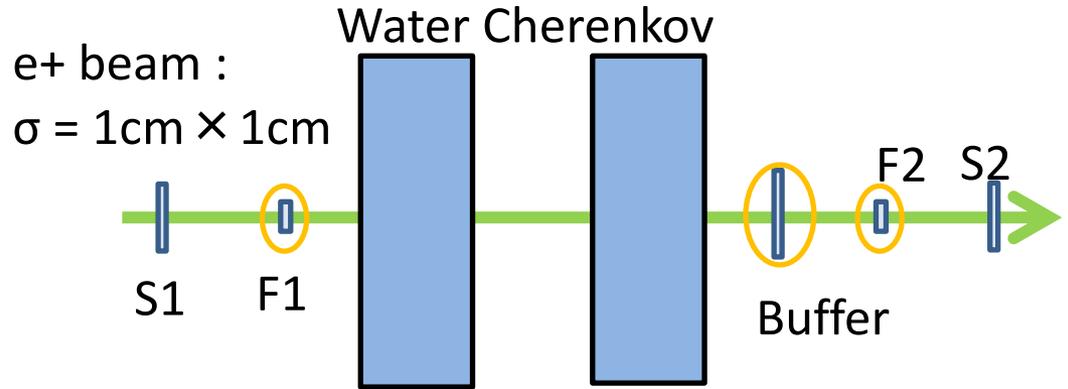
channel \rightarrow N.P.E.



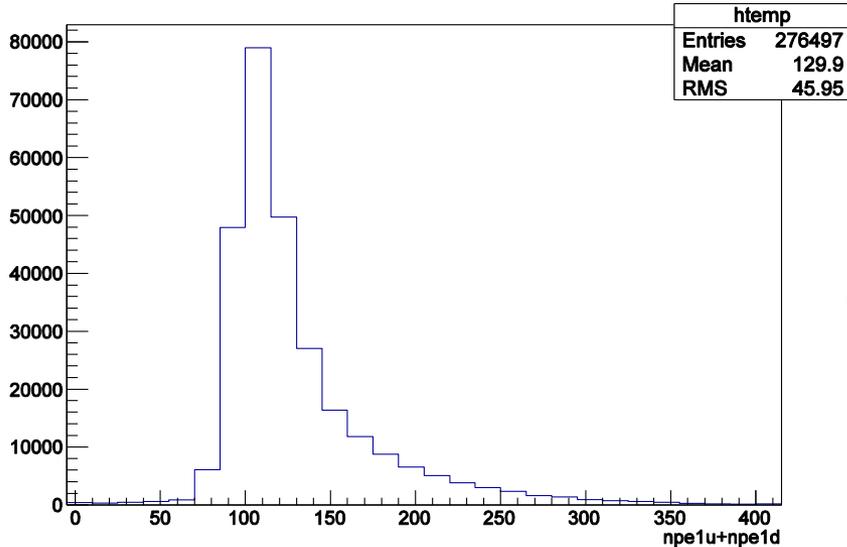
Event Selection

要求:

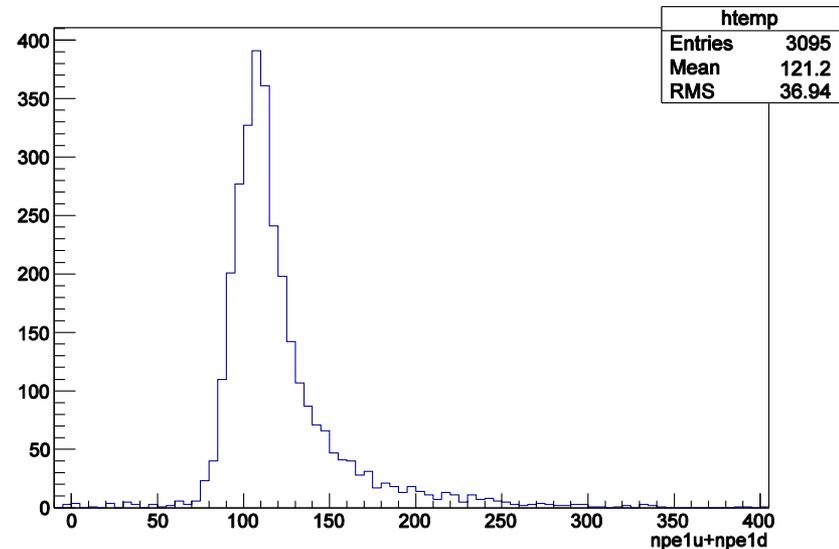
- Bufferに当たっていない
- Finger1,2に当たっている



npe1u+npe1d

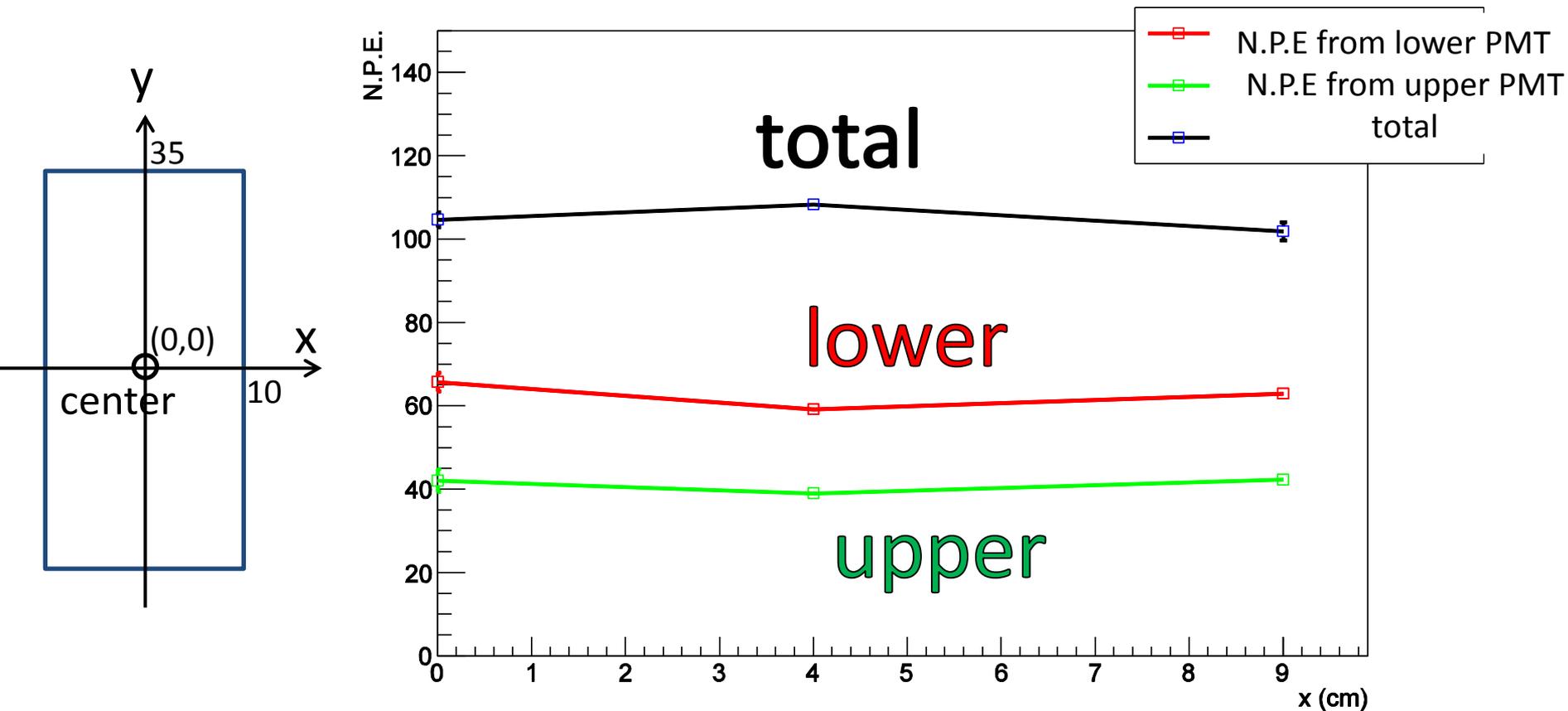


npe1u+npe1d (f1a>950&&f1a<1350&&f2a>550&&f2a<850&&ba<100&&f2l>600&&f2l<1400)



結果「N.P.E.のx依存性」

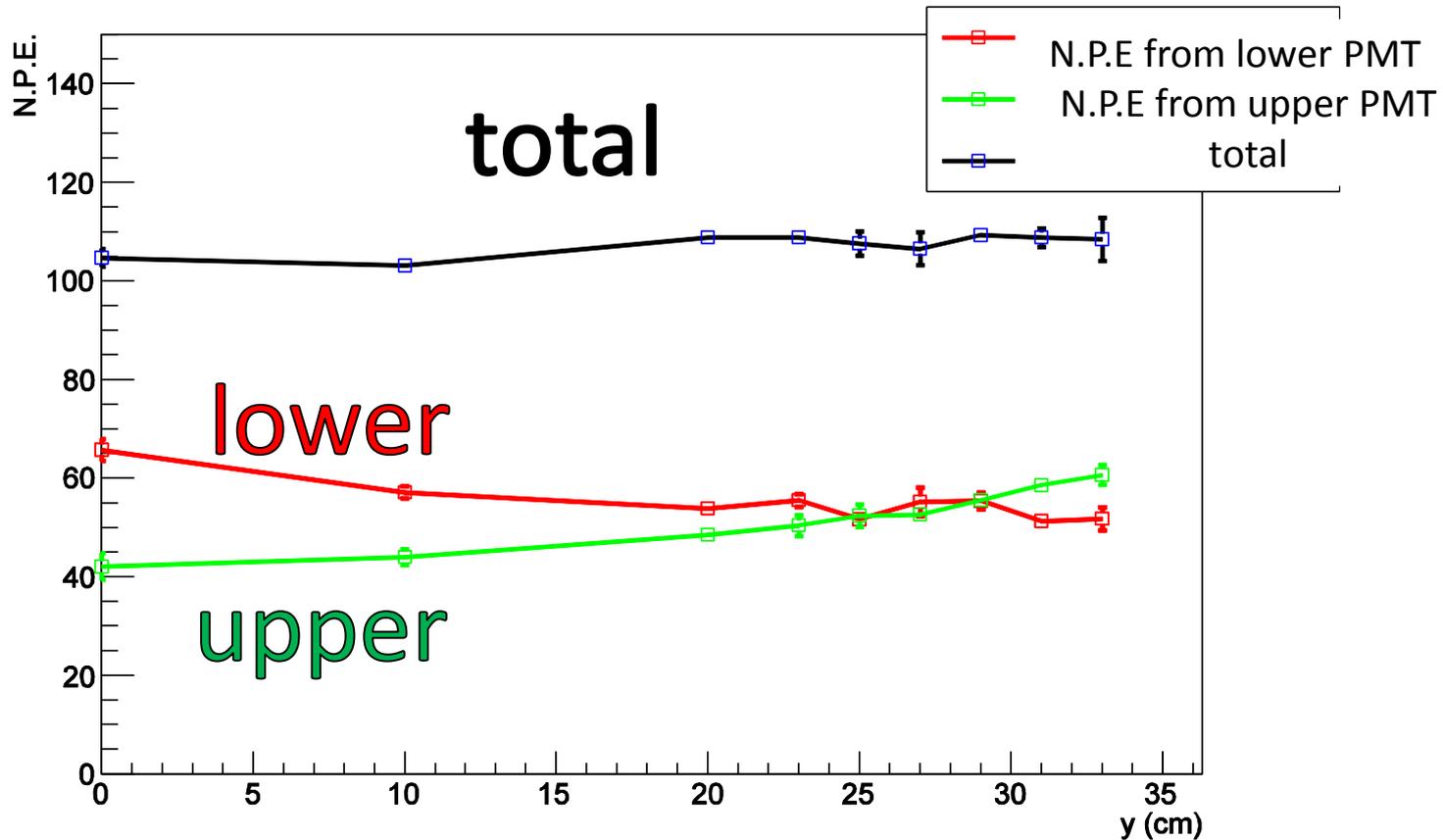
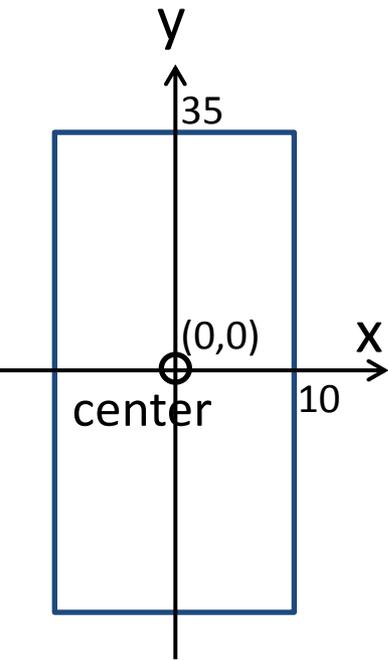
NPE's x-dependence at y=0(cm)



y=0 (cm)でのN.P.E.のx依存性

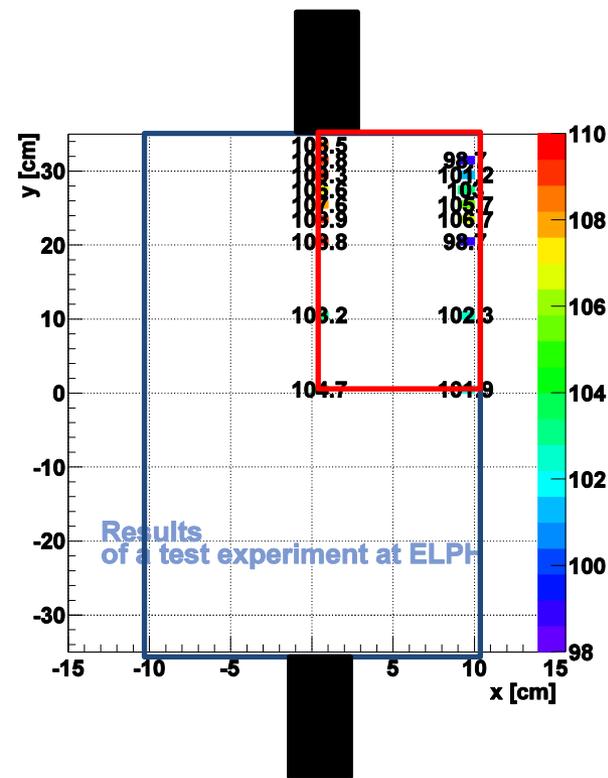
結果「N.P.E.のY依存性」

NPE's y-dependence at x=0(cm)

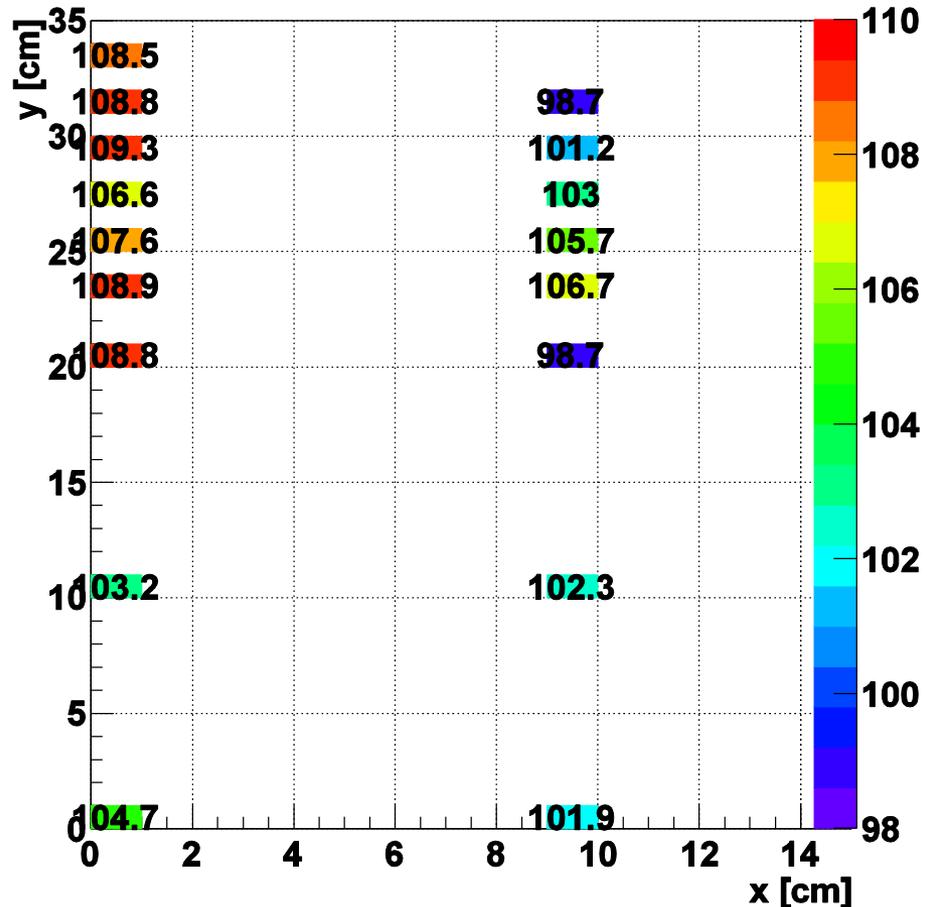


x=0 (cm)でのN.P.E.のy依存性

結果「上下のPMTの合計のN.P.E.」



拡大
→



上側と下側のPMTからの光電子数の和

$N.P.E. = 103.8 \pm 3.4$

平均値と最大値、最小値の変化率は5%

陽子除去効率の計算

$$\text{光電子数} = a \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \quad n=1.33, \beta = \text{速度}, a \text{ 定数}$$

- 光電子数:

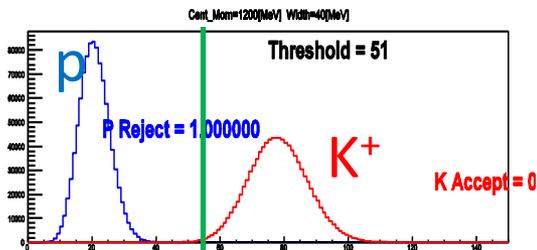
e^+ ($\beta \approx 1$) で 103.8 個 →

	1.4GeV/c	1.3GeV/c	1.2GeV/c
K^+	86.9	84.3	80.9
p	43.2	33.5	21.3

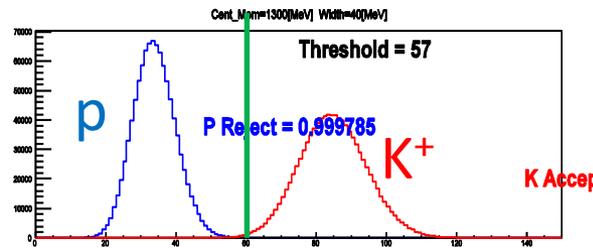
- 光電子数分布:

- ポアソン分布
- 1セグメントに対してカバーしている運動量領域: 3%
- 位置依存性による光電子数の誤差: 5%

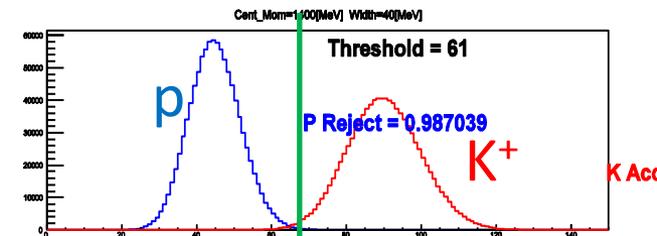
K^+ を 99.9% 取るときの陽子を排除する率を計算



1.2GeV/c で 100%



1.3GeV/c で 99.9%



1.4GeV/c で 98.7%

結論

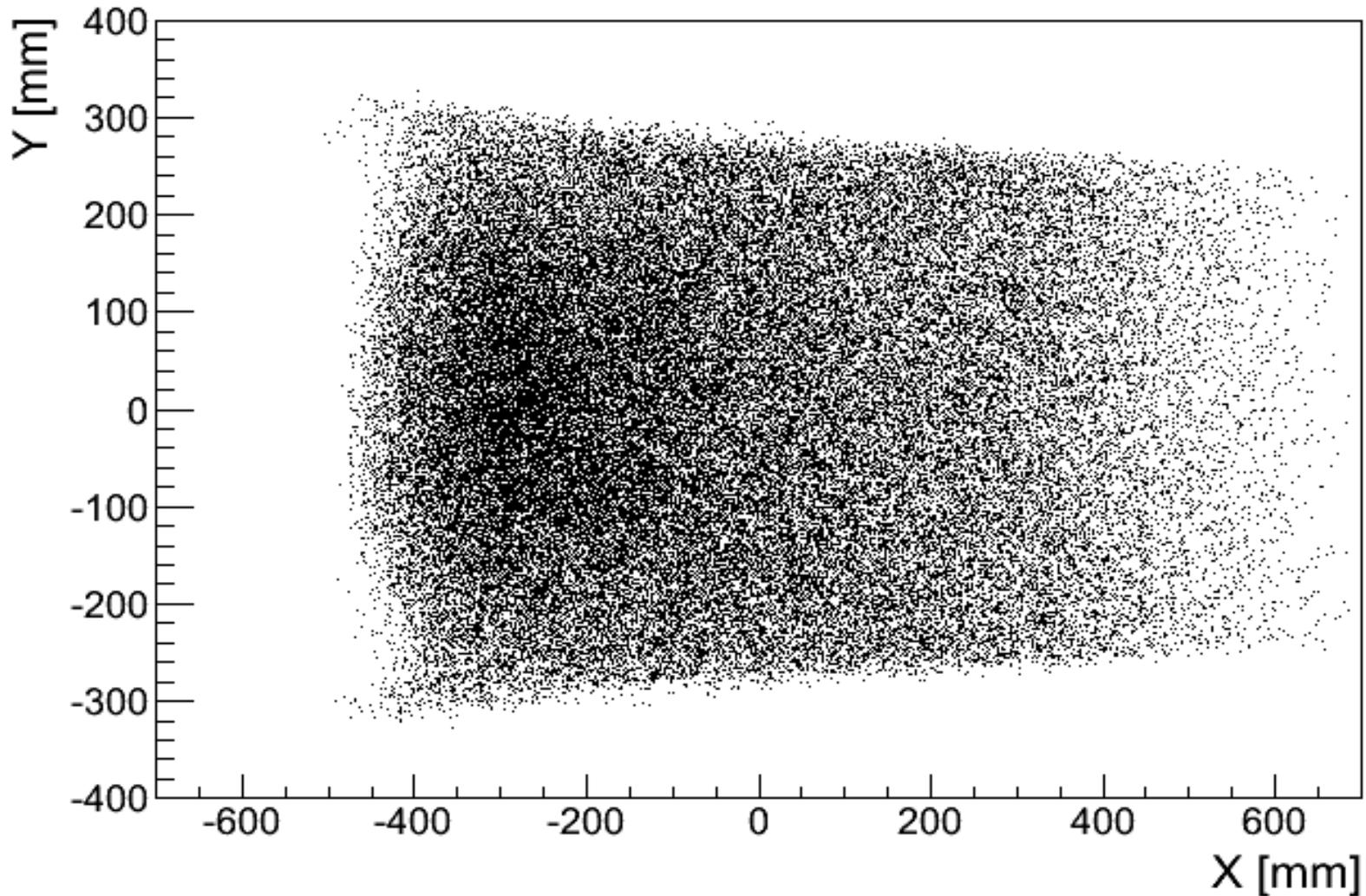
- JPARC E05実験に必要な水チェレンコフ検出器の開発を行った
- ELPHでの性能テスト(2014/6/28,29)
 - 位置依存性は最大でも約5%
 - 光電子数は e^+ で104個 \rightarrow K^+ で80個以上
 - 陽子除去効率は K^+ が99.9%以上のsurvival ratioのもとで
 - 1.2GeV/c:100%, 1.3GeV/c:99.9%, 1.4GeV/c:98.7%

BACKUP

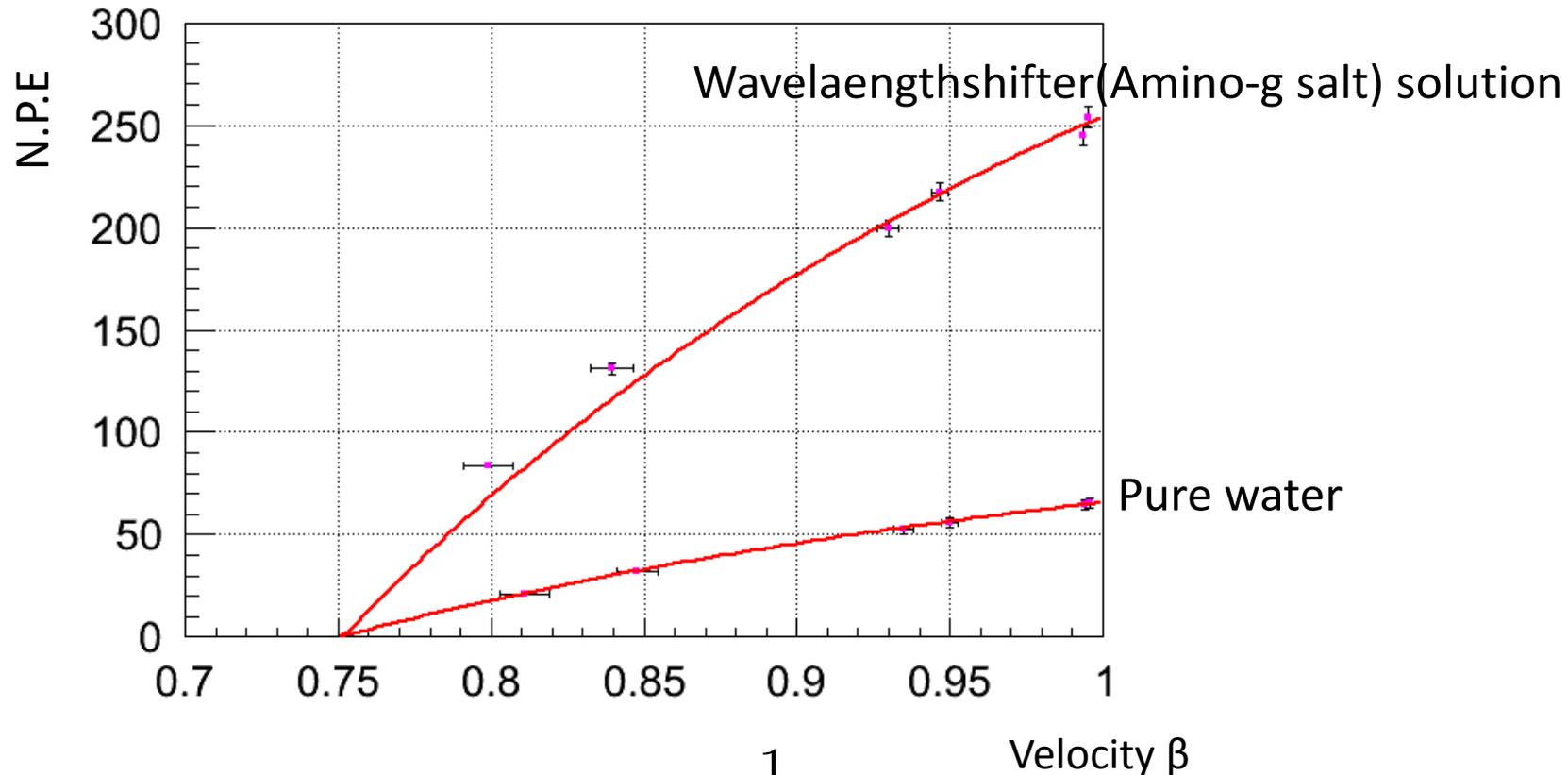


Beam profile at water Cherenkov counter position

Profile at WC



velocity dependence of N.P.E.

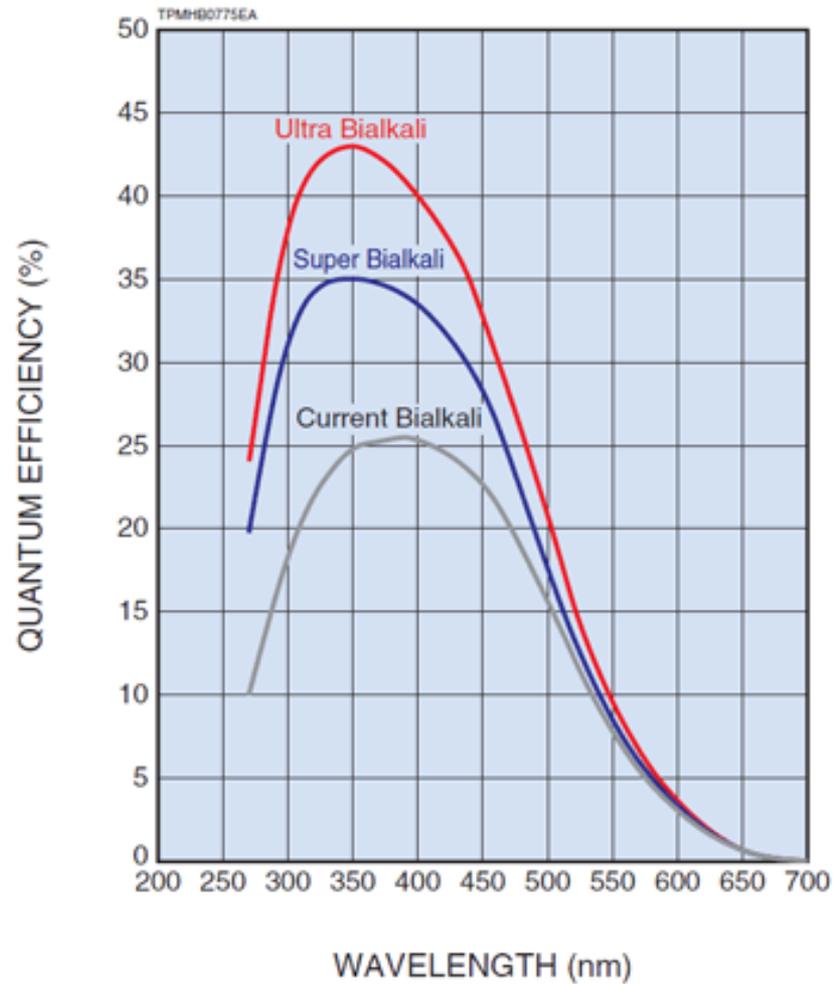


Fitting function :
$$f(x) = a \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \quad (n = 1.33)$$

Pure water : good agreement \rightarrow cherenkov radiation only

Amino-g : disagreement \rightarrow scintillation light of Amino-g is included?

Quantum Efficiency



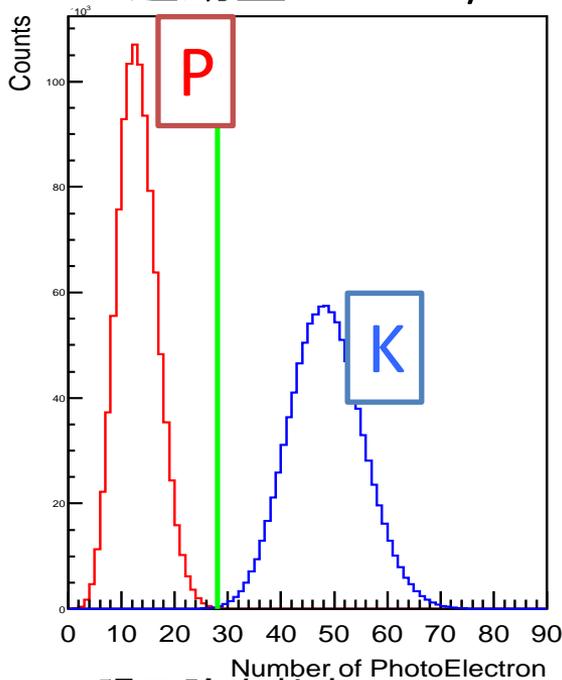
必要な光電子数の見積もり

$$\text{平均光電子数} = 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \quad n=1.33, \beta = \text{速度}, a \text{ 定数}$$

光電子数分布 : ポアソン分布

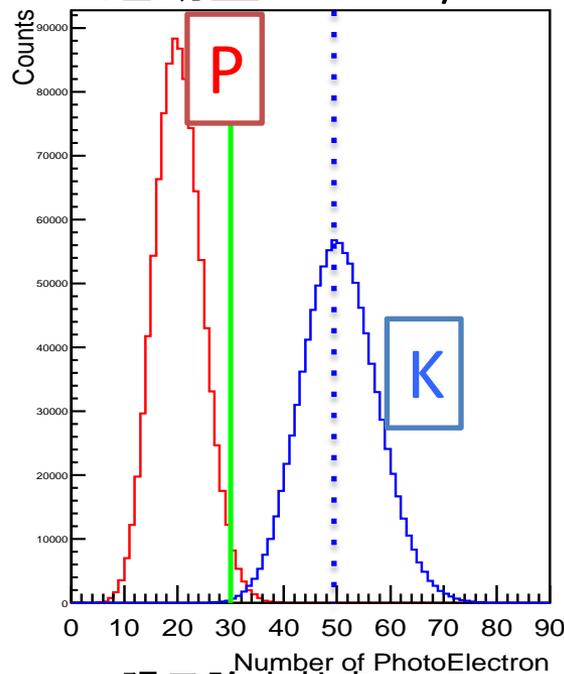
1.3 GeV/C K+について平均光電子数 50 個を達成すれば、1.3 GeV/c で 97.8% 全体で 94% 除去効率になると見込まれる。

運動量 1.2 GeV/c



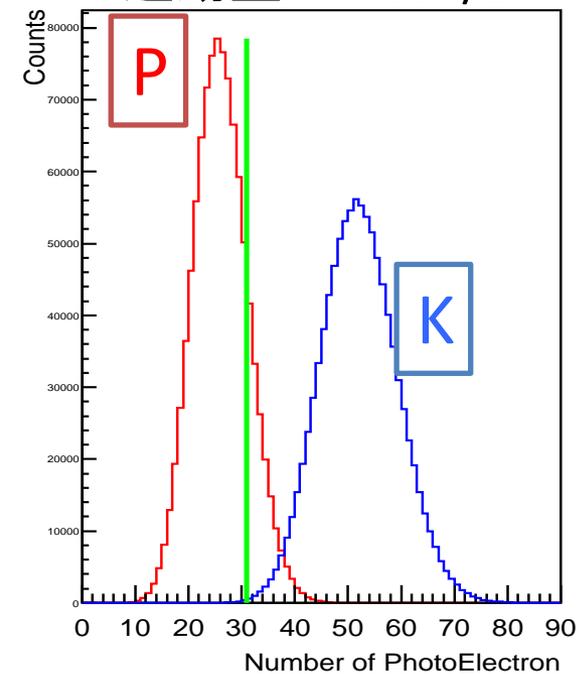
陽子除去効率 : 99.9%

運動量 1.3 GeV/c



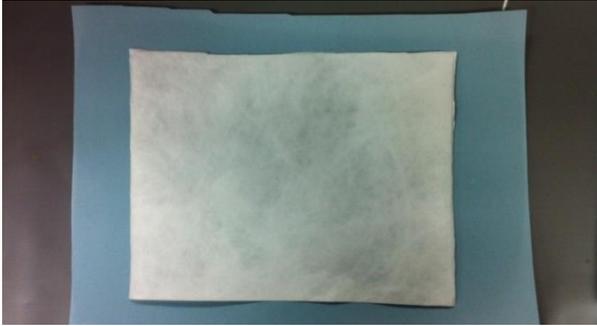
陽子除去効率 : 97.8%

運動量 1.4 GeV/c



陽子除去効率 : 83.3%

Reflective sheets



Tyvek sheet



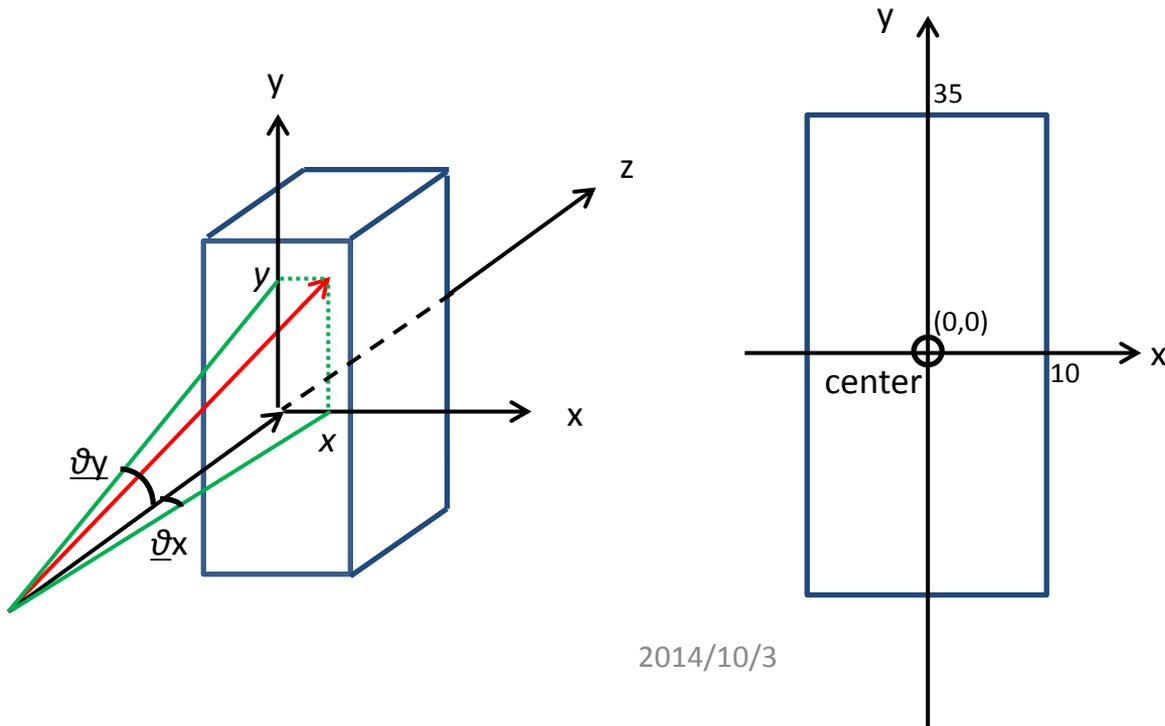
Tefron sheet



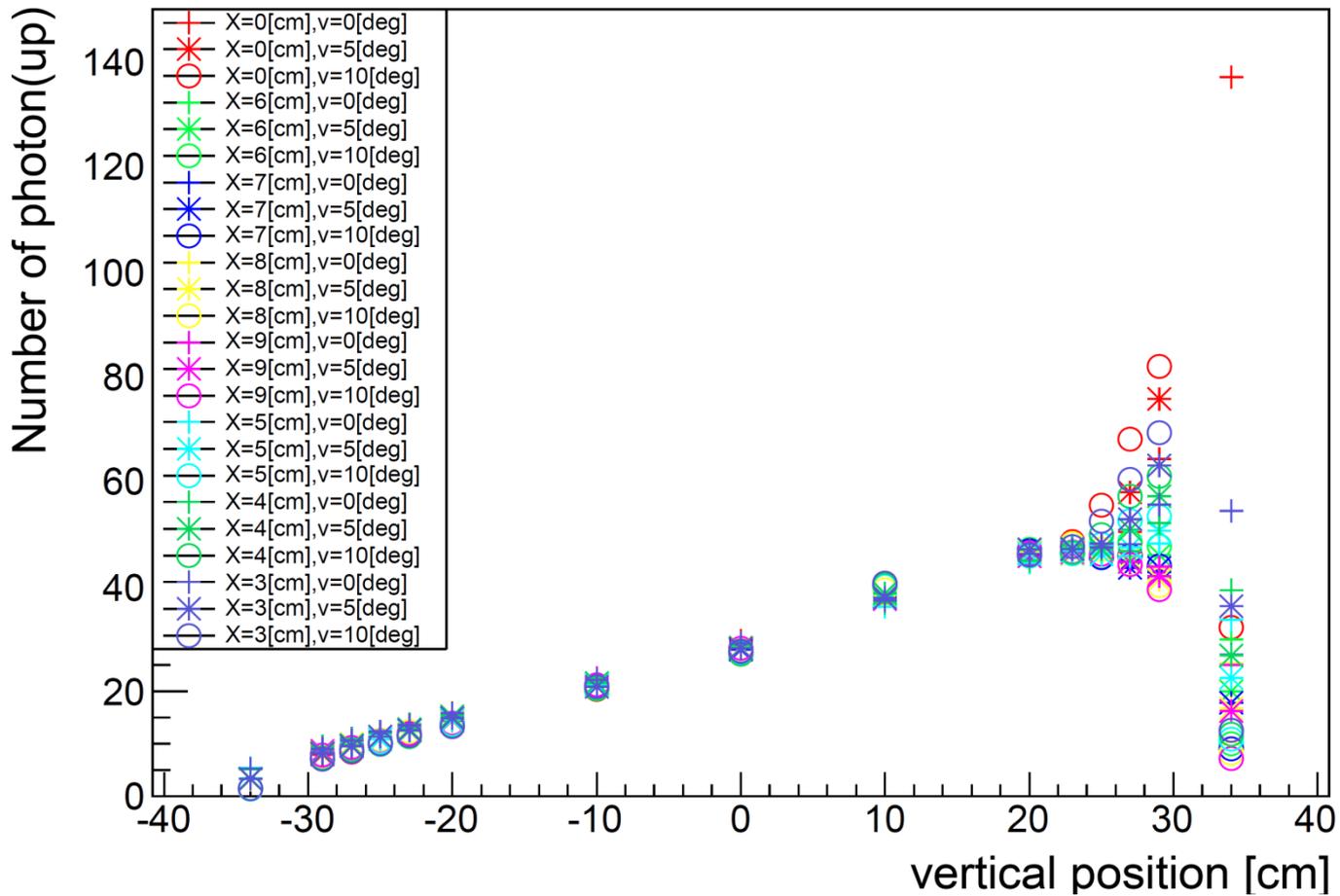
millipore

Reflective sheets	N.P.E
Tyvek 1060B	70.8 ± 2.83
Tefron sheet	70.2 ± 1.31
Millipore	24.8 ± 0.515

X,Yの定義



2014/10/3



Fitting function

instead of Eq. (6). In this case, the PM response function is:

$$S_{\text{real}}(x) \approx \left\{ \frac{(1-w)}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-Q_0)^2}{2\sigma_0^2}\right) + w\theta(x-Q_0) \right. \\ \left. \times \alpha \exp[-\alpha(x-Q_0)] \right\} e^{-\mu} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!} \\ \times \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi n}} \\ \times \exp\left(-\frac{(x-Q_0-Q_{\text{sh}}-nQ_1)^2}{2n\sigma_1^2}\right), \quad (10)$$

$$Q_{\text{sh}} = w/\alpha, \quad (11)$$

where Q_{sh} is the effective spectrum shift due to background.

2.6. The large μ case

It is important to consider the limit of Eq. (7) for high intensity sources. At large μ the Poisson distribution goes over to a Gaussian with standard deviation