

MEG実験用液体 Xe scintillation detectorの 40MeV 線を用いた性能評価

早稲田大学 吉村剛史

早大理工総研，東大素セ^B，阪大理^C，高工研^D，BINP-Novosibirsk^E，INFN-Pisa^F，PSI^G

岩本敏幸^B，大谷航^B，小曾根健嗣^B，菊池順，久野良孝^C，澤田龍^B，鈴木聡，寺沢和洋，
道家忠義，西口創^B，服部紘二，春山富義^D，久松康子^B，真木晶弘^D，真下哲郎^B，三原智^B，
森俊則^B，八島純^D，山口敦史，山下了^B，山下雅樹，山田秀衛^B，吉村浩司^D，
A.A.Grebenuk^E，D.Grigoriev^E，I.loudine^E，D.Nicolo^F，S.Ritt^G，G.Signorelli^F
Thanks for beam test to 豊川弘之，大垣英明(AIST)

2003年9月12日 日本物理学会秋季大会
宮崎ワールドコンベンションセンター・サミット

講演内容

MEG実験について

液体キセノン 線検出器について

線に対するエネルギー分解能・位置分解能

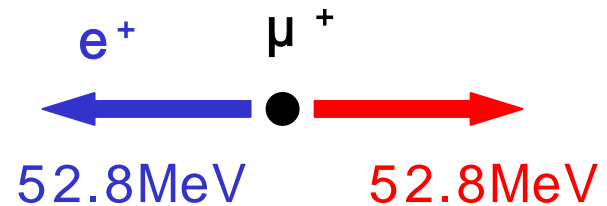
(2003年4月に産総研で行なわれたビームテストの結果)

MEG実験

< $\mu^+ \rightarrow e^+ + \dots$ 崩壊の探索 >

標準理論では禁止されているが、SUSY-GUTなどで
観測可能な分岐比($10^{-14} \sim 10^{-12}$)が予想されている。

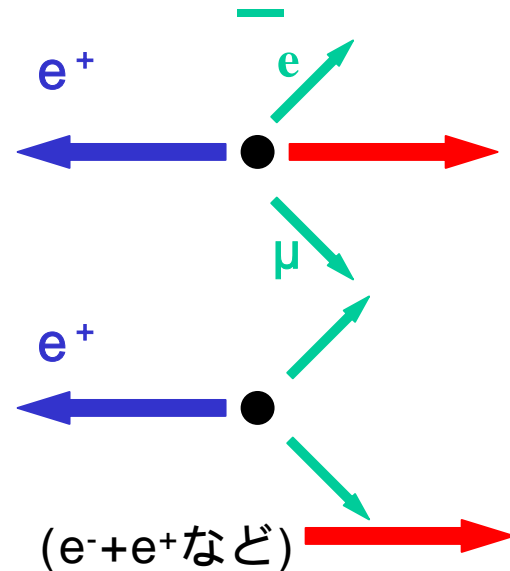
$\mu^+ \rightarrow e^+ + \dots$ decay



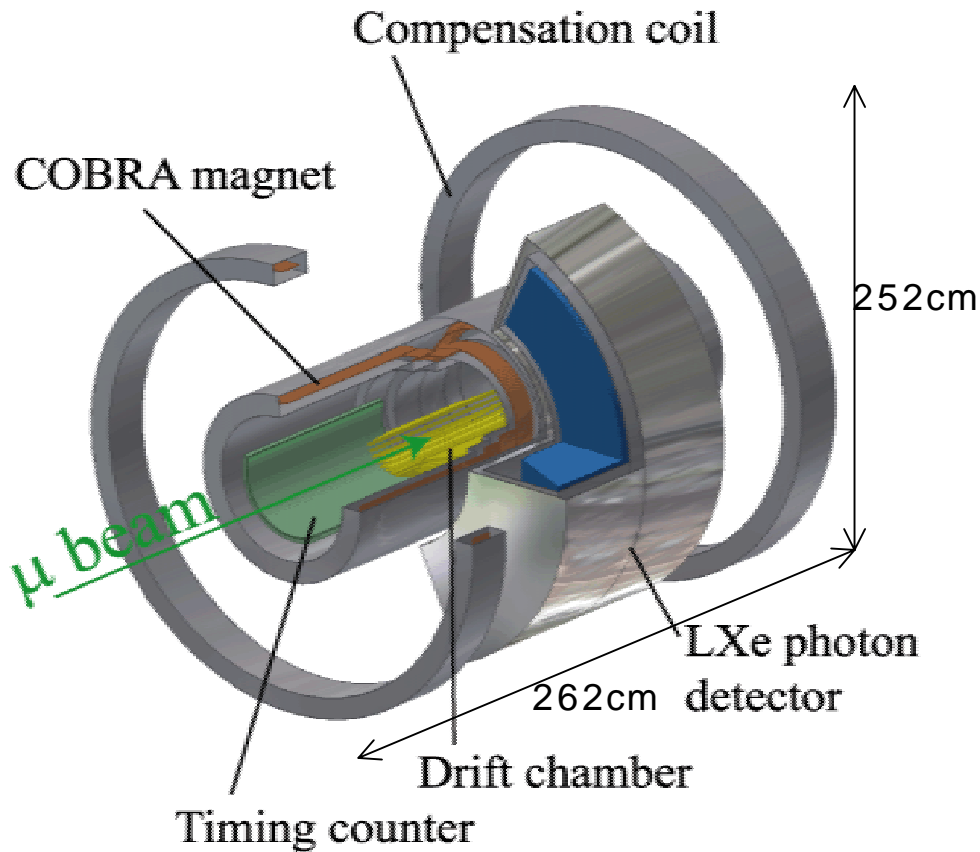
background

Radiative μ^+ decay
reduce down to 3.7×10^{-15}

Accidental overlap
reduce down to
 $(2.2 \sim 3.5) \times 10^{-14}$



$\mu^+ e^+$ 崩壊探索用検出器



Positron

超伝導電磁石
タイミングカウンター
ドリフトチャンバー

gamma

液体キセノン 線検出器
(LXe800liter, PMT 1000本)

Energy: 4.0 ~ 4.5% (FWHM)

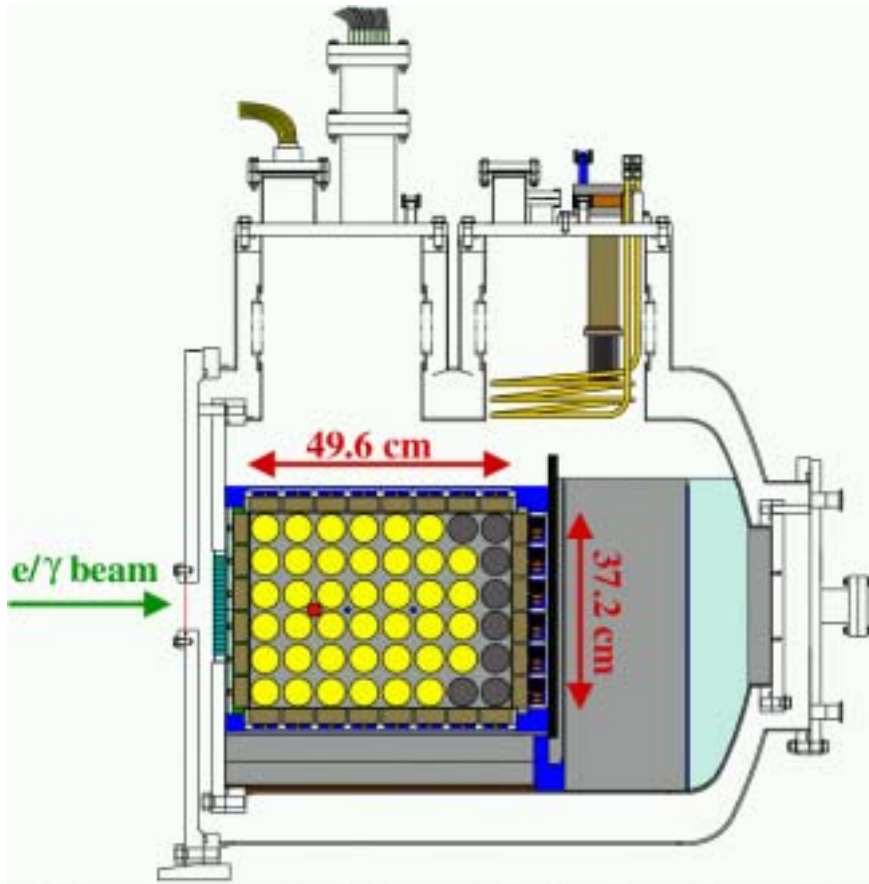
Time: 100psec (FWHM)

Position: 9.0 ~ 10.5mm in x,y (FWHM)

16 ~ 18mm in z (FWHM)



液体キセノン 線検出器のプロトタイプ

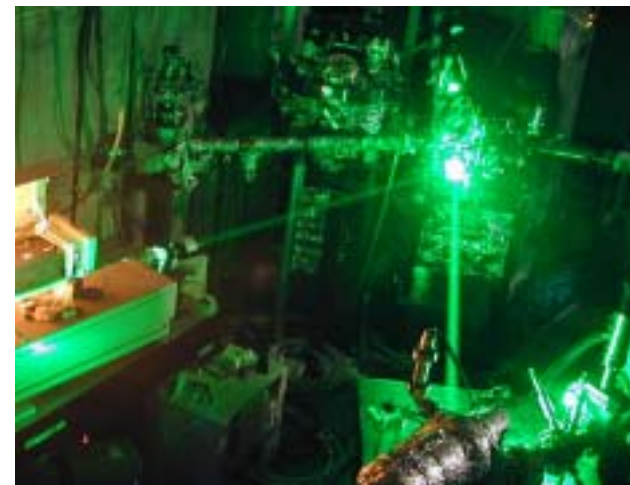
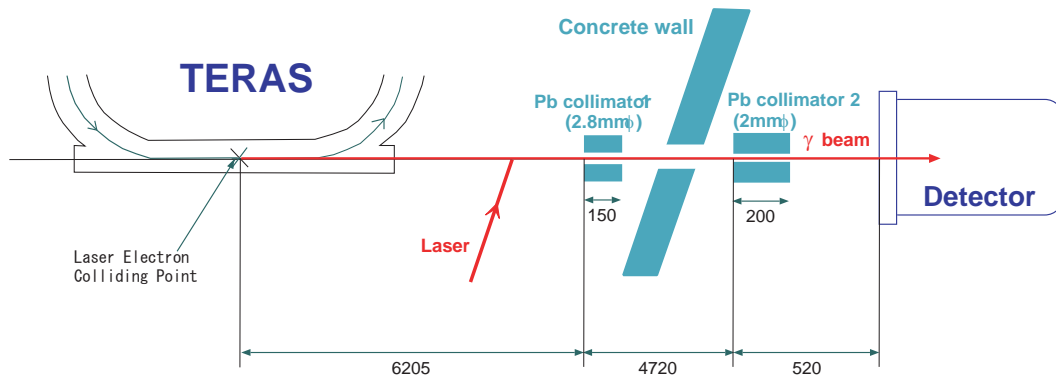


LXe active volume 68.6liter
PMT(2inch) 228本

- 検出器の長期安定性 O.K.
- 冷凍機やLN2冷却システムのテスト O.K.
- シンチレーション光の減衰長の測定 O.K.
- PMTの較正法の確立 O.K.

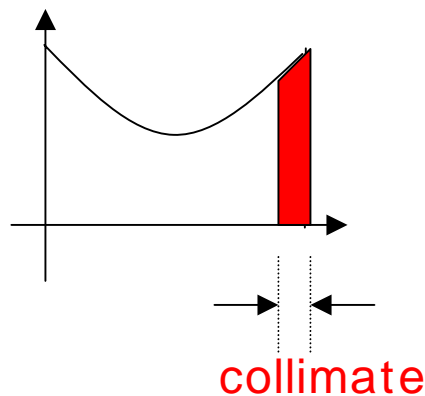
52.8MeV付近の線に対する検出器の性能評価

TERASでの ビームテスト



Compton Spectrum

$$g(E_\gamma) = \left(E_\gamma - \frac{E_c}{2}\right)^2 + \frac{E_c^2}{4}$$



•Electron beam

- Energy: 764MeV
- Energy spread: 0.48%(sigma)
- Divergence: <0.1 mrad(sigma)
- Beam size: 1.5 ~ 2mm(sigma)

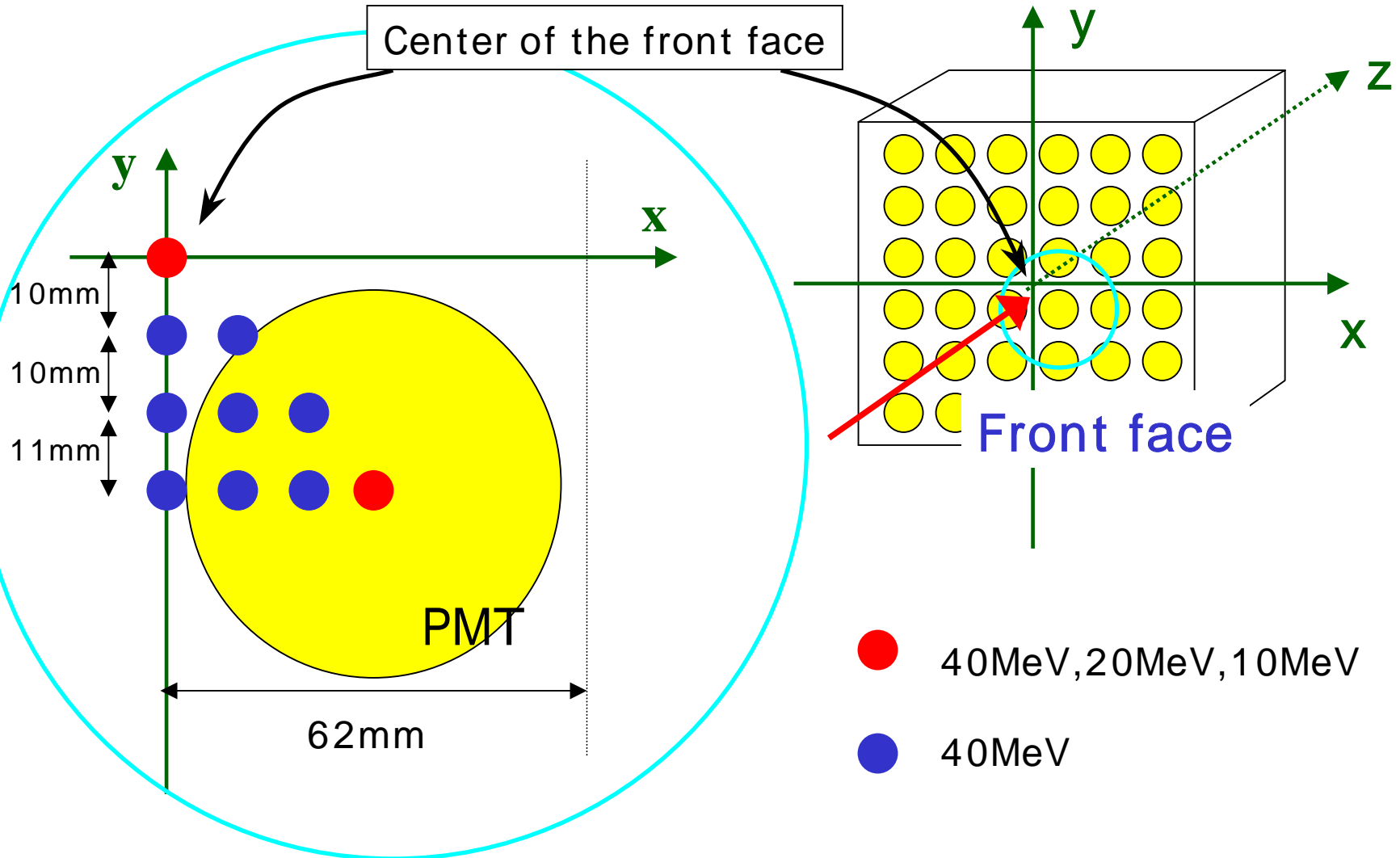
•Laser photon

- Energy: $1.17 \times 10^{-6} \times 4$ eV (for 40MeV)
- Energy spread: 2×10^{-5} (FWHM)

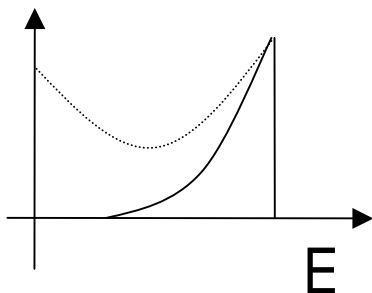
TERASでの ビームテスト

線の入射位置

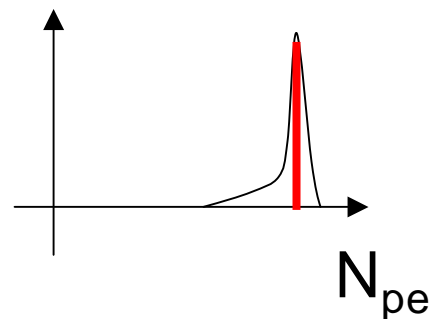
Center of the front face



エネルギー分解能の解析法



Compton Spectrum



Detector Response Function

(Gaussian with Exponential tail)

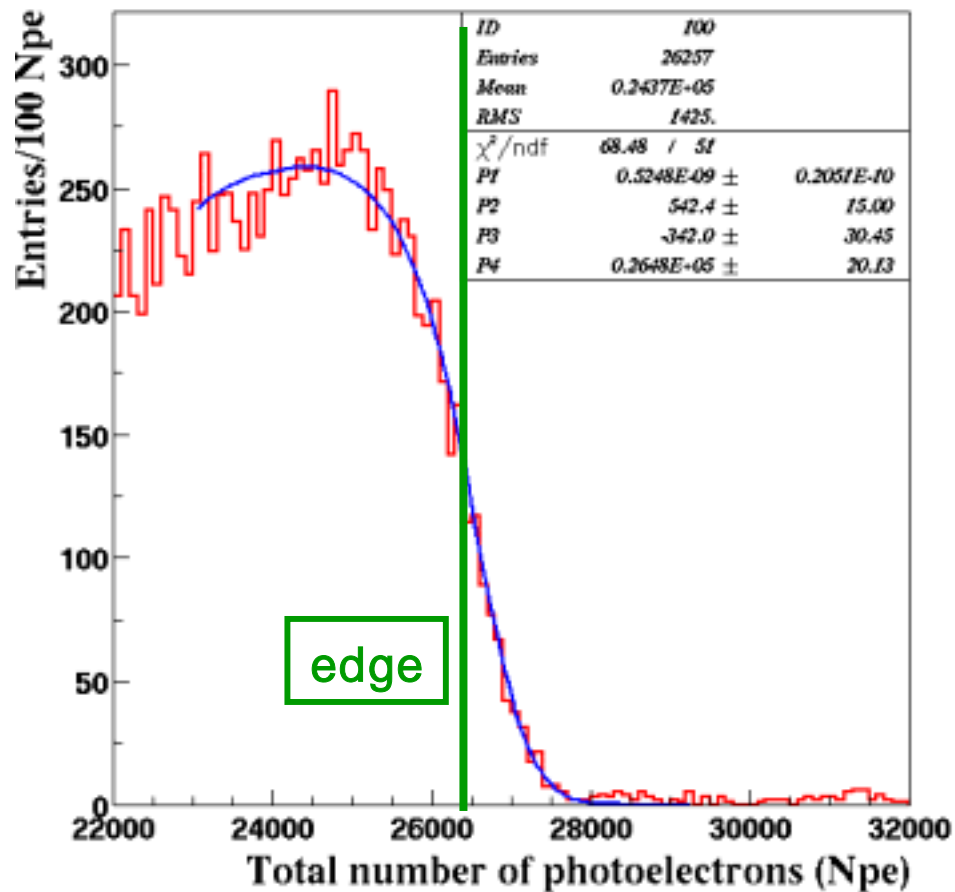
$$g(E_\gamma) = \left(E_\gamma - \frac{E_c}{2}\right)^2 + \frac{E_c^2}{4} \quad h(E) = \begin{cases} \exp\left(\frac{t}{\sigma^2} \left\{\frac{t}{2} - (E - \mu)\right\}\right), & E \leq \mu + t, \\ \exp\left\{\frac{(E - \mu)^2}{-2\sigma^2}\right\}, & E > \mu + t \end{cases}$$

Compton spectrum

Detector response function

2つの関数のconvolutionでfitする。

エネルギー分解能の解析法



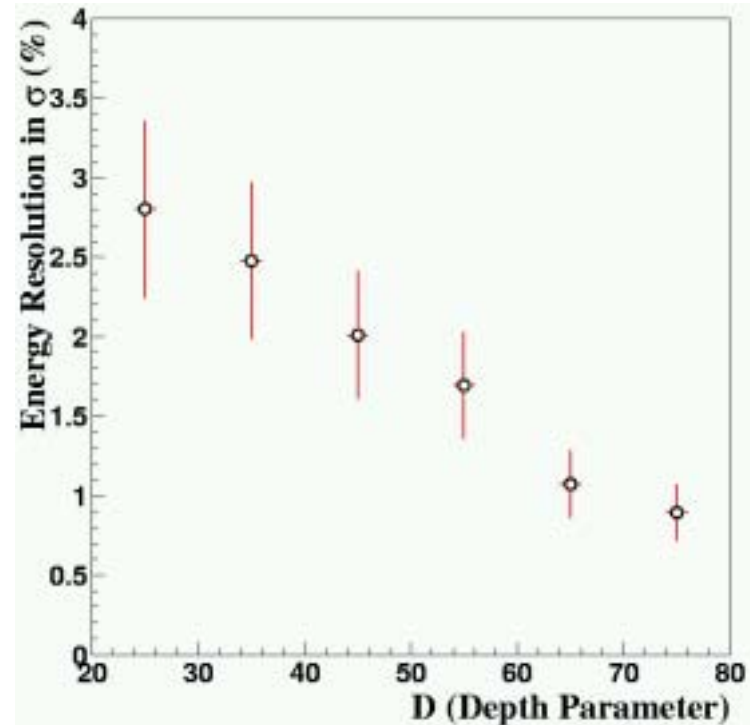
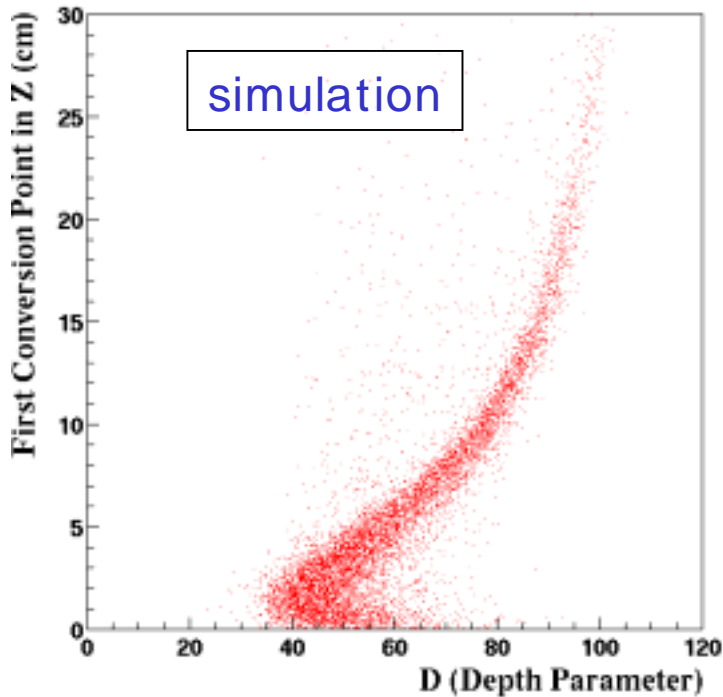
Convolution of
Compton Spectrum
response function

$$f(E_\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) h(E_\gamma - t) dt$$

イベント選別
D(depth parameter) > 45

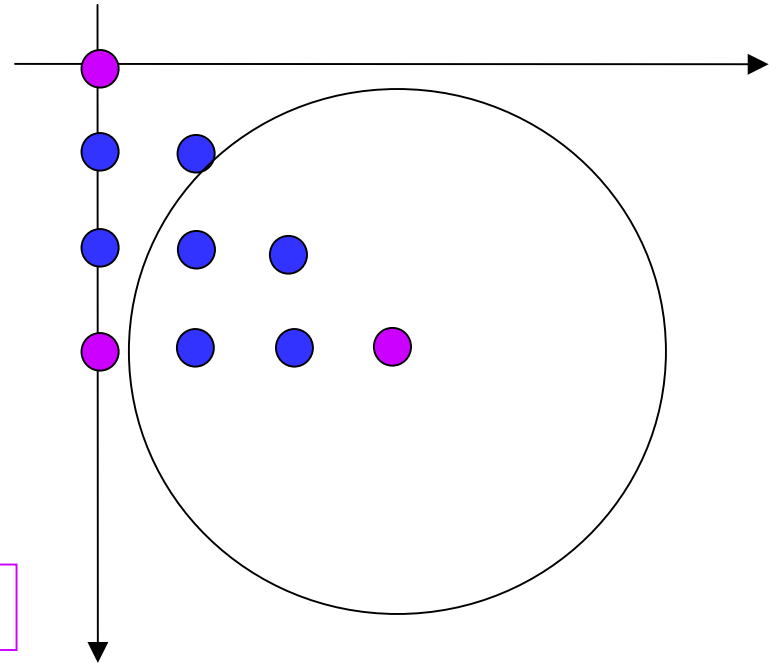
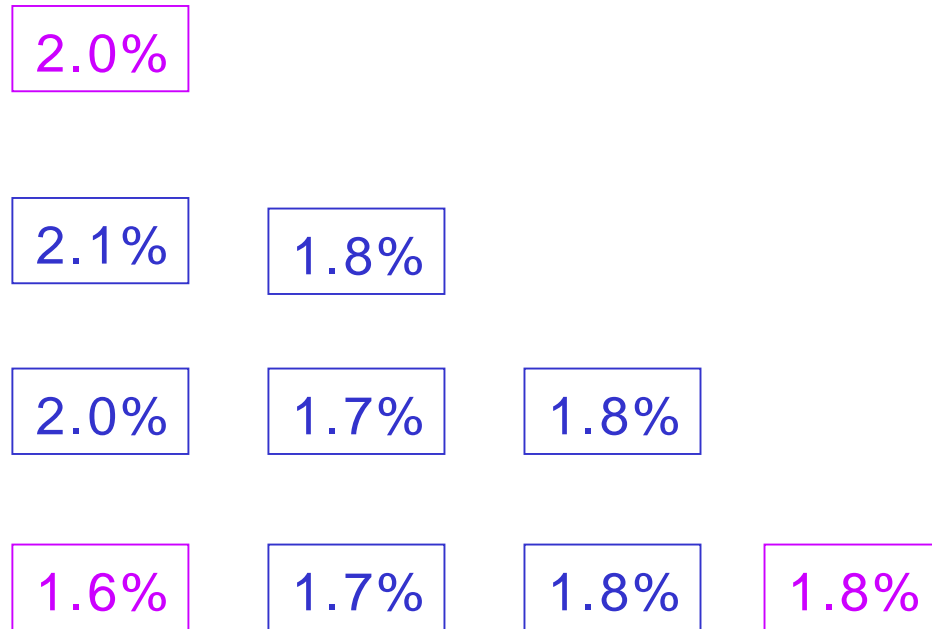
エネルギー分解能のD依存性

$$D(\text{Depth parameter}) = (\langle x_i^2 \rangle - \langle x_i \rangle^2) + (\langle y_i^2 \rangle - \langle y_i \rangle^2) \quad , \quad \langle x_i \rangle \equiv \frac{\sum n_{pe}(i)x(i)}{\sum n_{pe}(i)}$$



Energy resolution for
D > 25, 35, 45, 55, . . . , 75

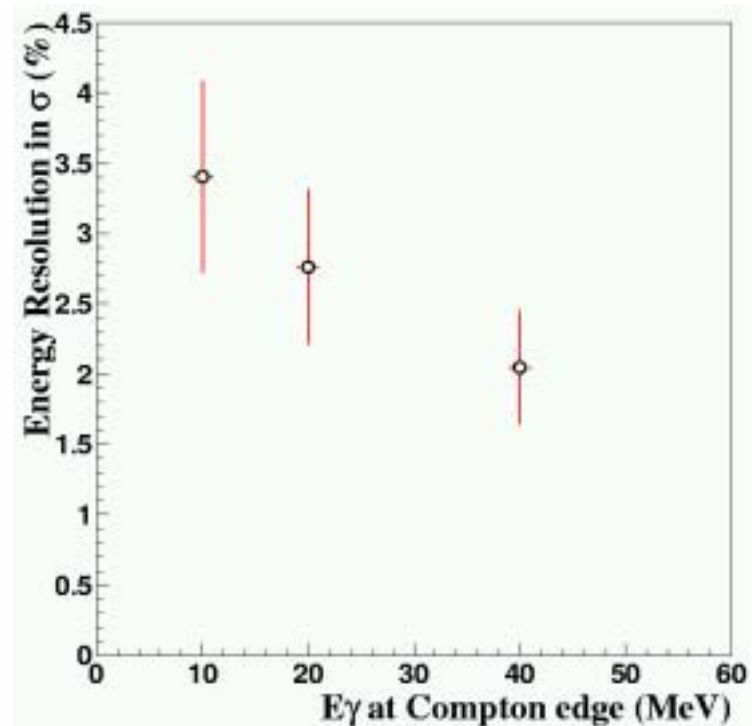
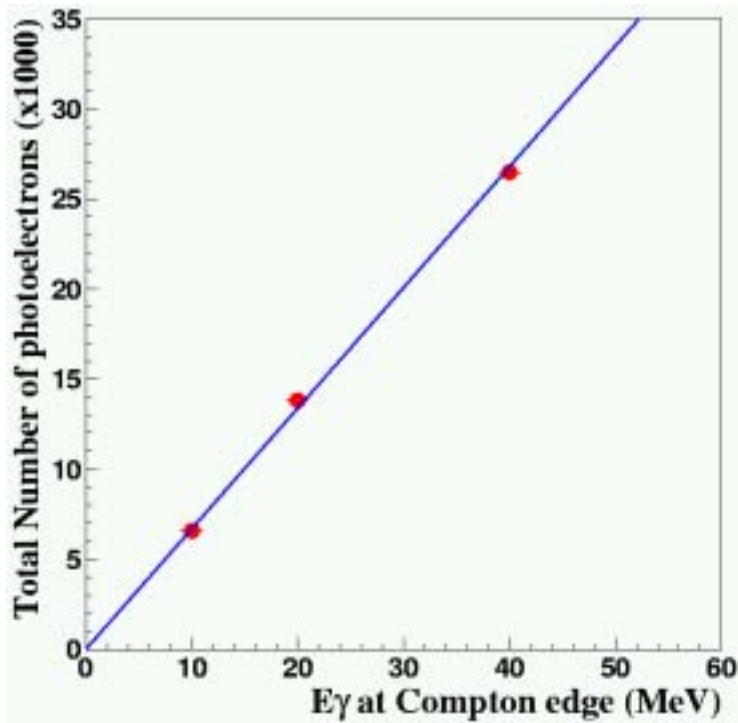
エネルギー分解能の入射位置依存性



(in)

Ave ~ 1.8%(in)

エネルギー分解能のE 依存性

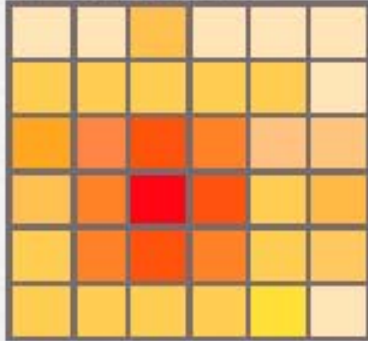


10,20,40MeVのtypicalなdataをconvolution functionでfitして得られた分解能
Fittingに依る誤差はおよそ20%

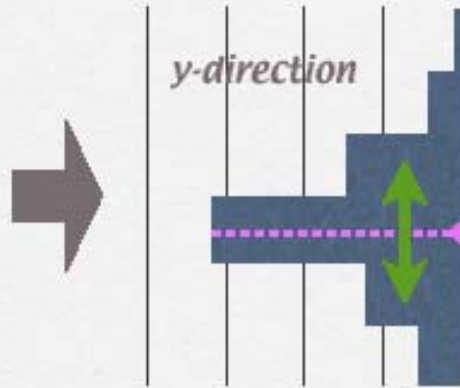
52.8MeVでは、2.0%(in sigma)よりもよい分解能が予想される。

位置分解能の解析法

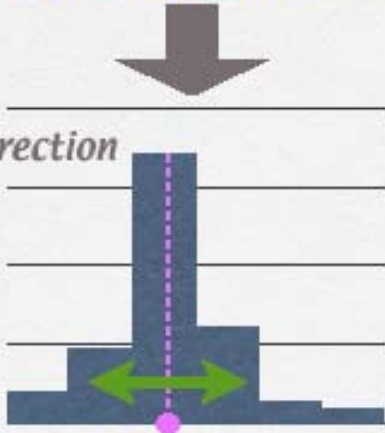
PMT output map
on front face



Event by event

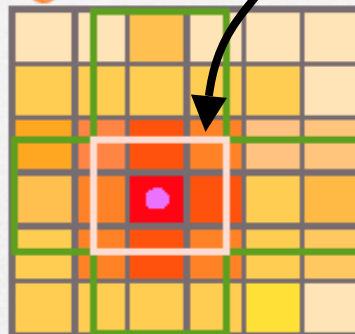


x-direction



Peak point
Distribution spread

set up
the region



Front faceのPMTを解析に
使用する

イベント選別：

$D > 30$

$15000 < N_{pe} < 30000$

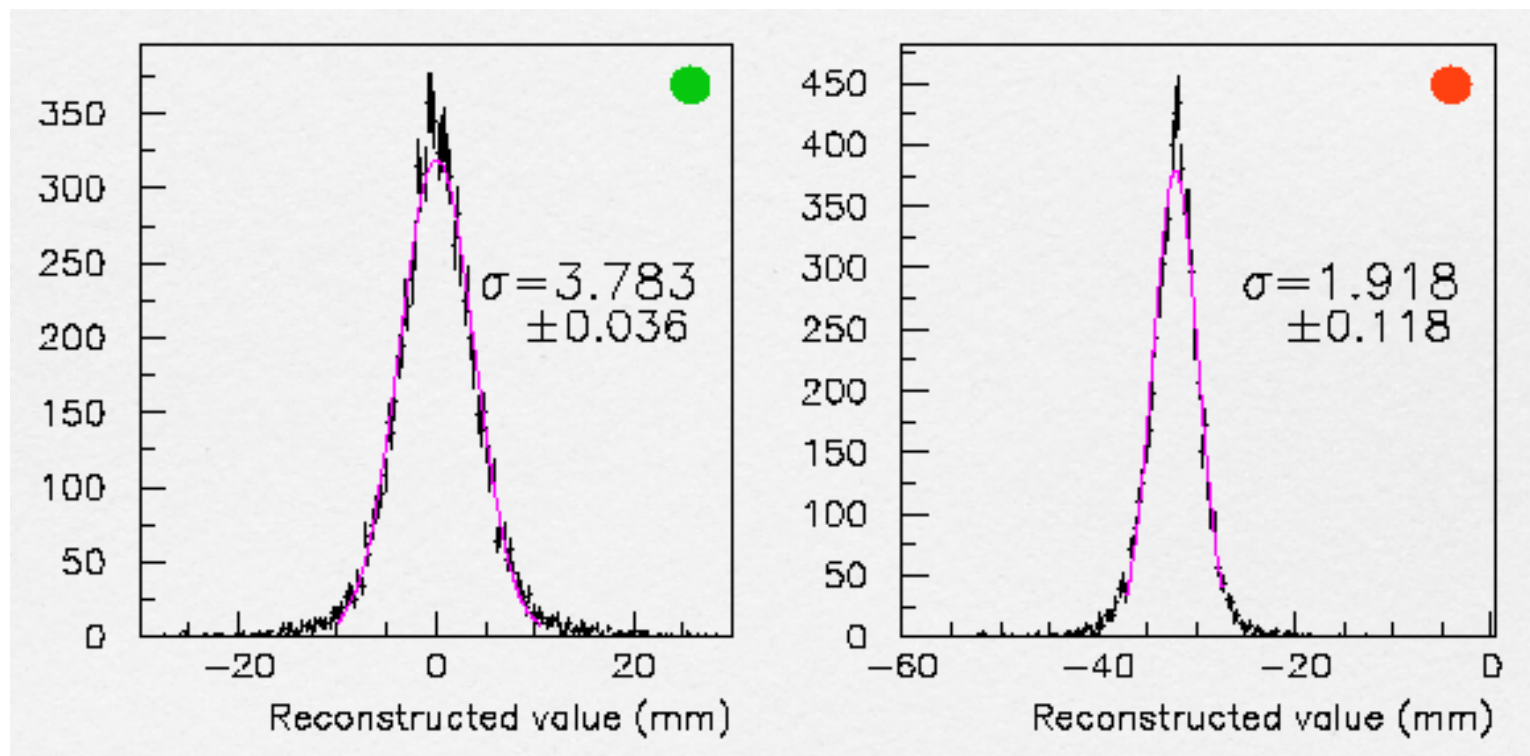
$$X_{reconst.} = \frac{\sum_i w_i Q_i x_i}{\sum_i w_i Q_i}$$

w_i : regional weight factor

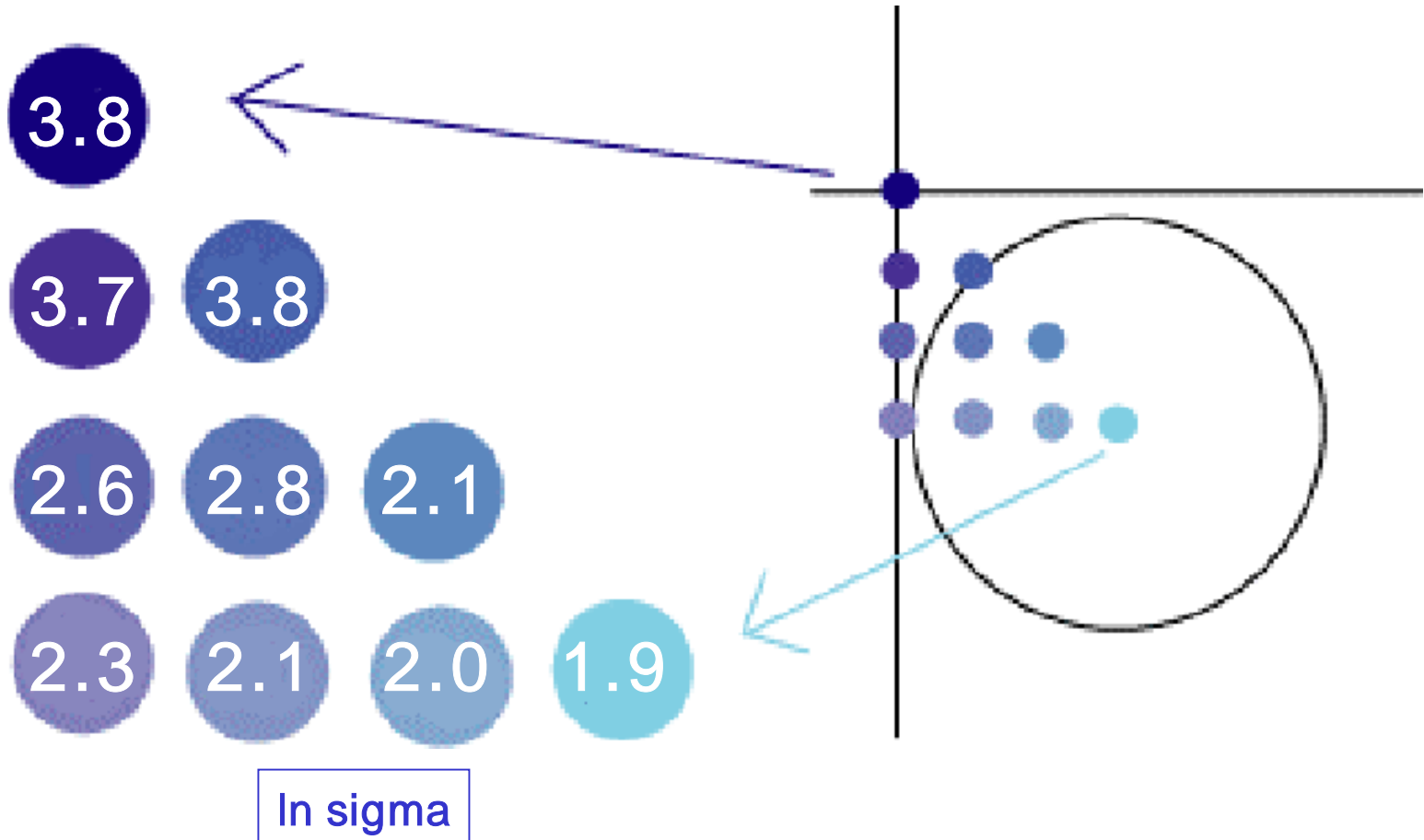
この範囲内で同様のことを行い、
これを繰り返して分解能を得る。

位置分解能の解析結果

- 40MeV ,
- 1mm collimator



位置分解能の入射位置依存性

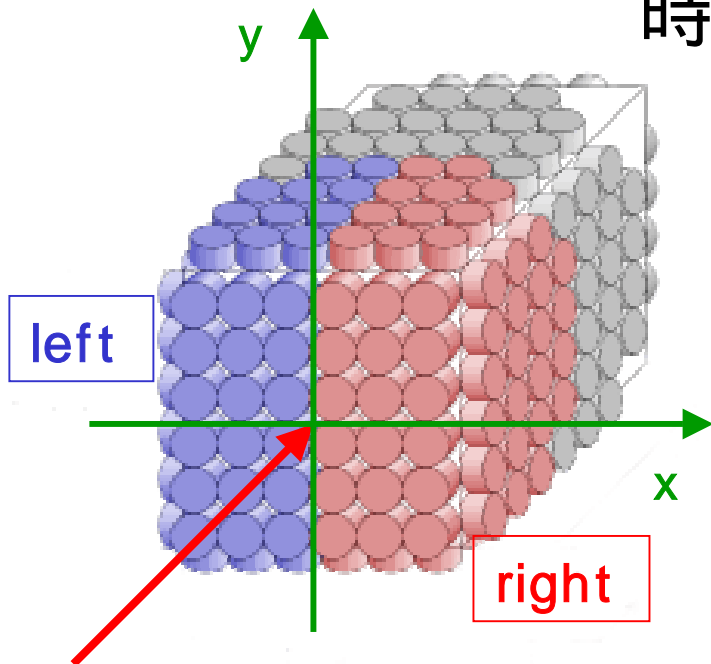


異なる入射位置で 3.8mm以下 (average ~ 2.7mm)

まとめ

- 2003年4月に産業技術総合研究所の電子蓄積リング (TERAS) を利用して液体キセノン 線検出器のビームテストを行なった。
- 結果、compton edge(40MeV)の 線に対して
エネルギー分解能が約1.8%(in sigma)、
位置分解能は平均で約2.7mm(in sigma)となった。
これらは必要とされる条件を満たしている。
- 2003年10月にスイスのPSIにてプロトタイプを使った ビームテストを行なう。
(\bar{p} 0n 0 (28MeV/c)
54.9MeV のmonochromaticな 線を入射)
詳細は次の登壇者12aSJ-2 久松 (東大)

時間分解能



40MeV , incident position(x,y)=(0,0)

- 解析法 :
- PMT128本を使用
 - time walk correction
 - 左右2つにグループ分けする

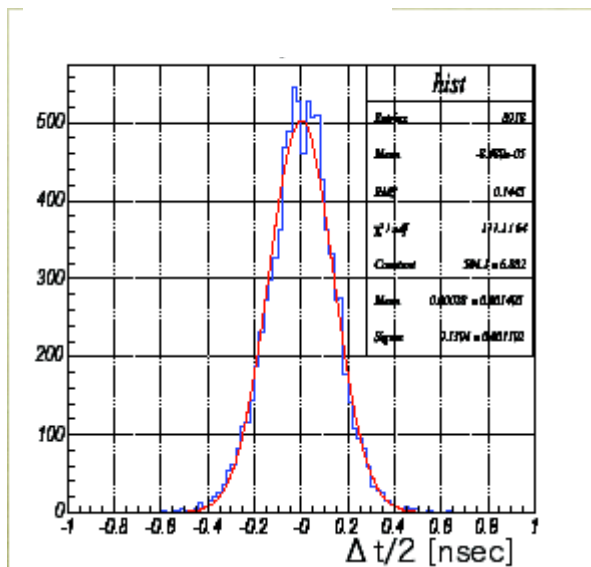
$$t = t_L - t_R$$

$$\left(t = \frac{\sum w_i \cdot (TDC)_i}{\sum w_i}, w_i = \frac{1}{\sqrt{N_{pe,i}}} \right)$$

PMT選別 : N_{pe}>100のPMTを使用

時間分解能 : 139psec (in)

- back scatterのelectronをきちんと測定できなかった。



次回PSIでのビームテストでは、
もう一つの を基準にして評価することができる。