

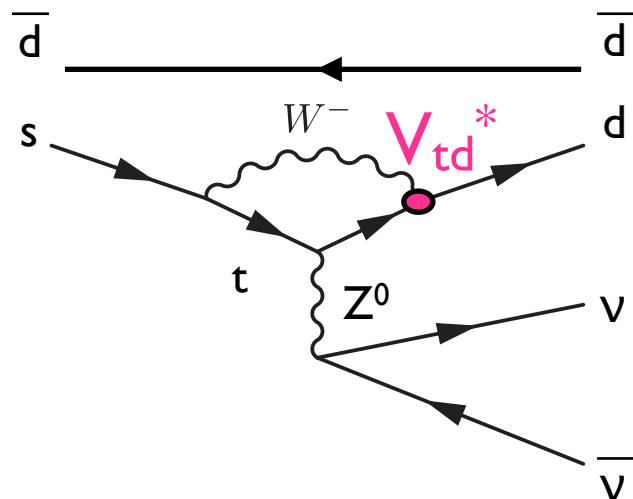
Ke3崩壊で生成されるelectronを用いた KOTO実験CsIカロリメータのCalibration (解析の現状と問題点)

大阪大学 佐藤和史

関西高エネルギーグループ研究発表会 25 Mar. 2011

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$

KOTO実験：J-PARCで予定される $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$ を測定する実験



SMではCP対称性の破れはCKM行列
の複素成分($\text{Im}(V_{td})$)によって引き起こされる

$$\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \propto |\text{Im}(V_{td})|^2$$

☆ **theoretical uncertainty 1~2%**

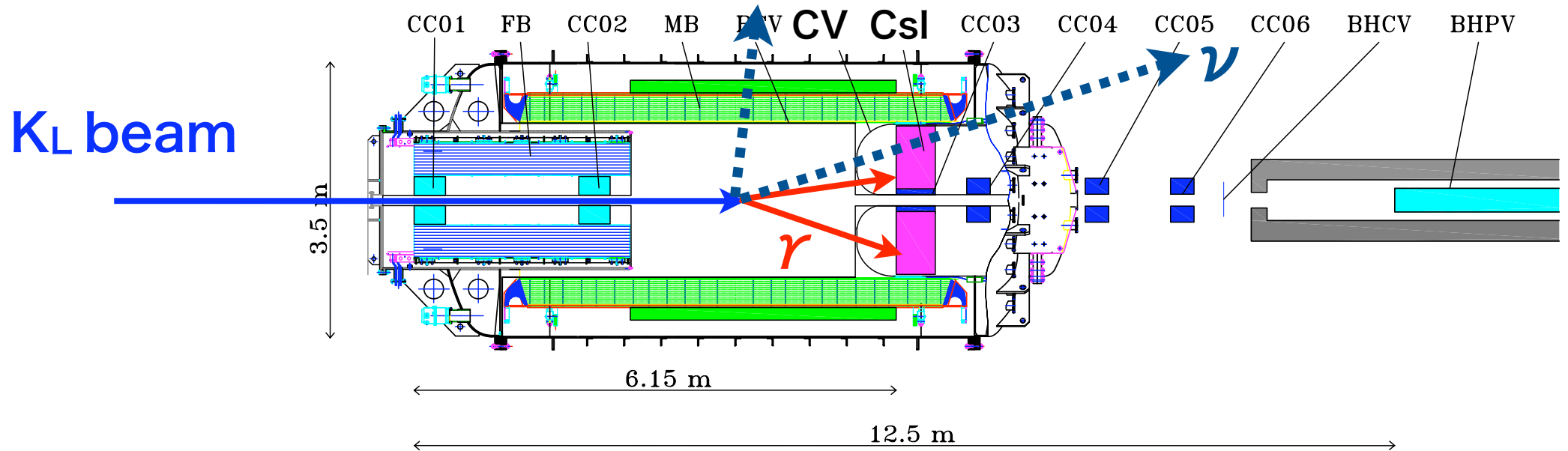
⇒ **Clean process !**

☆ **SMの予測値 $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = 3 \times 10^{-11}$**

⇒ **SMを越える物理に感度がある**

⇒ **background事象をどう抑えるか**

実験原理



★ π^0 からの 2γ をCsl結晶電磁力ロリメータで測定

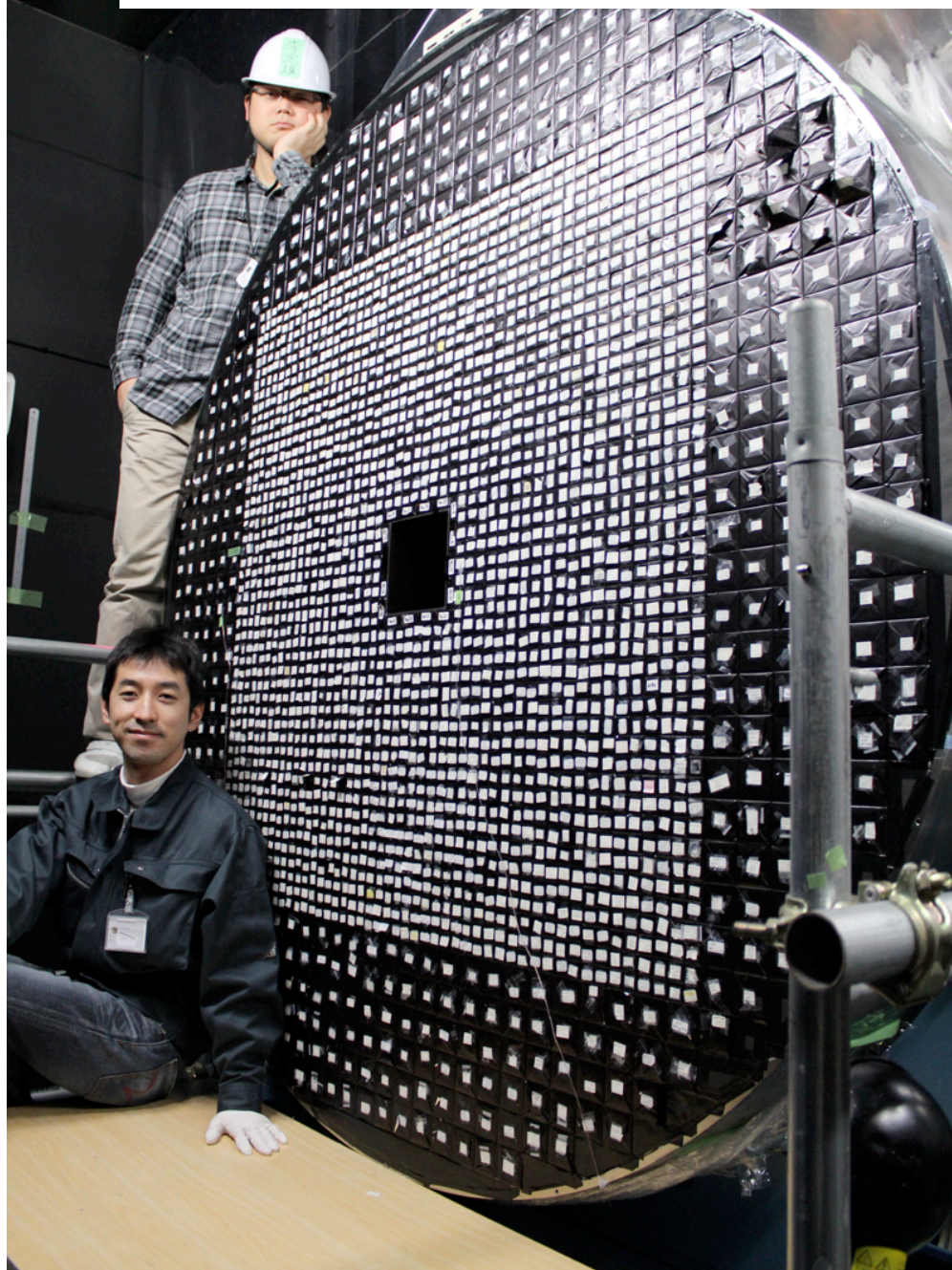
★ π^0 を再構成し、横方向運動量を持つことを確認

⇒ 2γ 以外の粒子がある

★ 全立体角を覆うveto検出器で他に検出可能な粒子は無いと確認

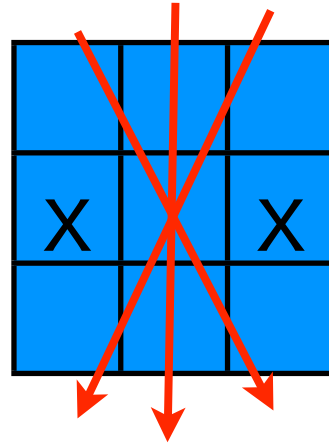
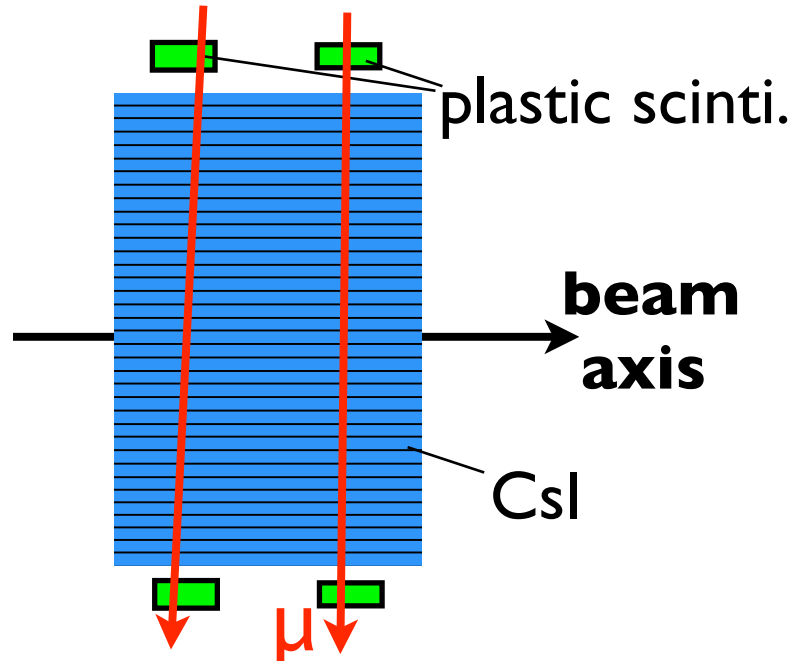
終状態が $2\gamma + \text{invisible}$ は $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ のみ

CsI カロリメータ

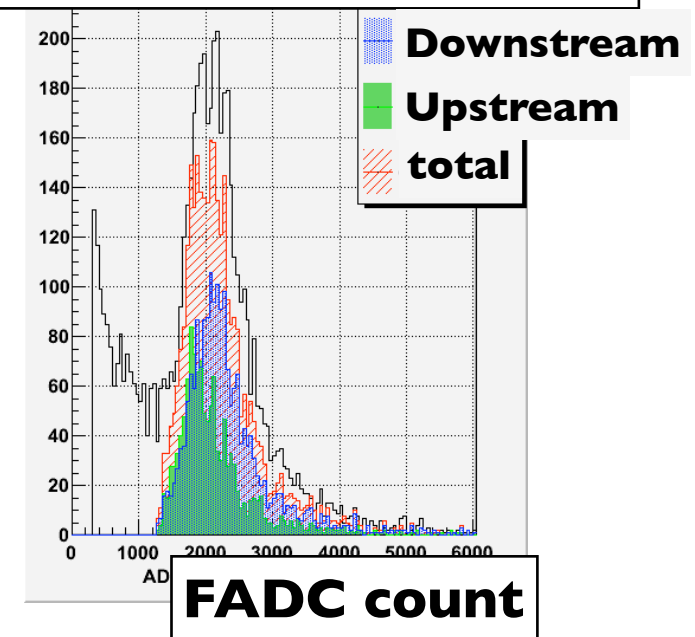


- 2.5x2.5x50cm-CsI ~2200本
5x5x50cm-CsI ~500本
- 2011年2月全結晶の積載が完了
- FADCで各結晶の波形を記録
- γ の入射位置、エネルギーを測定可能

CsI calibration with Cosmic rays



E deposit of cosmic rays



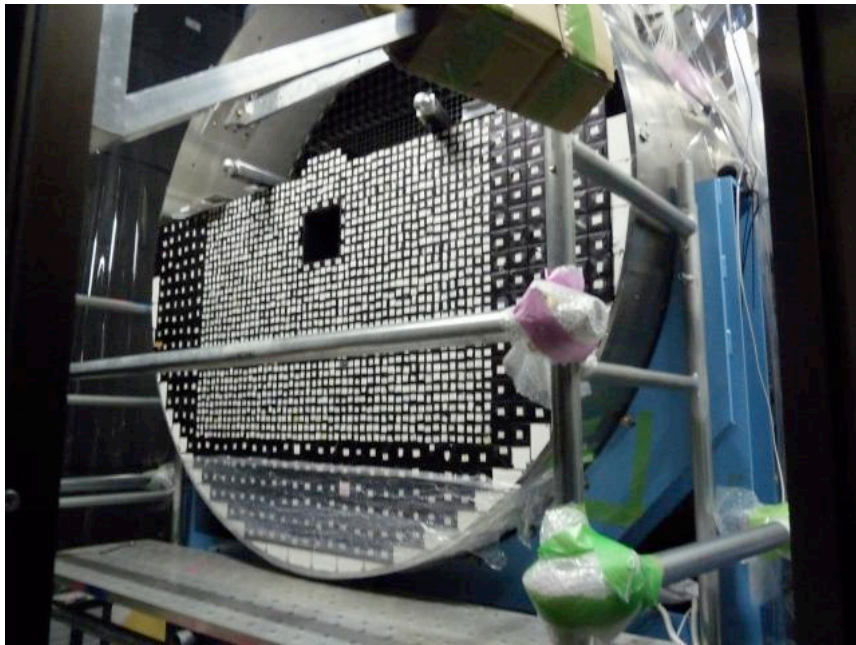
各結晶のcalibration constantは宇宙線のMIP peakから算出

→ MIP peakは入射宇宙線のエネルギー, pass lengthに依存

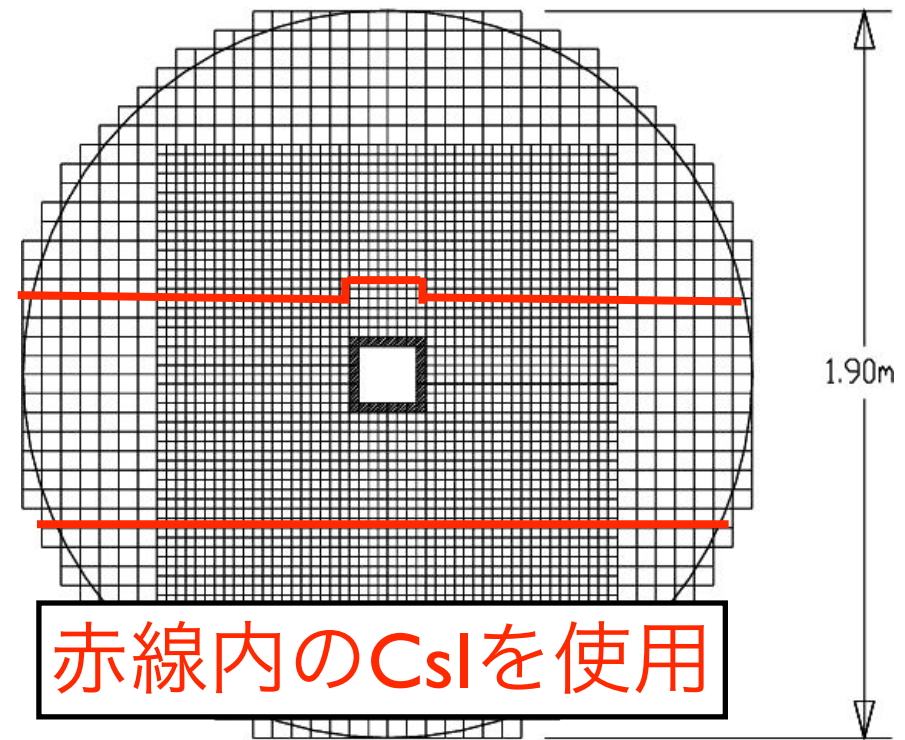
→ CsI長手方向の位置に依存

⇒入射エネルギーが既知の粒子が作る電磁シャワー
を用いてのcalibrationが望ましい

engineering run in Fall 2010



2010年10月の状況



- ・ 建設途中の2010年10~11月にKLビームを用いてテスト
 - ・ 中心付近のCsI~1200本を使用
 - ・ 電磁シャワーを用いて各結晶のcalibration constantの測定を目指す
- data taking : 10 hour (Oct.) + 50 hour (Nov.)

Ke3を用いたCsl calibration

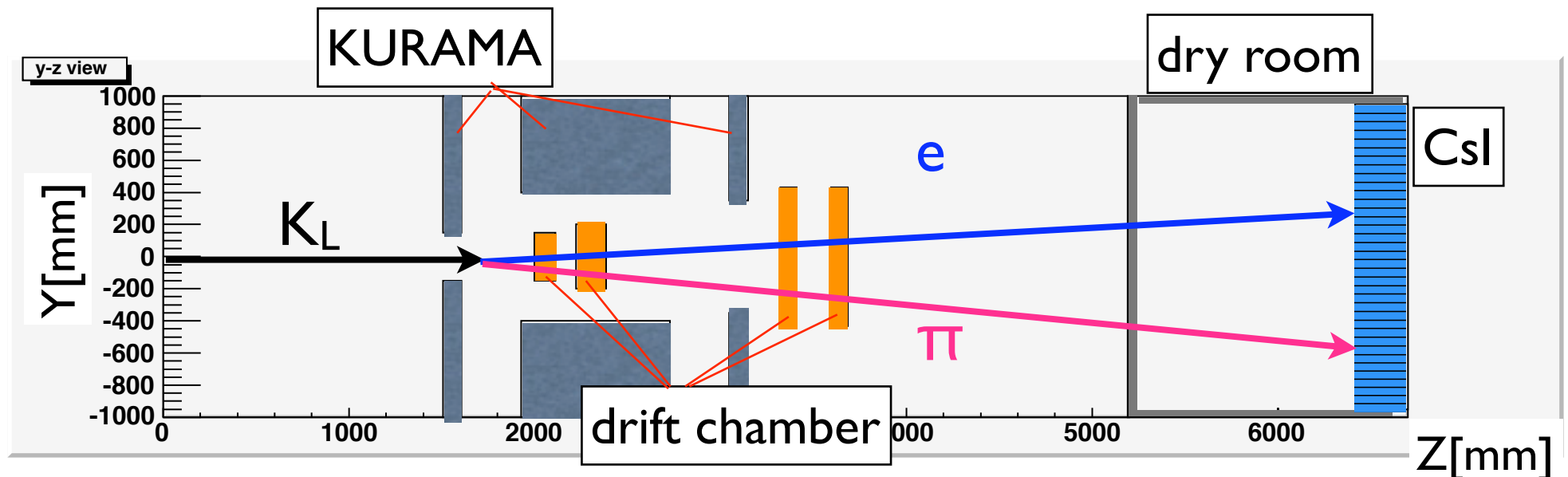
実験概要

- Ke3崩壊($K_L \rightarrow \pi e \nu$: Br $\sim$ 40.6%)で生成される電子が作る

電磁シャワーを測定 $\Rightarrow$ calibration constantを求める

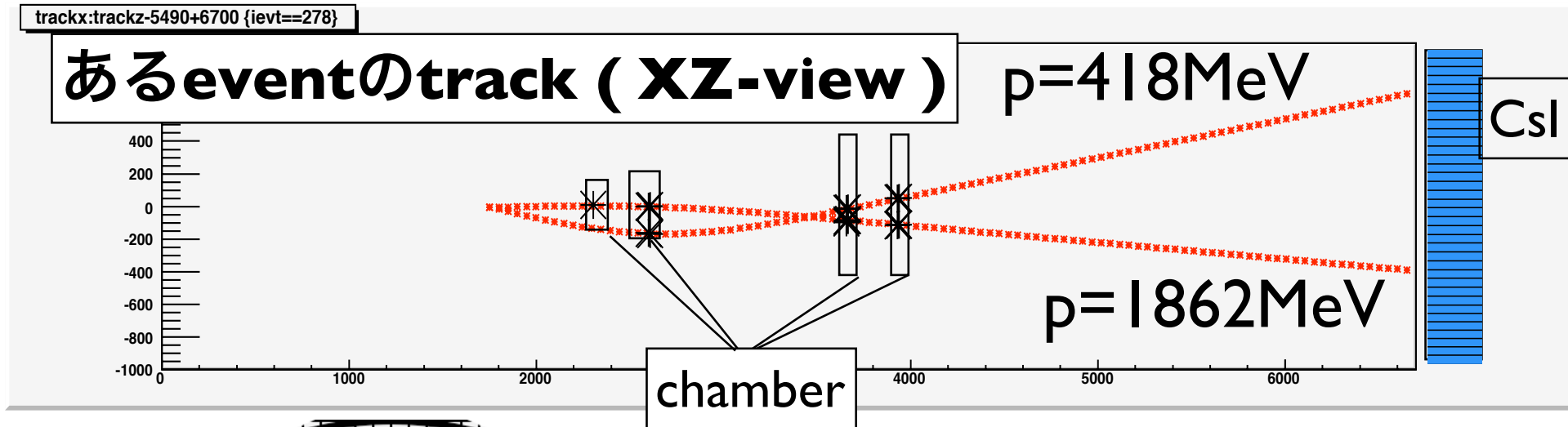
setup

- ★ track e and π by 4 drift-chambers (3~4m upstream of Csl)
- ★ 0.7 T magnet (KURAMA) around chambers.

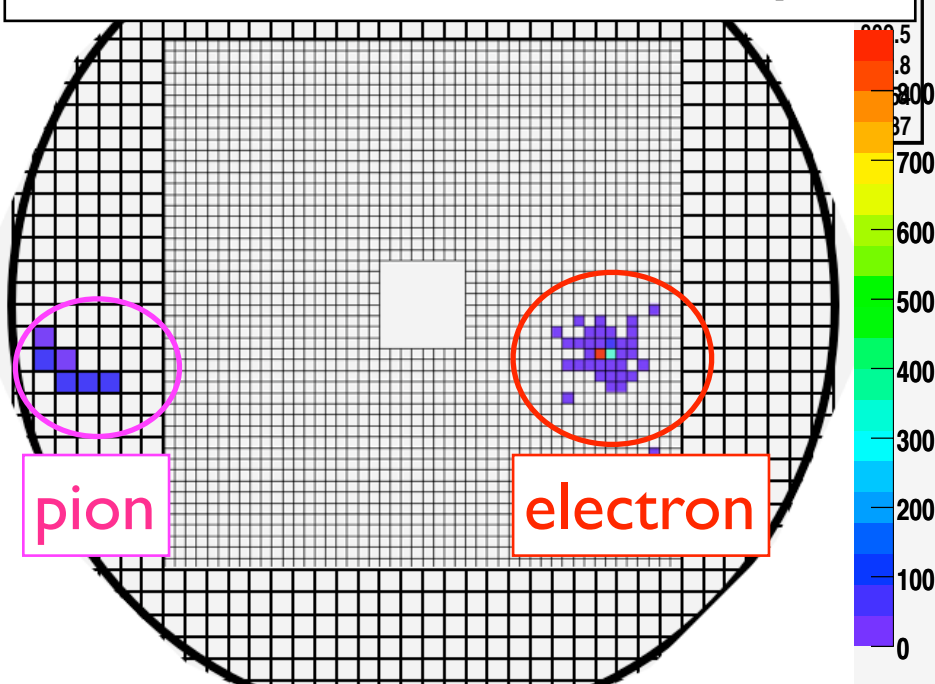


event sample

↓ trackの曲率から荷電粒子の運動量が測定可能



あるeventのCsIのhitの様子



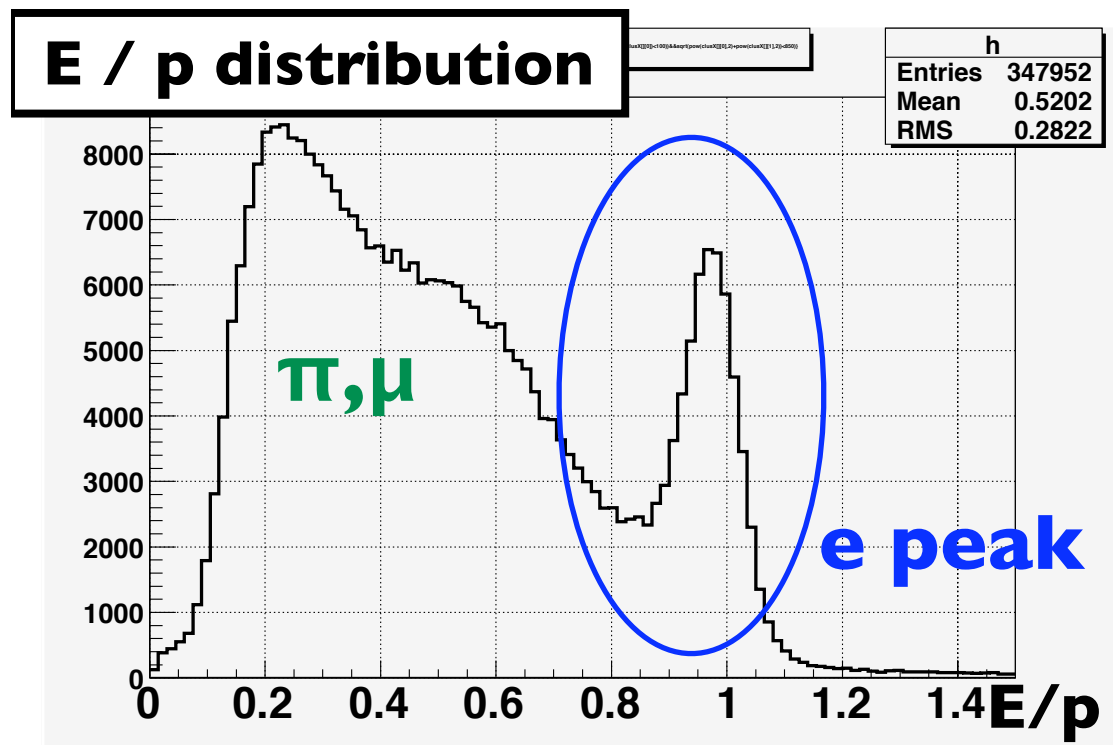
← 近くにある結晶をひとつに
まとめて(クラスター),
energyと入射位置を読み出す

★入射粒子がelectronなら
電磁シャワーを作る

E/p分布

★測定されるtrackは**electron**の他,K decay由来の **π, μ**

⇒**electron ID**のために**E/p**分布を使用



★**E/p**とは...

CsIで測ったエネルギー(**E**)と
chamberで測った運動量(**p**)
の比

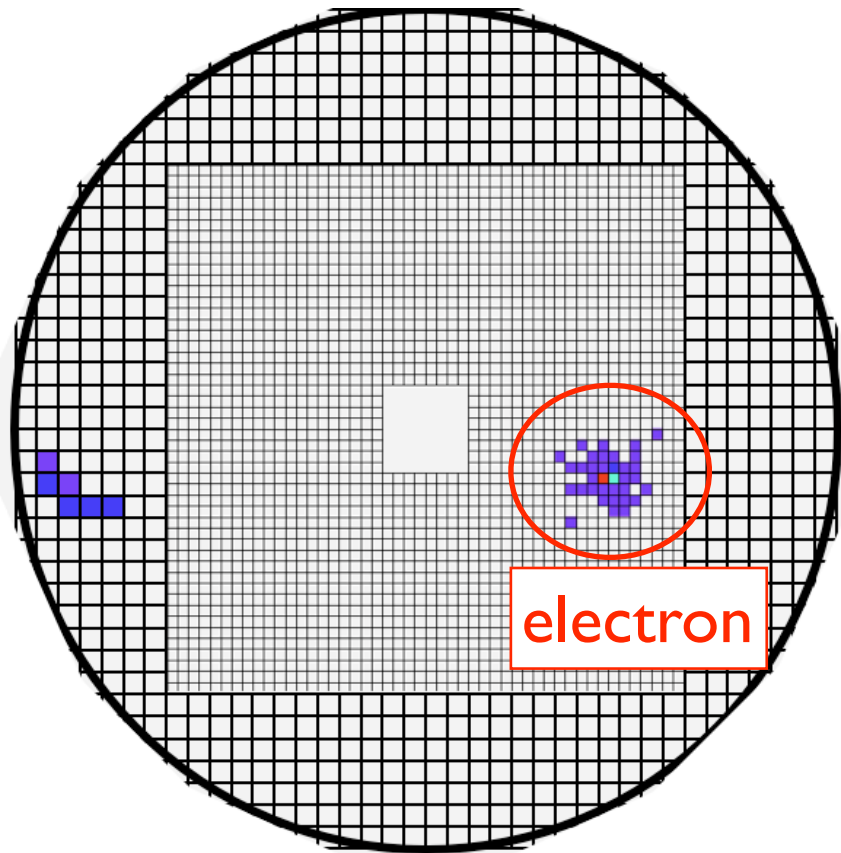
★**electron**は電磁シャワー
を作る ⇒**E/p ~ 1**

★ **π, μ** は**CsI**を突き抜ける
⇒**E/p < 1**

★**electron peak**には **π, μ** によるcontaminationが見られる

⇒**E/p**に加えさらなる**selection cut**が必要

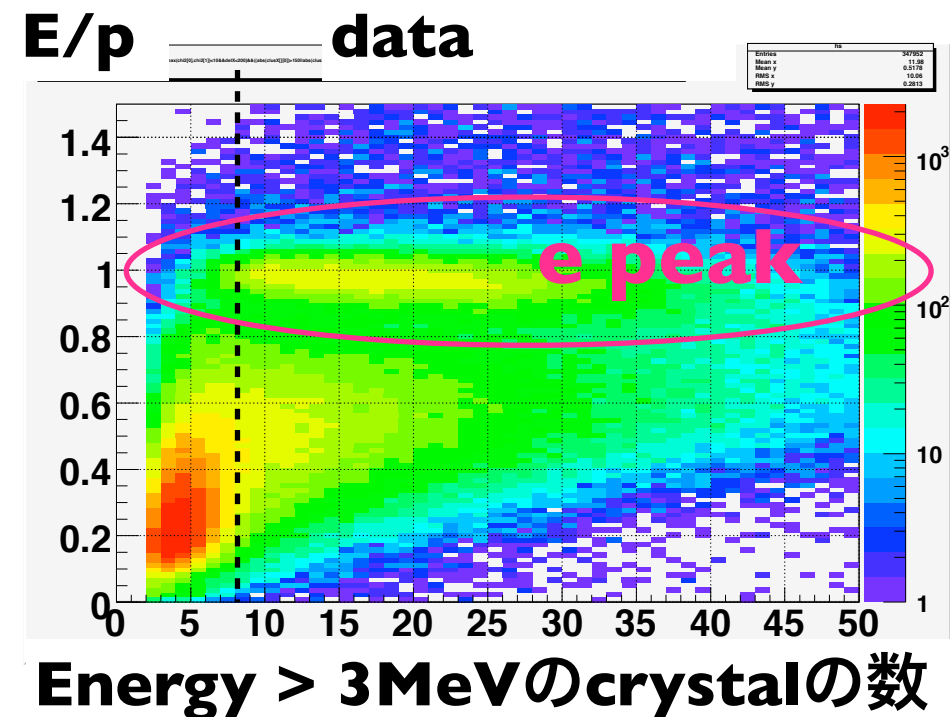
cut①: # of hit crystals



★electronなら

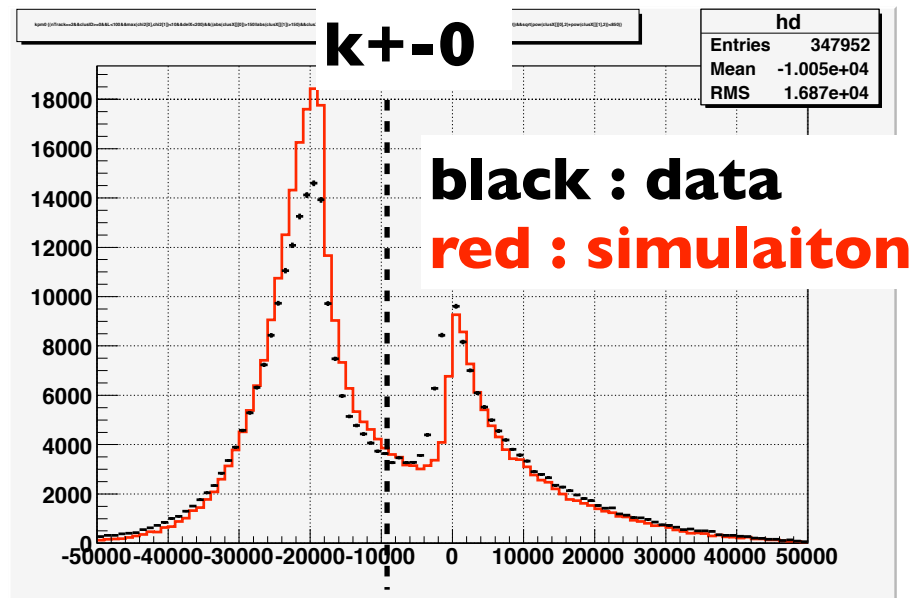
showerの広がりの方

複数のCsIが鳴る



3MeV以上のエネルギーを持つcrystalが8以上を要求

cut②: $K\pi^{+-0}$ kinematic



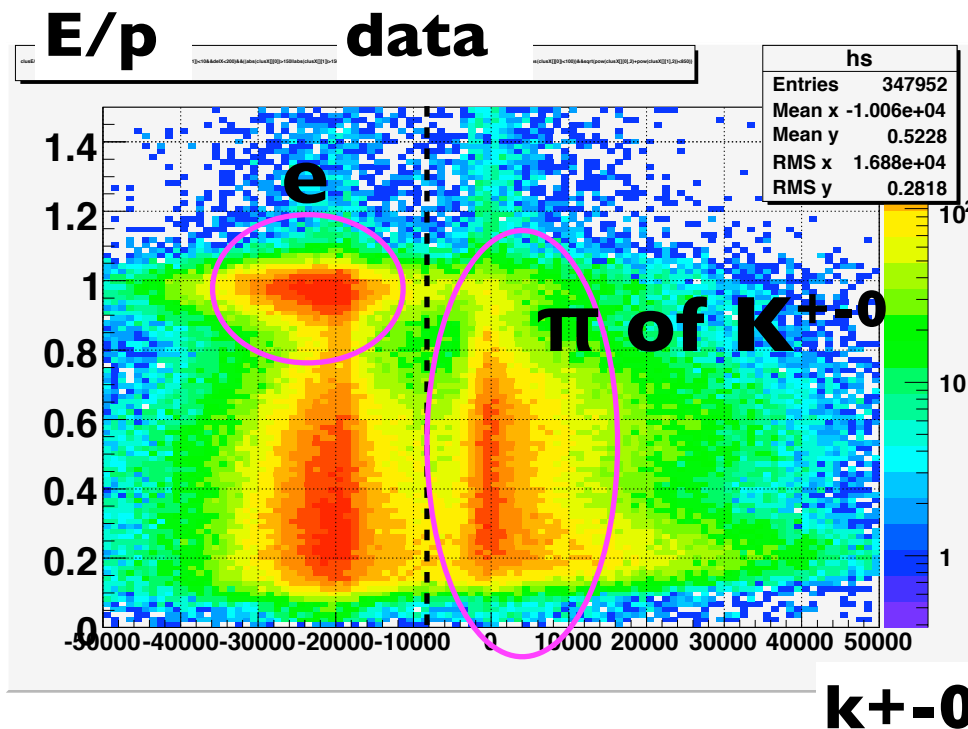
★ $K\pi^{+-0}$ 崩壊はkinematicで識別可

chamberの情報を使い

↓ 以下の物理量を計算

$$k_{+-0} = \frac{(m_K^2 - m_{\pi\pi}^2 - m_{\pi^0}^2)^2 - 4m_{\pi\pi}^2 m_{\pi^0}^2 - 4m_K^2 p_t^2}{4(m_{\pi\pi}^2 + p_t^2)}$$

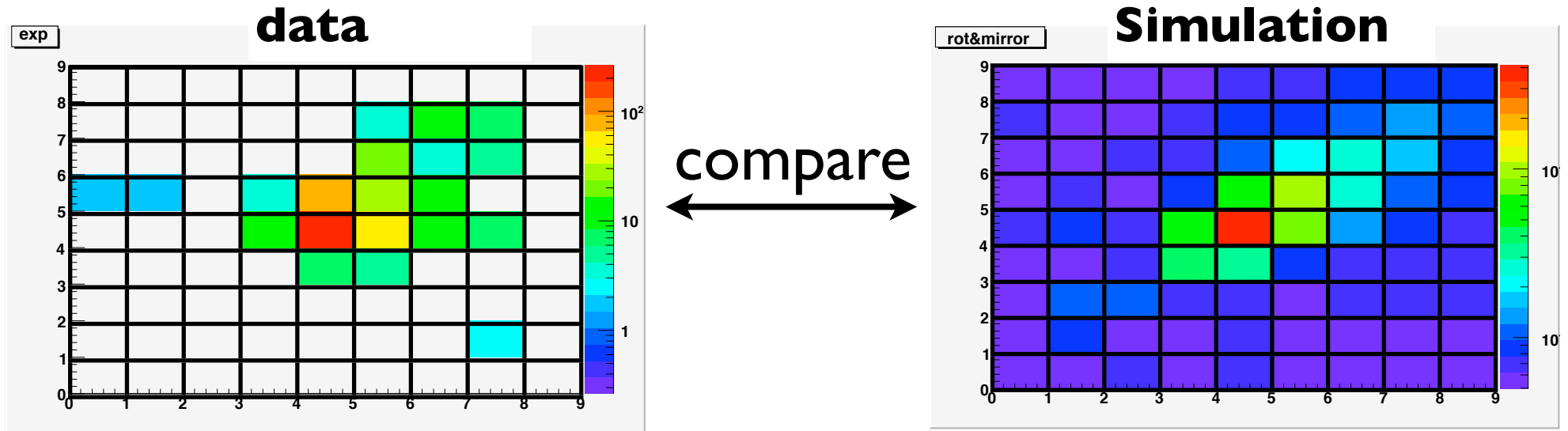
ひとある系で見た π^0 のビーム軸方向運動量二乗。 $Ke3, K\mu3$ の場合、物理的におかしい値になる。



★ $k_{+-0} < -9000$ を要求

cut③: shape χ^2

shape χ^2 cut : シャワーの形状でelectron を識別

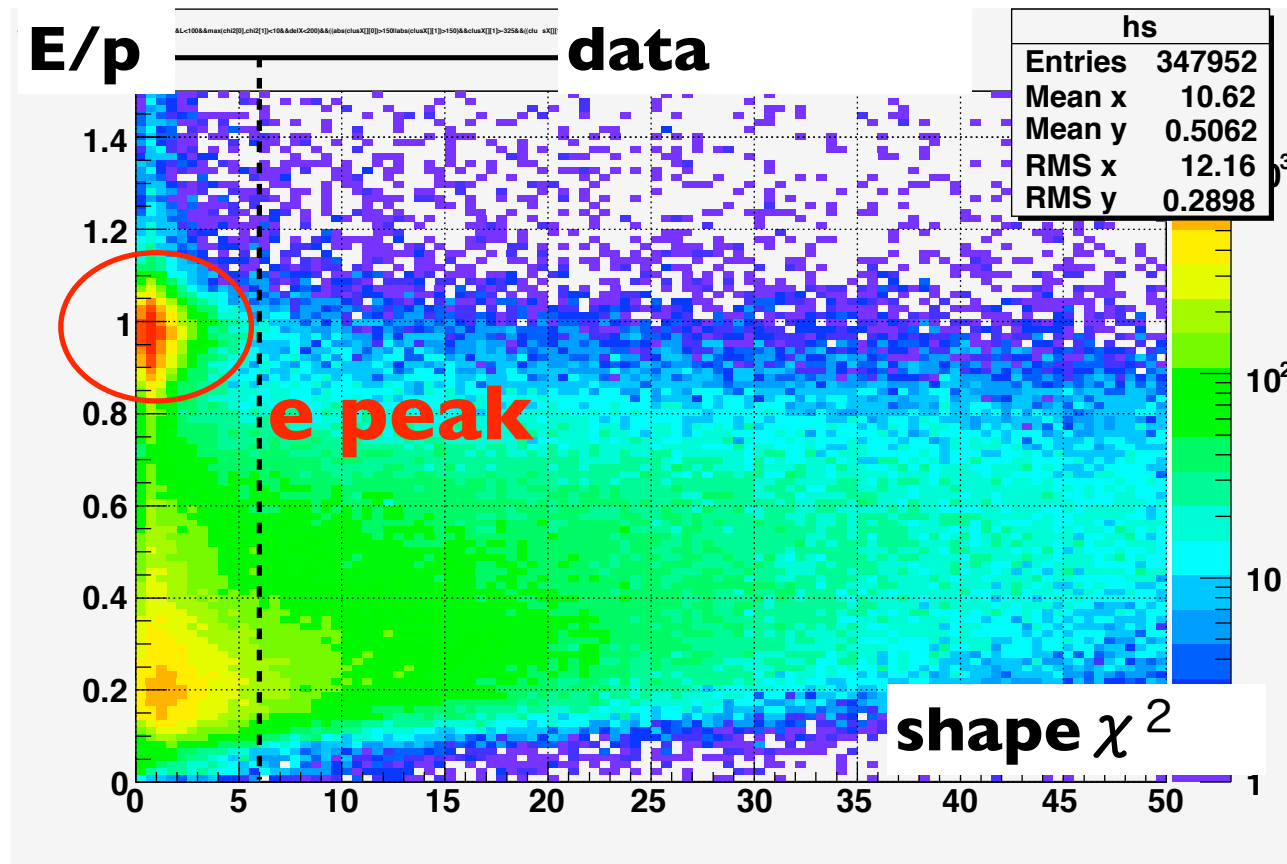


測定されたシャワー形状をsimulationで得られたシャワー形状と比べる

$$\chi^2 = \sum_{CsI} \left(\frac{E_{measured} - E_{simulated}}{RMS_{simulated}} \right)^2$$

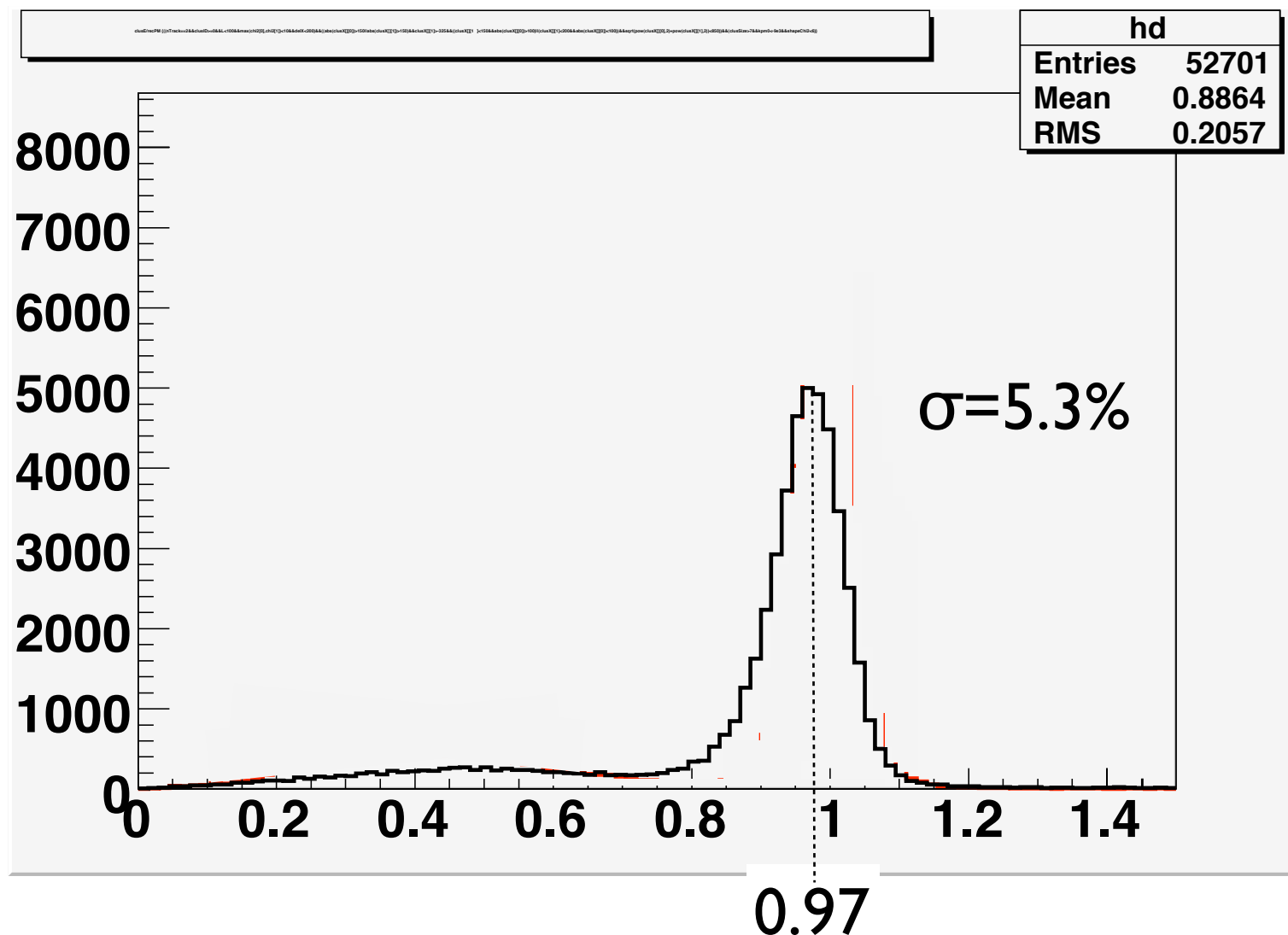
(the summation is taken over all crystals in the measured cluster.)

cut③: shape χ^2



shape $\chi^2 < 6$ を要求

cut後のE/p分布



- ★ electron-like event : 40000 event / Nov. run (50 hour)
- ★ peakは2~3%程低い位置に

calibration constantの算出

★全eventのelectron like なclusterについて χ^2 を計算

$$\chi^2 = \sum_{event} \left(\frac{E_{chamber} - E_{CsI}}{\sigma} \right)^2 = \sum_{event} \left(\frac{E_{chamber} - \sum_{cluster} \Delta_i e_i}{\sigma} \right)^2$$

(e: 各結晶のedep w/ 現在の calib. const., Δ :求めたいparameter)

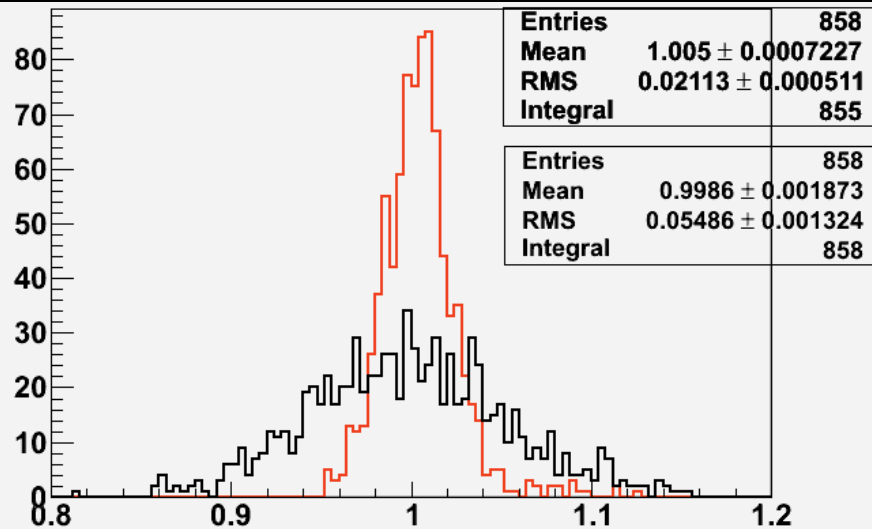
χ^2 を最小にする $\{\Delta\}$ は次の式を満たす。

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial \Delta_n} = \sum_{event} 2 \left(\frac{E_{chamber} - E_{CsI}}{\sigma^2} \right) \cdot e_i = 0$$

⇒1200個の連立方程式。解析的に解く。

simulationに適用

calibration constantの分布



★calib. constantを5.4%

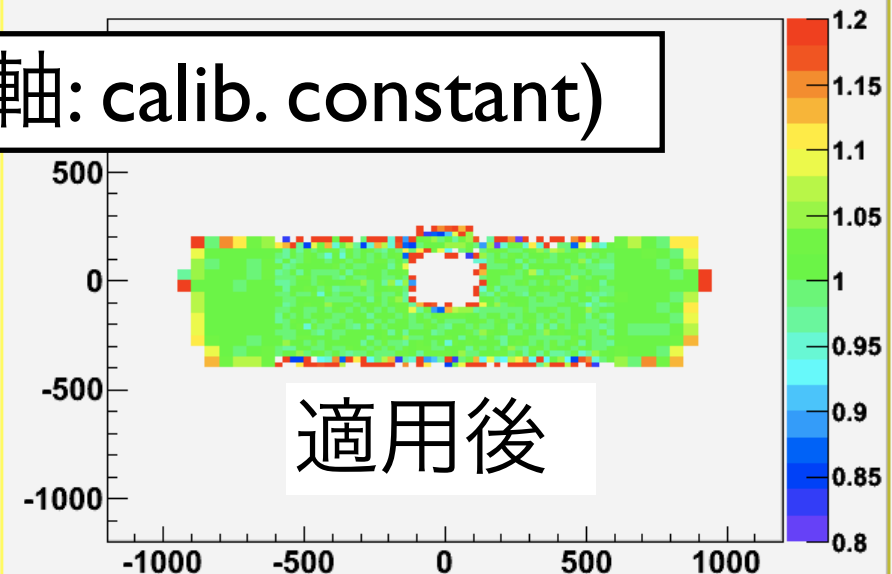
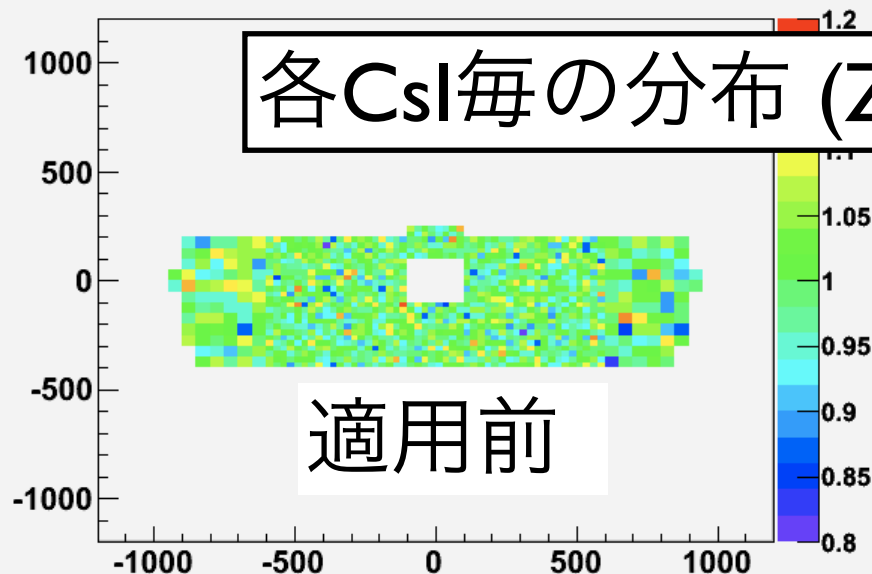
smearさせ,前ページの方法を適用

←2%に改善する

端2つ分を除けば

↓位置によらない

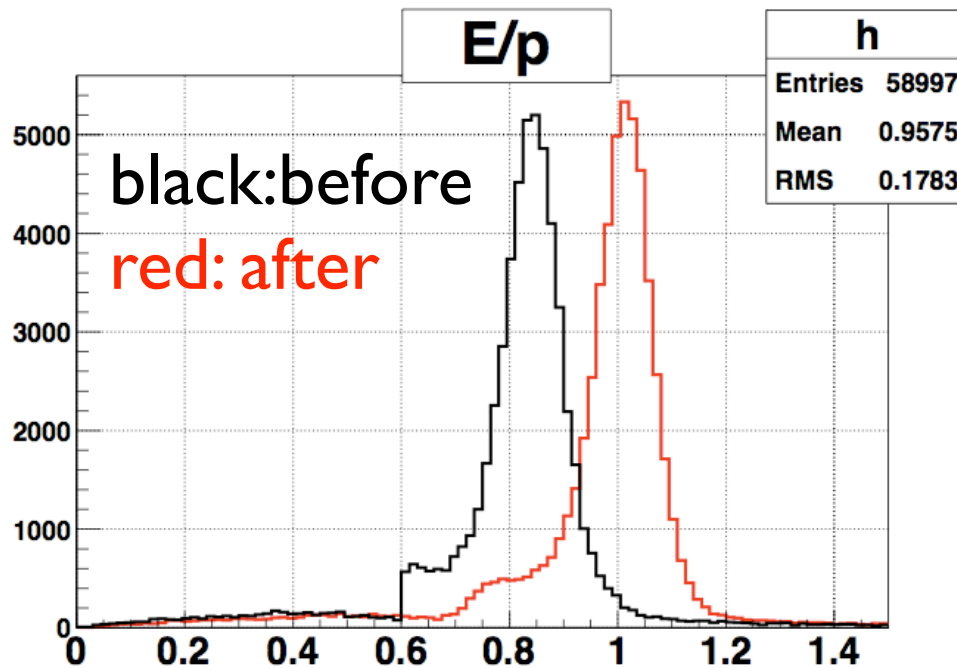
各CsI毎の分布 (Z軸: calib. constant)



dataに適用結果

＊KEK計算機が復旧して

いないため古いplot

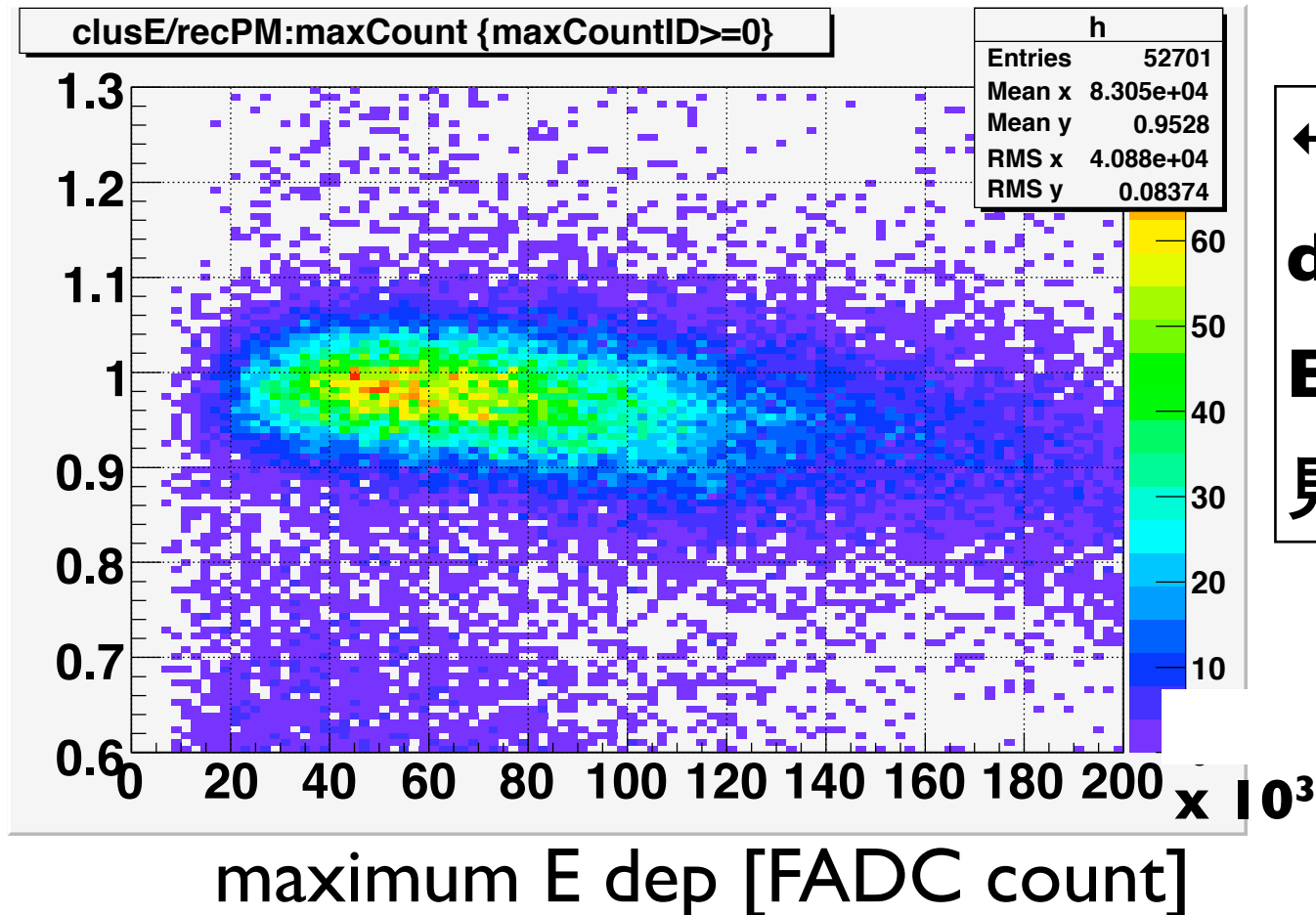


E/p のmeanは1に立ったが
RMSはほぼ変わらない

nonlinearity ?

electron peakは別の原因で広がっている

⇒nonlinearity ?



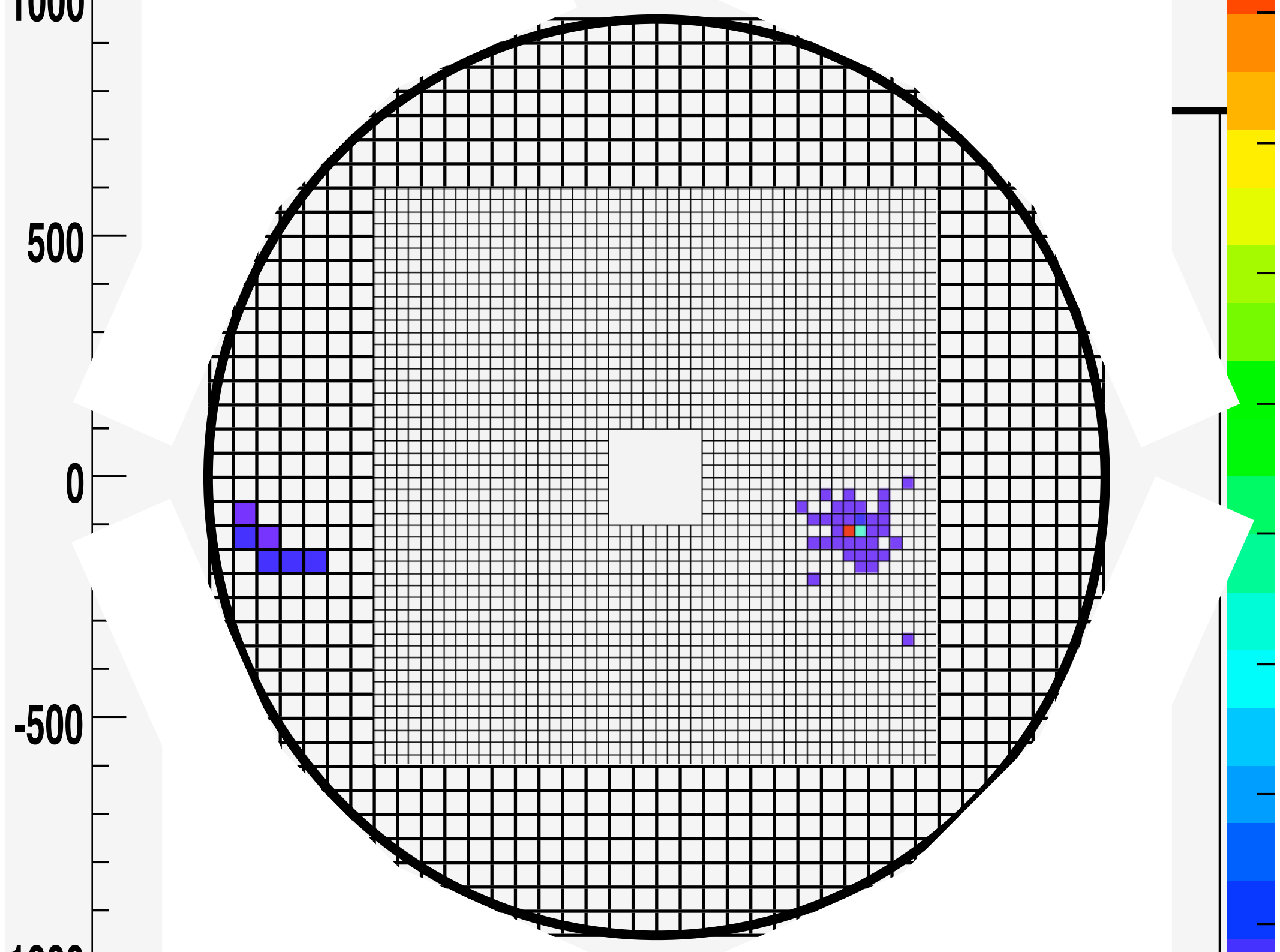
←CsIへのenergy

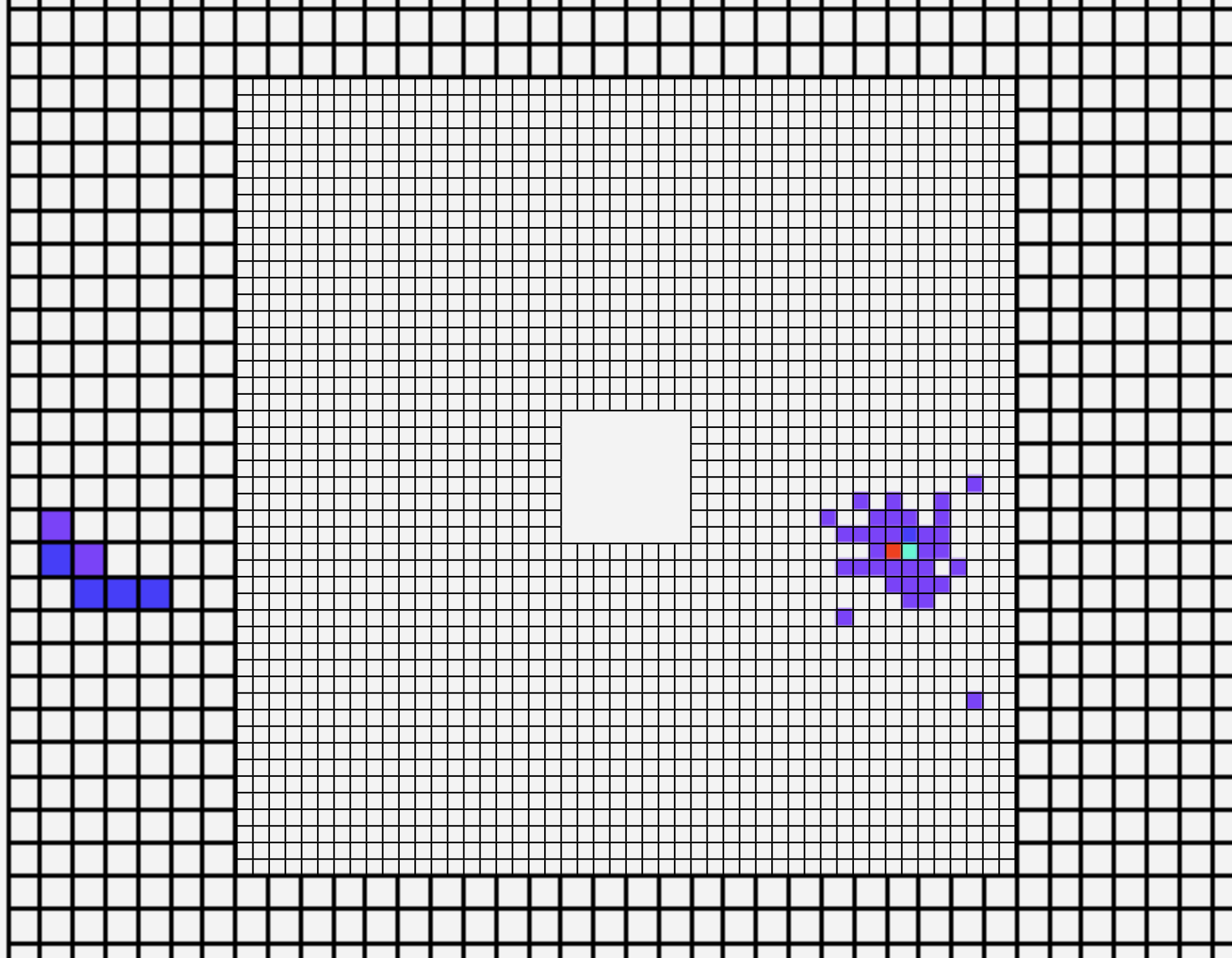
depositが大きいほど
 E/p が低くなる傾向が
見えている

summary

- KOTO実験主要検出器 CsI結晶電磁カロリメータ
⇒今年2月に全結晶の積載が完了
- 昨年10~11月に、CsIのcalibration constantを測るためのビームテストを実施
- Ke3 eventのelectronを用いてCsI上での電磁シャワーを測定
- Calibration constantは~2%の精度で求まると予想
→dataに適応しても改善が見られない？
- non-linearityがみえている→補正が必要

backup



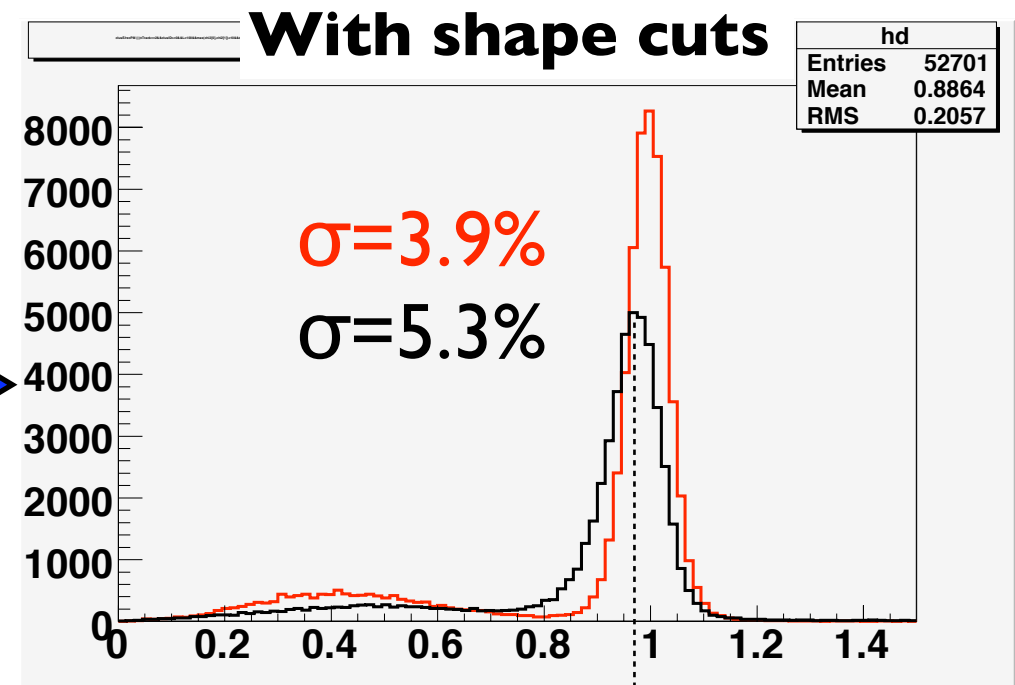
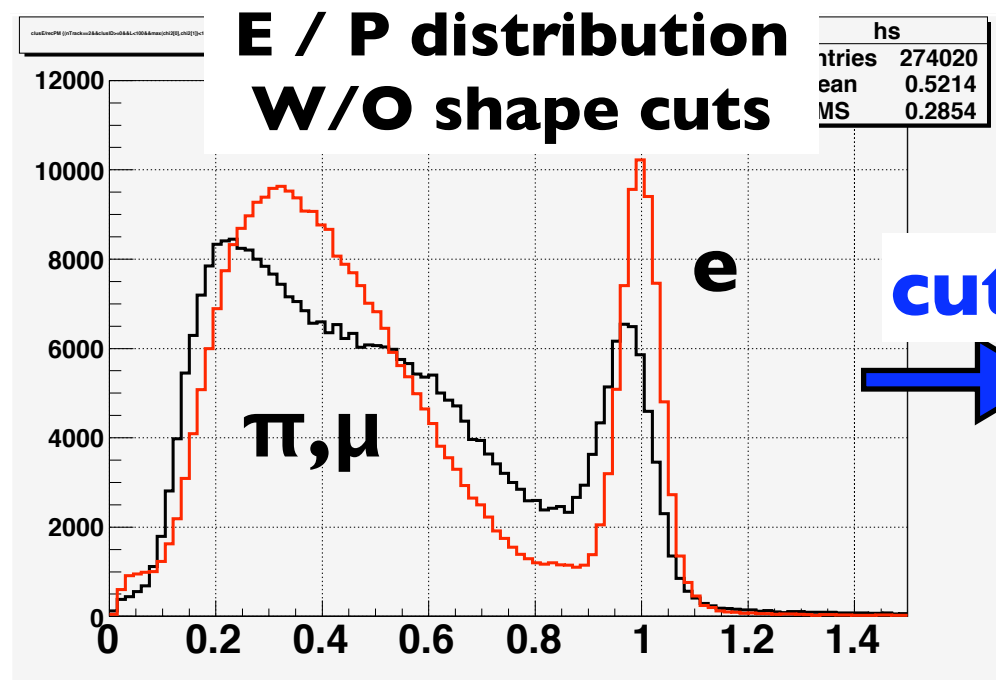


π, μ と electron の識別

★eならば **$E/P \sim 1$**

(E : CsIで測ったエネルギー P : chamberで測った運動量)

★電磁シャワーの形状をsimulationと比較(shape cut)

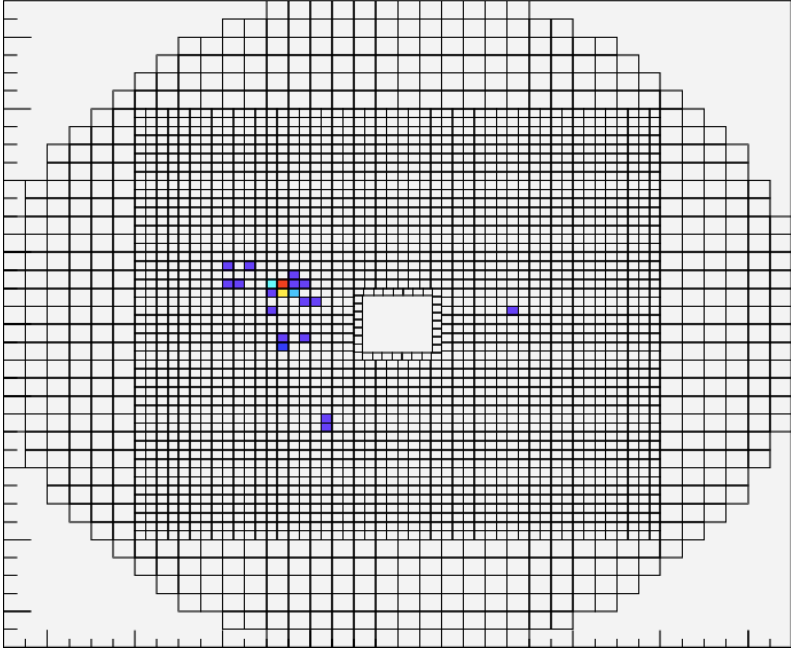


black : data

red : simulation (scaled to fit the data)

electron like event : 40000 event / Nov. run (50 hour)

CsI clustering

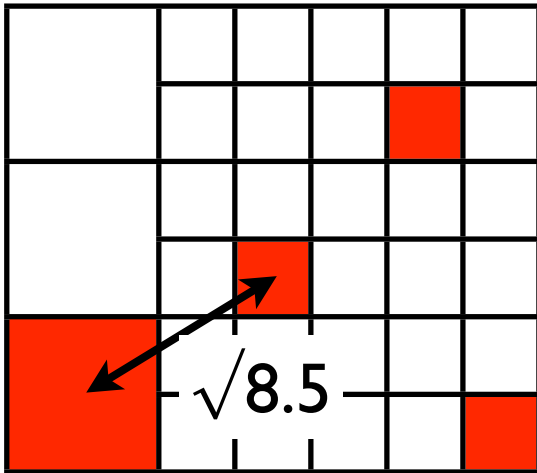


cluster

≡ a group of neighboring CsI crystals with finite energy deposit

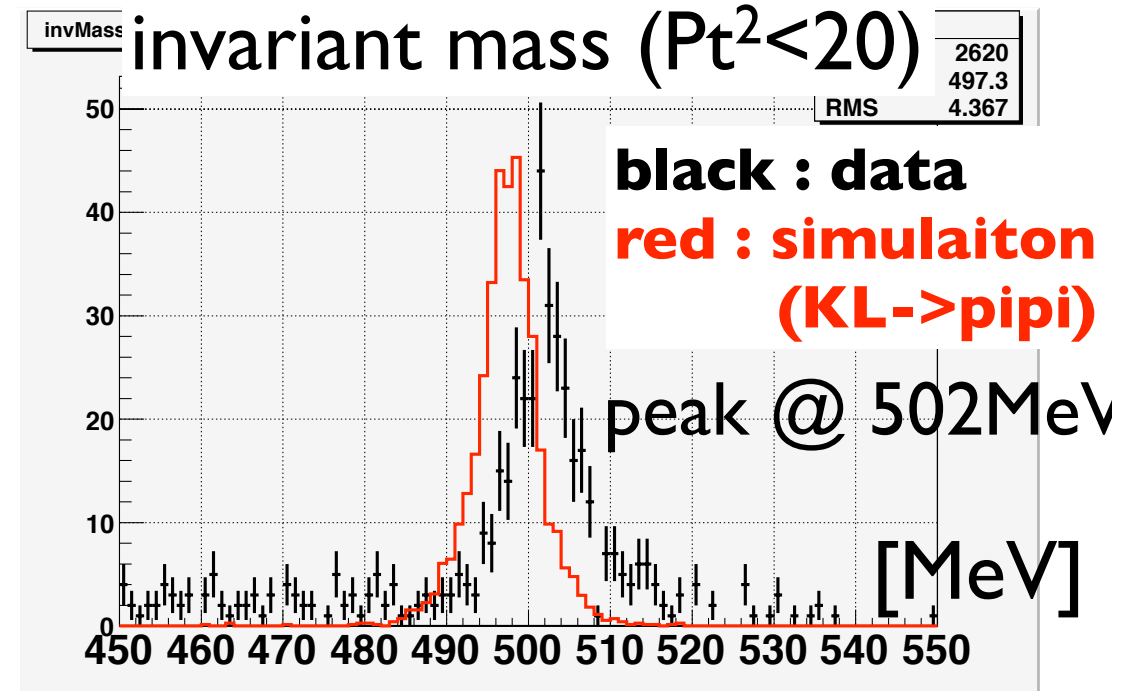
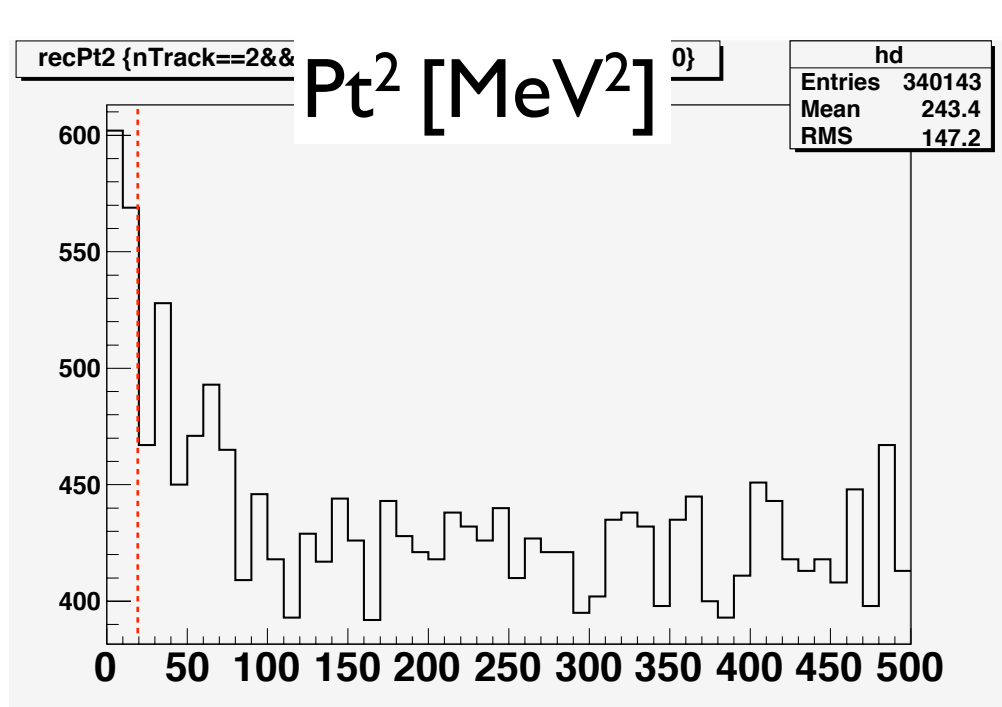
rule of clustering

- ① ignore crystals with E deposit less than 3 MeV
- ② if the distance between 2 crystals is less than $25\text{mm} \times \sqrt{8.5}$, then they were assumed to belong the same cluster.
- ③ if A and B are the same cluster and C and B are the same cluster, then A and C are the same cluster



momentum measurement

$K_L \rightarrow \pi\pi$ decay was reconstructed correctly.



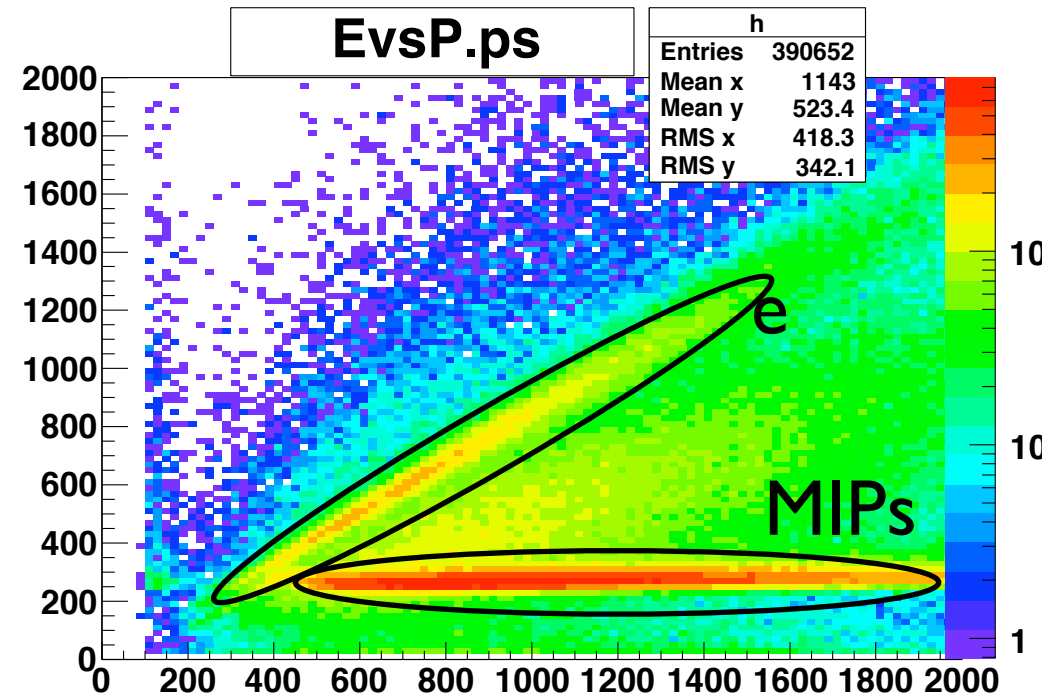
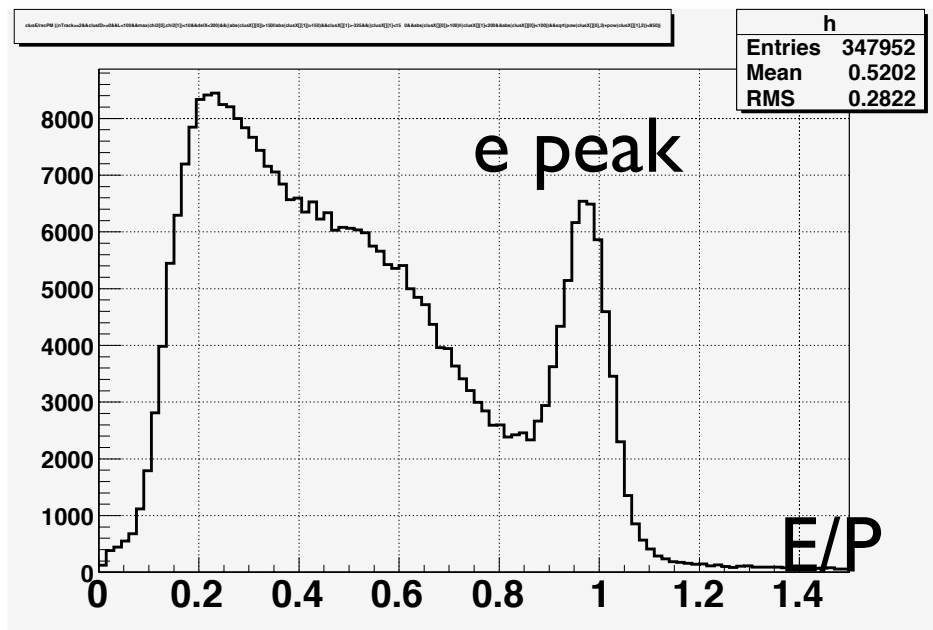
the peak position of inv. mass is consistent with K_L mass within 1%.

$\Rightarrow$ the momentum measurement with chambers works well

E/P

★as for electrons, **E/P** ~ 1

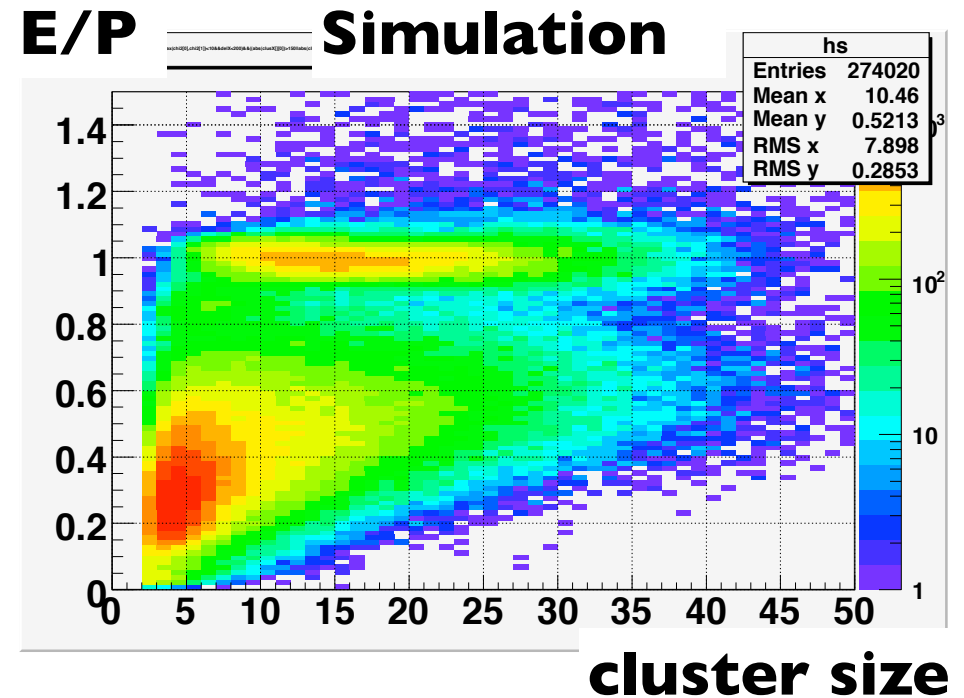
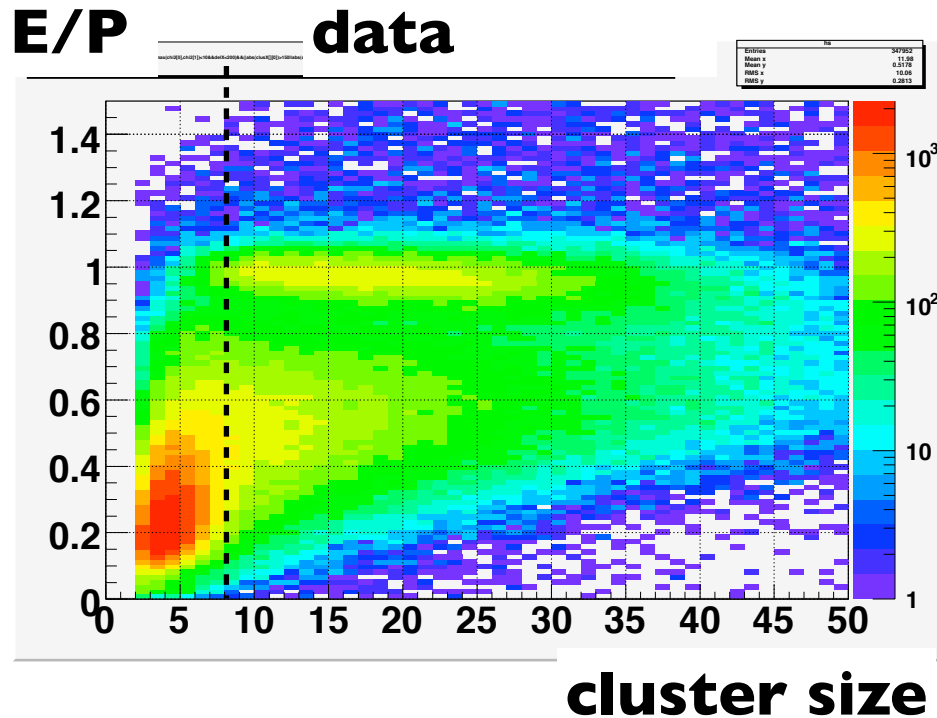
(E : cluster energy on Csl, P : momentum measured by chambers)



⇒ need some cuts to distinguish electrons from μ, π

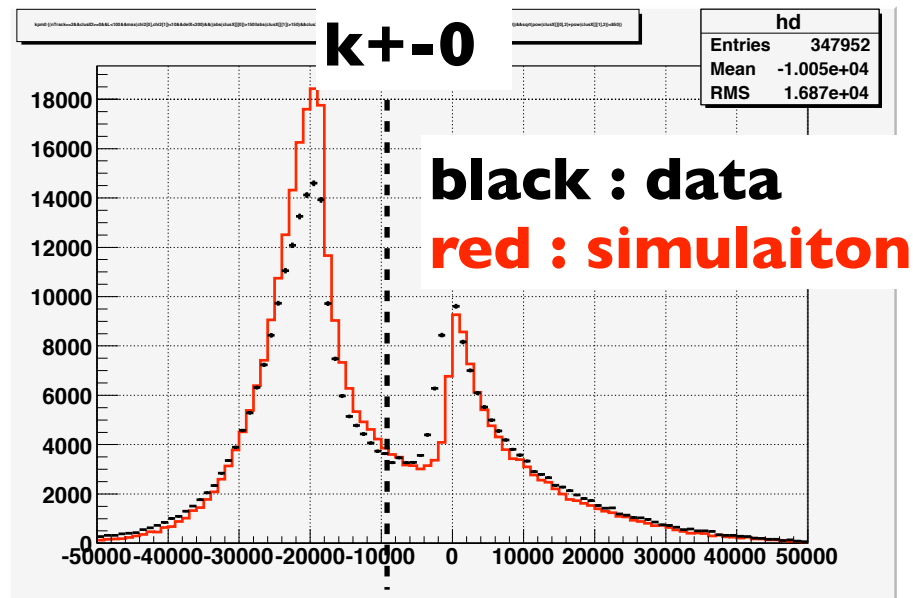
Cluster Size

★cut by cluster size (# of crystals in the cluster)



(*simulation : generate 1×10^8 KL in Geant4)

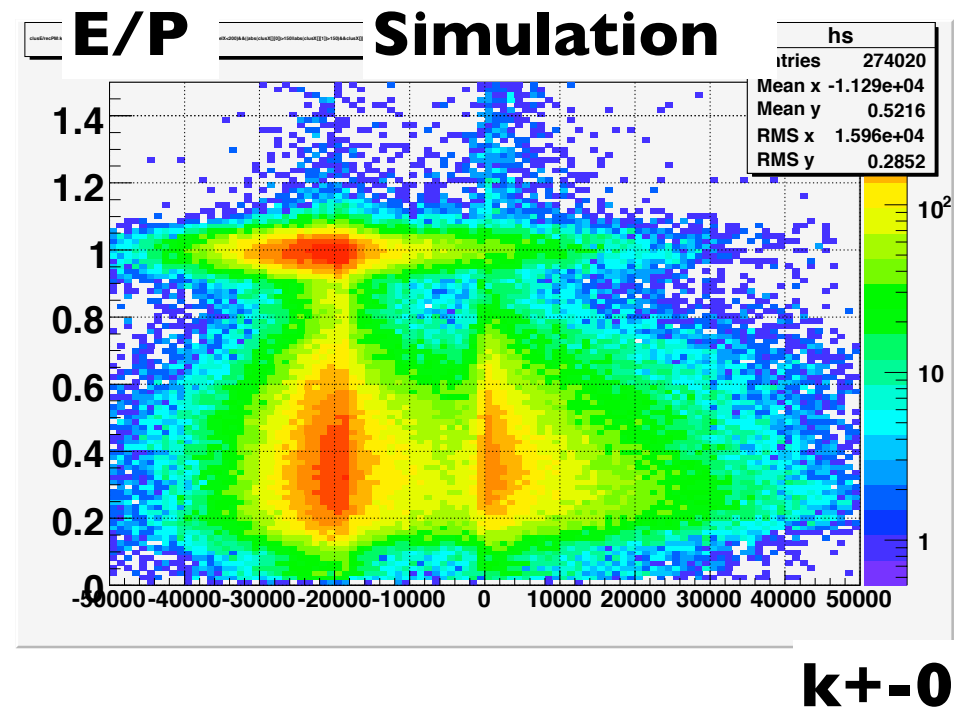
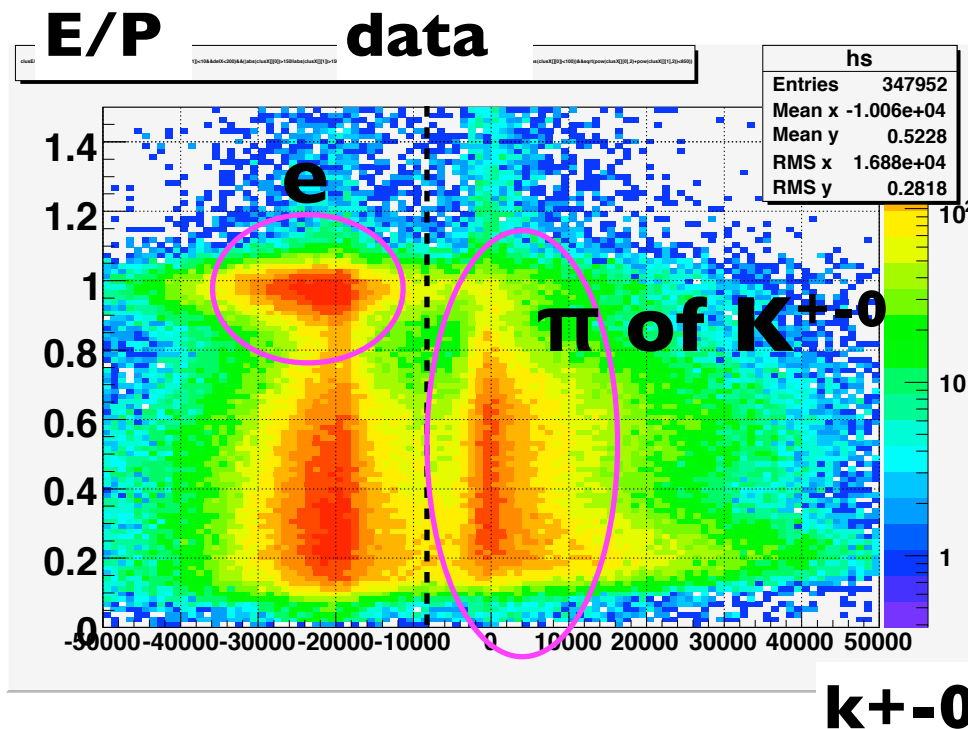
k+-0



kinematic cut to distinguish $K\pi^+-0$

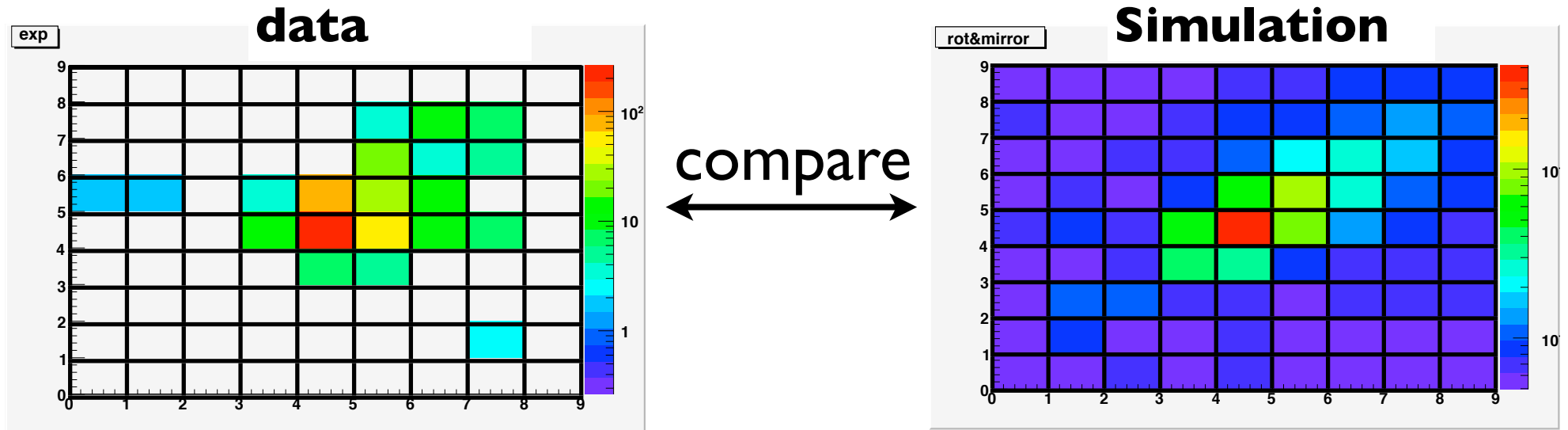
$$k_{+-0} = \frac{(m_K^2 - m_{\pi\pi}^2 - m_{\pi^0}^2)^2 - 4m_{\pi\pi}^2 m_{\pi^0}^2 - 4m_K^2 p_t^2}{4(m_{\pi\pi}^2 + p_t^2)}$$

(the square of the longitudinal momentum of the π^0 in a frame along the K flight direction where the $\pi^+\pi^-$ pair has no longitudinal momentum.)



shape chi2

shape chi2 cut : to identify an electron from its shower shape



compare a measured cluster shape with a “simulated shape”.

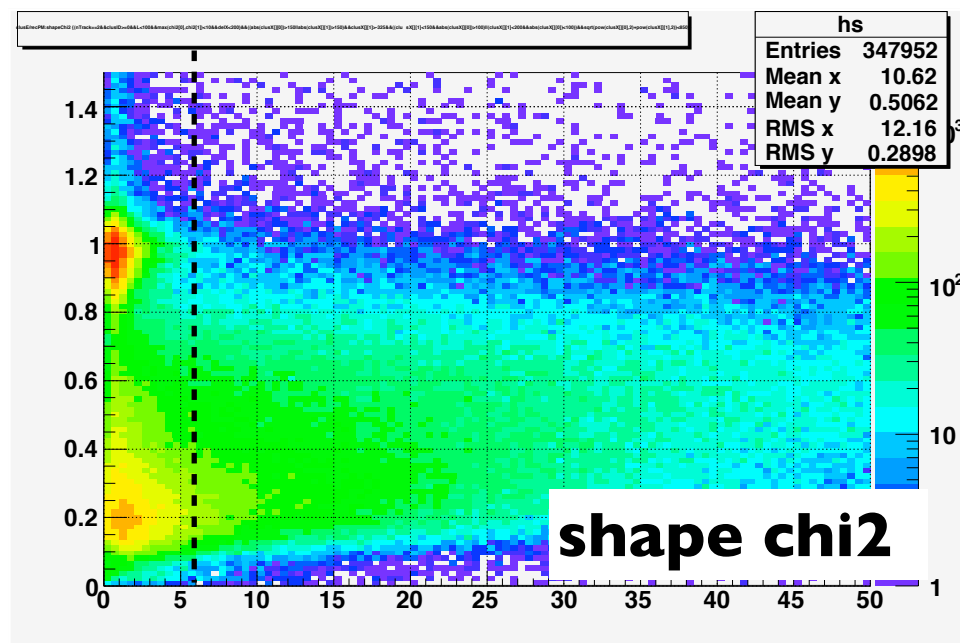
“simulated shape” $\equiv$ An average cluster shape of gamma shower simulated by geant4. The generated gamma has the same energy and direction with the measured electron.

$$\chi^2 = \sum_{CsI} \left(\frac{E_{measured} - E_{simulated}}{RMS_{simulated}} \right)^2$$

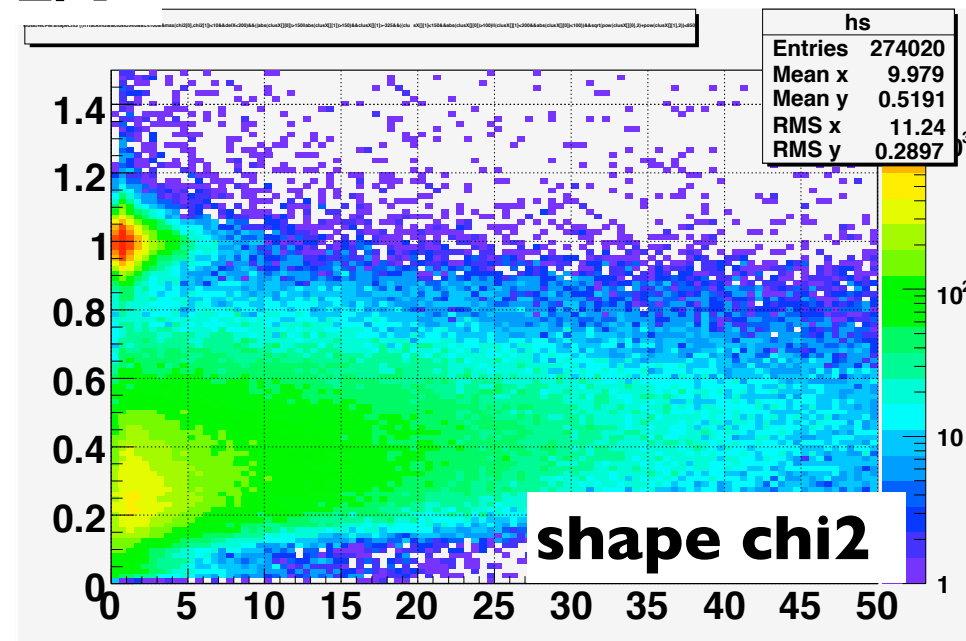
(the summation is taken over all crystals in the measured cluster.)

shape chi2

E/P **data**

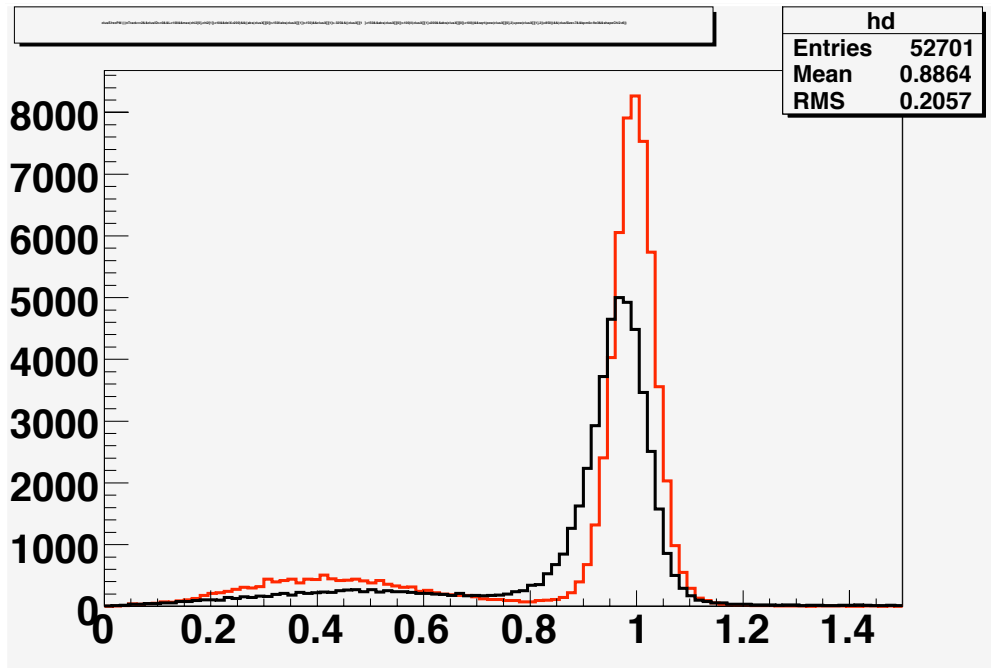


E/P **Simulation**



(*simulation : generate 1×10^8 KL in Geant4)

problems



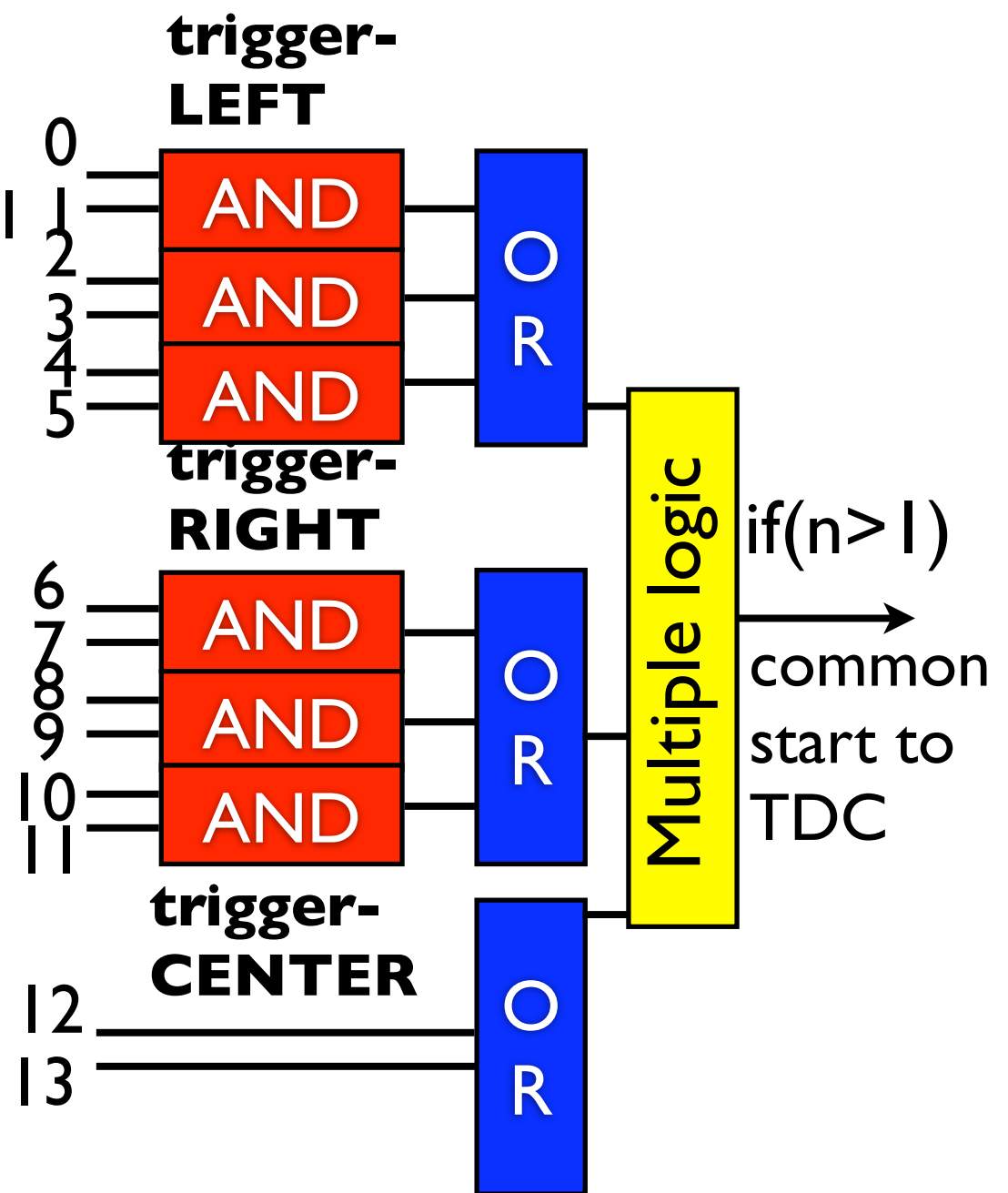
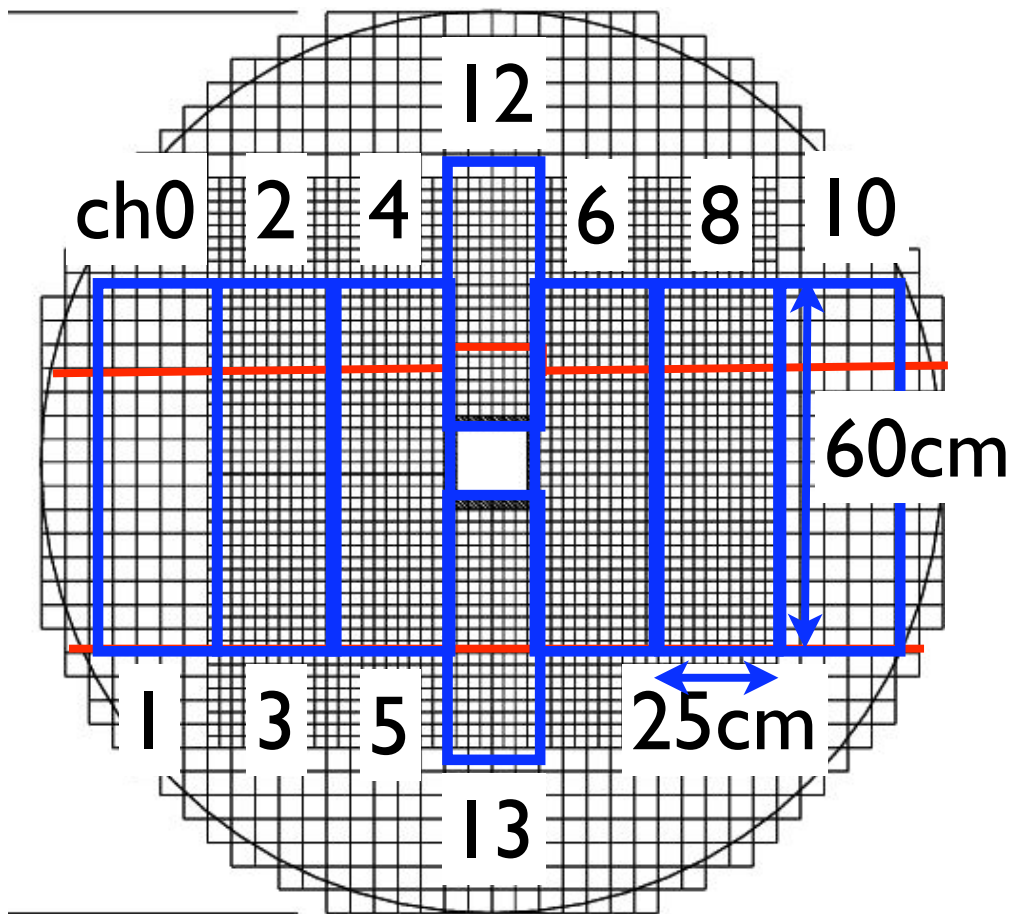
★ The electron peak is wider than simulation.
⇒ • inaccuracy of the present calibration constants?
• chamber alignment?
• chamber X-T relation (TDC calibration, trigger timing correction)?

★ the electron peak position is $\sim 3\%$ lower.

⇒ in the π^0 -target-run analysis by Shiomi-kun, this is not found.

trigger

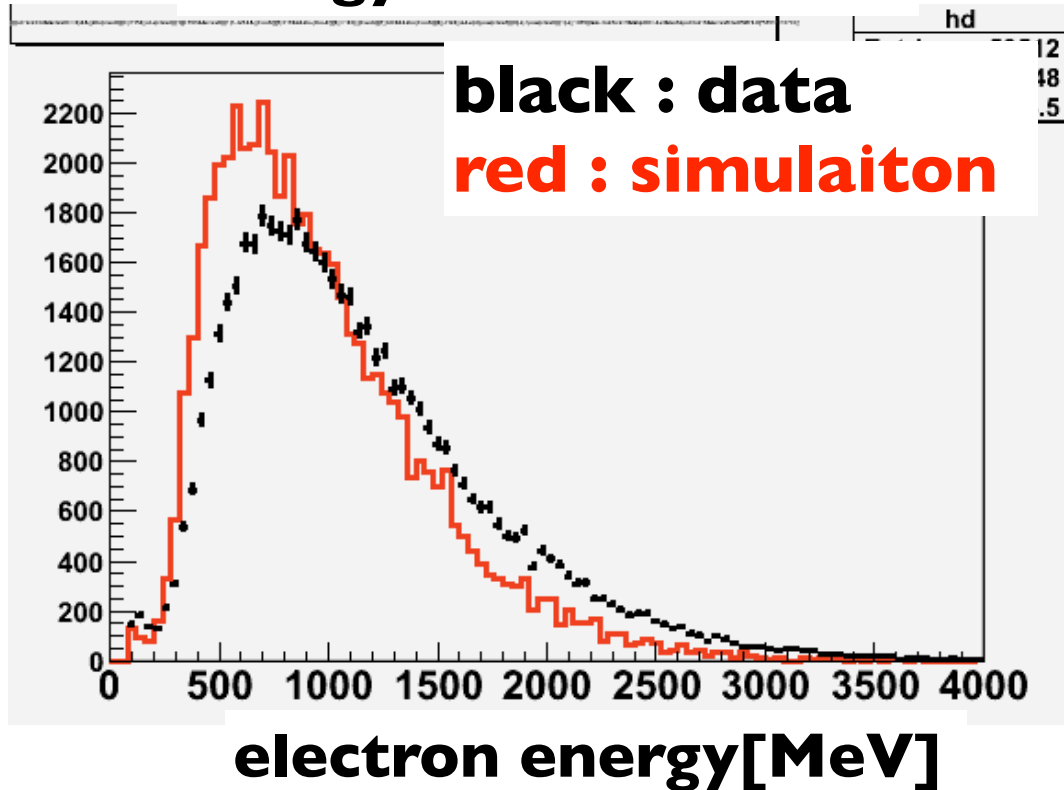
- scintillators were in front of CsI



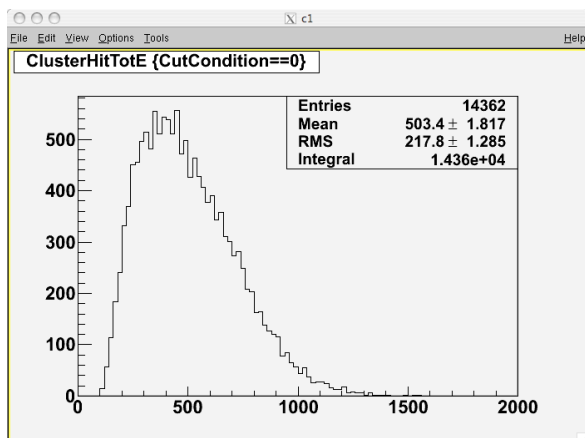
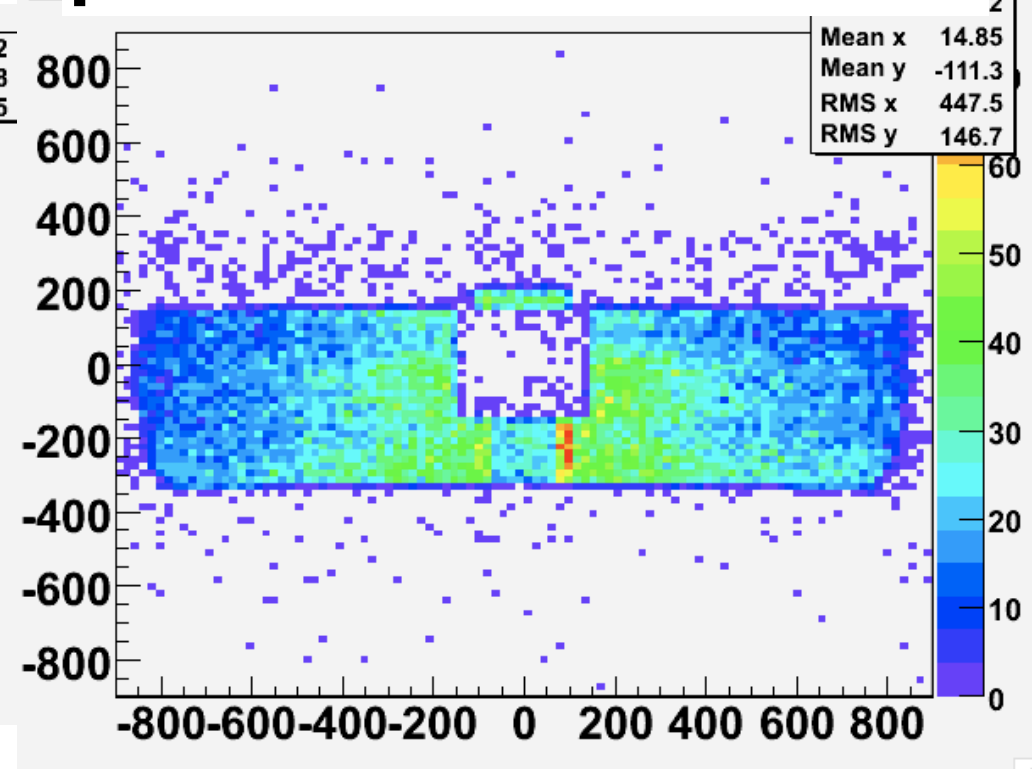
require hits in ≥ 2 parts to select 2 charged-track events

electron distribution

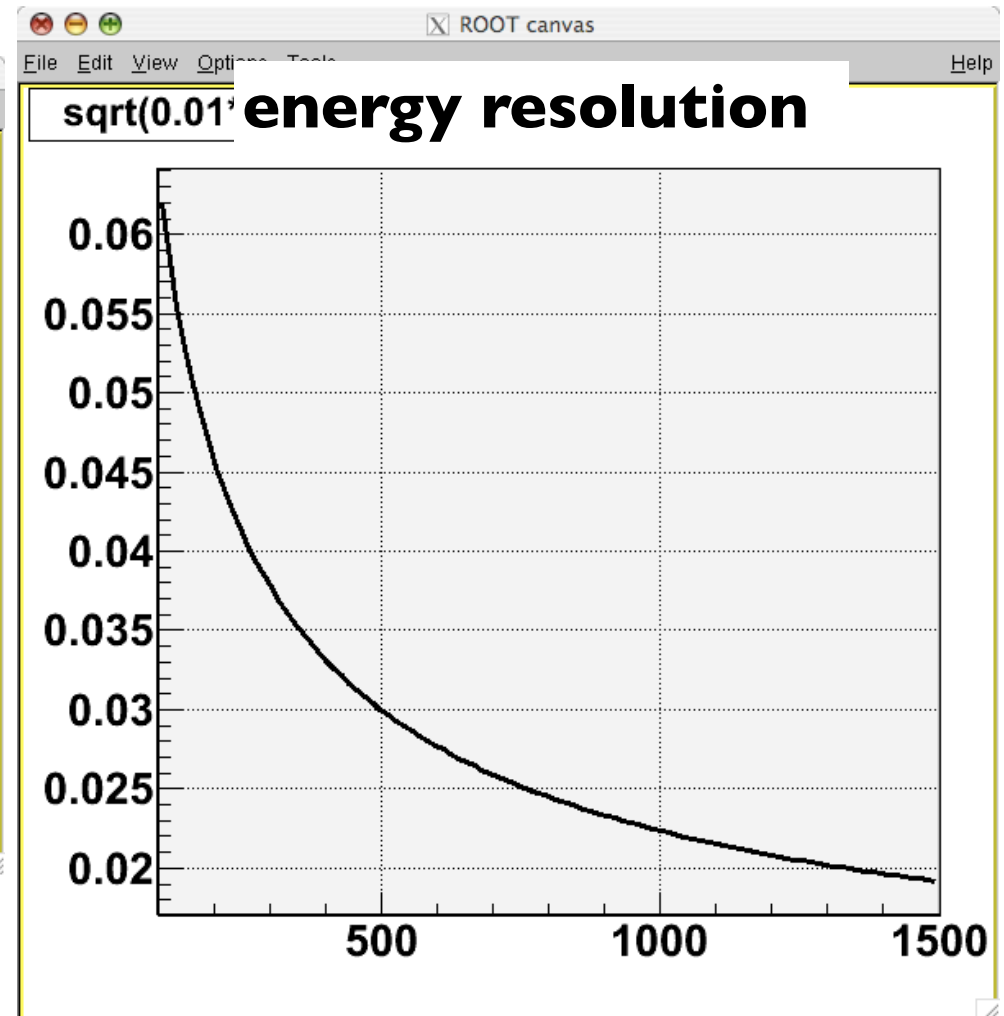
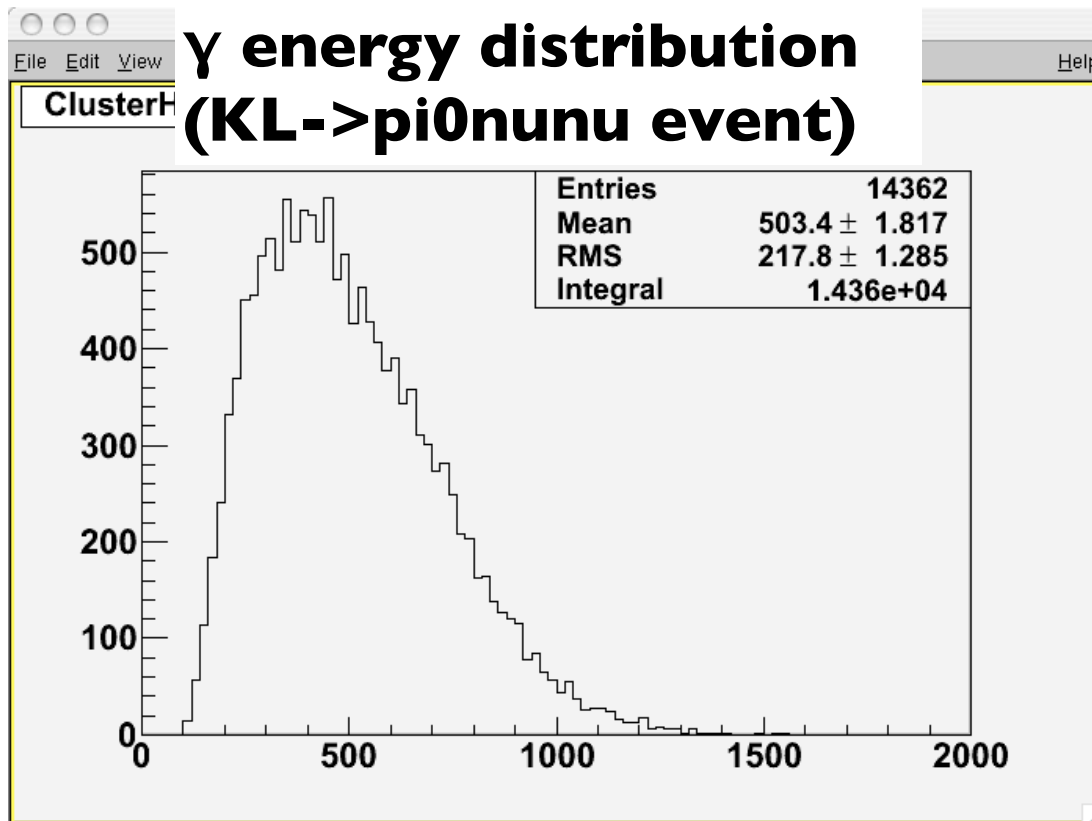
energy distribution



position distribution on CsI



energy distribution and resolution of $KL \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ event



electron position resolution

