

宇宙線とビームを用いた
KOTO実験
CsIカロリメータのキャリブレーション

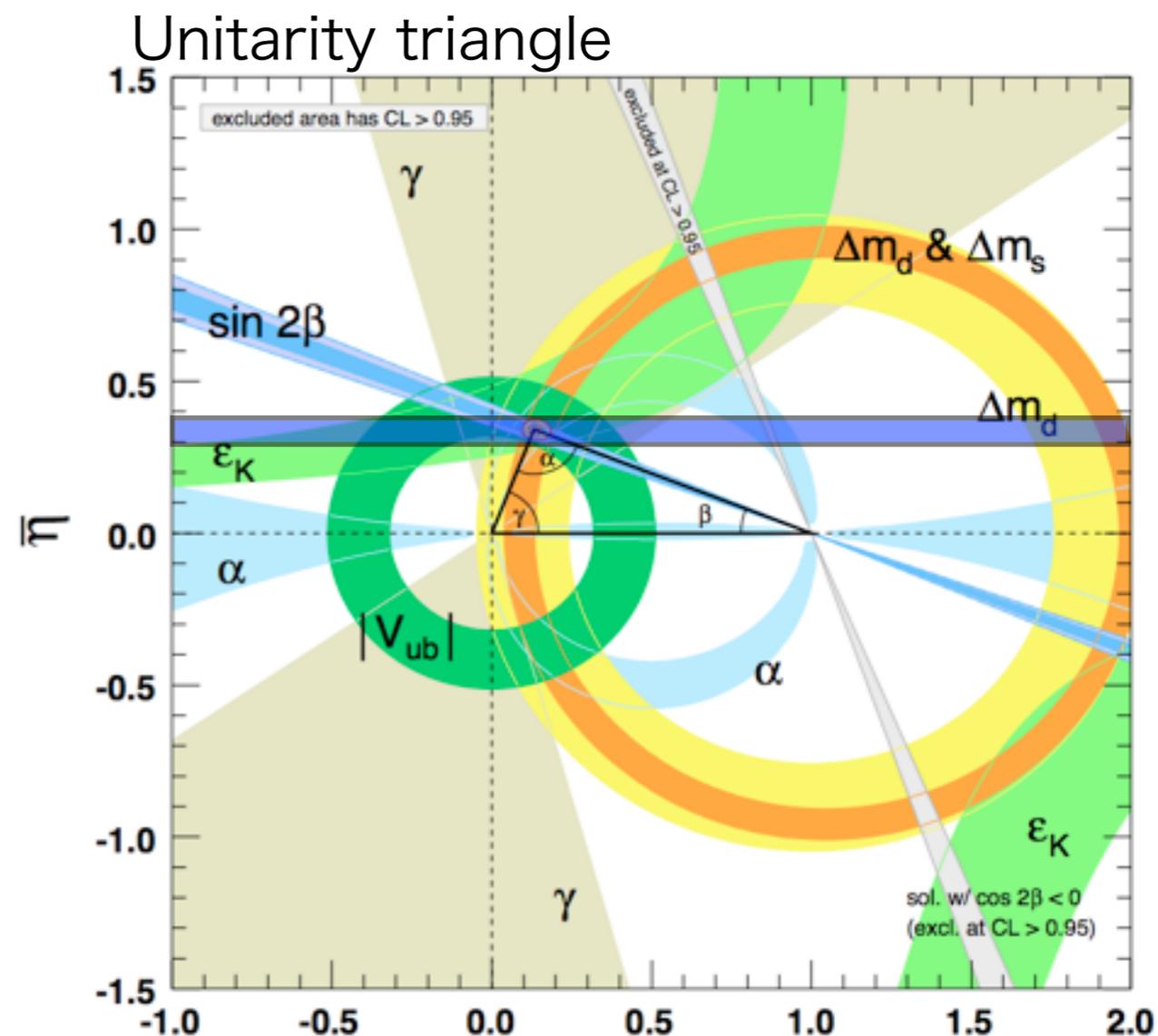
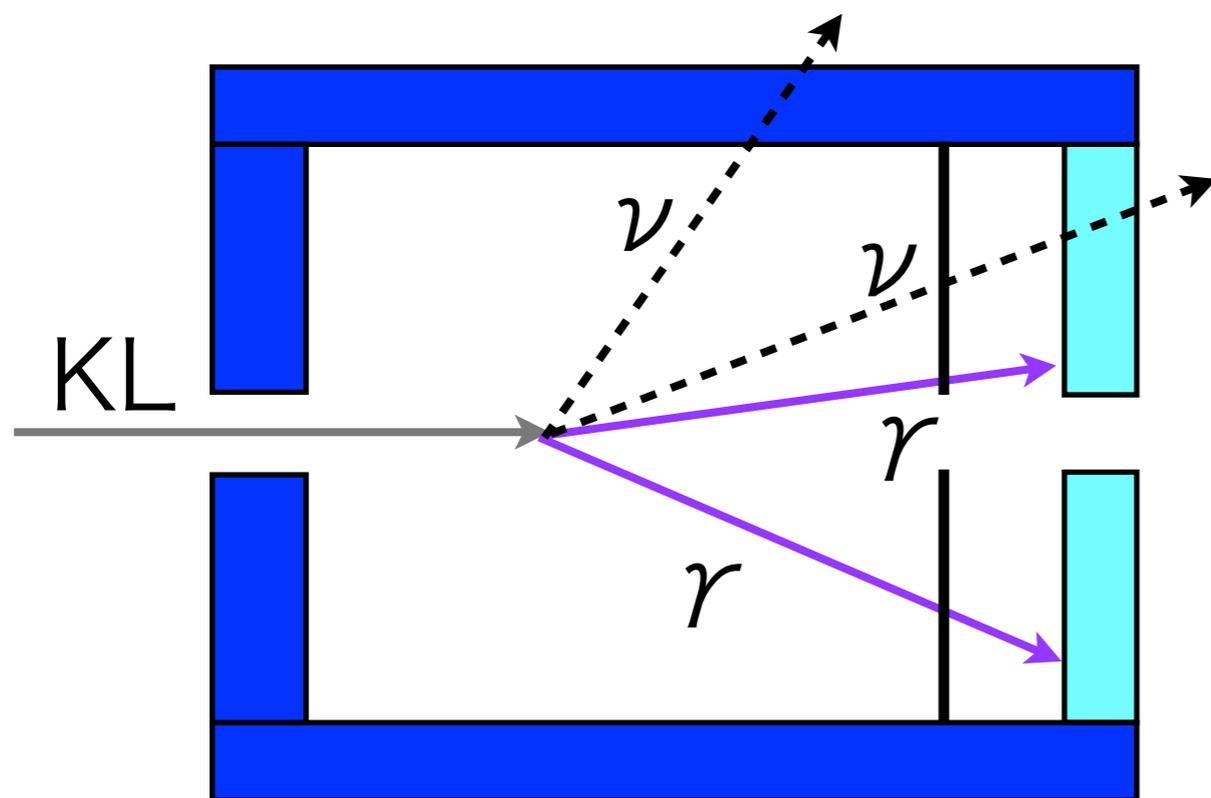
大阪大学 山中研究室
Lee Jong-won(李 宗垣)

KOTO実験

KL粒子の稀崩壊モード($KL \rightarrow \pi^0 \nu \nu$)の探索

K-systemでのCP-Violation Factor η の測定

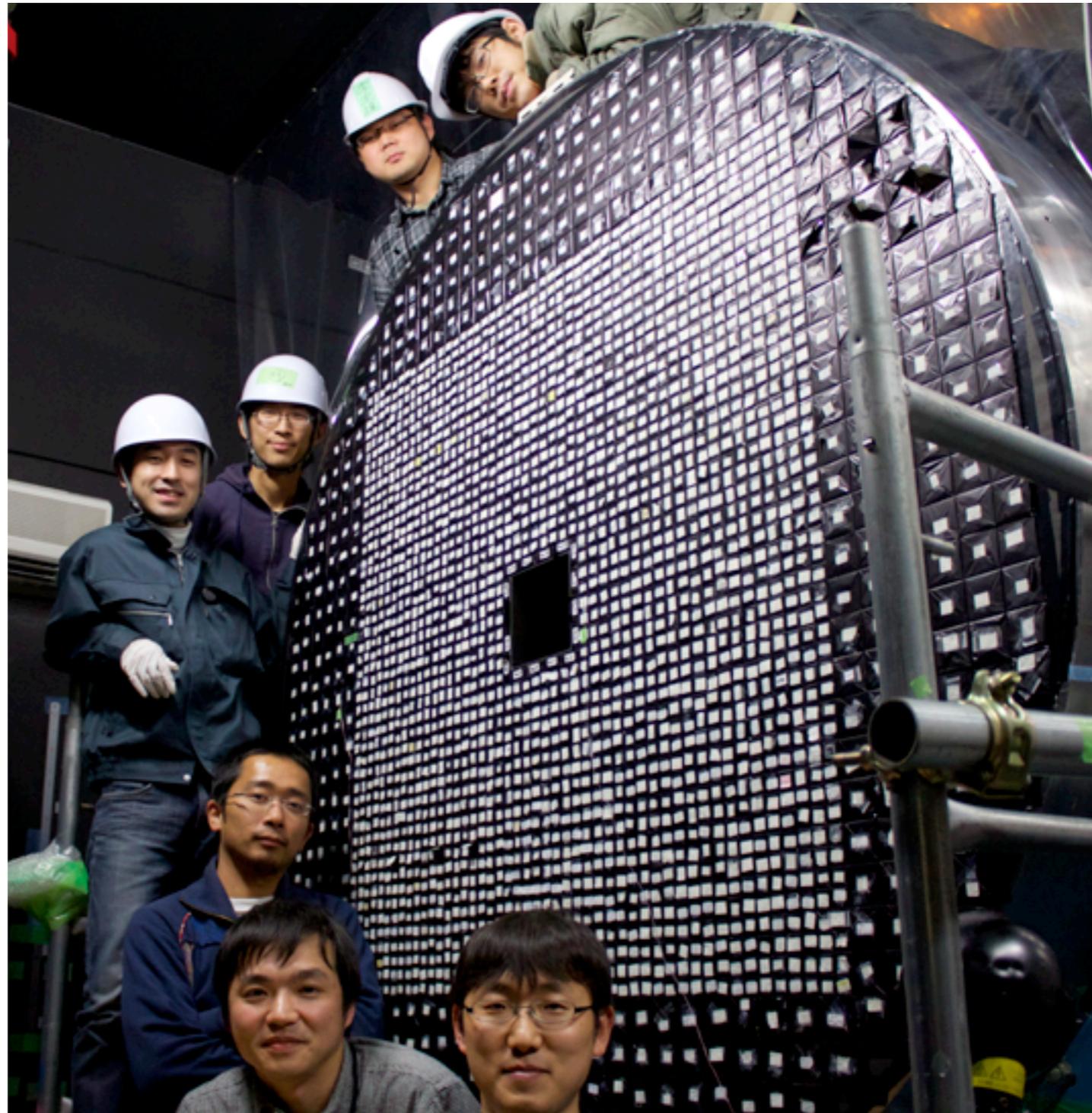
新しい物理の探索



CsIカロリメータ



1. FNALのKTeV実験で使われたCsIカロリメータを解体・輸送・テスト・建設された(4年x4+人)。
2. 構成—2716ch
Large(50x50x500) : 476個
Small(25x25x500): 2240個
3. 直径2m、6.5+ α ton
4. $KL \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ で発生する γ のエネルギー、入射場所の測定。



カロリメータのキャリブレーション

1. 数多く(2716)のチャンネル。

→キャリブレーション方法の確立が必要。

2. ビームを用いない方法:

宇宙線を用いたキャリブレーション

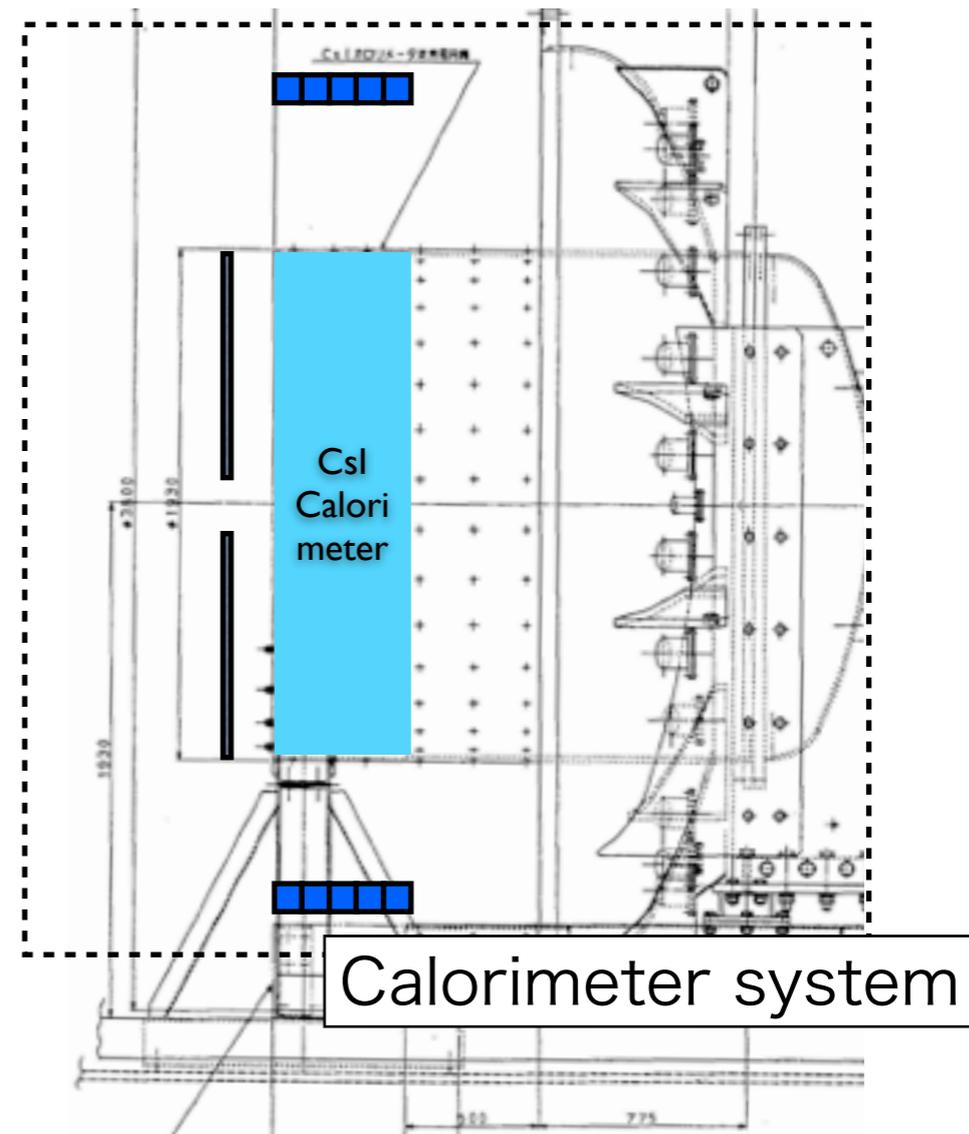
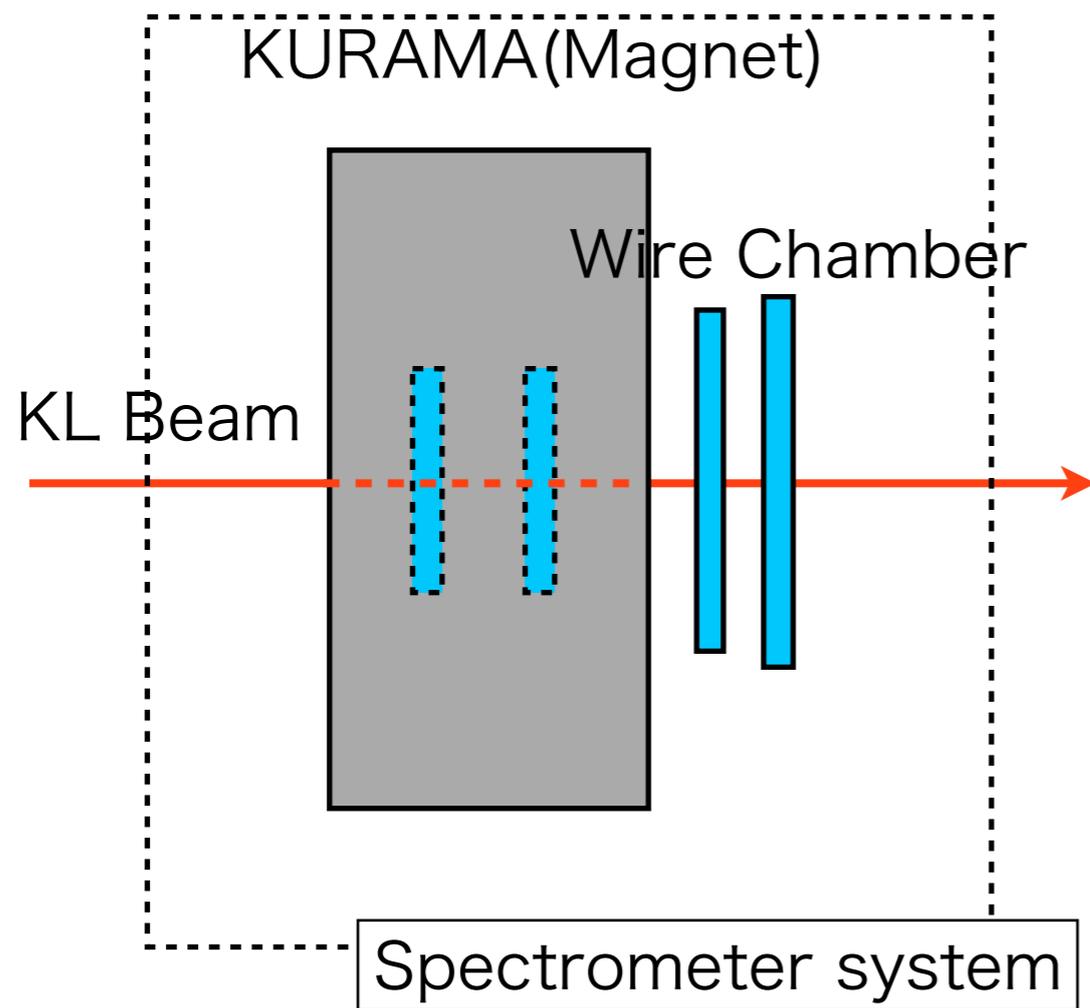
3. ビームを用いた方法:

1. KL→3pi0崩壊(+Al Target)を用いた方法(開発中)

2. Ke3崩壊+スペクトロメータを用いた方法(本実験では使えない)

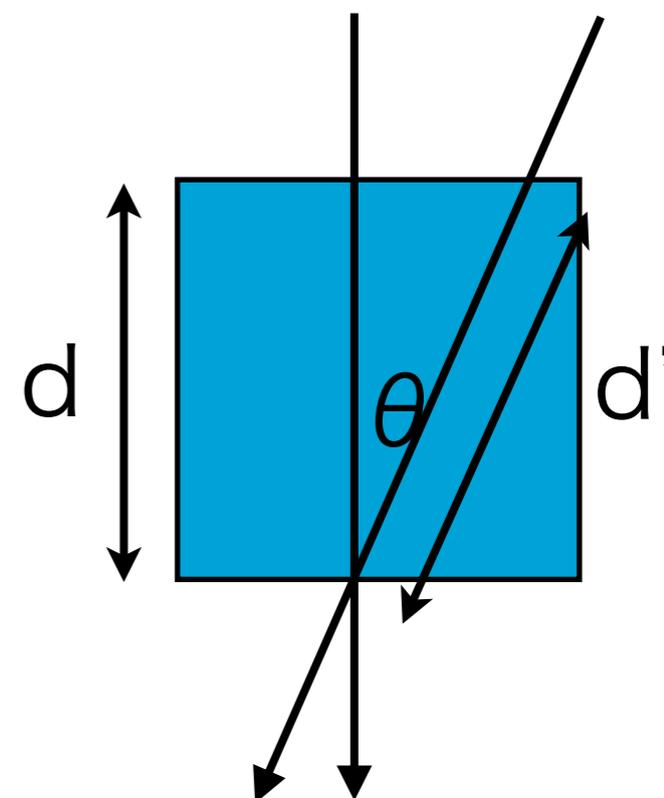
⇒3pi0 Calibrationの結果が、ke3 Calibrationの結果とどのぐらい一致するかを試し、3pi0Calibrationの性能を確認する。

Set up For Feb Beam Test

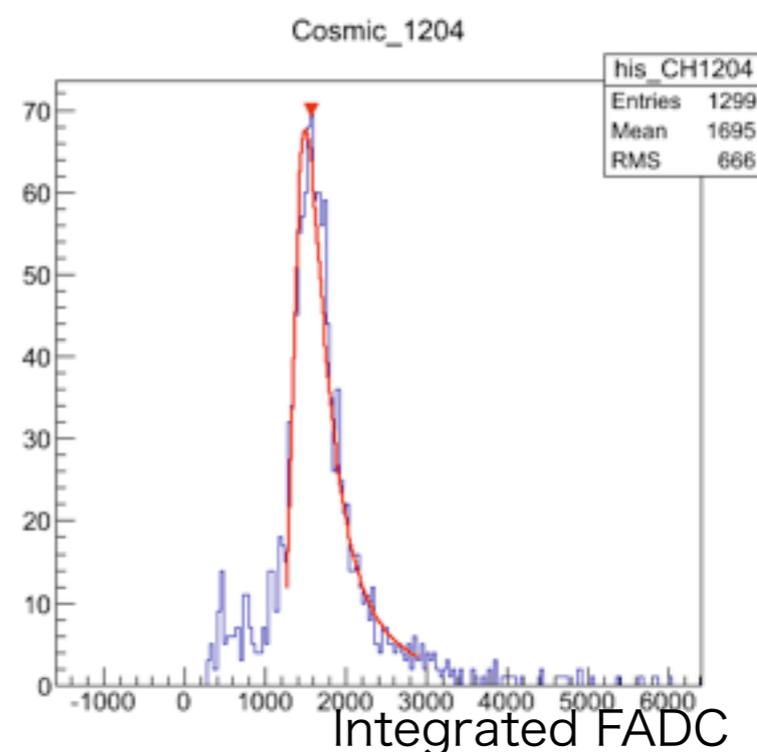
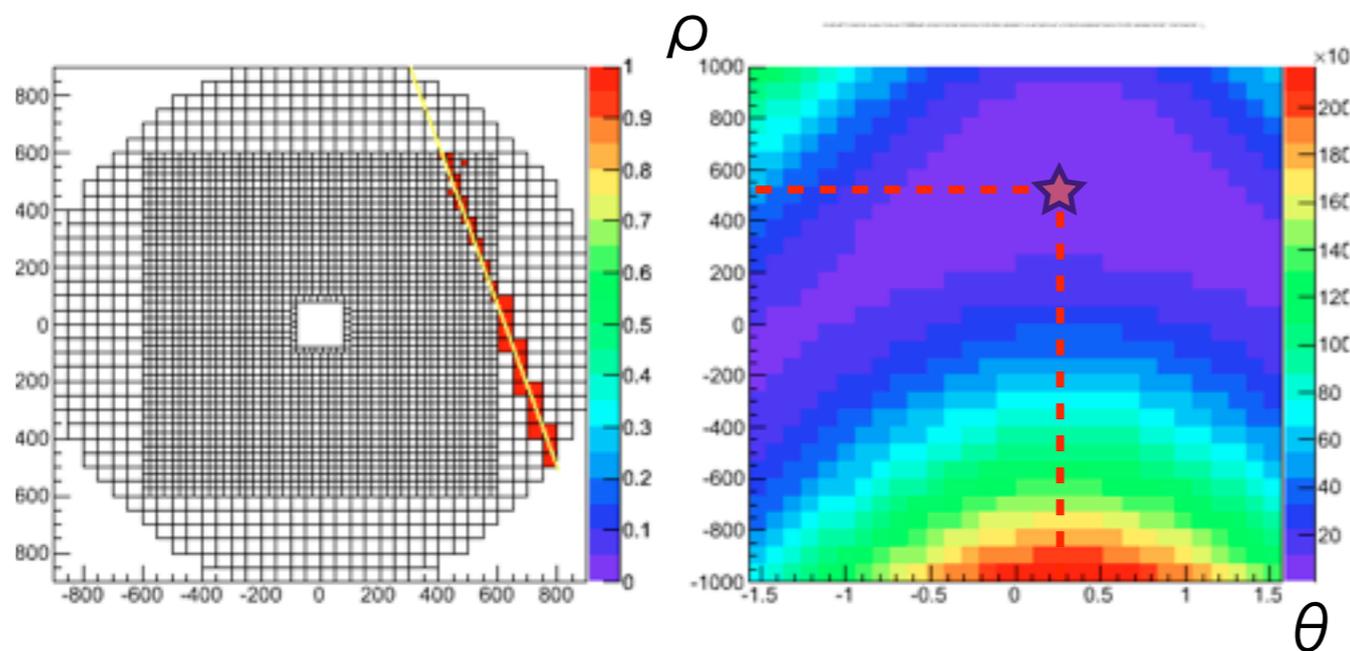


宇宙線を用いたキャリブレーション

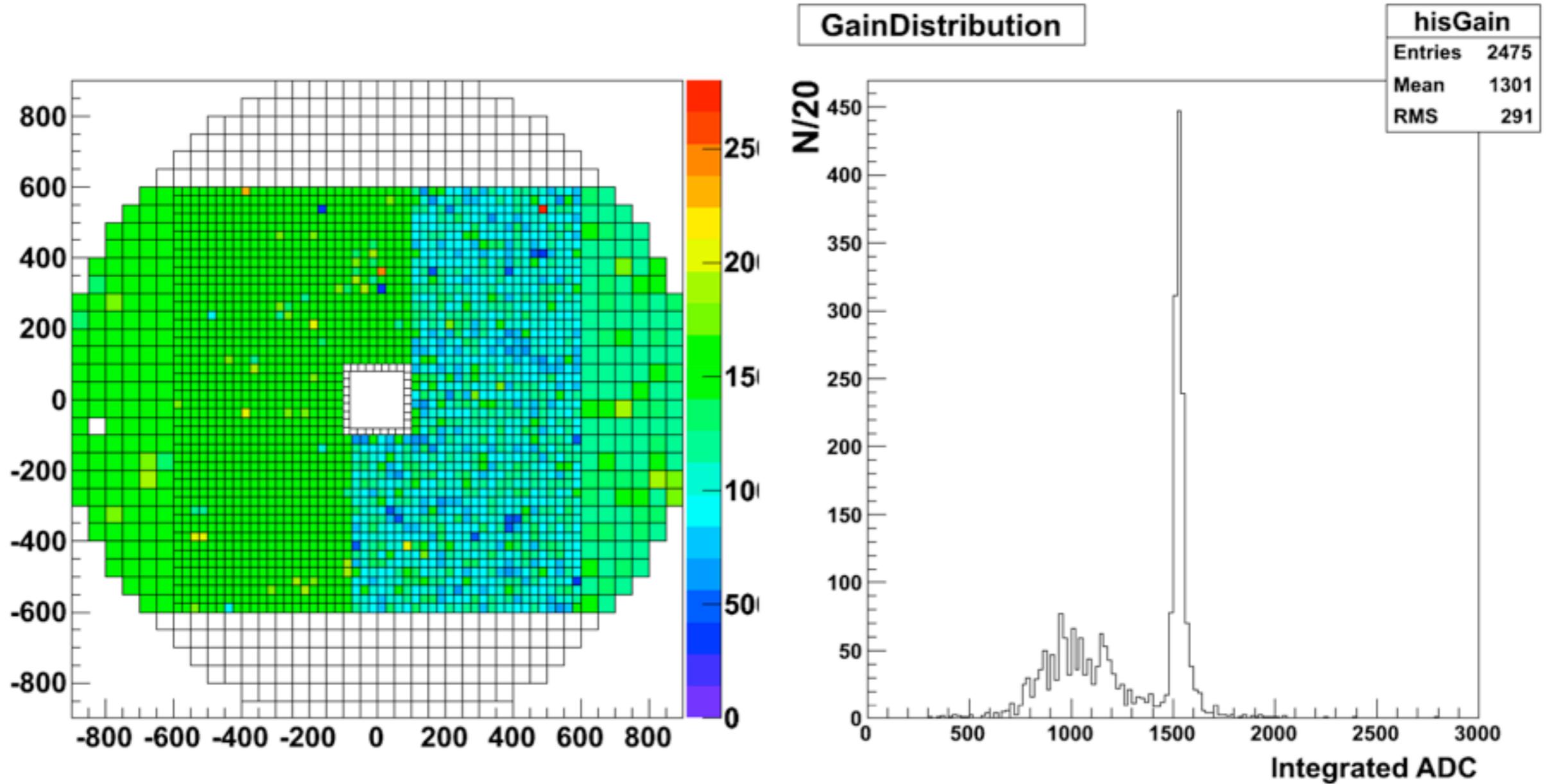
1. CsIカロリメータの上下にトリガーシンチを設置
上下ともにイベントがあったイベントをトリガー
2. 信号の出力が閾値を超えた結晶を用いて宇宙線の軌跡を求める。(ハープ変換+Minimum Chi-square)
3. Real Output =
Signal Output*Path length adjust
4. 出力分布をランダウ関数でFit->MIPのピークを探す。



Calibration Factor:= $\cos \theta$



Gain Distribution



右領域の出力が低くなっているのは真空テスト中光学接続用のシリコンクッキーが有機物により透過率が低下したためである。

宇宙線を用いたキャリブレーション

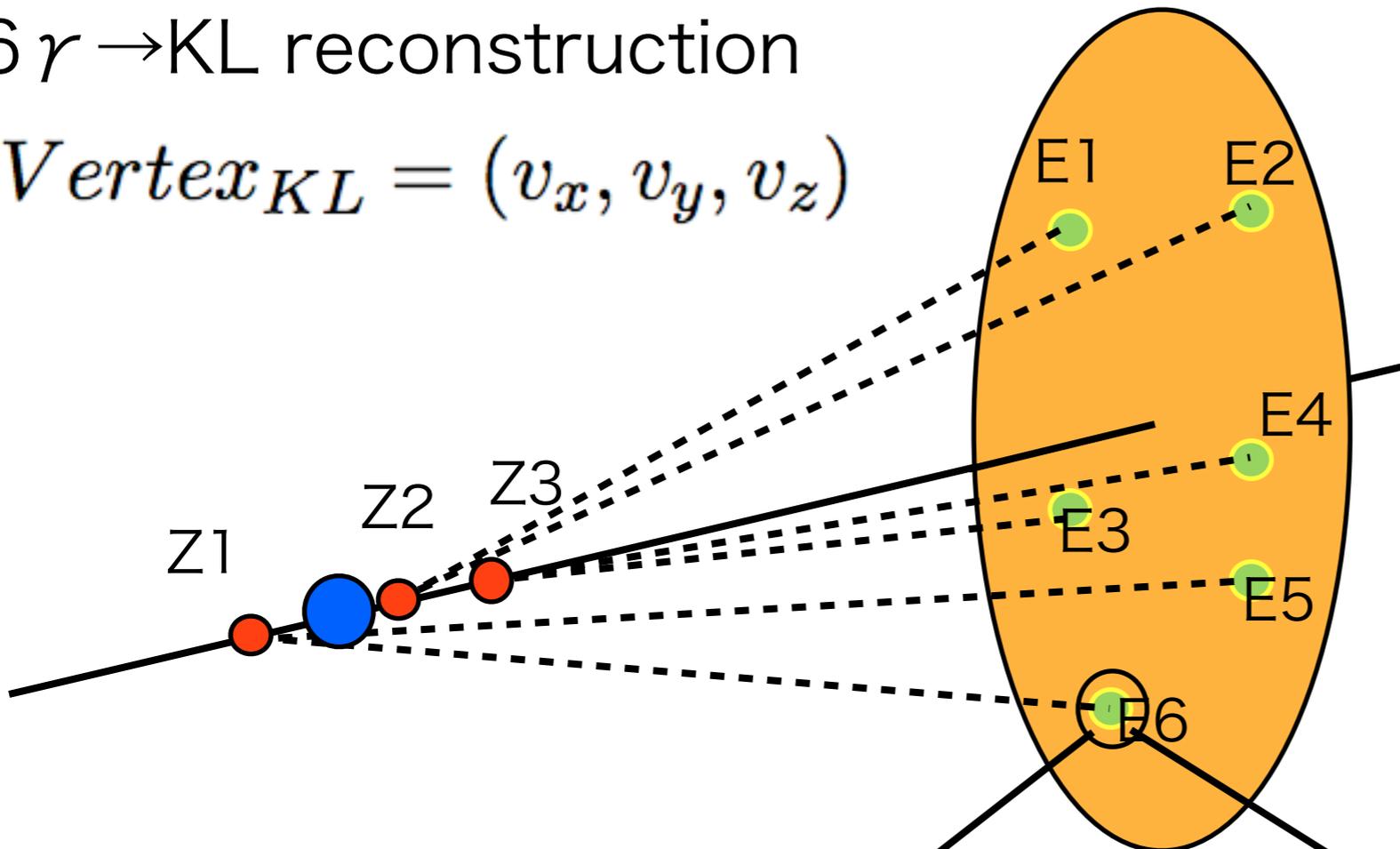
問題点

1. 十分な統計のためには最低1日の時間がかかる。→ビームテスト中にはもっと伸びる。
2. キャリブレーションの出力の求め方が環境的、解析的な理由から数%ずれる。
⇒宇宙線イベントのフィット精度やLandau 関数でのFitting。
⇒結晶出力のUniformityの影響など。
3. 宇宙線イベントは結晶上面から垂直に入射⇔ γ イベントは結晶前面から入射
⇒入射方向の違い、シャワーの広がり方の影響が調べられない。
⇒ γ イベントのClusteringでの γ のエネルギー補正に対する情報がない。

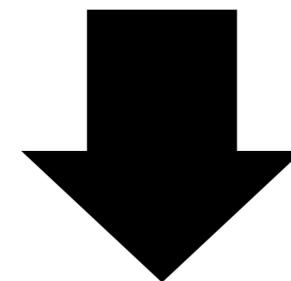
KL->3pi0崩壊イベントを用いたキャリブレーション

6 γ \rightarrow KL reconstruction

$$Vertex_{KL} = (v_x, v_y, v_z)$$

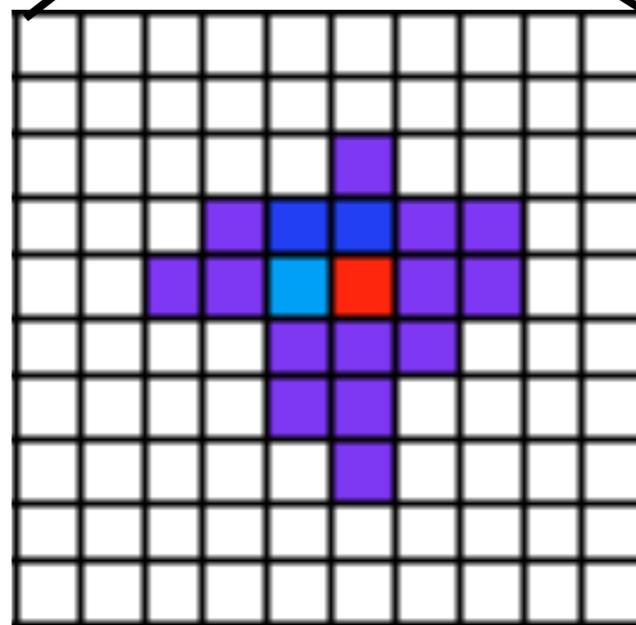


各 γ のエネルギー E_i を一つずつ調整し, Constraintsが一番満たされる E_i' を探す。
 \rightarrow Calibration Factor := E_i' / E_i



Constraints

$$\begin{aligned}
 (\sum E_i)^2 + (\sum P_i)^2 &= M_{KL}^2 \\
 (E_1 + E_2)^2 - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2 &= M_{\pi^0}^2 \\
 (E_3 + E_4)^2 - (\vec{P}_3 + \vec{P}_4)^2 &= M_{\pi^0}^2 \\
 (E_5 + E_6)^2 - (\vec{P}_5 + \vec{P}_6)^2 &= M_{\pi^0}^2 \\
 \sum x_i \cdot E_i &= v_x \cdot \sum E_i \\
 \sum y_i \cdot E_i &= v_y \cdot \sum E_i
 \end{aligned}$$



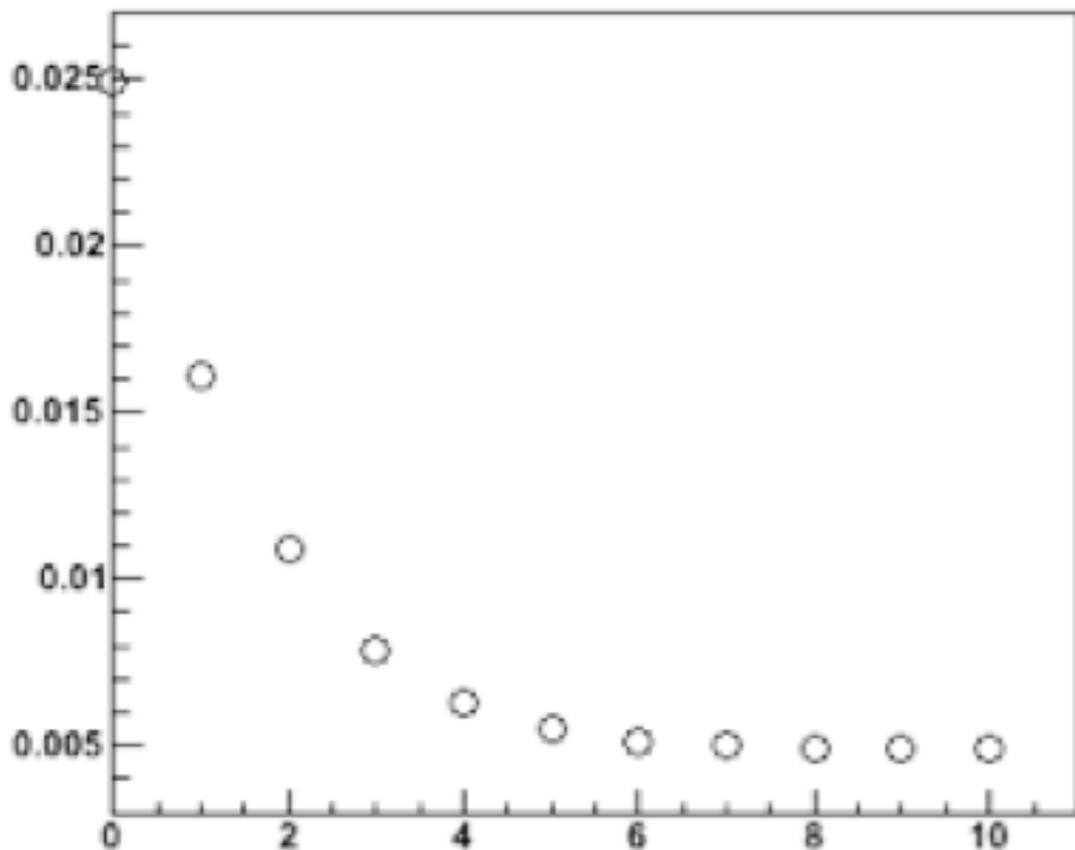
全イベントに対し、Iterationをかけ \rightarrow 正確な相対的 Calibration Factor を求める。
 (絶対値ではない。)

シミュレーションによる3pi0 Calibrationのテスト

1. 3pi0 Calibration法をSimulationを用いて性能をテスト。
2. Simulation 上で、Csl Calorimeterの各チャンネルことに決まったGainを設定($\Delta 5\%$)し、データファイルを作成する。作成されたファイルを用いて3pi0 Calibrationを行い、Calibrationの結果が各チャンネルのGainの設定値をどの程度再現できるのか試した。
3. Calibration の精度 := Calibrated Gain / Gain設定値の分布の幅
4. 確認事項
 1. IterationによってCalibrationの精度は向上されるのか?
 2. 統計量によってCalibrationの精度はどのようになるのか?

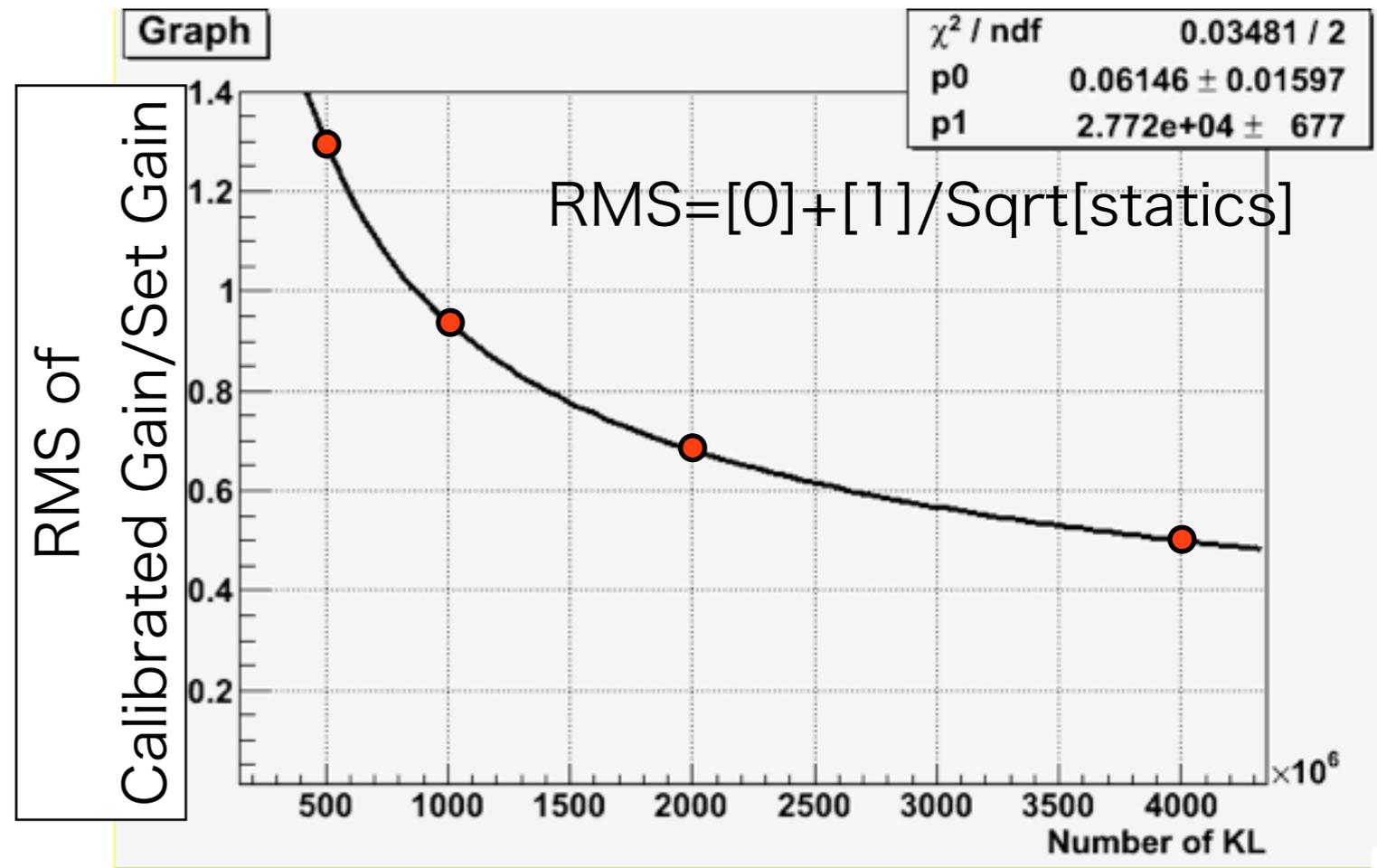
シミュレーションによる3pi0 Calibrationのテスト

Calibrated Gain/Initial Gain 分布の RMS VS Iteration



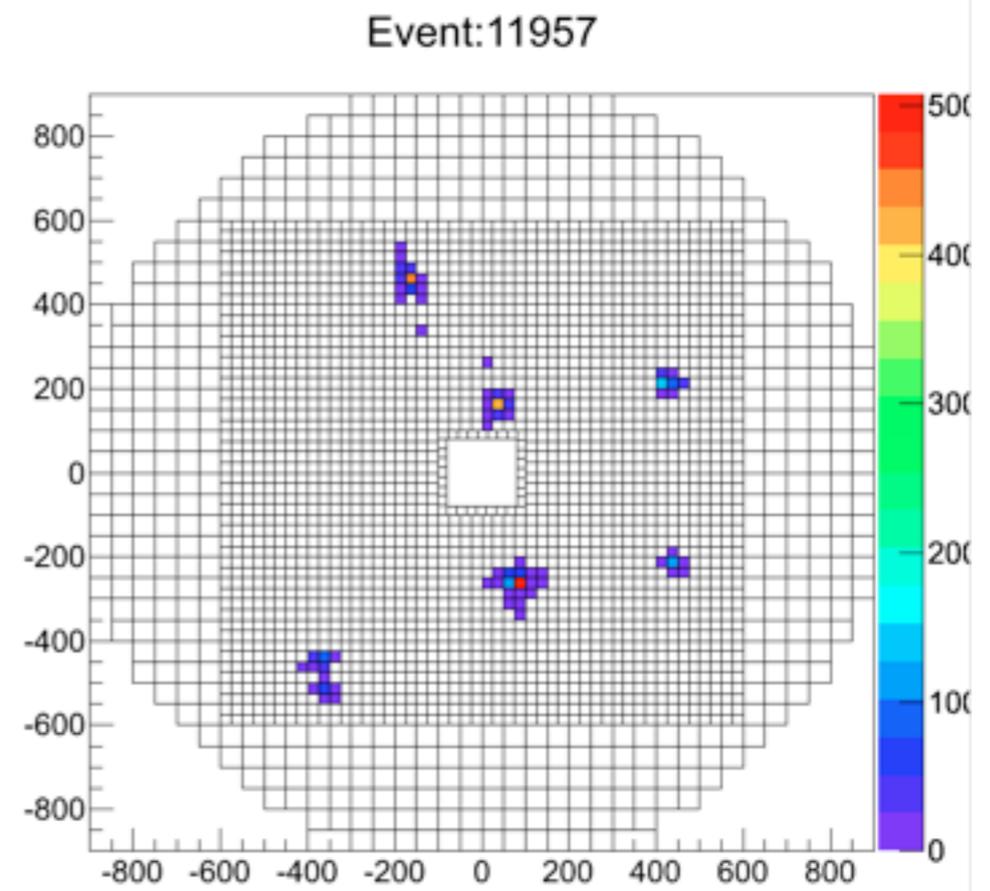
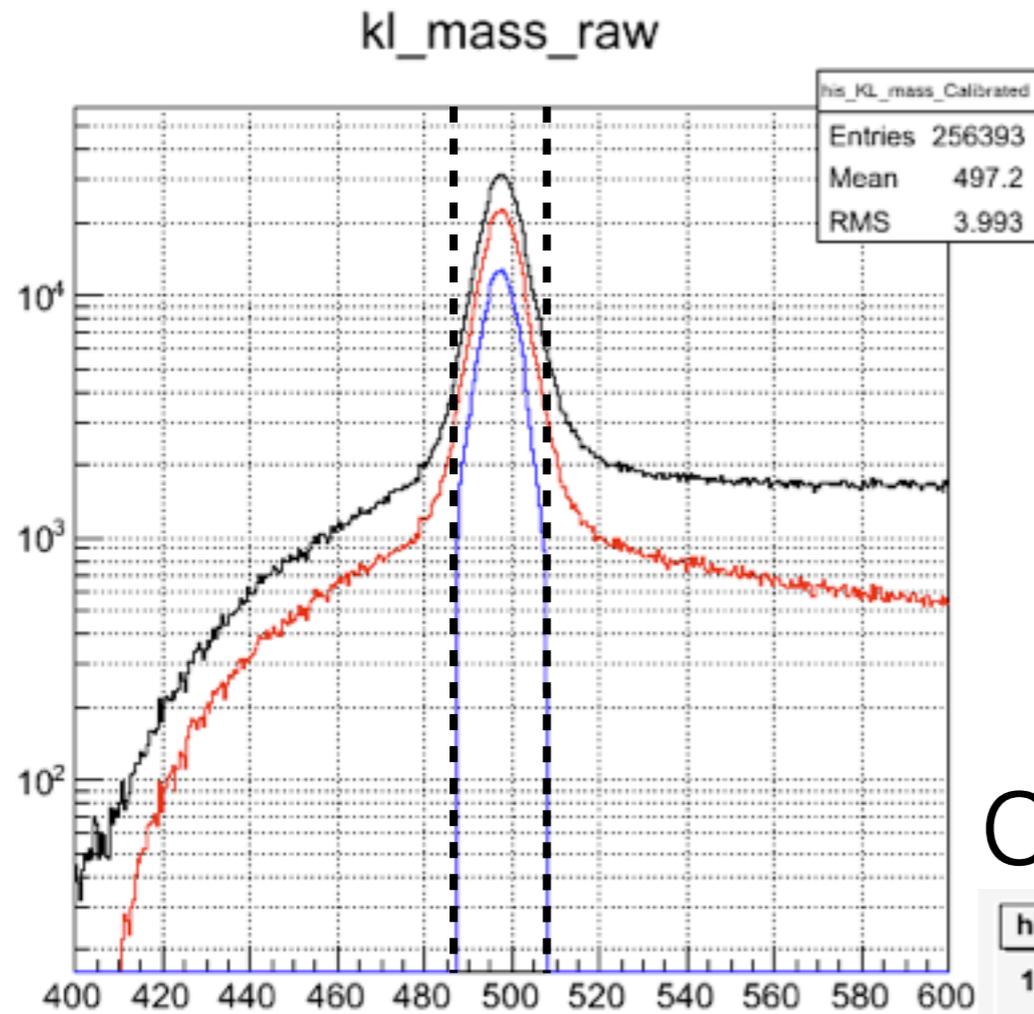
Calibrationを繰り返すことにより最初に設定した各チャンネルのGainを0.5%まで再現

到達精度に対する統計量の影響



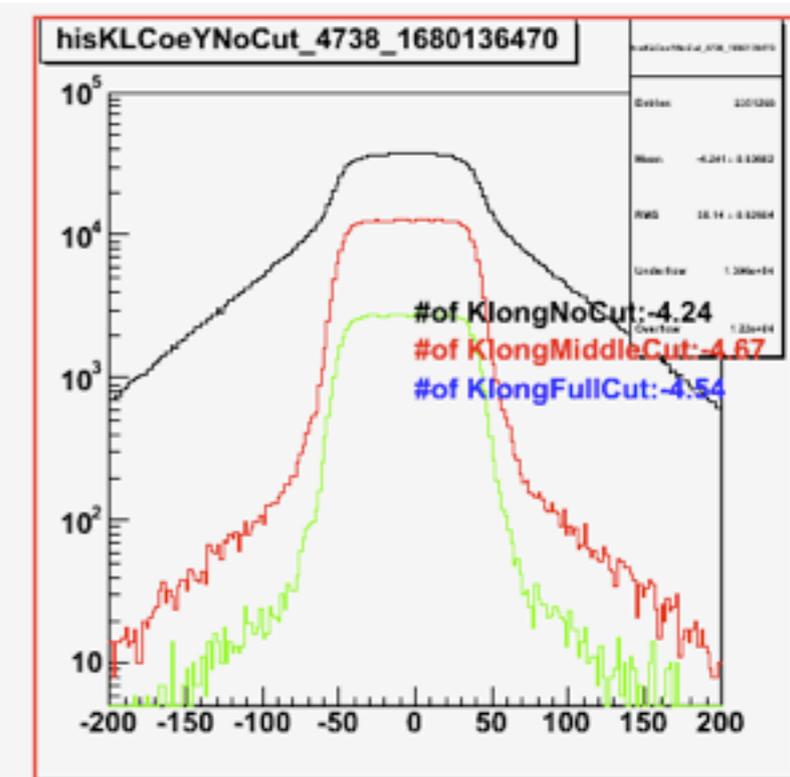
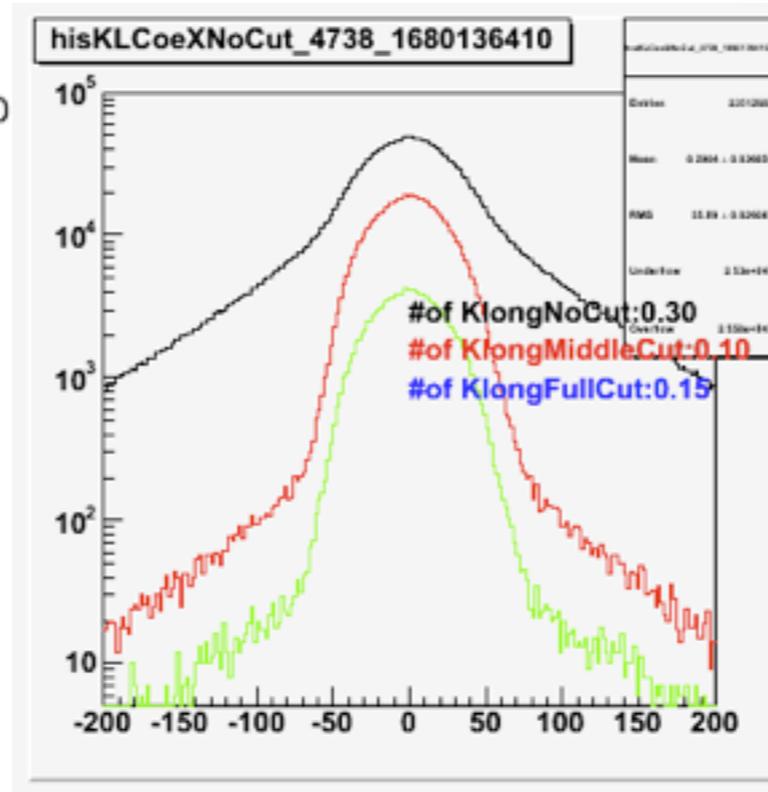
統計量はCalibrationの結果に直接的に影響を与える。

KL->3pi0データ



Center of Energy の分布

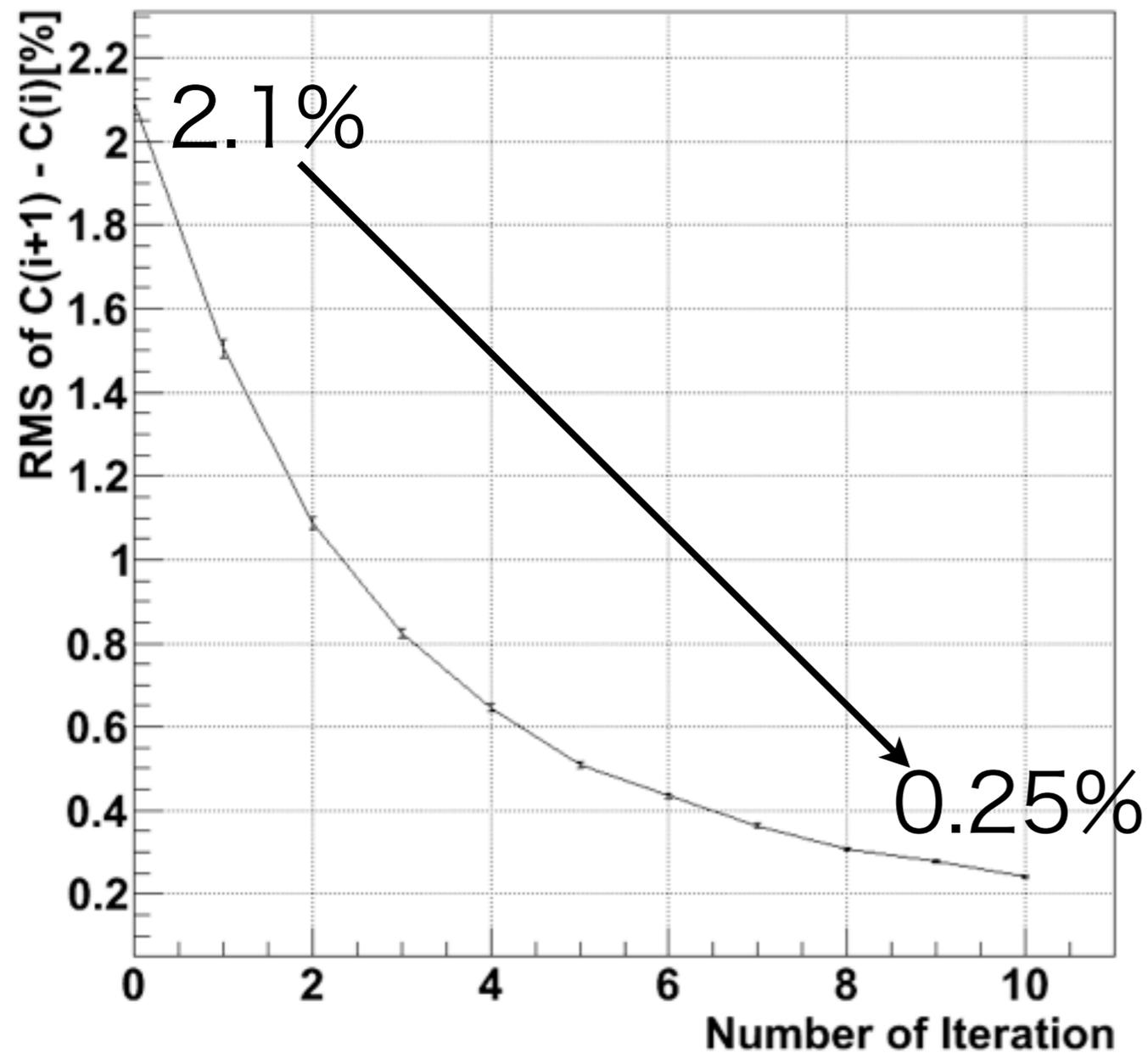
50万 KL(赤線、点線内基準)の
KL->3pi0イベントが集められた。



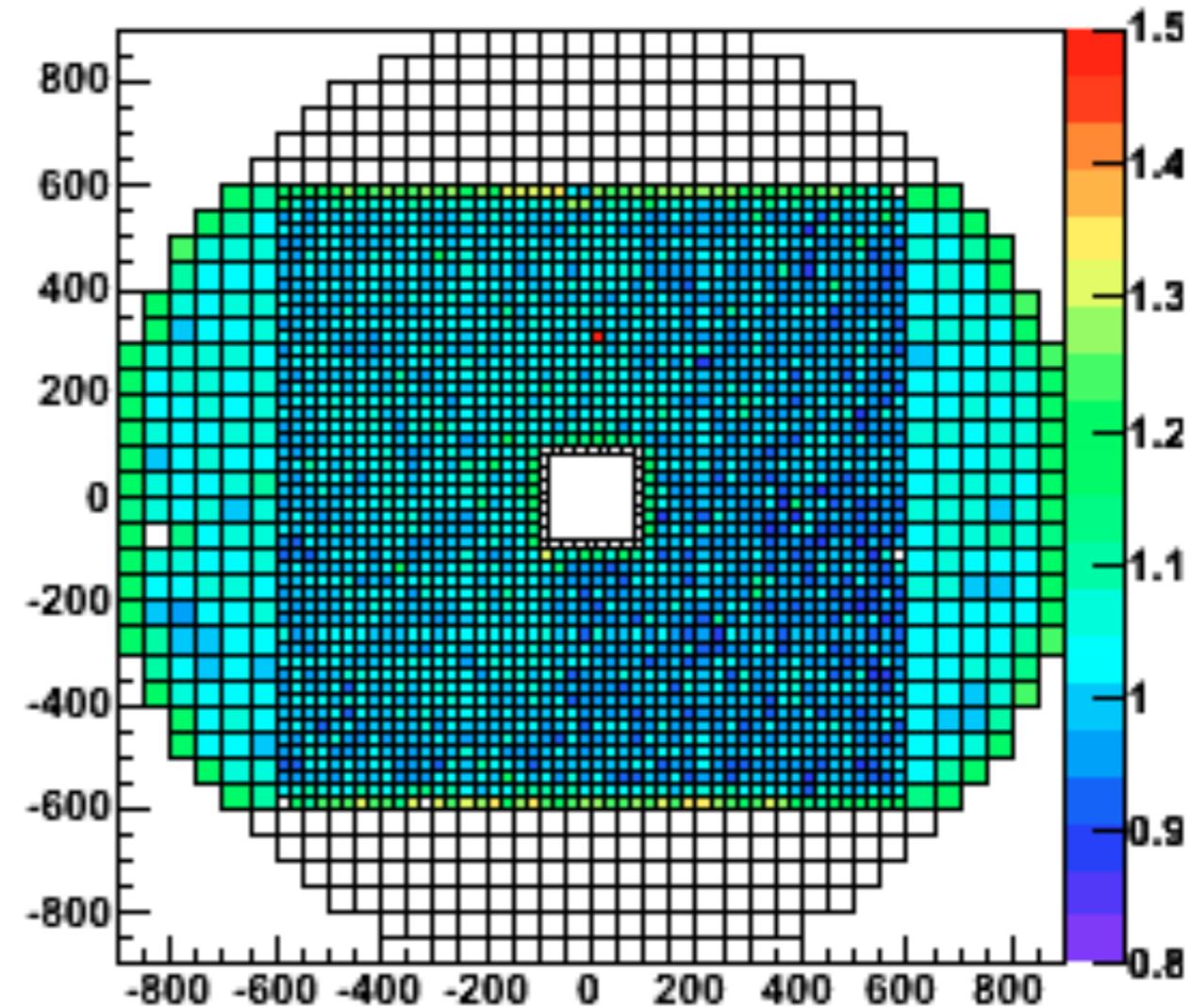
K3pi0 Calibration結果(Cosmicの結果に対して)

Iteration回数(i)による

Calibration Factorの变化量

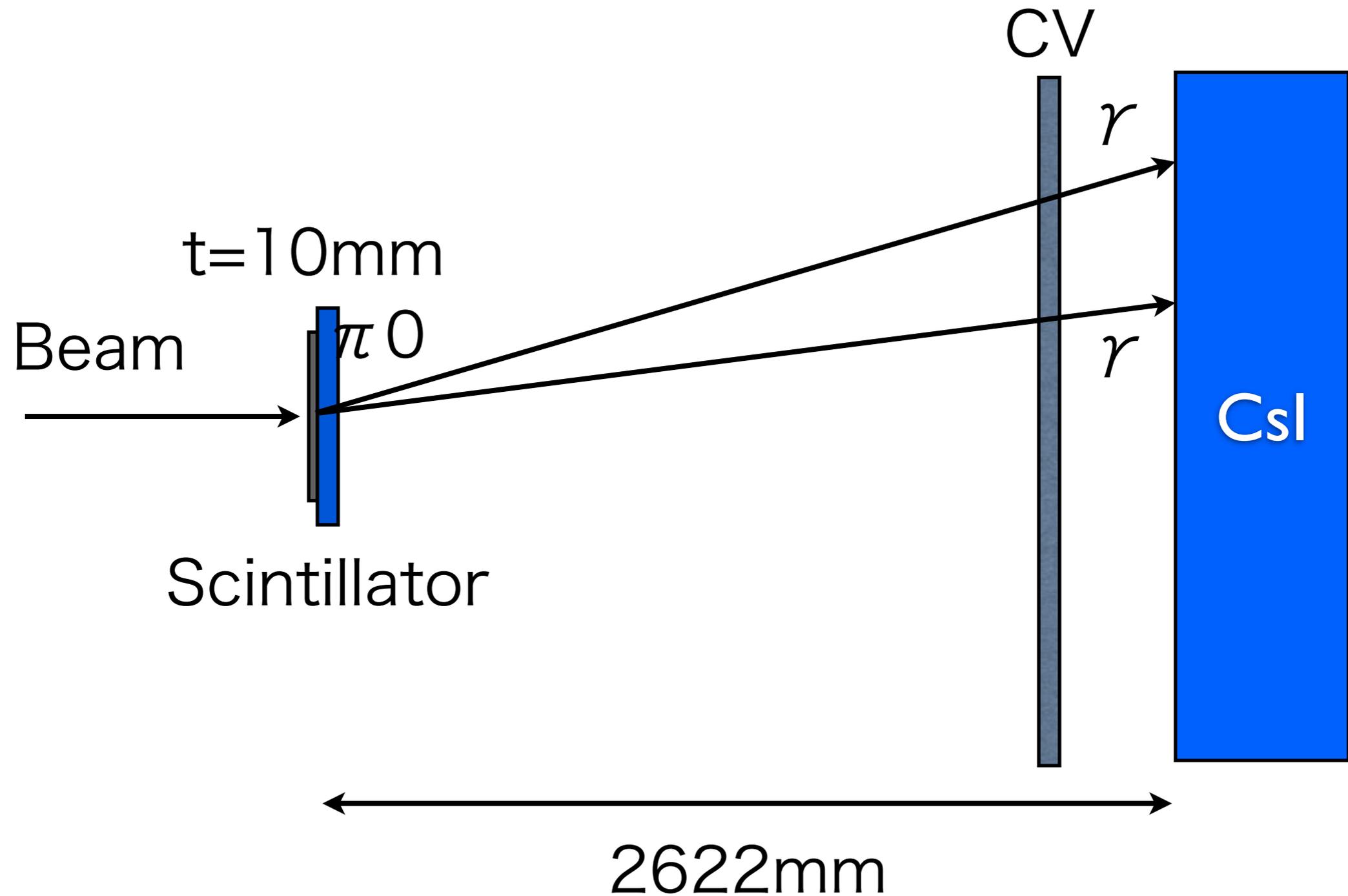


Calibration Factor(10th iteration)



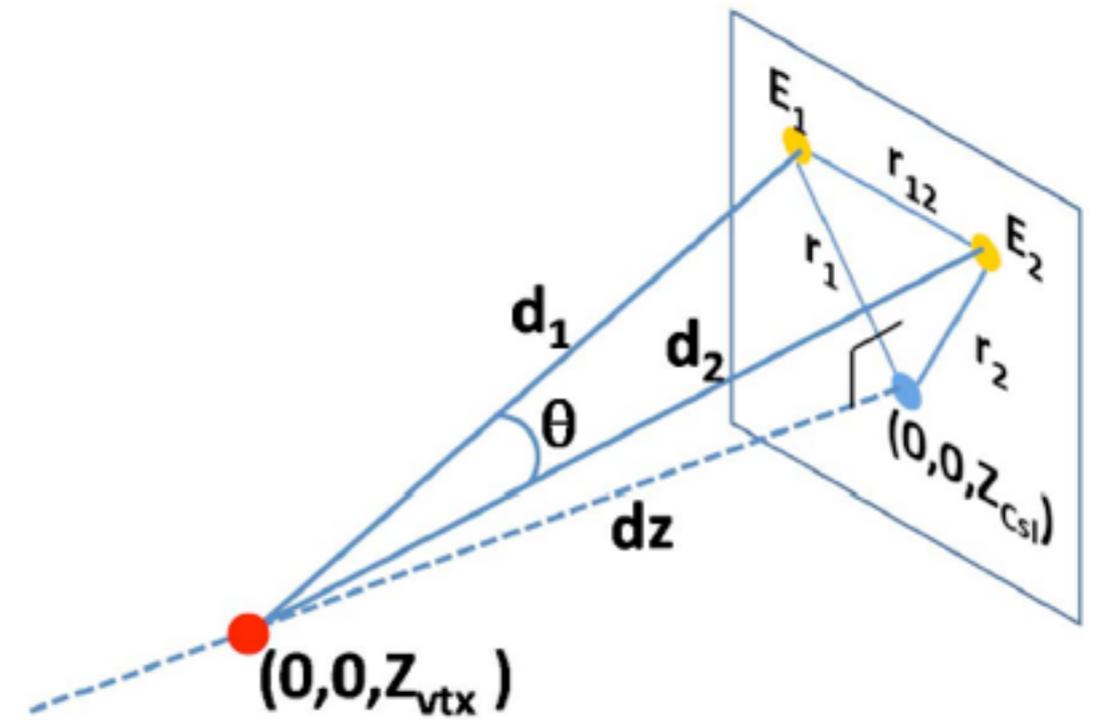
Calibration Factorが収束する。

Al target Run



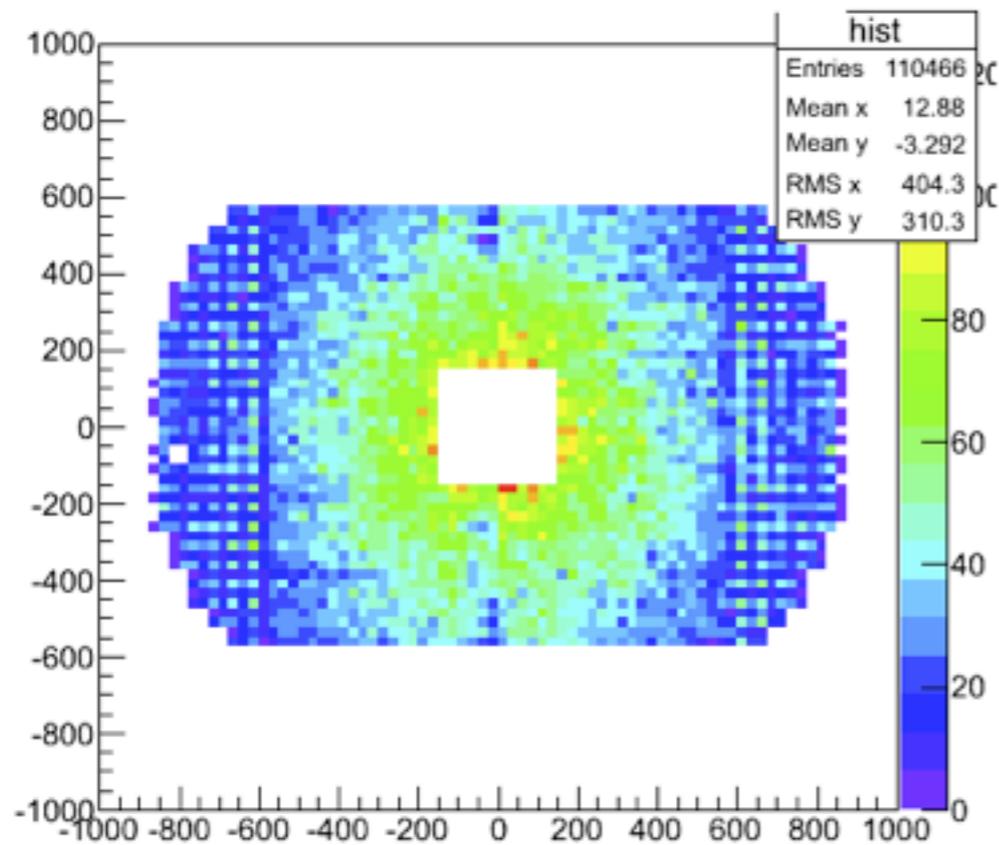
Pi0 Mass Peak

1. 2 γ イベントを用いて、崩壊点がアルミターゲットの位置であると仮定し、質量を再構成した。
2. 2月のビームデータで、4万pi0イベントが得られた。
3. 3pi0calibrationで、得られたCalibration Facotr をアルミランの結果に適用すると、Pi0 の Massピークがより鋭くなった。(RMS:4.7MeV->4.05MeV)-> Calibrationがうまく行われた。

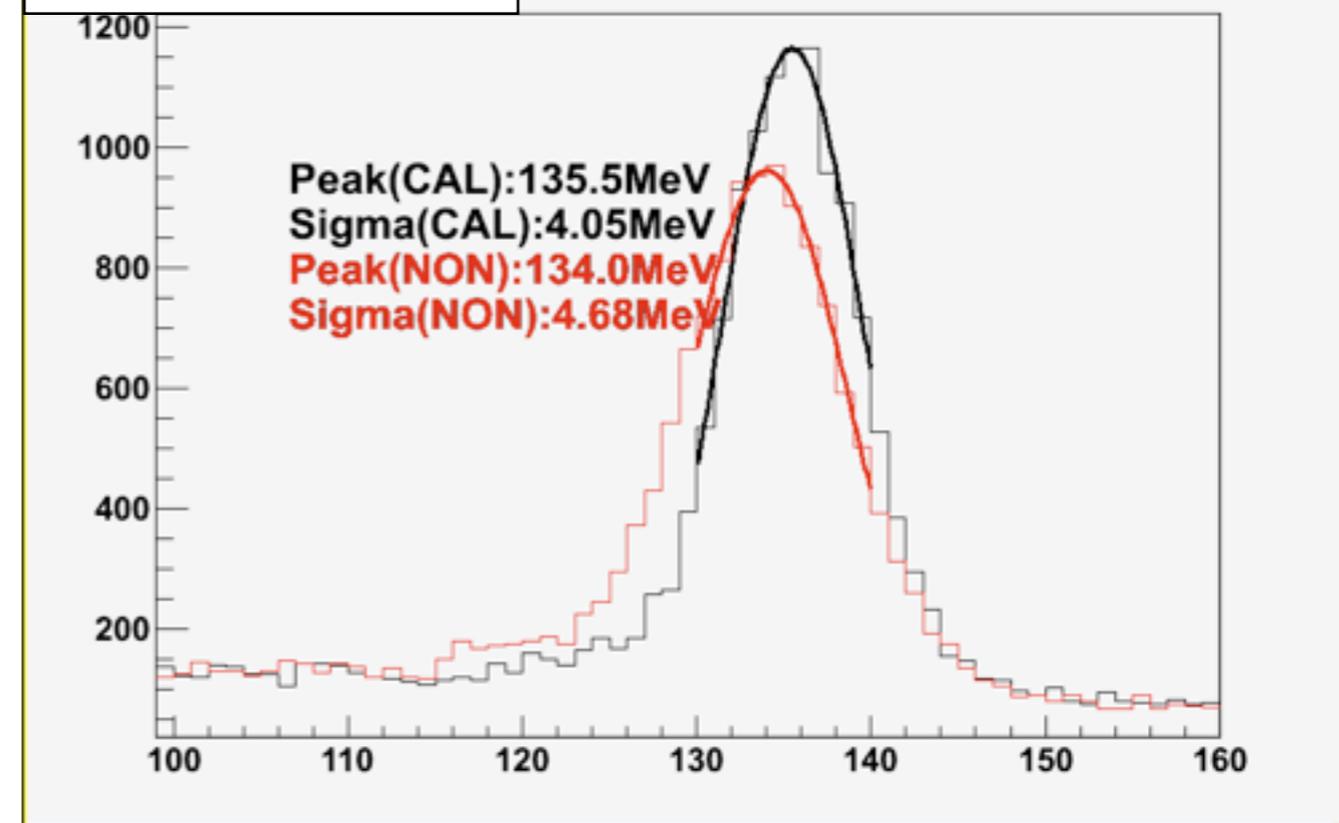


$$M_{\pi}^2 = 2E_1E_2(1 - \cos(\theta))$$

Gamma hit Distribution

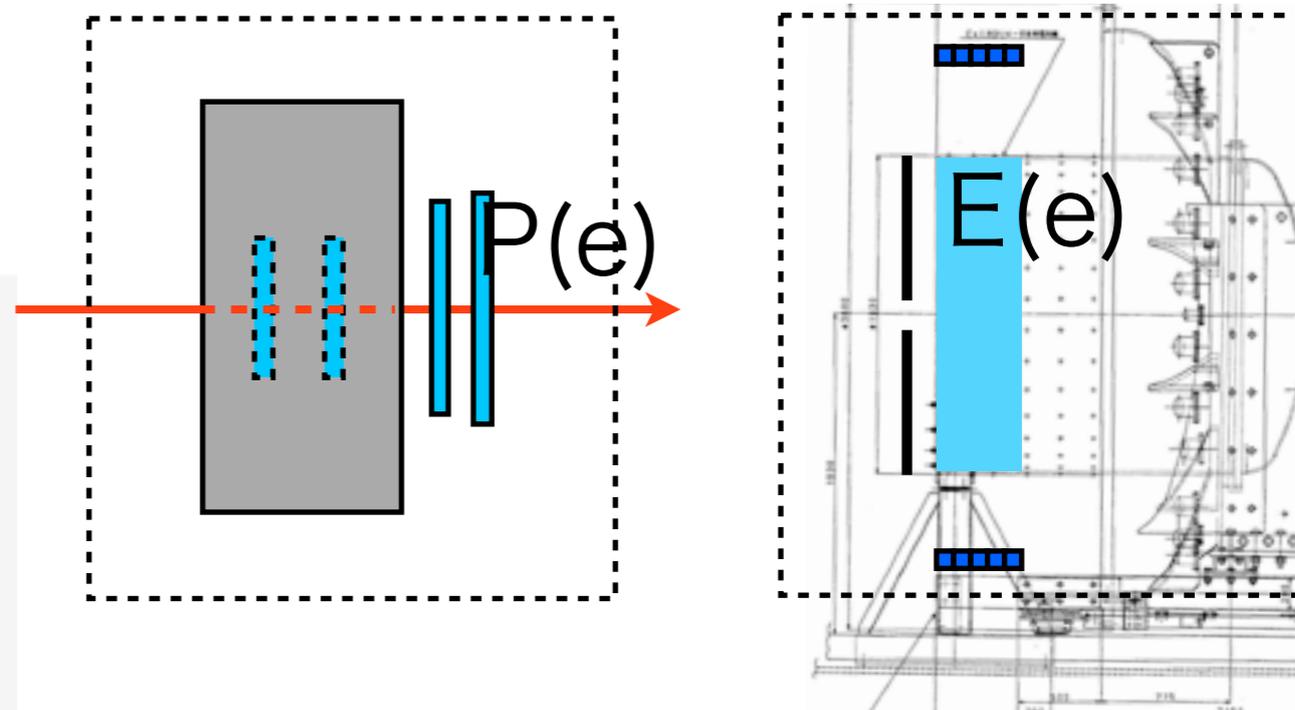
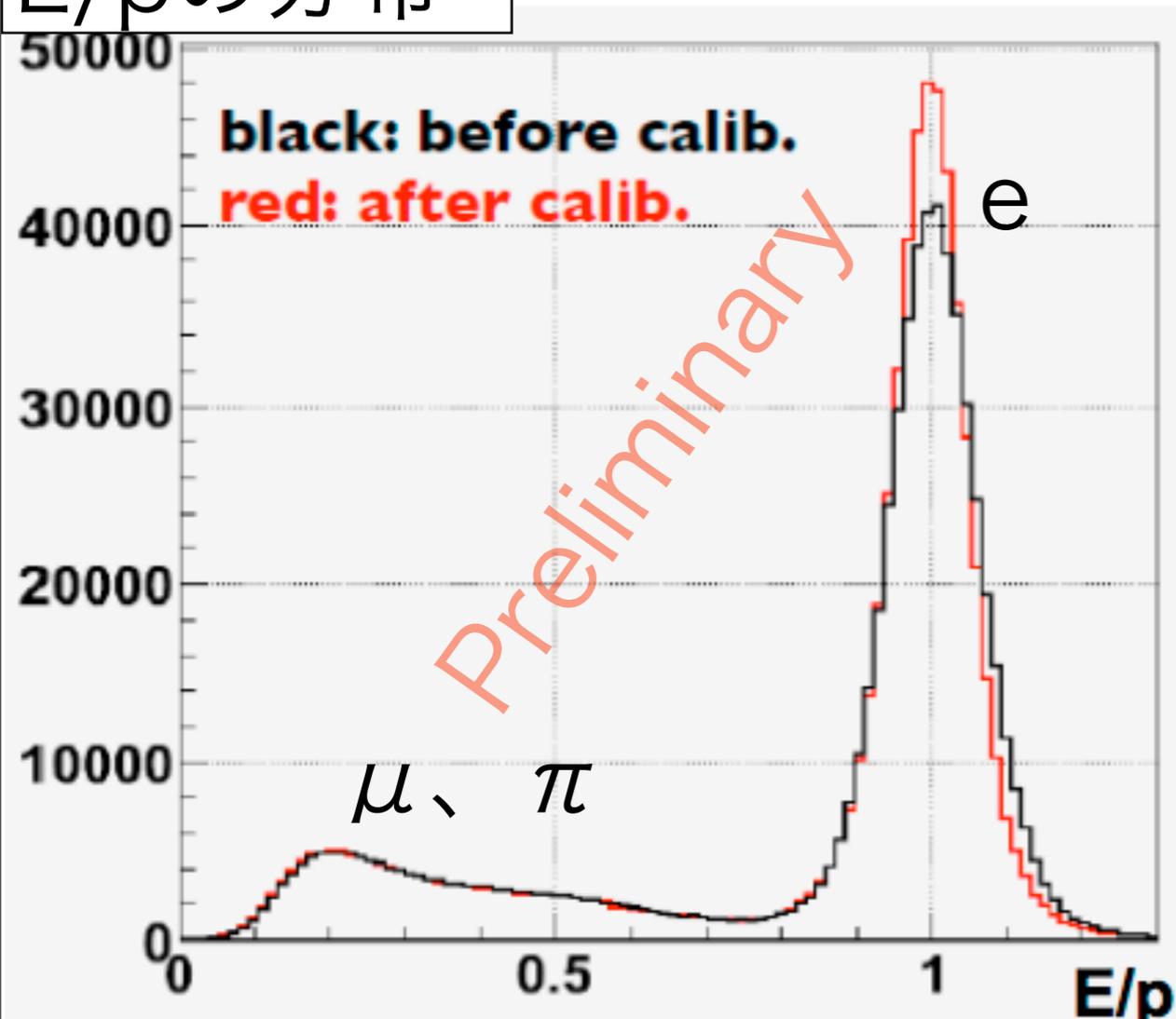


Pi0 Mass Peak



Ke3 Calibration (阪大、佐藤和史の研究)

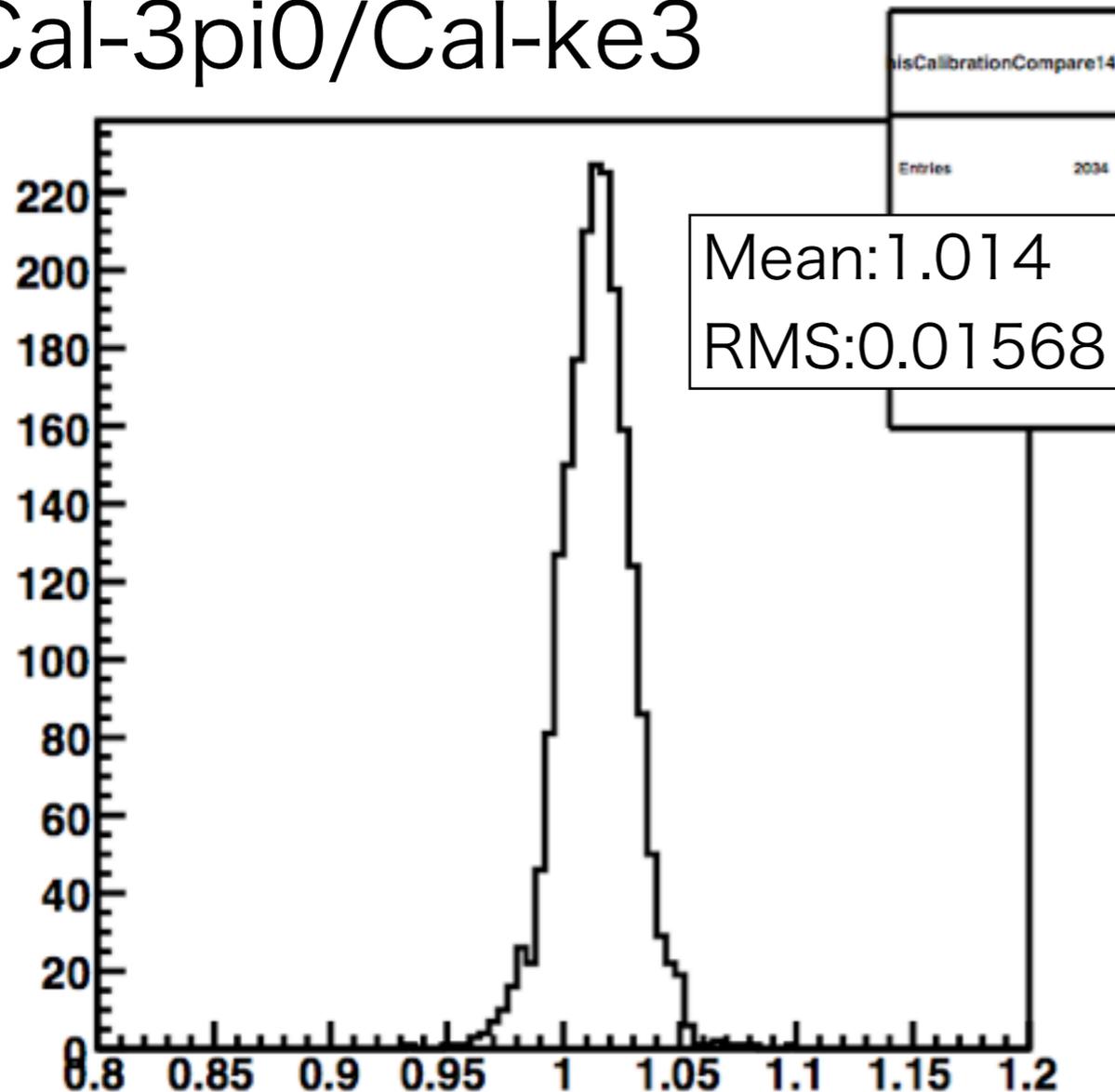
E/pの分布



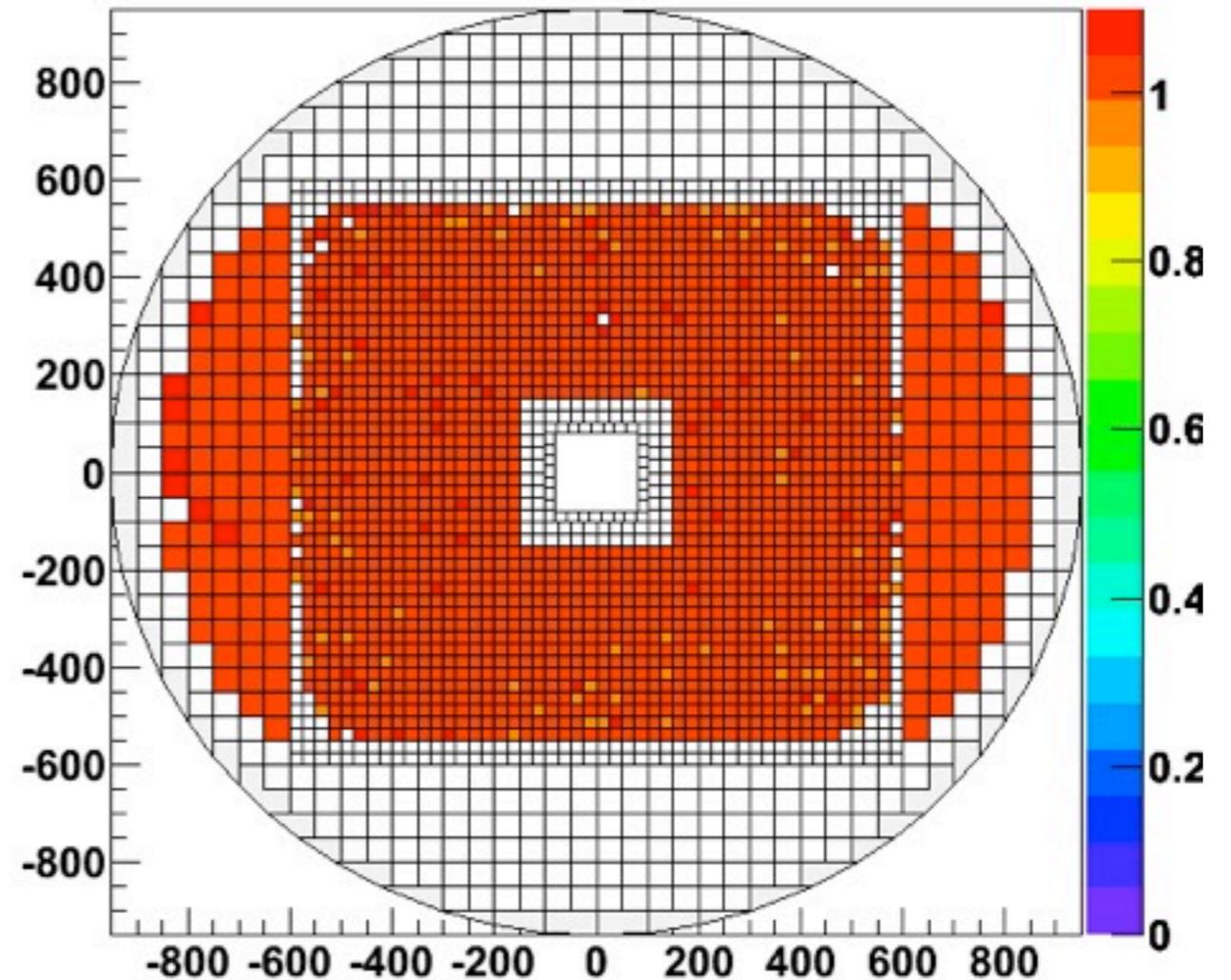
1. Spectrometer \rightarrow $P(e)$
2. Calorimeter \rightarrow $E(e)$
3. $E(e)/P(e)$
 \rightarrow Calibration Factor (絶対値補正)
4. 得られた Calibration Factor で補正
 \rightarrow 電子のピークが細くなる。(Well Calibrated)
5. Calibrationにより E/p のピークが 1 になる。
(Well Calibrated)

Ke3 Calibration結果との比較。

Cal-3pi0/Cal-ke3



Calibrated region



3pi0イベントを用いたCalibration 結果は ke3 calibration結果と
~1.5%の精度で一致していることが確認された。ピーク値がずれ
ているのは 3 pi0Calibrationは各チャンネルのCalibration
Factorの相対値を求めるためである。

Summary

1. 2012年2月のビームデータを用いてキャリブレーションのテストを行った。
2. 宇宙線を用いたキャリブレーション
 1. 宇宙線イベントを用いたキャリブレーションを確立し、全チャンネルの出力を求めた。
3. 3pi0イベントを用いたキャリブレーション
 1. 3pi0イベントを用いたキャリブレーションがKL3pi0イベントの数により精度が決まることをシミュレーションを用いて確認した。
 2. ke3イベントを用いたCalibrationとの比較で、1.5%の精度で二つのCalibrationの結果が一致した。

3pi0イベントを用いた、各Cslチャンネルの精度1%台のCalibrationは可能