

中性 π 中間子を用いたEMCAL検出器のエネルギー較正

宇宙史実習報告会

筑波大学 宇宙観測研究室 長崎岳人

2010/3/22

outline

研究目的

イントロダクション

- ・ 日程
- ・ QGP
- ・ 光子物理
- ・ LHC
- ・ ALICE
- ・ EMCAL

解析手法

- ・ エネルギー較正方法

結果

- ・ 較正值
- ・ 比較

まとめ

研究目的

LHC-ALICE実験にインストールされているEMCAL
検出器において、中性 π 中間子の質量を用いその
エネルギー較正を行う

宇宙史実習-日程

出国：2010年3月4日（現地時間）

到着：同日（現地時間）

3/5（金）アカウント作成

3/8（月）プログラミング

3/9（火）

3/10（水）

3/11（木）

3/12（金）

3/13（土）

3/14（日）

3/15（月）

3/16（火）

3/17（水）

3/18（木）

3/19（金）

3/20（土）

3/21（日）

3/22（月）

3/23（火）

解析 -ATLAS見学

-ALICE見学

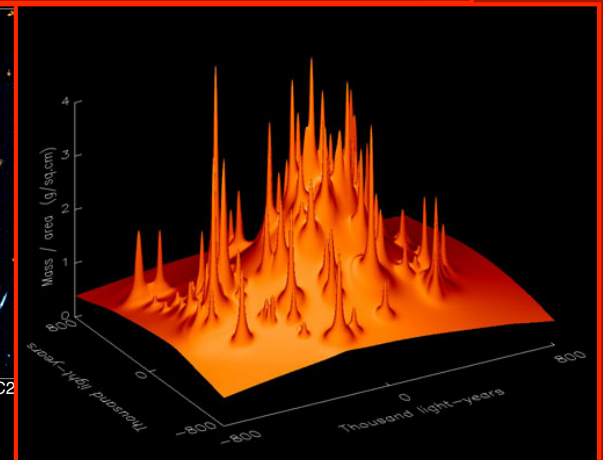
報告会
帰国

セミナー

ALICE RC weekly meeting

The Dark Side of the Universe:
Dark Matter and Dark Energy

Mapping Dark Matter



CERN Heavy Ion Forum

QGP (Quark-Gluon Plasma)

原子核を構成する陽子、中性子はクォークとグルーオンから構成

高温・高密度化

原子核が高エネルギー状態においてハドロン間の境界が薄く、
クォークが比較的自由に飛びまわれる状態

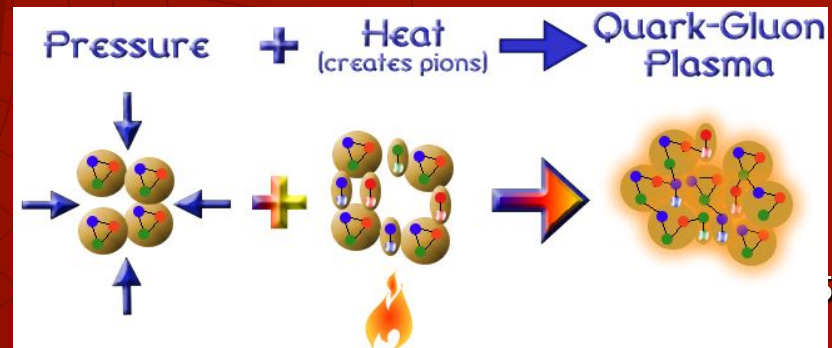
クォーク・グルーオンプラズマ

(宇宙初期、ビッグバン後の数 μ sでの状態)

QGPの物理を研究することで宇宙誕生や進化を解明する手がかり

QGP生成の手段

➡ 加速器による重イオン衝突実験



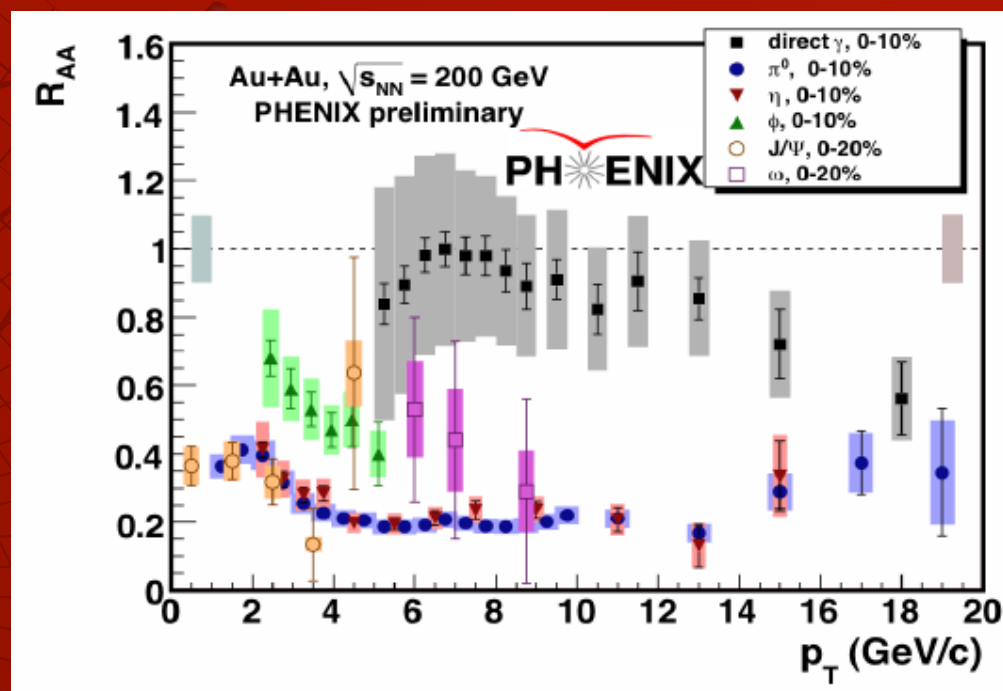
光子物理

QGPにおける光子測定的重要性

- 重イオン衝突実験
 - QGPの証拠：ジェット抑制
 - 光子→非抑制
 - 中性n中間子→抑制
- 同一検出器による測定
 - 直接的な比較
 - ジェット抑制の解明

EMCALによる光子測定

➡ “EMCALのエネルギー較正が重要”



LHC (Large Hadron Collider)

CERN(欧州原子核研究機構)で建造された衝突型円形加速器

円周：約27 km

最大衝突エネルギー

p-p衝突@ 14 TeV

Pb-Pb衝突@ 5.5 TeV



実験施設

- CMS
- ATLAS
- ALICE
- LHCb



ALICE

(A Large Ion Collider Experiment)

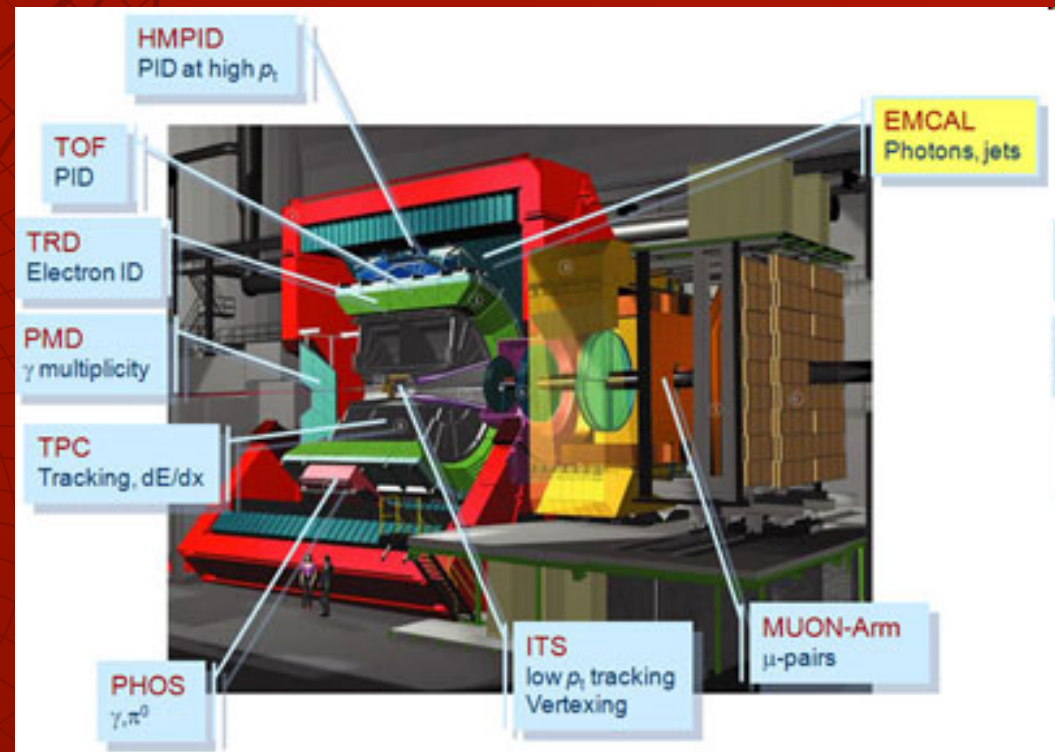
目的

- ・ p-p衝突によるハドロン生成機構の解明
- ・ 重イオン同士の衝突により発生するQGP物理の解明

detector

< 飛跡検出器 > < 粒子識別検出器 >

- ・ ITS
- ・ TPC
- ・ TRD
- ・ ITS
- ・ TPC
- ・ TRD
- ・ T O F
- ・ **EMCAL**
- ・ PHOS
- ・ HMPID



EMCAL

(Electro Magnetic CALorimeter)

鉛板とプラスチックシンチレータのサンドウィッチ型サンプリングEMCAL

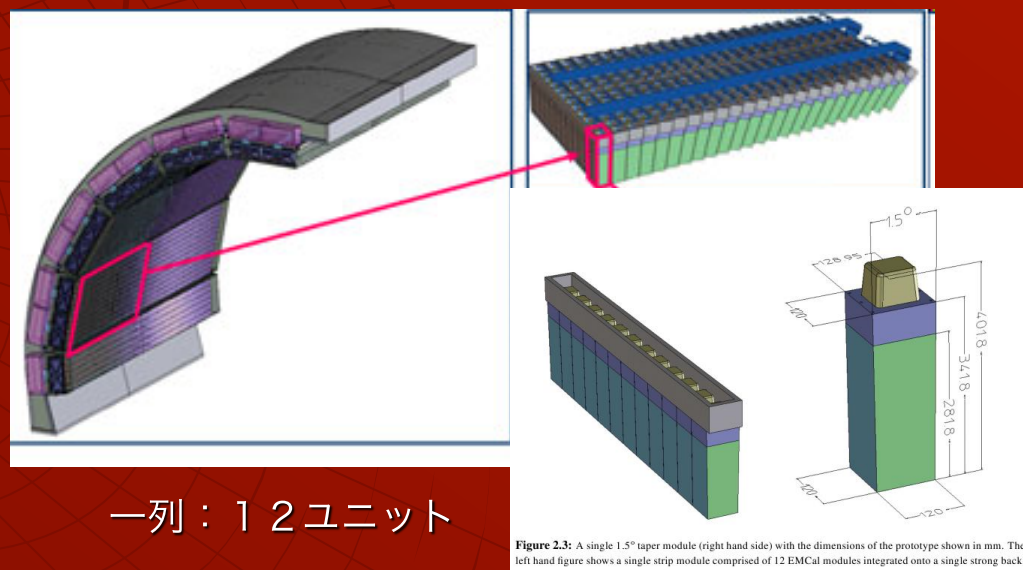
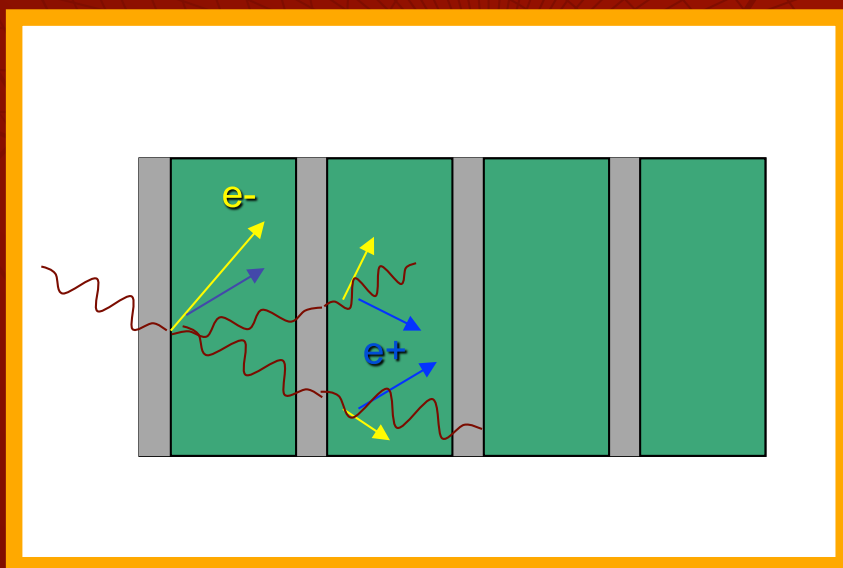
方位角方向： $80^\circ \sim \varphi \sim 190^\circ$ ， $|\eta| < 60^\circ$

EMCAL内に入射してくる光子・電子のエネルギーを測定

検出原理

1. 高エネルギー光子・電子が鉛板により電子シャワーを形成（対生成＋制動放射）
2. シンチレーター内の電子、陽電子がシンチレータ光を放射
3. APDにより光をシグナルに変換
4. シグナルよりエネルギーを導出（←ここを校正）

1 モジュール：24列



一列：12ユニット

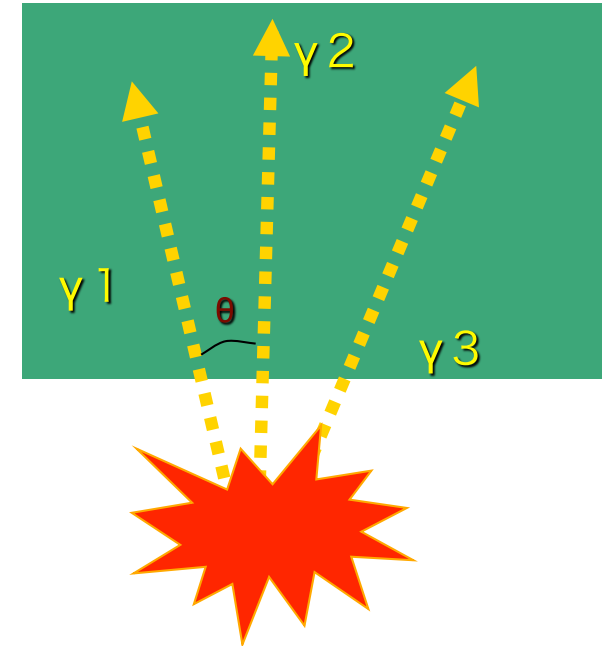
Figure 2.3: A single 1.5° taper module (right hand side) with the dimensions of the prototype shown in mm. The left hand figure shows a single strip module comprised of 12 EMCAL modules integrated onto a single strong back.

解析手法-i

使用実験データ：p-p衝突@900 GeV
(pass2 data)

<それぞれの γ 線の組み合わせを考える>

EMCAL



- i. 入射した2光子を選択 (基準粒子を i, 組み合わせる光子を j とする)
- ii. 位置とエネルギーより、崩壊粒子のエネルギーを計算
- iii. π^0 付近の質量分布ピークを fitting (ダブルガウシアン)
- iv. 各エネルギーにおいて π^0 の質量でエネルギー較正

π^0 中間子

質量：0.135 GeV/c² 寿命：8.4 × 10⁻¹⁷ s

クォーク組成：
$$\frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}}$$

π^0 中間子は98%の確率で二つの γ に崩壊

解析手法-ii

$$\text{Mass} = \sqrt{(2 * E_i * E_j * (1 - \cos\theta))}$$

E_i : 粒子iのエネルギー

E_j : 粒子jのエネルギー

P_t : 粒子の運動量

cut

$E_i, E_j > 0.15 \text{ GeV}$ (低エネルギー粒子を排除)

$|(E_i - E_j) / (E_i + E_j)| < 0.7$

(エネルギーが大きく異なる粒子の組み合わせを排除)

エネルギーによる場合分け

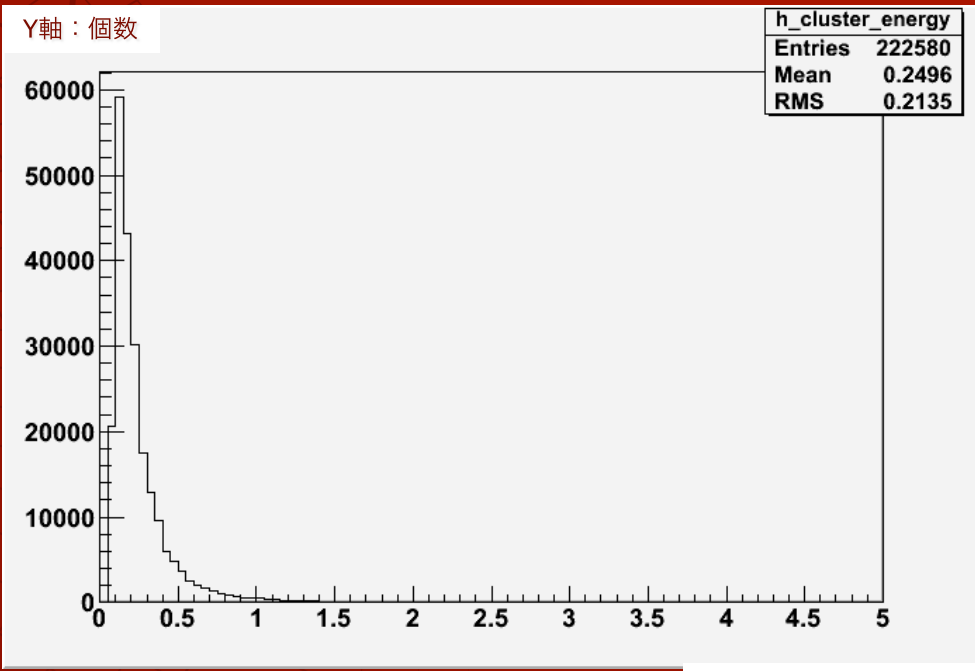
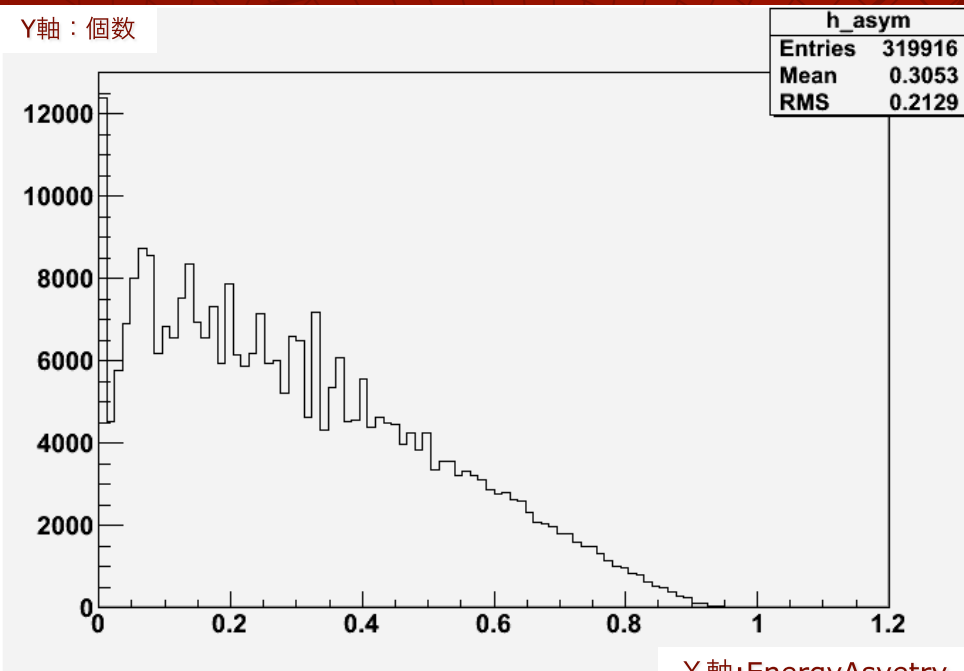
E_i を 0.4 GeV ごとに分け、崩壊粒子のmassをヒストグラム化

結果-i

Pass2-data

EnergyAsymetry

全clusterのエネルギー分布



結果-ii

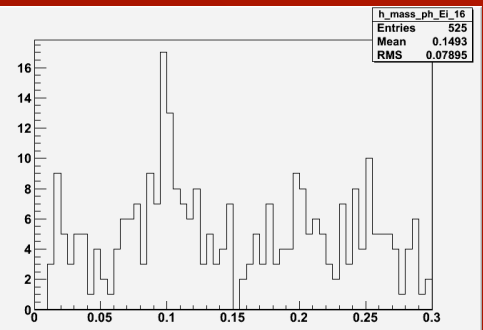
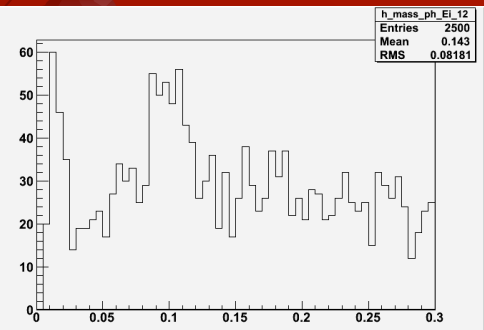
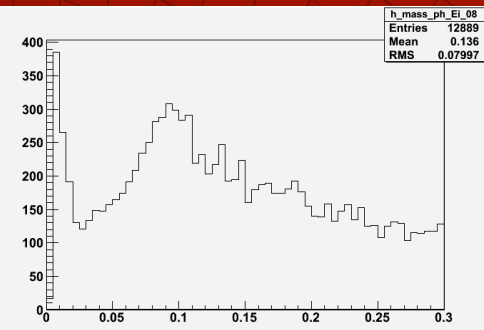
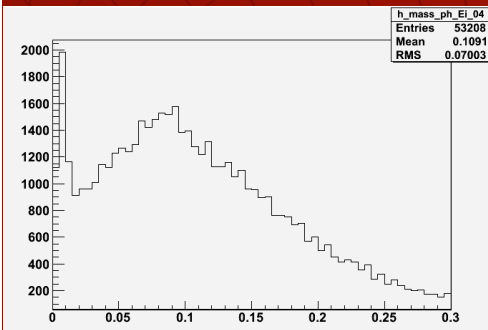
キャリブレーション前における各 E_i 値における崩壊粒子の質量分布

$E_i \leq 0.4 \text{ GeV}$

$0.4 < E_i \leq 0.8 \text{ GeV}$

$0.8 < E_i \leq 1.2 \text{ GeV}$

$1.2 < E_i \leq 1.6 \text{ GeV}$



Y軸：個数

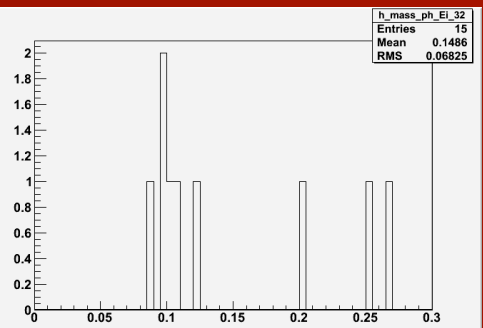
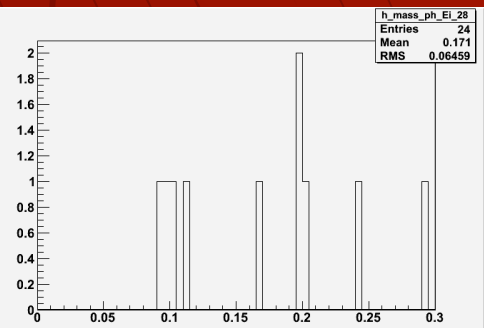
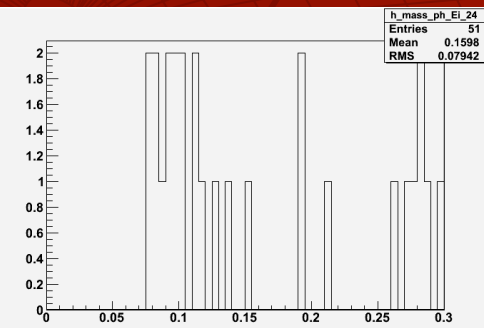
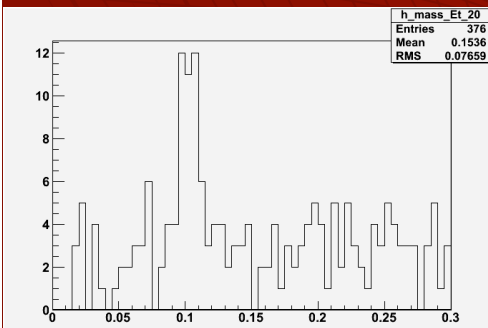
X軸：m[GeV/C²]

$1.6 < E_i \leq 2.0 \text{ GeV}$

$2.0 < E_i \leq 2.4 \text{ GeV}$

$2.4 < E_i \leq 2.8 \text{ GeV}$

$2.8 < E_i$



結果-iii

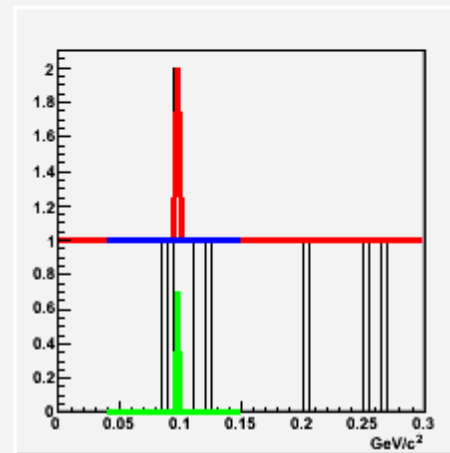
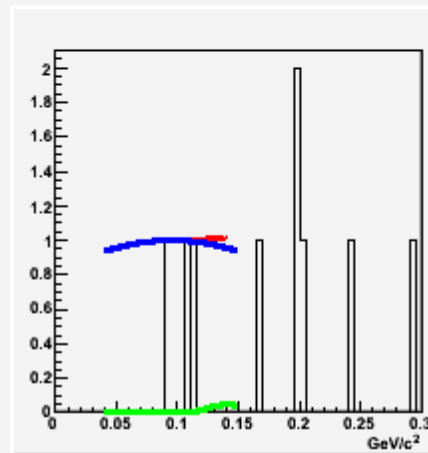
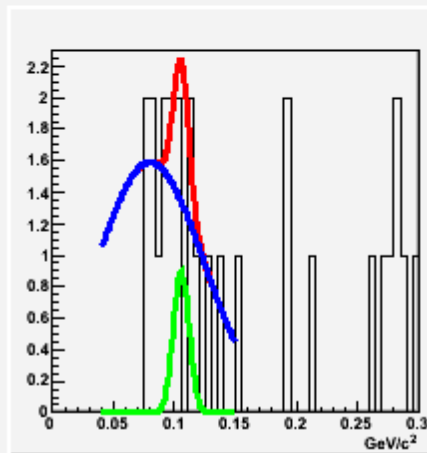
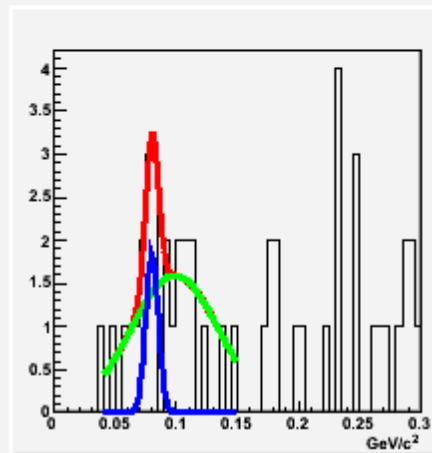
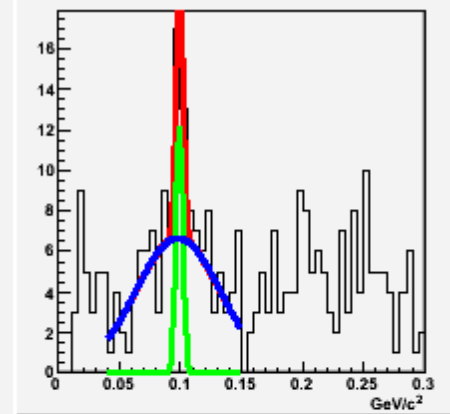
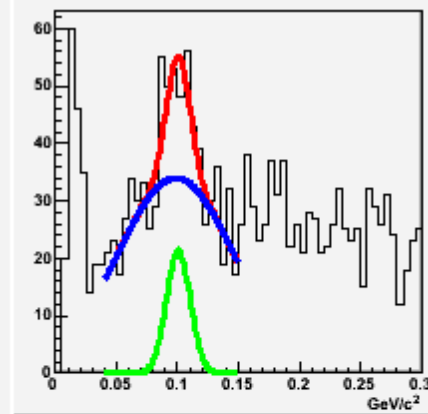
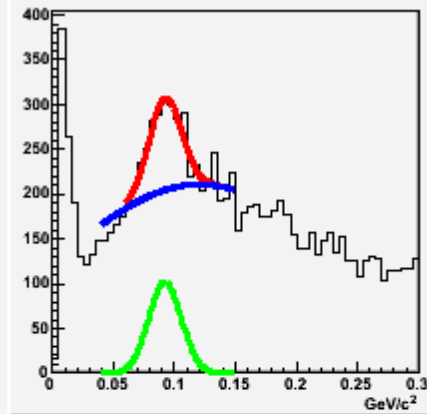
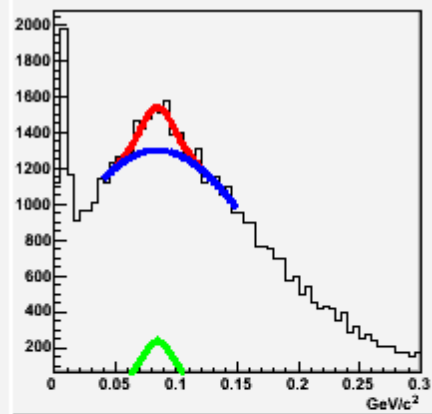
Fitting結果

- π^0 mass ピークが低い

青：バックグラウンド

緑： π_0

赤；足し合わせ



結果-iv

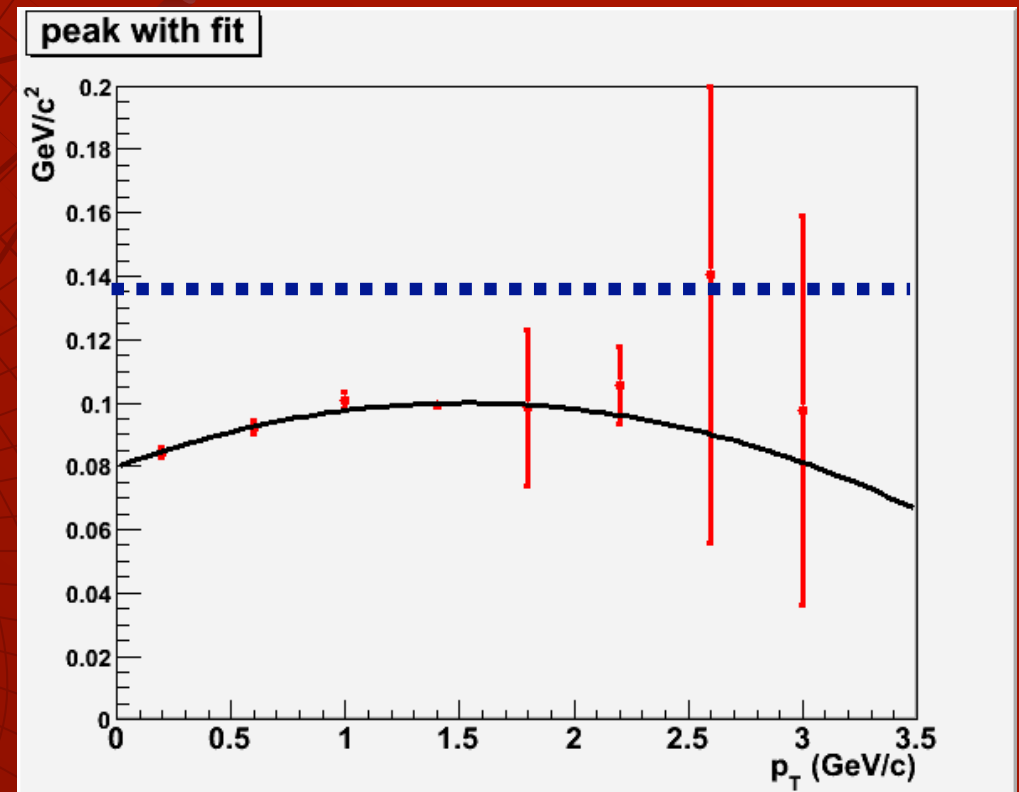
キャリブレーション前

fitting関数;

$$-0.00868x^2 + 0.02652x + 0.07975$$

実際の中性 π 中間子の質量は0.135 GeV程度

実際より低い値が導出されている

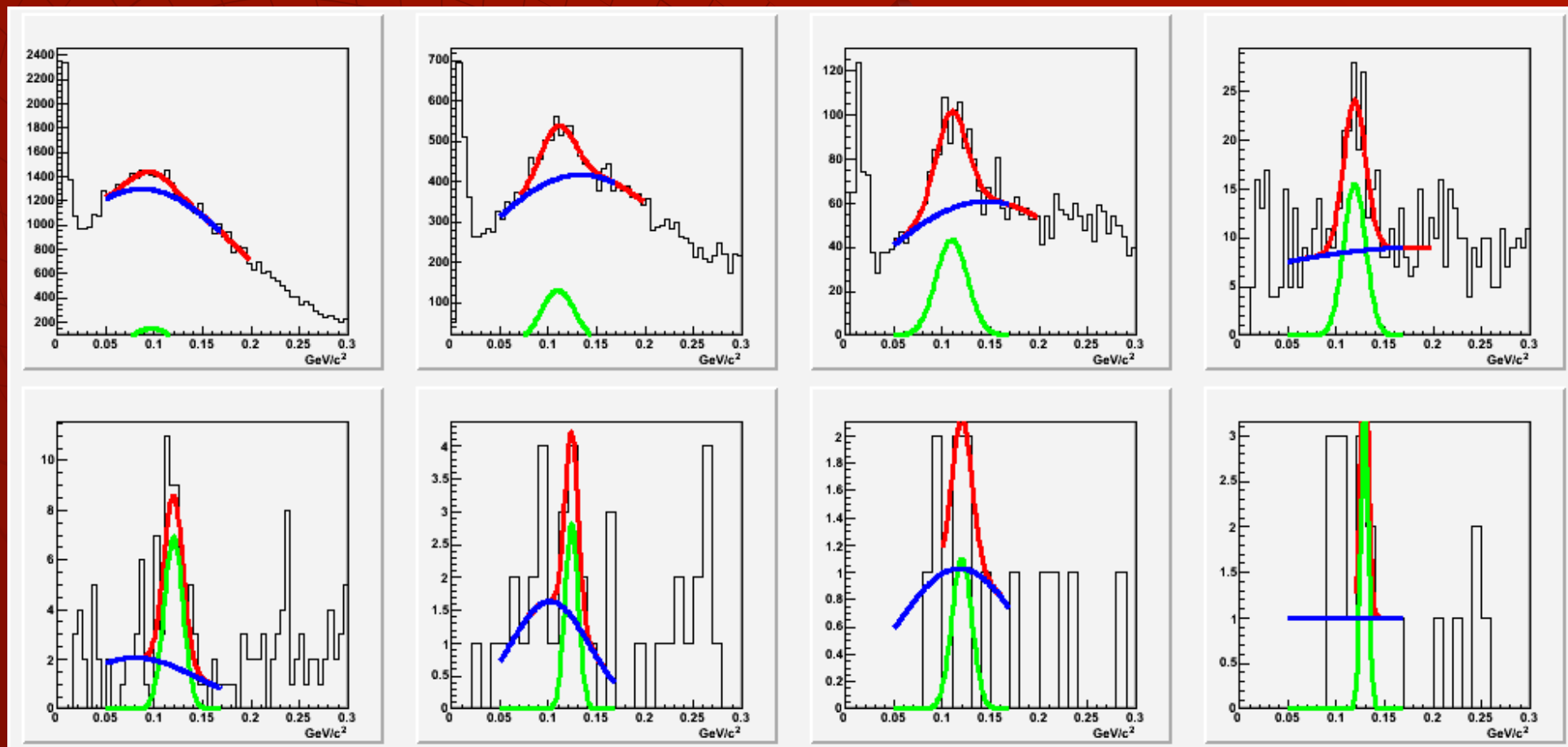


エネルギー較正を行う
(較正をかけるのは基準粒子 i)

結果-v

Fitting結果よりエネルギー較正を行った

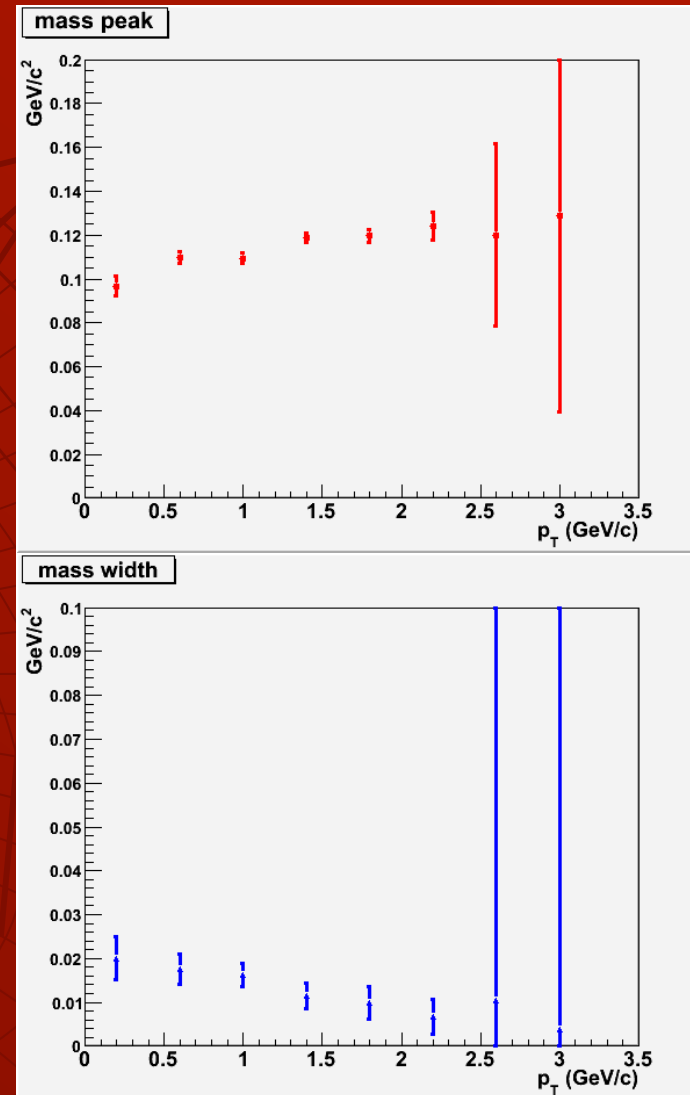
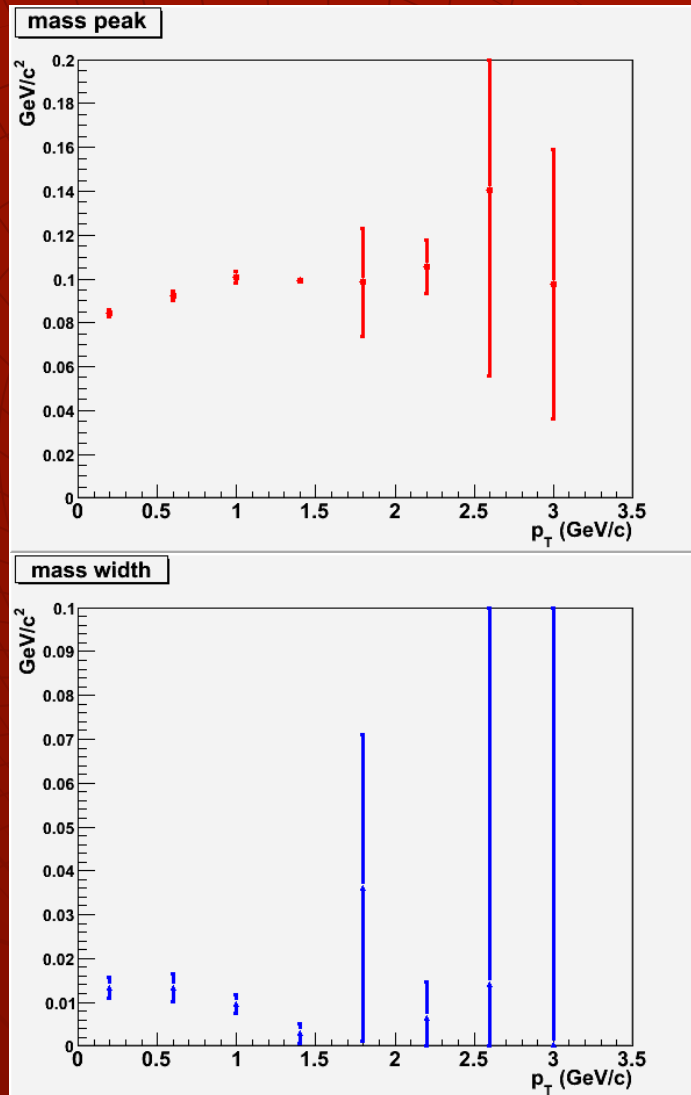
- ・ E_i (基準粒子) のみにエネルギー較正



結果-vi

キャリブレーション無し

Eiのみにキャリブレーション



まとめおよび課題

- EMCALにおいて π^0 の質量を基準として導出されるエネルギー値の補正
- EMCALでのエネルギーの非線形成を較正する手法を確立

補正によりmass分布の π^0 と思われるピークを0.12 GeV程度まで補正できた。しかし各エネルギー (E_i) においてバラツキが大きい。

理由


- ・統計量の不足
- ・EMCALの1チャンネルごとの較正が不十分

今後の課題

- ・他の検出器を用いて、 π^0 意外の粒子の影響を排除
- ・より E_i 値を細かく設定することでのfittingの向上
- ・この過程を繰り返し行い、 π^0 のピークが0.135 GeV程度になるまで補正を行う



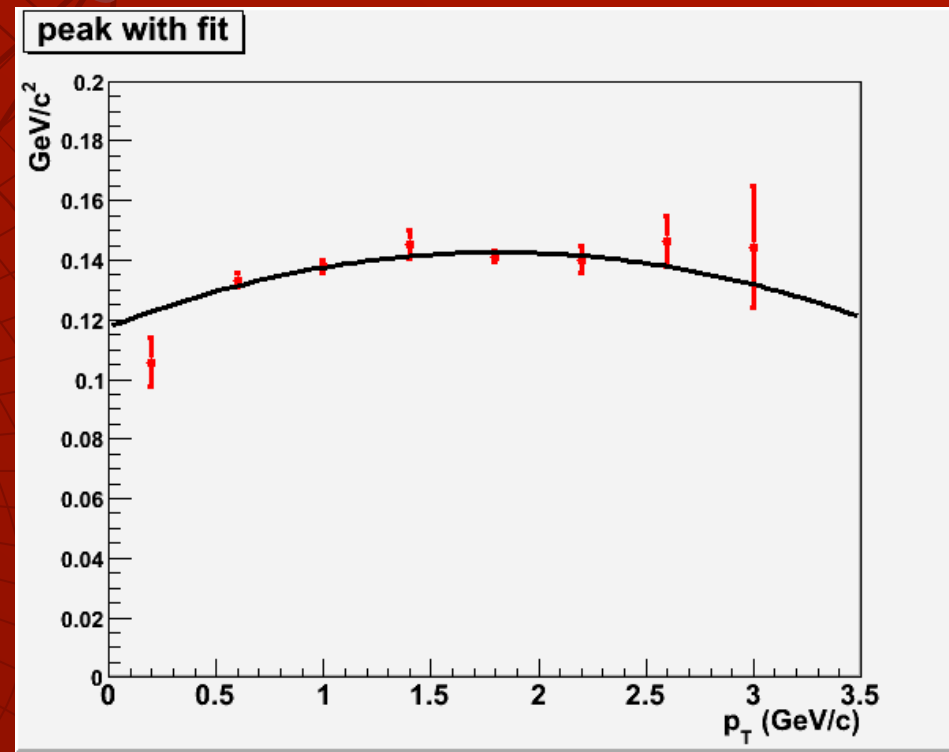
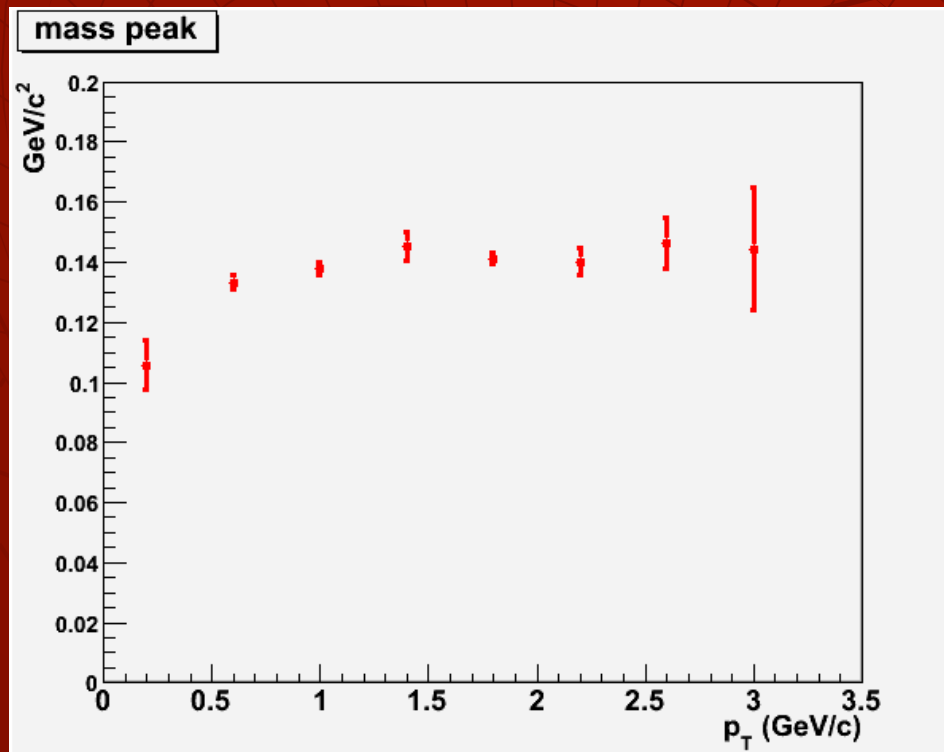
おわり



TPCTrack Quality Cut . . . refit, クラスタ数80、
Select Minimum Bias Trigger
Z vertex cut . . . 20cm

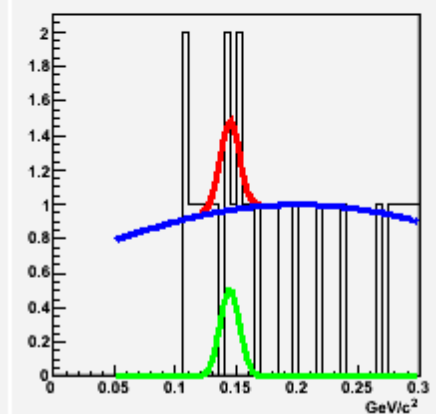
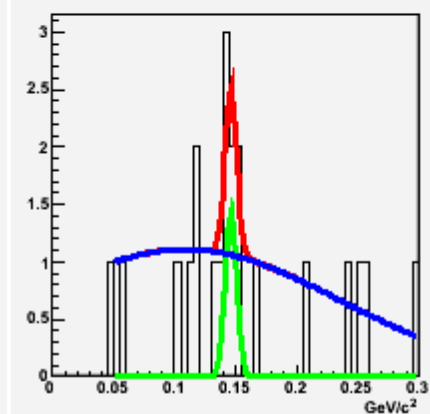
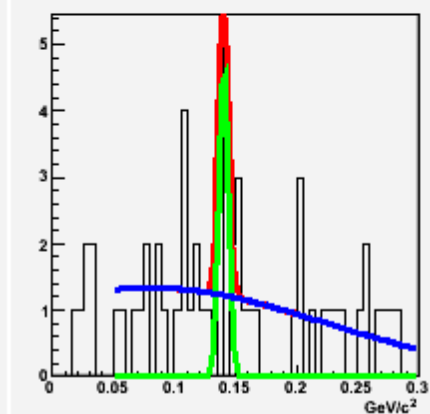
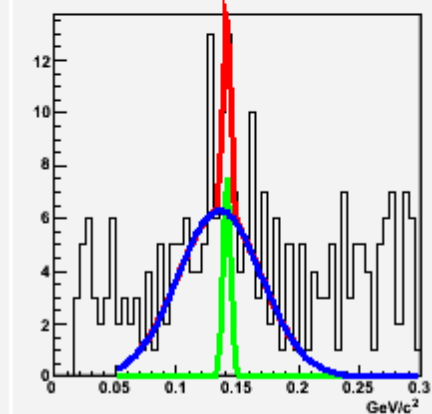
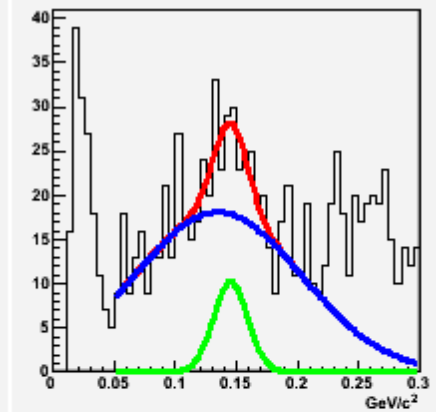
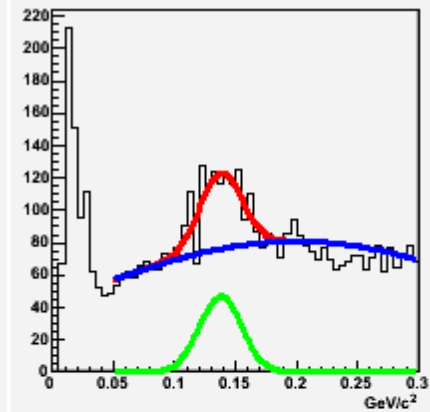
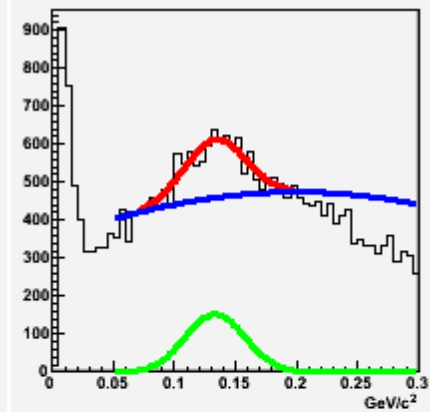
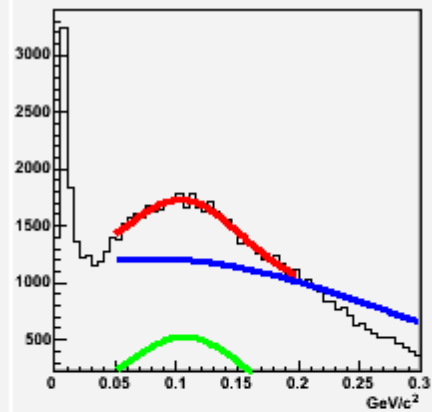
結果

◆ E_i, E_j



結果-v

E_i, E_j の両方にキャリブレーション

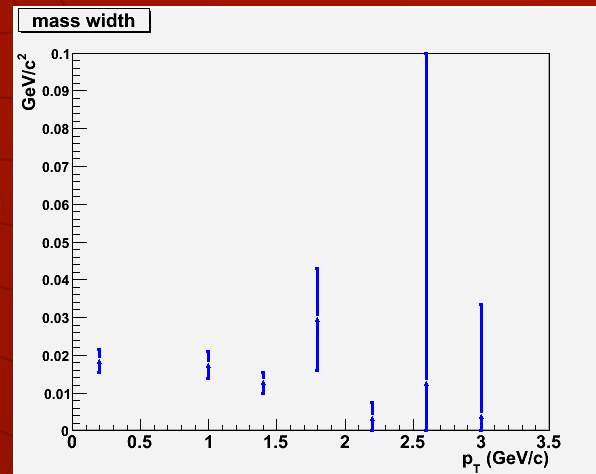
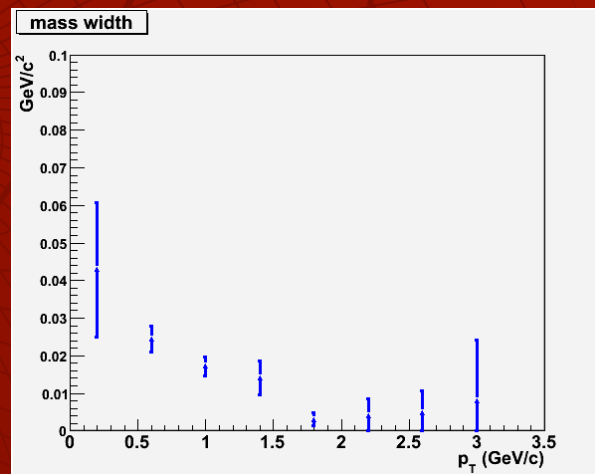
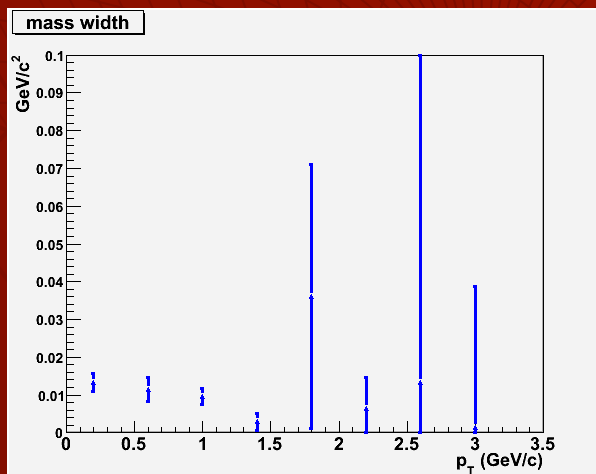
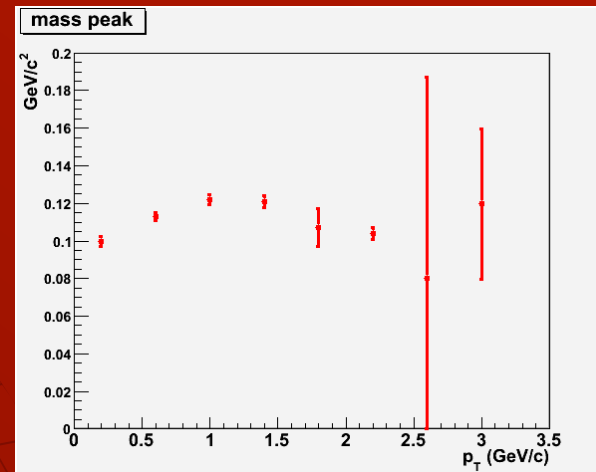
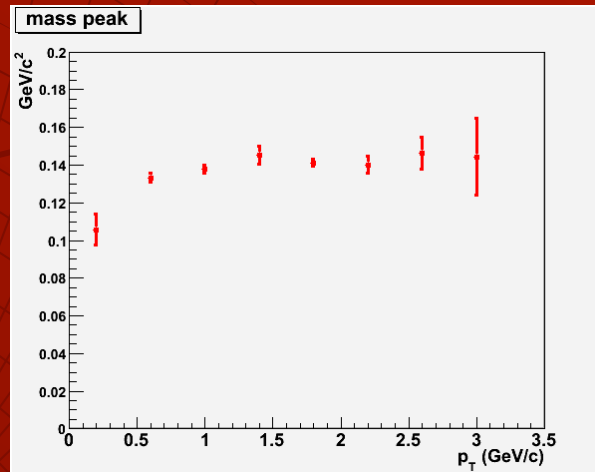
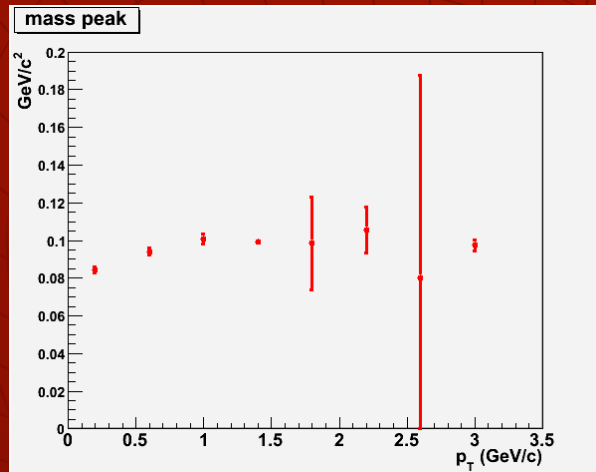


結果-vii

キャリブレーション無し

Ei,Ejにキャリブレーション

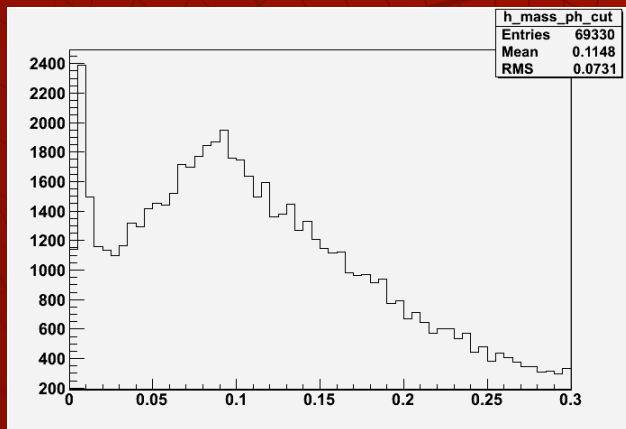
Ejのみにキャリブレーション



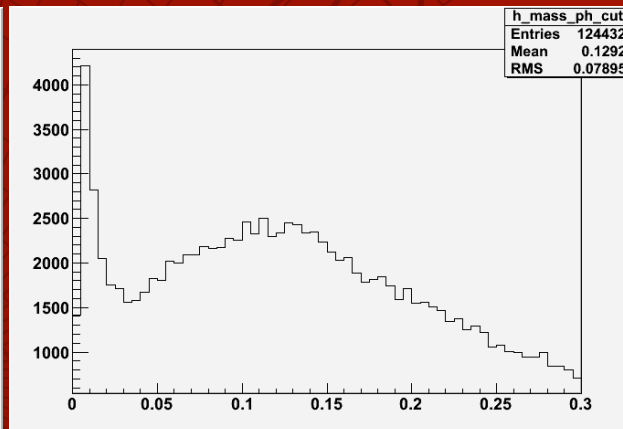
結果

全粒子のmass分布の比較

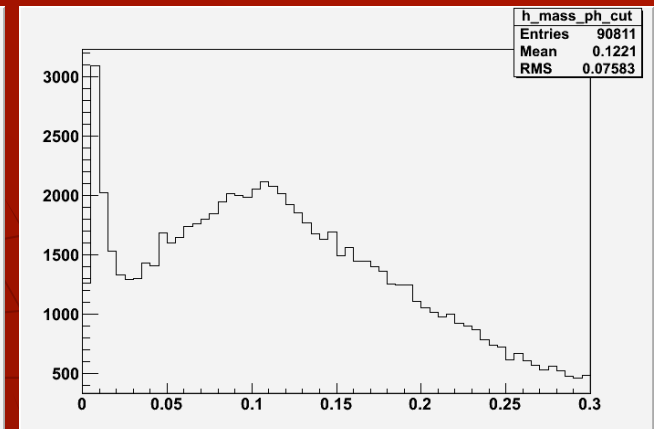
キャリブレーション無し



E_i, E_jにキャリブレーション



E_iのみにキャリブレーション

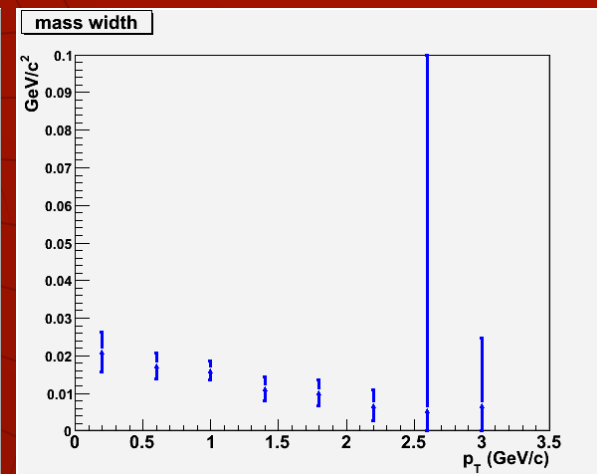
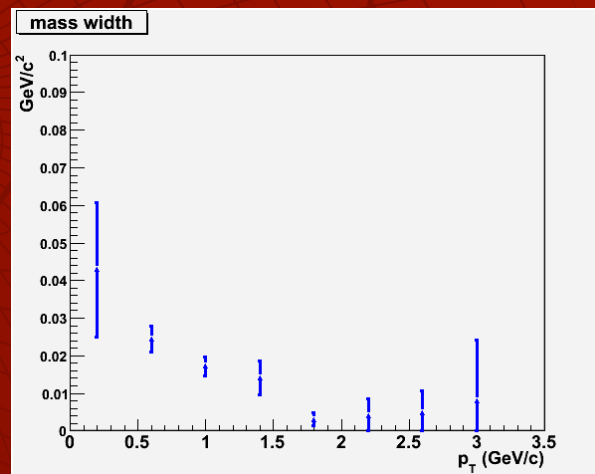
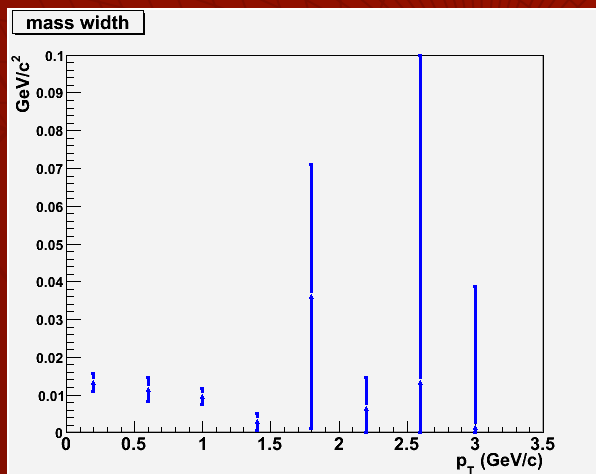
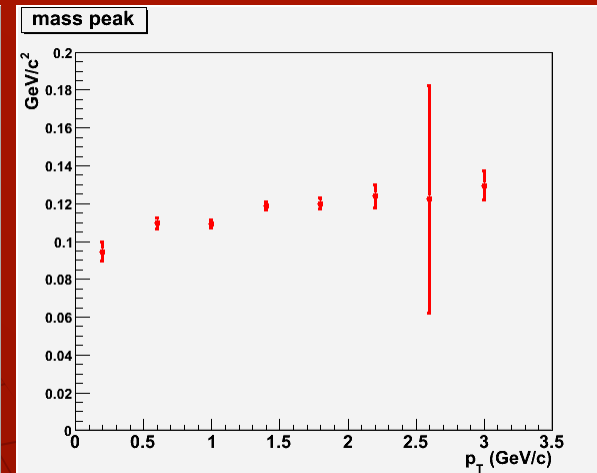
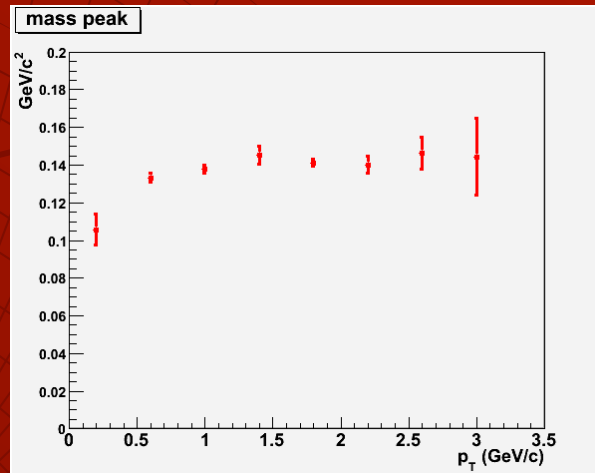
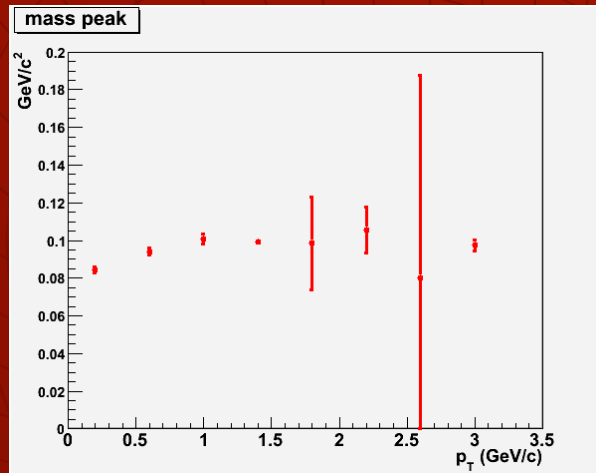


結果-vii

キャリブレーション無し

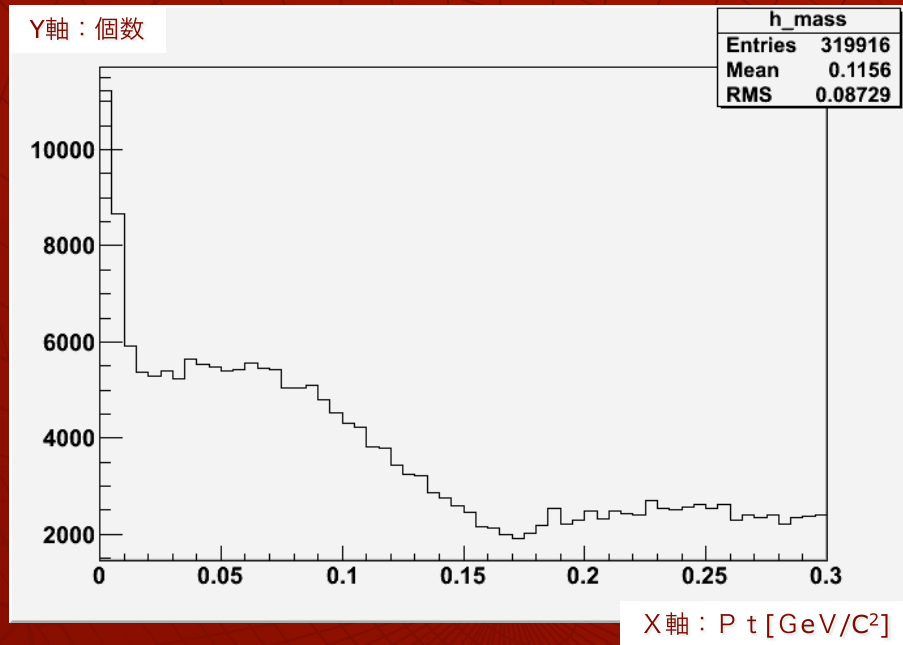
Ei,Ejにキャリブレーション

Eiのみにキャリブレーション

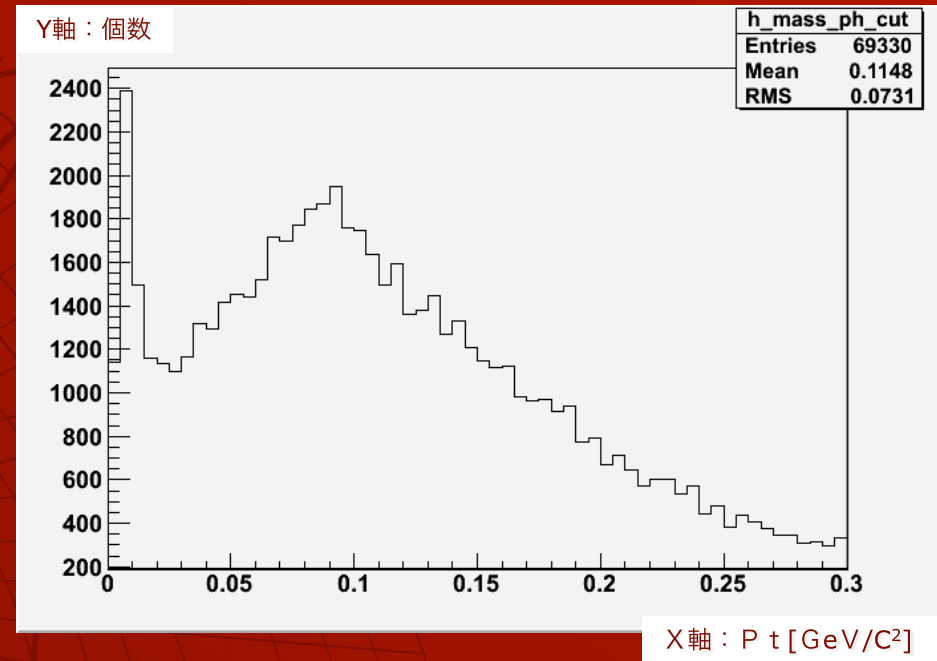


結果

崩壊粒子のmass分布



Cut無し

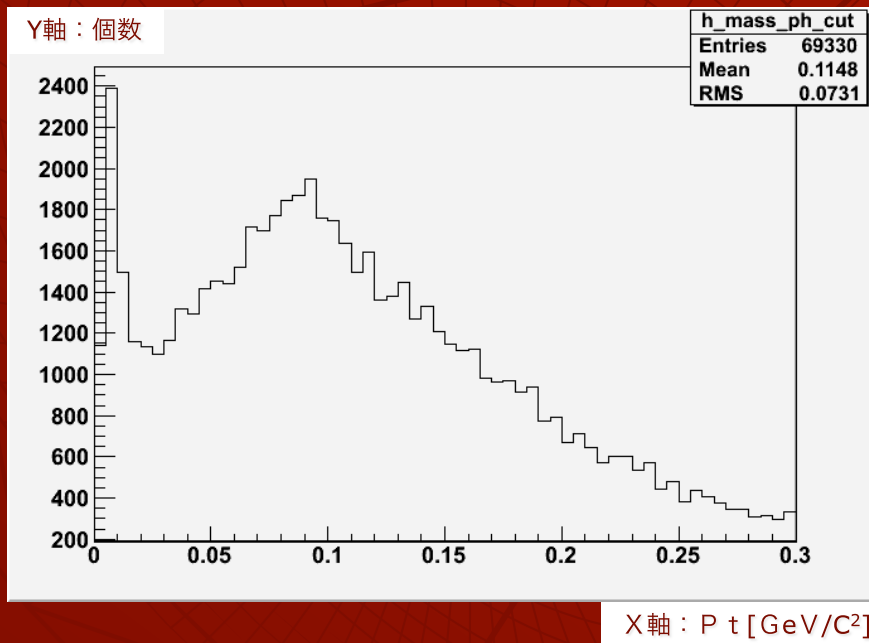


Cut有り

結果

全粒子のmass分布の比較

キャリブレーション無し



Eiのみにキャリブレーション

