

# $\gamma$ コンバージョン事象を用いた ATLAS内部飛跡検出器の物質量子評価

筑波大数理, 松隈恭子, 金信弘, 原和彦,  
林隆康, 埜慶太, 黒川悠文, 望月一也

# Contents

- Motivation
- 内部飛跡検出器と $\gamma$ コンバージョン
- $\gamma$ コンバージョンの再構成
  - Pt 20,2GeV シミュレーションサンプル
  - 900GeV MinBiasシミュレーションサンプル
  - 900GeV 衝突データ
- まとめ

## motivation

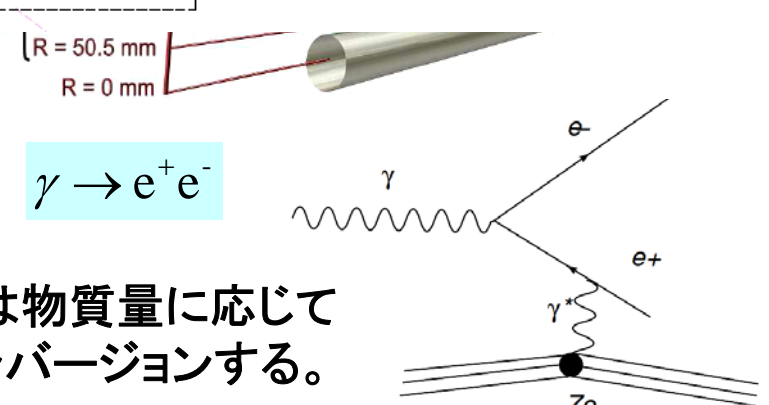
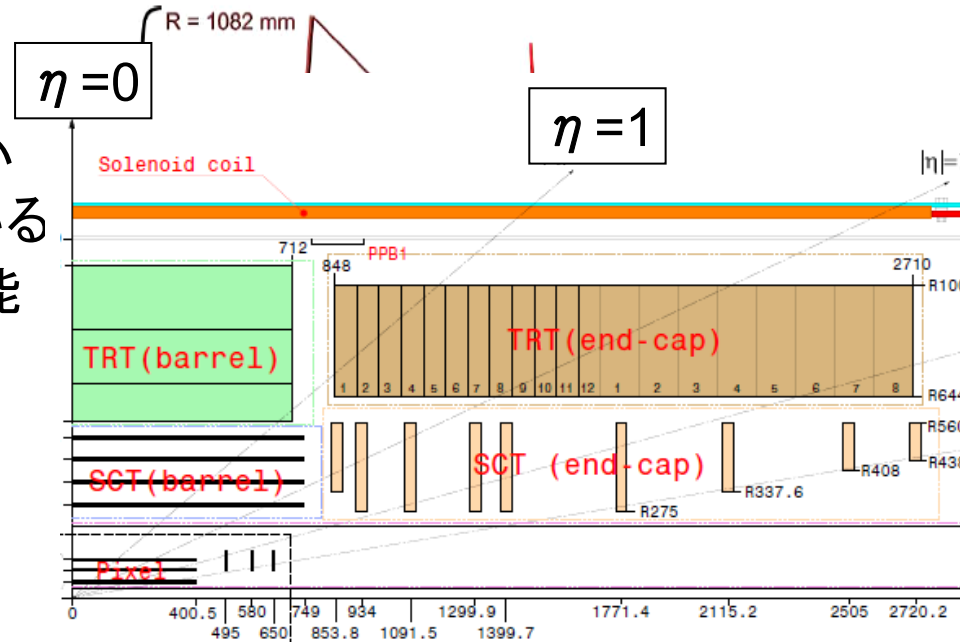
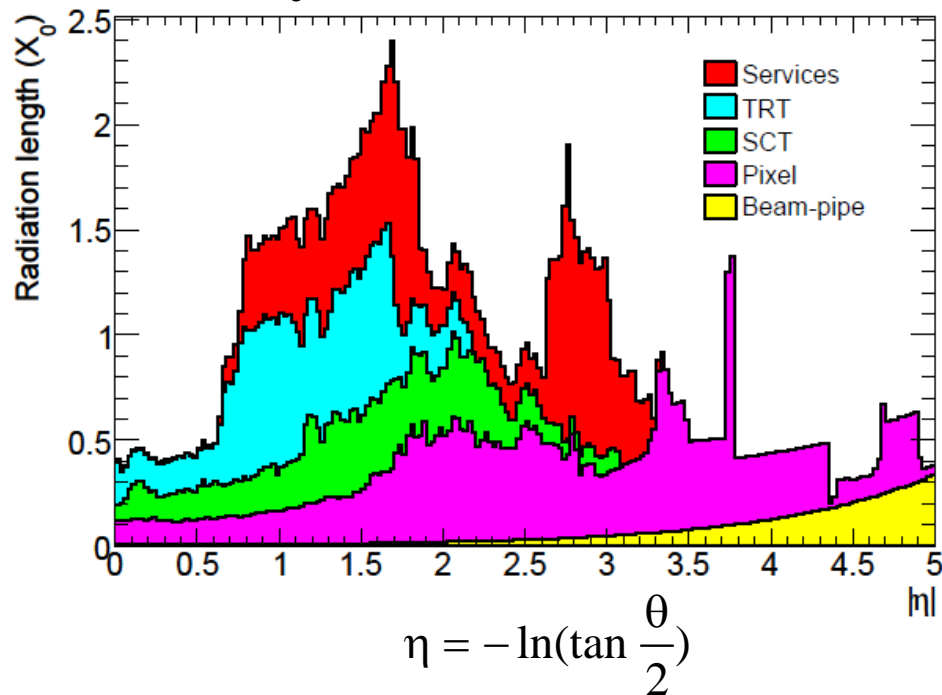
- 内部飛跡検出器の物質質量評価
    - 粒子の運動量や電子のエネルギーの精密測定
    - $\gamma \rightarrow e^+e^-$  を使用
- ⇒  $\gamma$ コンバージョンを再構成することで物質質量を評価したい

# 内部飛跡検出器と $\gamma$ コンバージョン

- 2Tのソレノイド磁場中に設置
- PIXEL,SCT,TRTの3つの飛跡検出器からなり、Barrel部とEndcap部にわかれている
- TRTは遷移輻射により、 $e/\pi$  識別が可能

## 内部飛跡検出器の物質質量

(シミュレーションに組み込まれている値で $90^\circ$ 方向で約 $0.4X_0$ )



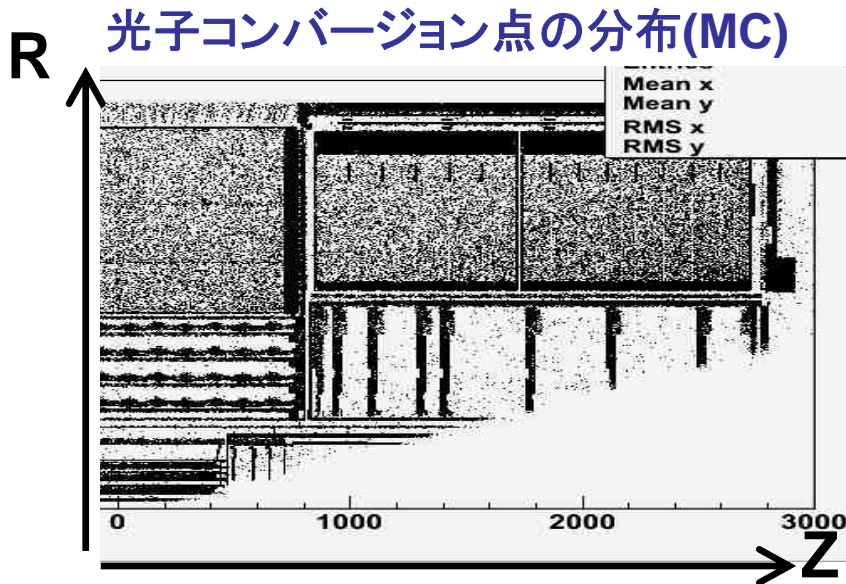
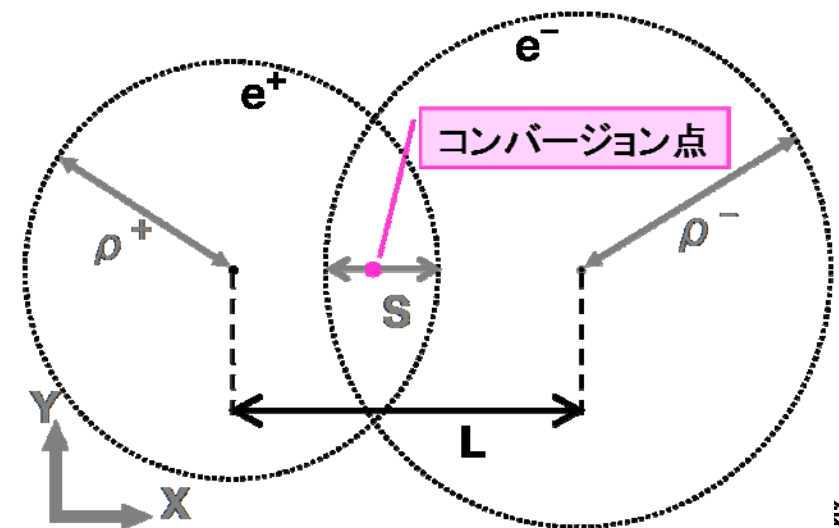
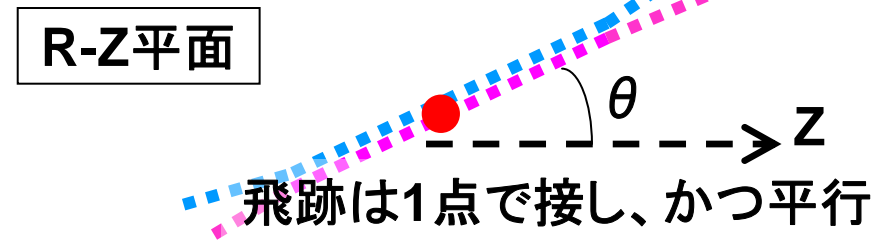
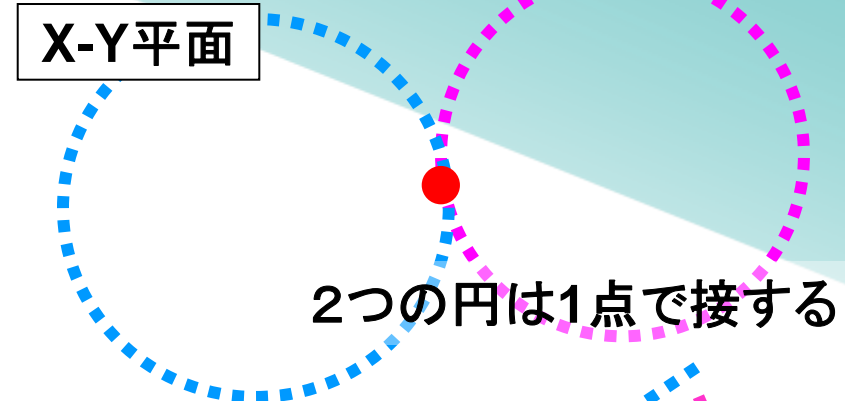
$\gamma$ は物質量に応じて  
コンバージョンする。

光子コンバージョン点を見つけることで、  
物質量の分布を確認することができる

# $\gamma$ コンバージョンの再構成

理想的に $e^+e^-$ は空間のある1点(コンバージョン点)から発生

- $e^+e^-$ 対であるもの
  - 電荷が異なる
- 1点から生じるトラックペアである
  - $|\Delta \cot \theta|$  opening angleが小さい
  - S XY平面において飛跡間が充分に近い
  - $|\Delta Z|$  Z方向において飛跡間が近づく



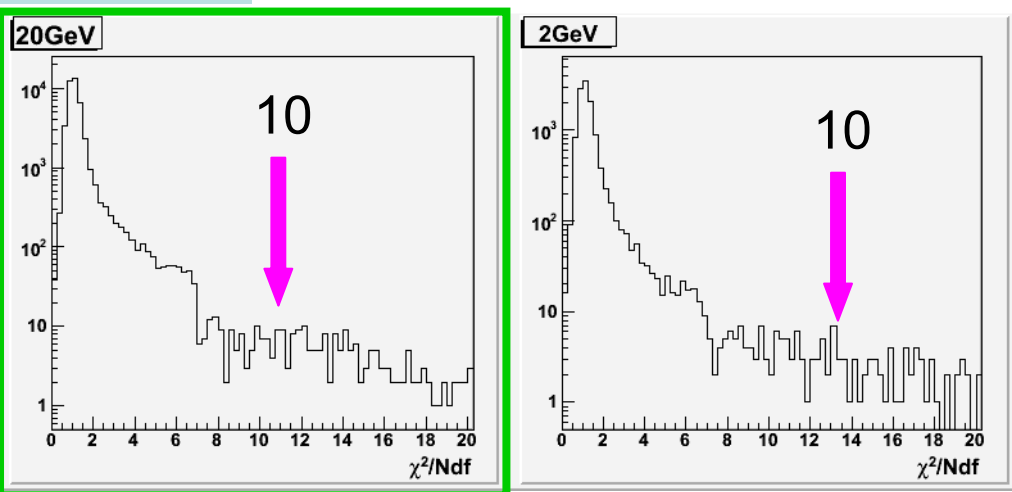
# MC (Pt<sup>γ</sup>=20, 2GeV) でのカット調整 1/2

PT<sup>γ</sup>=20, 2 GeV について再構成

$\chi^2/Ndf$ ,  $|\Delta \cot \theta|$ , S,  $|\Delta Z|$ について、カットの調整を行った(TrackPt $\geq 0.5$ GeV)

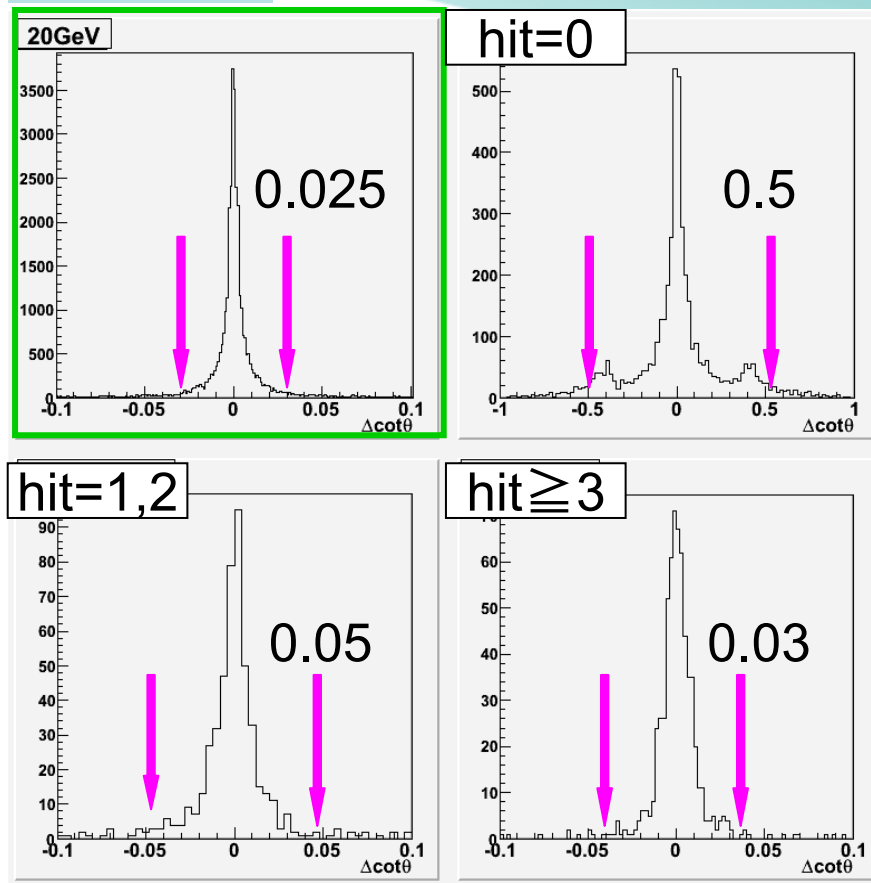
$|\Delta \cot \theta|$ , S,  $|\Delta Z|$ では、PT<sup>γ</sup>=2 GeVのカットを、トラック対e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>両方のPIXEL(3層)でのヒット数の合計が0、1または2ヒット、3ヒット以上で区別(最大6hit)

$\chi^2/Ndf$



20,2GeV  $\Rightarrow \chi^2/Ndf < 10$

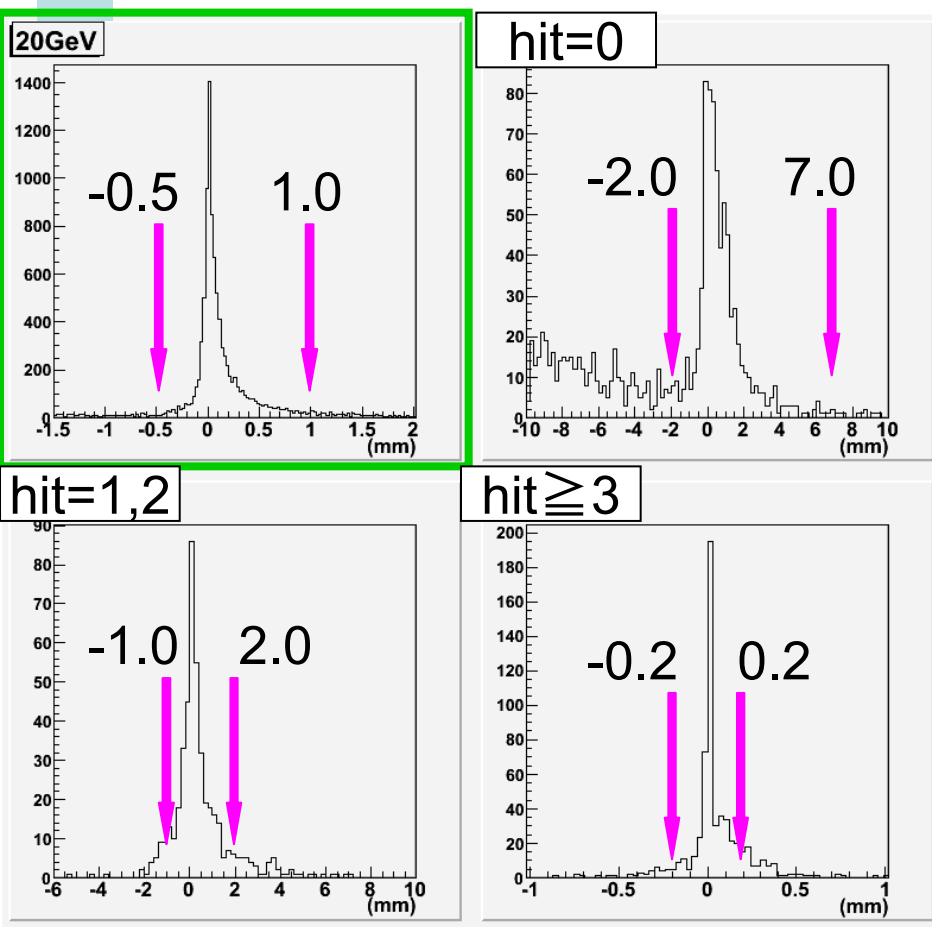
$|\Delta \cot \theta|$



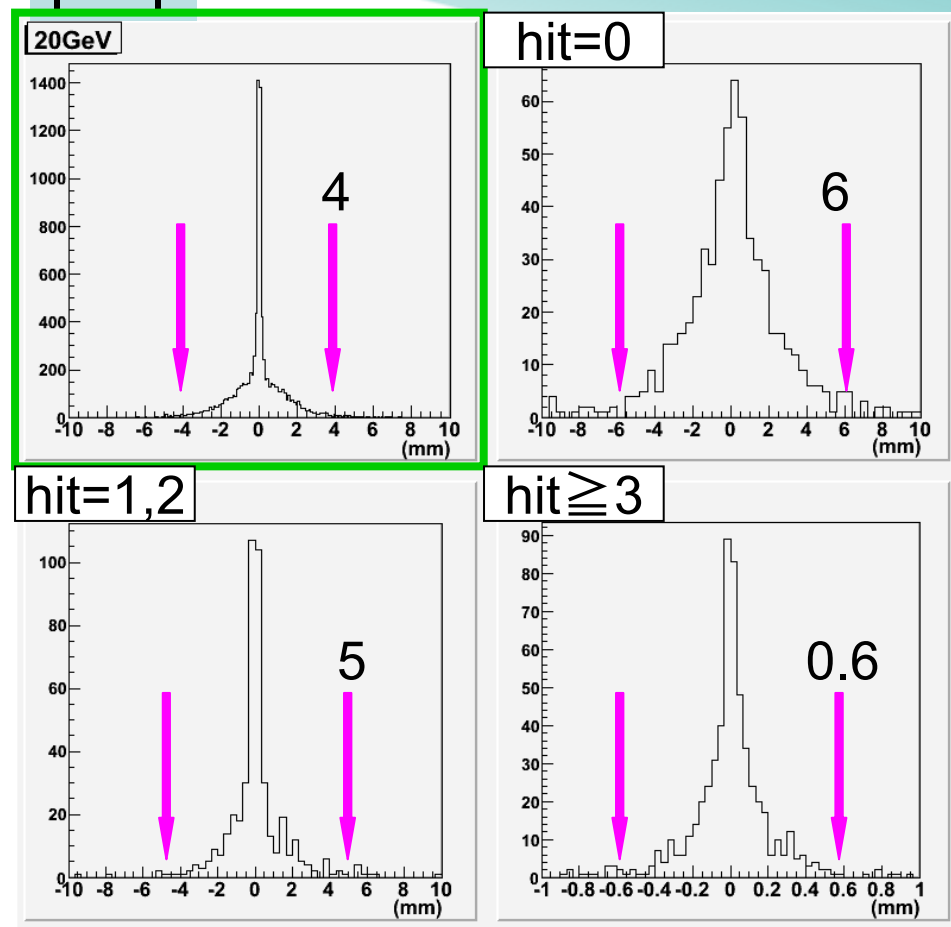
20GeV  $\Rightarrow |\Delta \cot \theta| < 0.025$   
 2GeV(0)  $\Rightarrow < 0.5$   
 (1,2)  $\Rightarrow < 0.05$   
 (3以上)  $\Rightarrow < 0.03$

# MC( $Pt^\gamma=20, 2\text{GeV}$ )でのカット調整 2/2

S



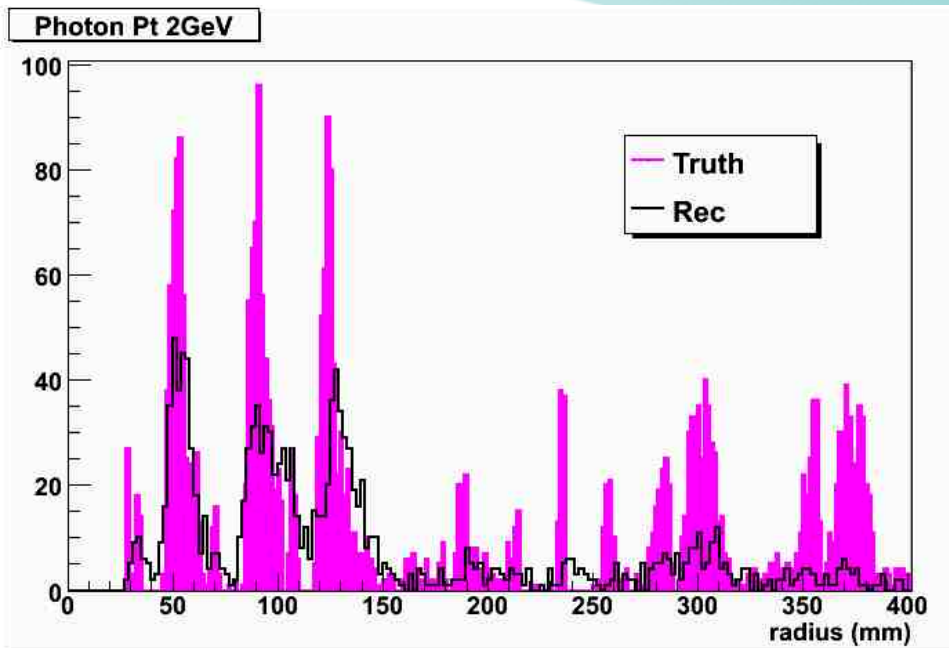
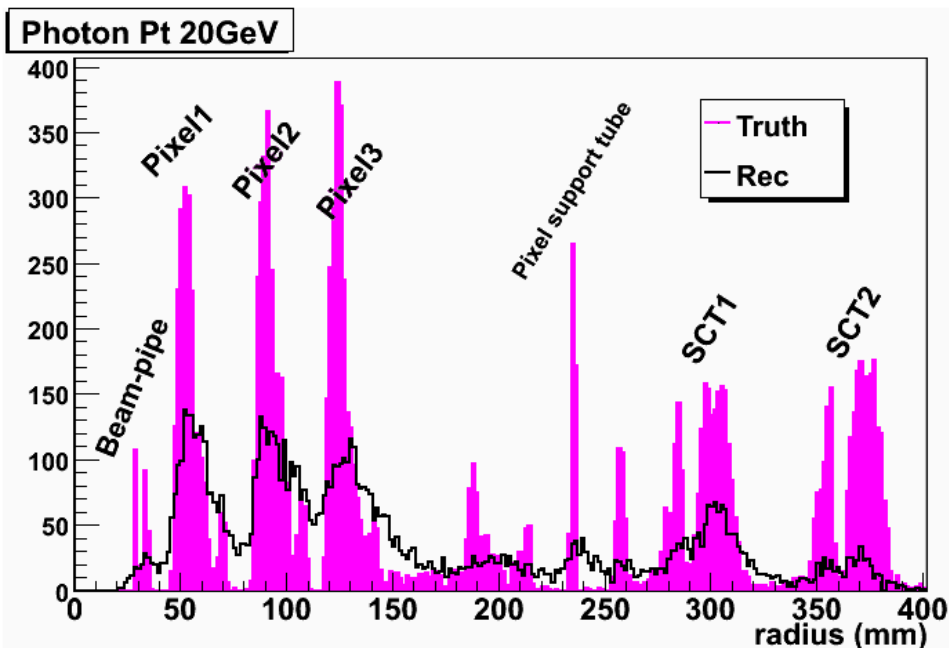
$|\Delta Z|$



20 GeV  $\Rightarrow -0.5 < S < 1.0$  mm  
 2 GeV(0)  $\Rightarrow -2.0 < S < 7.0$  mm  
 (1,2)  $\Rightarrow -1.0 < S < 2.0$  mm  
 (3以上)  $\Rightarrow -0.2 < S < 0.2$  mm

20 GeV  $\Rightarrow |\Delta Z| < 4$  mm  
 2 GeV(0)  $\Rightarrow < 6$  mm  
 (1,2)  $\Rightarrow < 5$  mm  
 (3以上)  $\Rightarrow < 0.6$  mm

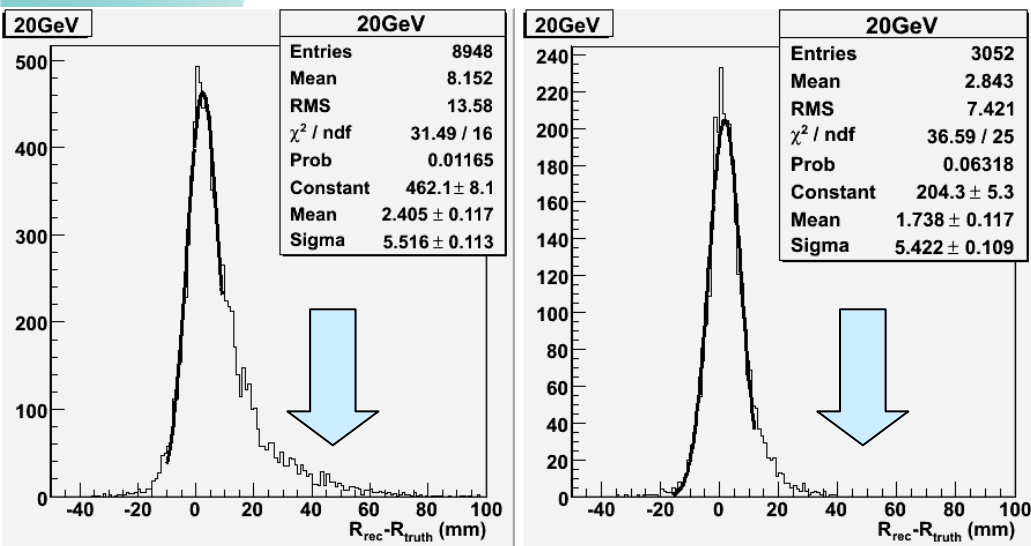
# コンバージョン点分布 ( $Pt^\gamma = 20, 2\text{GeV}$ )



- シミュレーションによる真のコンバージョン点分布
- 飛跡から再構成したコンバージョン点分布  
但し、トラックは、 $0.5\text{GeV}$ 以上  
 $|\eta| < 2.1$  の範囲で再構成  
 $R < 400\text{ mm}$  の範囲で再構成

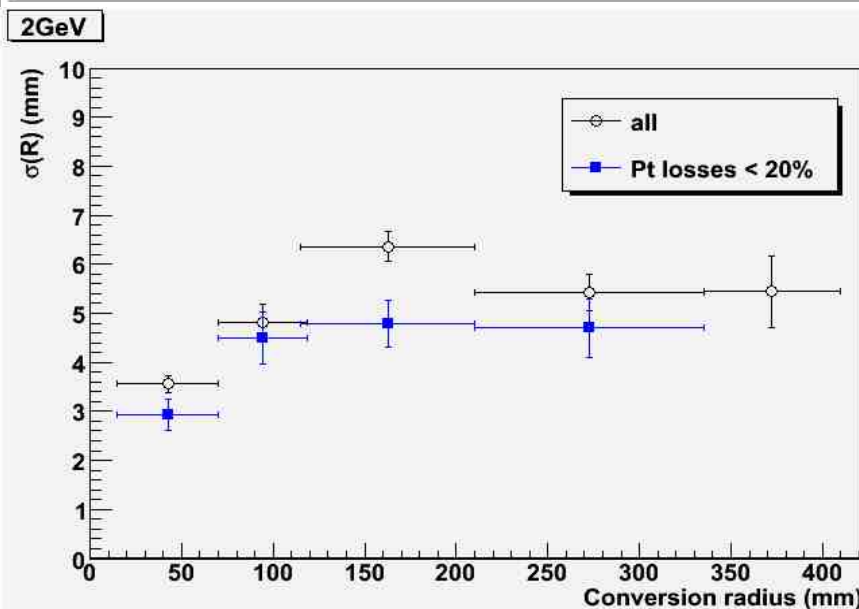
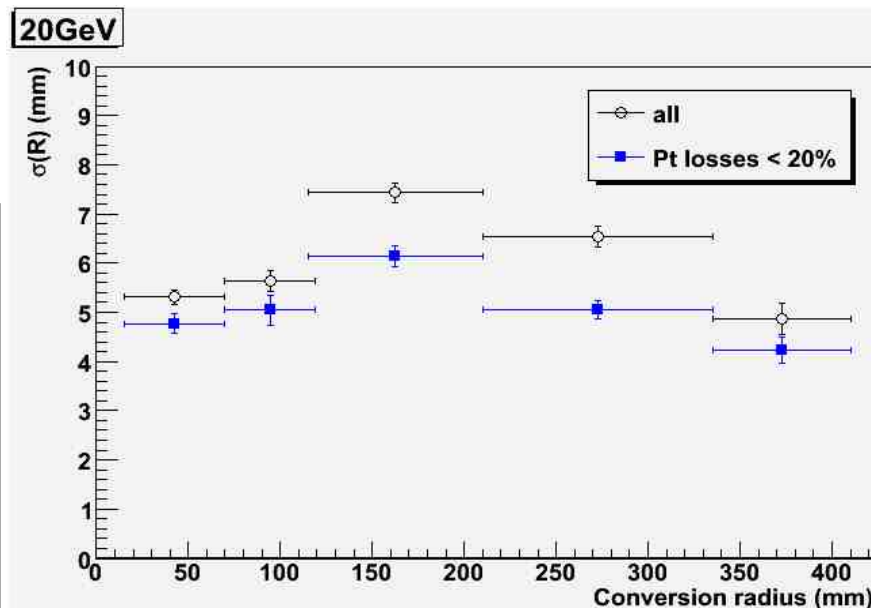
# コンバージョン点R方向位置分解能

再構成した点と真のコンバージョン点との差  
(R方向)



R方向位置分解能は5mm程度が得られる。

非対称な分布は、コンバートした電子・陽電子の物質中での運動量損失による。運動量損失が20%以下の場合に限ると、R分解能は改善する。

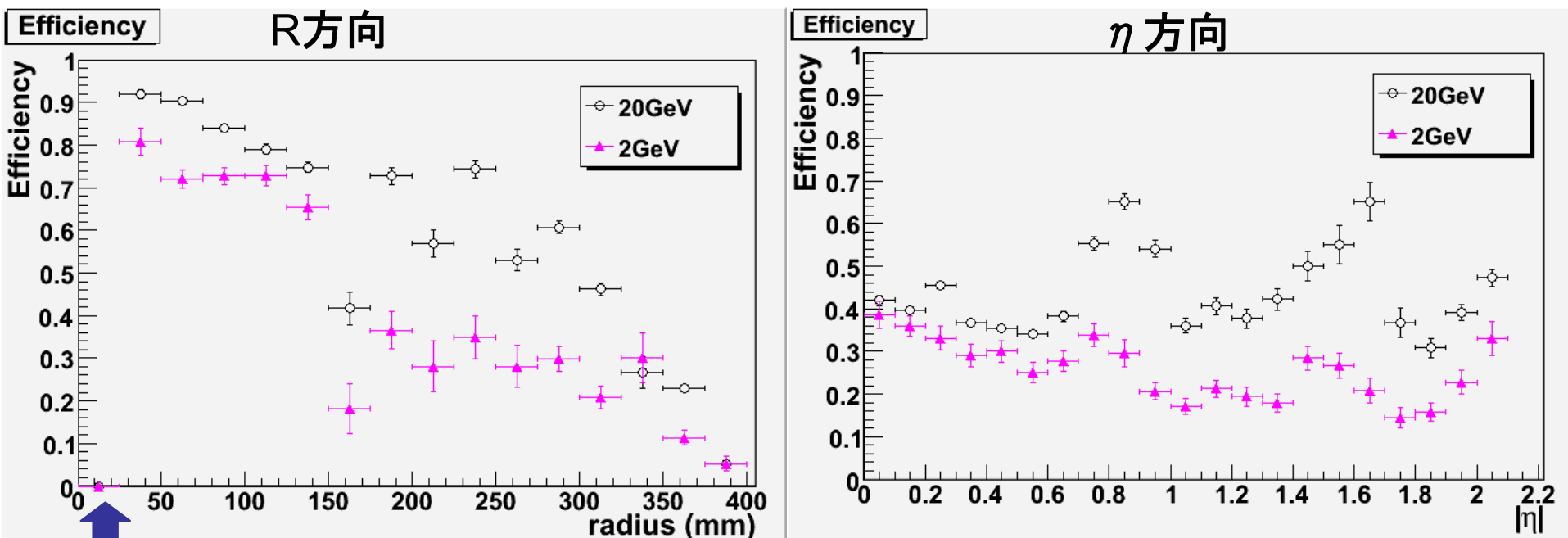




# コンバージョン再構成効率(efficiency)

$Pt^\gamma = 20, 2 \text{ GeV}$  でそれぞれ再構成の効率を求めた

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{同イベント内での再構成点の数}}{\text{真のコンバージョン点の数}}$$



BeamPipe内部

ビーム軸に近いほど飛跡再構成の効率が良いため、efficiencyがよい。

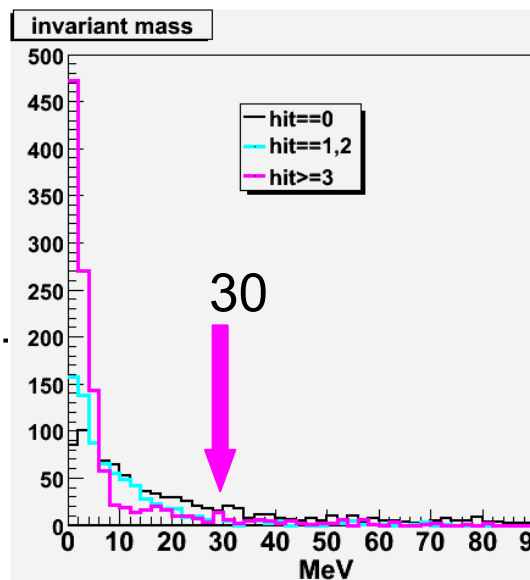
ただし、ビームパイプ内部には真のコンバージョン点が存在しないため、event数は0

# MinimumBias MC サンプルでの再構成

実際の衝突データ(重心系エネルギー900GeV)と比較するため、陽子・陽子衝突シミュレーション(900GeV)のサンプルを用いて再構成を行った

$Pt^\gamma = 2\text{GeV}$  のサンプルのカットを元に調整

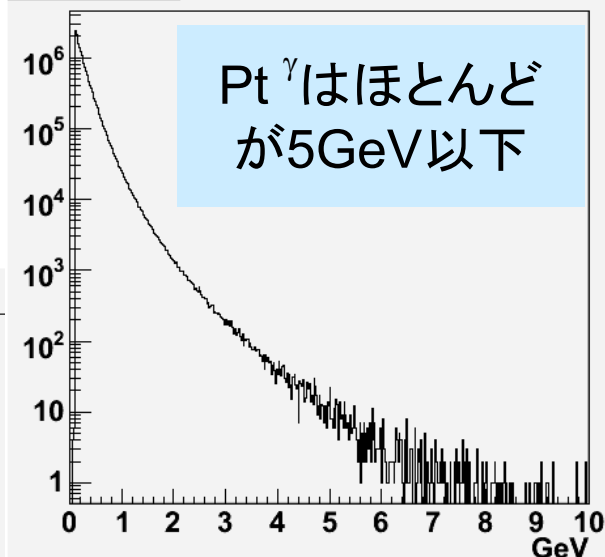
衝突点から多くの粒子が発生  
電子・陽電子以外の粒子も  
ラックとして認識



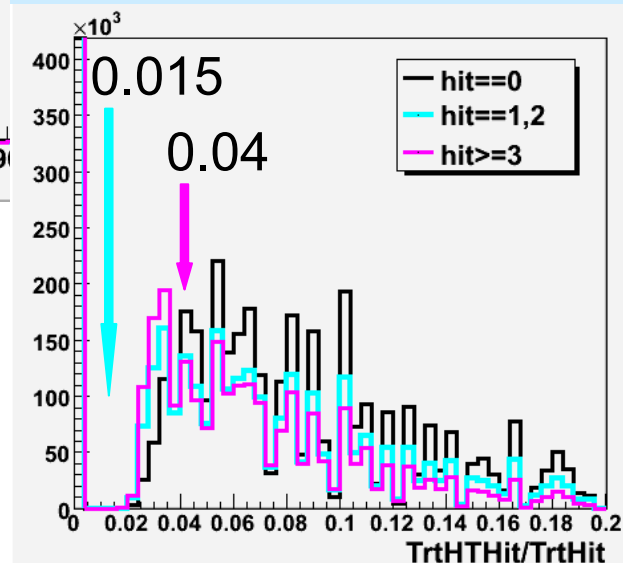
Event Selectionの追加  
(backgroundを除く)

- Track Selection
  - Track  $Pt \geq 0.5\text{GeV}$
  - $\text{TRTHTHit}/\text{TRTHit}$  (電子らしさの要求)
- Track Pair Selection
  - Invariant mass ( $< 30\text{MeV}$ )

Photon  $Pt$

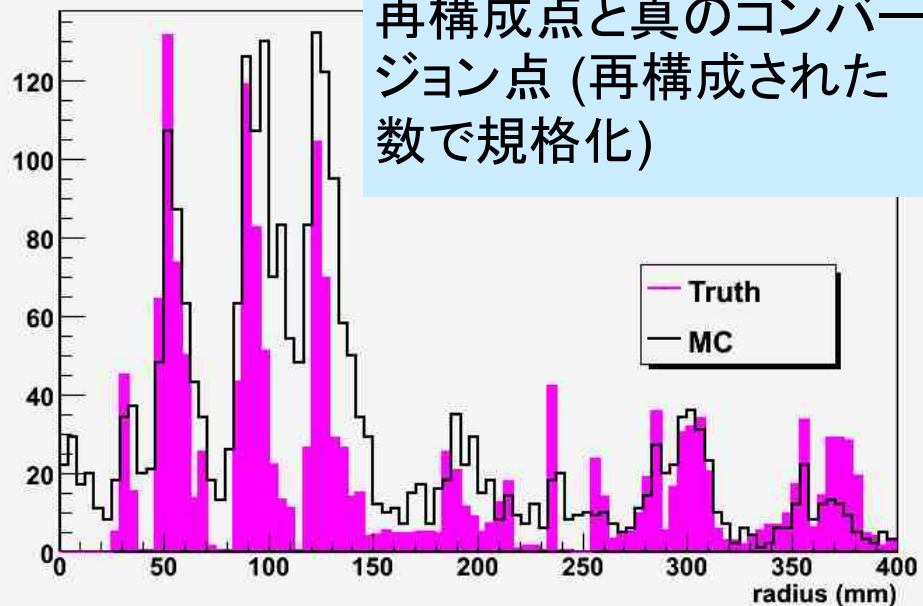


TRを検知した層数の割合

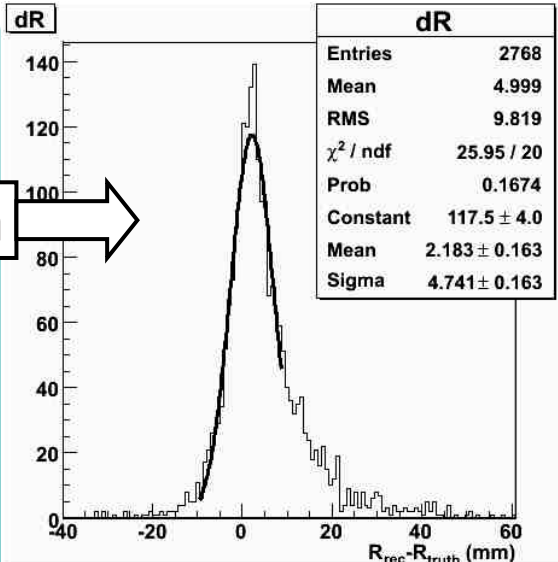
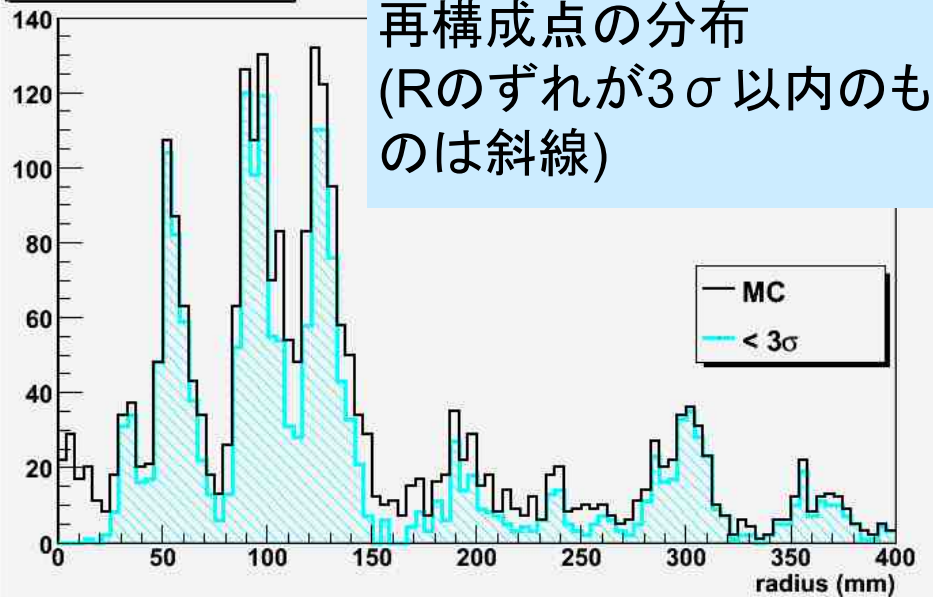


# コンバージョン点分布(900GeV Minibias MC)

MiniBias



ConversionPoint R

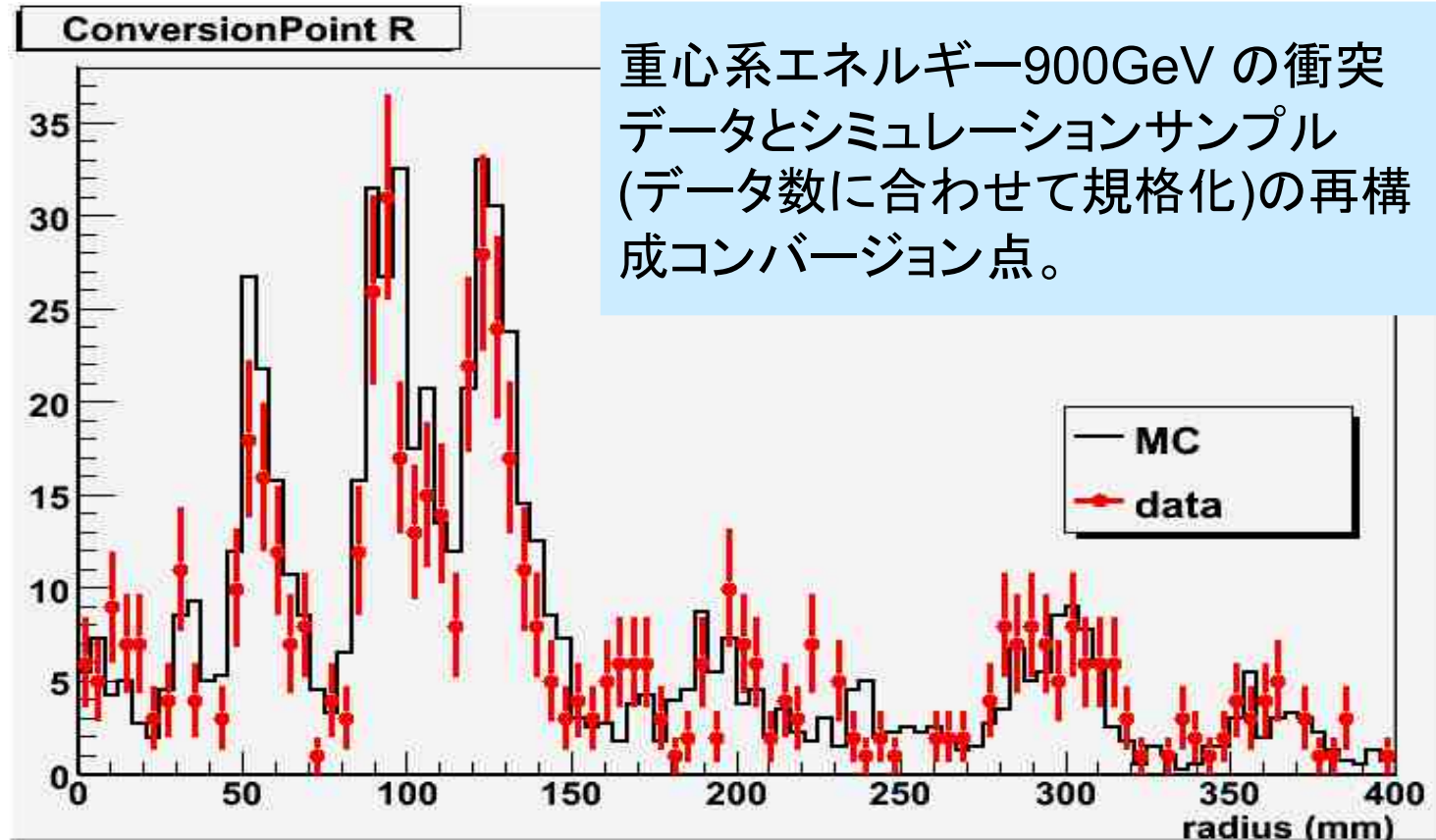


$\sigma = 4.7 \text{ mm}$

ビームパイプからSCT2層目までを再構成したコンバージョン点で確認

# 実データとシミュレーション

2009年に再稼動したLHCで、重心系エネルギー900GeVの衝突イベントを観測。シミュレーションと同様の事象選択を行い、コンバージョン点を再構成した。



衝突データとシミュレーションでの再構成点の分布はよく一致している。

# まとめ

- Pt=20, 2 GeV 光子のシミュレーション、900GeV MinimumBiasシミュレーションを用いコンバージョン再構成を行った
  - ビームパイプと内部飛跡検出器(SCT2層目まで: $R < 400\text{mm}$ ) の物質質量を確認
  - 再構成効率はPIXEL領域で約70%  
SCT領域で約30%(2GeV MC)
  - 動径位置分解能は5mm程度(MinBias MC,  $Pt^\gamma=20, 2\text{GeV}$ )である。
- 900GeV 衝突データ(シミュレーションとの比較)
  - 再構成点分布はMCとよく一致し、衝突データで物質質量分布を $\gamma$ コンバージョンを再構成することにより確認できた

back up

# LHCとATLAS

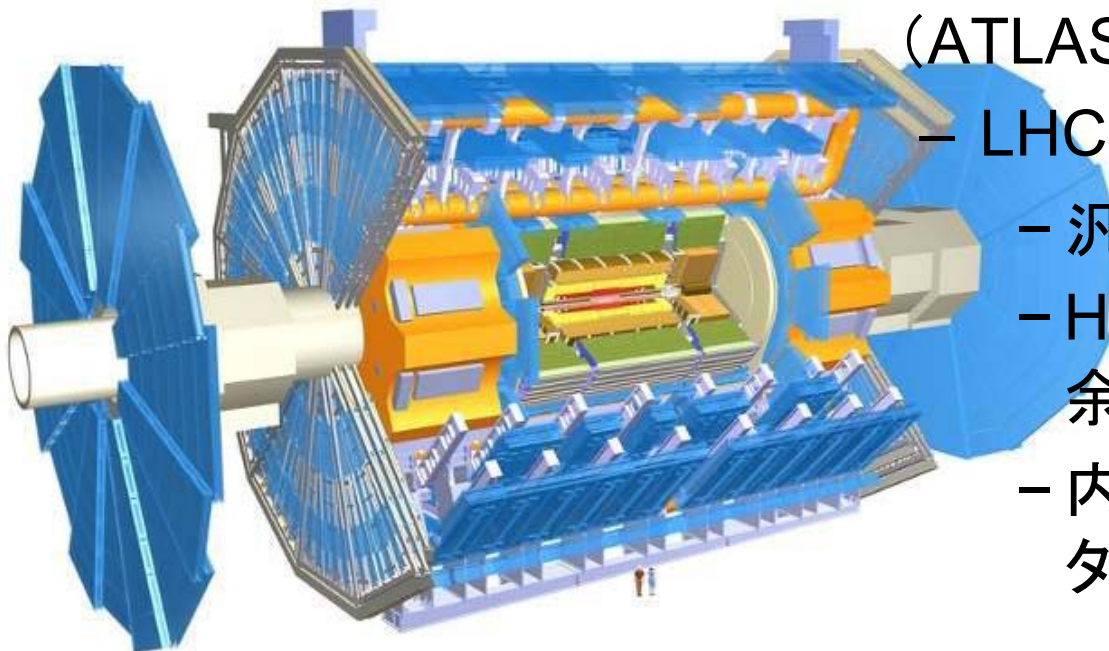
- Large Hadron Collider (LHC) @CERN

- 陽子陽子衝突型加速器
- 2009年11月に再稼動、重心系エネルギー900GeVで衝突事象を初めて観測
- 今後しばらく重心系エネルギー7TeVでの運転を予定

- A Toroidal LHC Apparatus (ATLAS)

- LHCに設置された検出器の一つ

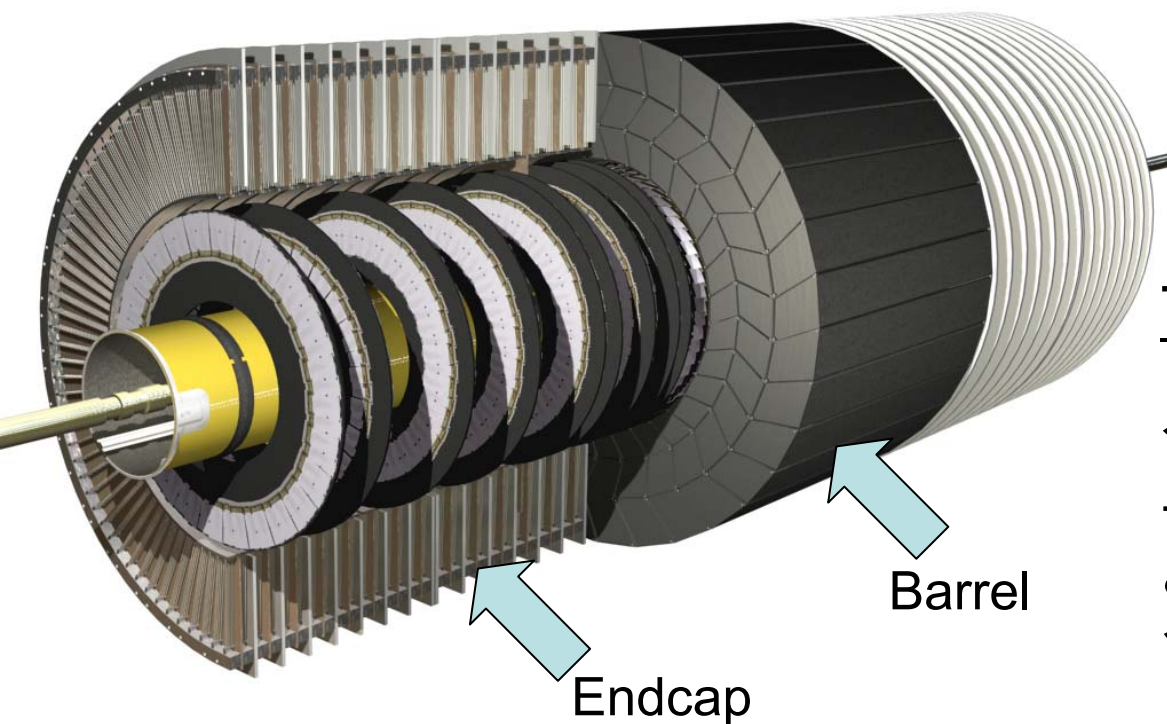
- 汎用型検出器
- Higgs粒子、超対称性粒子や余剰次元の発見が目的
- 内部飛跡検出器、カロリメータ、ミュオン検出器で構成



# TR(transition radiation)とは

誘電率の異なる物質の境界を高エネルギーの荷電粒子が通過する際に放射される電磁波。(誘電率によって荷電粒子により物質中に励起される電磁界が異なる。この境界面における不連続を補うため)

- TRTにおいて
  - 電子を入射するとTRによるX線が検出される



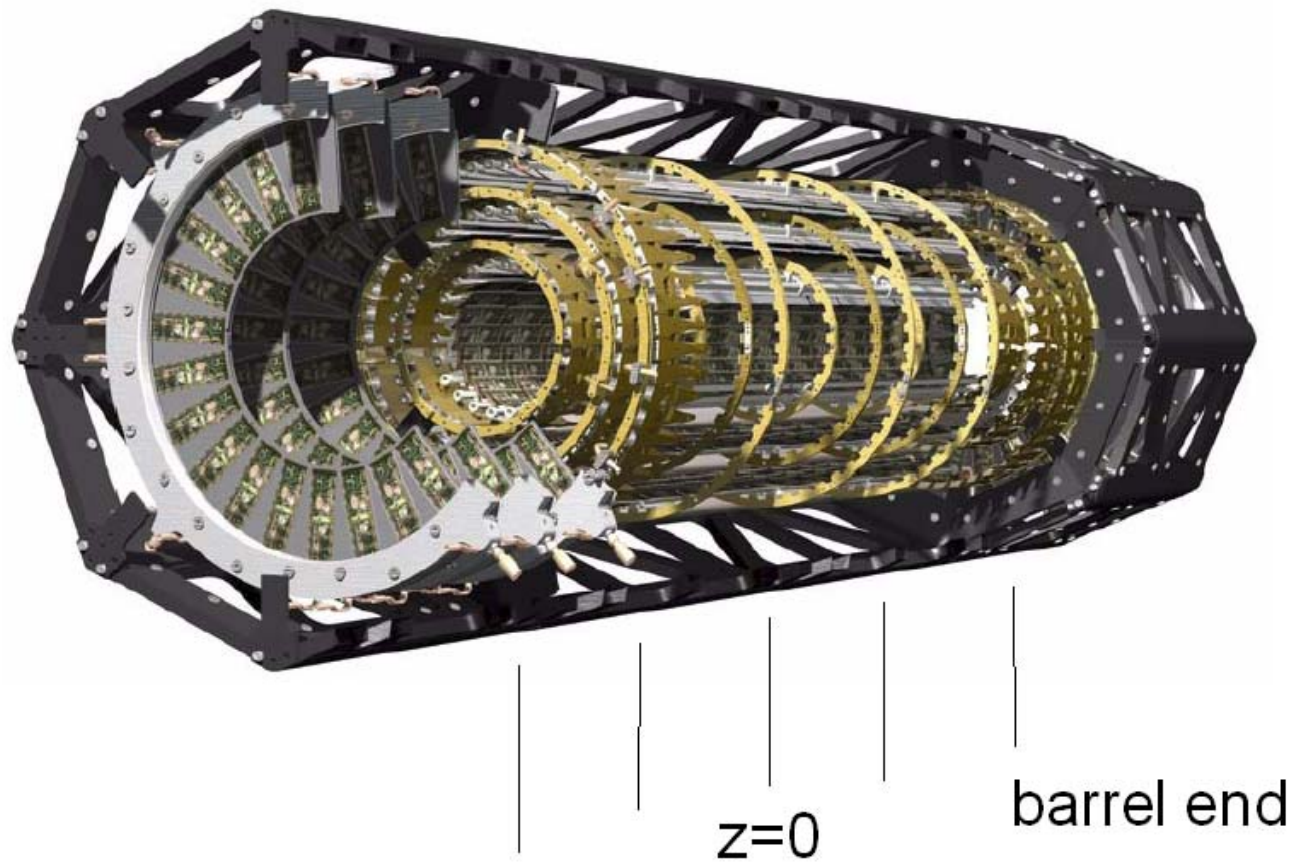
## TRT

ストロー型ガスチューブ検出器

チューブ内には、キセノンを主として、二酸化炭素、酸素が混合されたガスが充填されている。



# Pixel Service

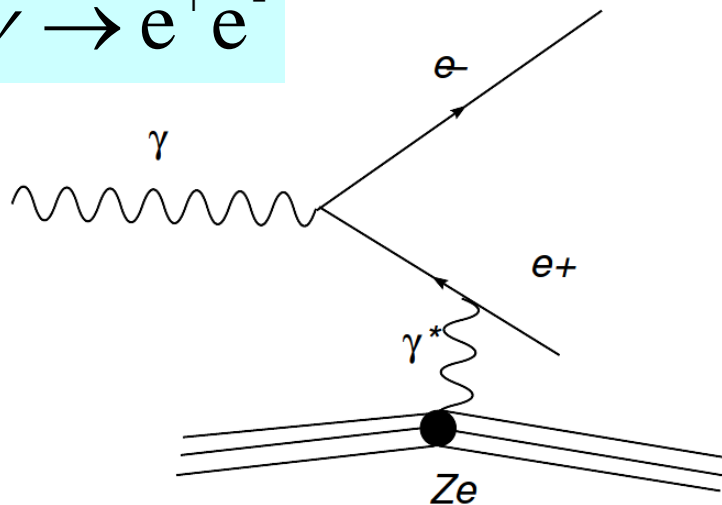


# γコンバージョン

光子  $\gamma$  が物質中において、 $e^+e^-$  対を生成する。

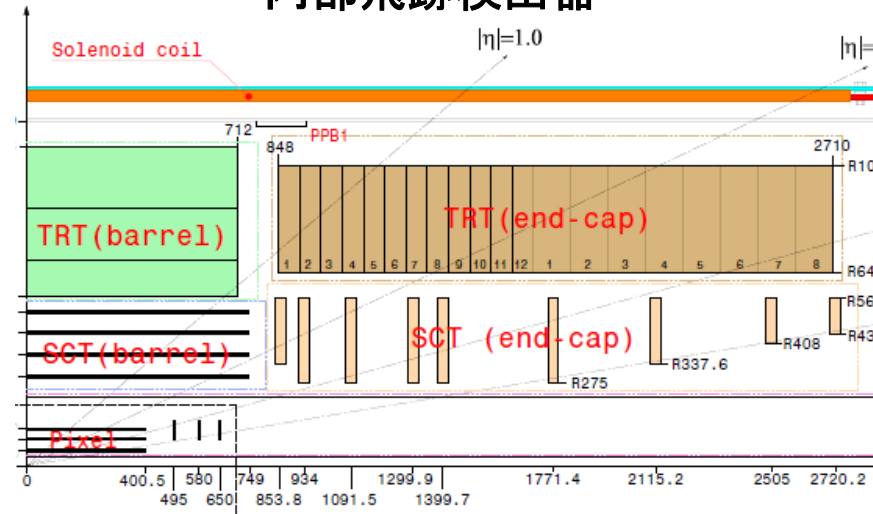
- 光子のエネルギーは電子の質量エネルギーの2倍以上が必要 ( $\geq 1.022$  MeV)
- 原子(主に原子核)との相互作用で生じる
- $m(e^+e^-) \sim 2m_e$  ( $\cong 0$ )  
→ opening angle が小さい

$$\gamma \rightarrow e^+e^-$$

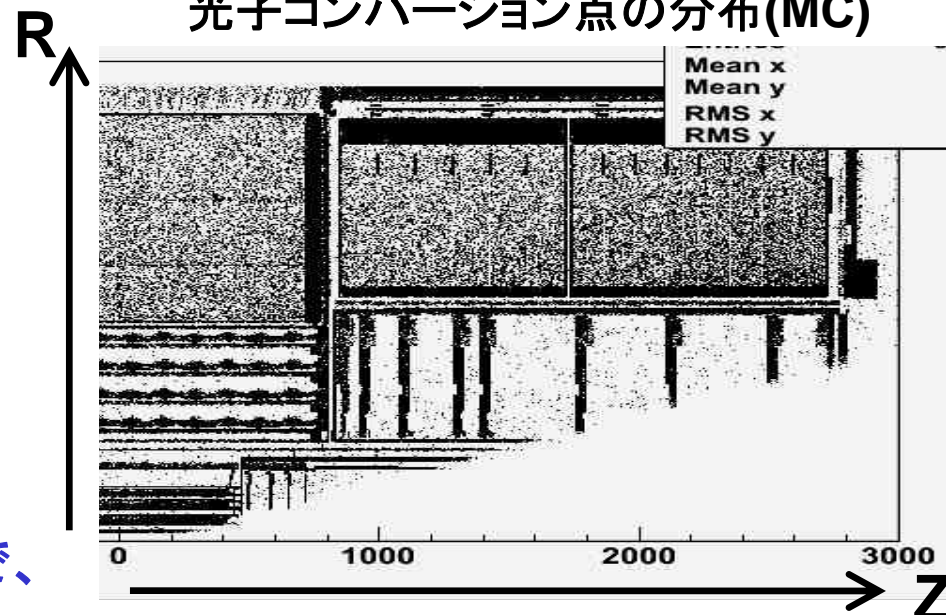


光子コンバージョン点を見つけることで、物質量の分布を確認することができる

## 内部飛跡検出器



## 光子コンバージョン点の分布(MC)



# $\gamma$ コンバージョンの再構成

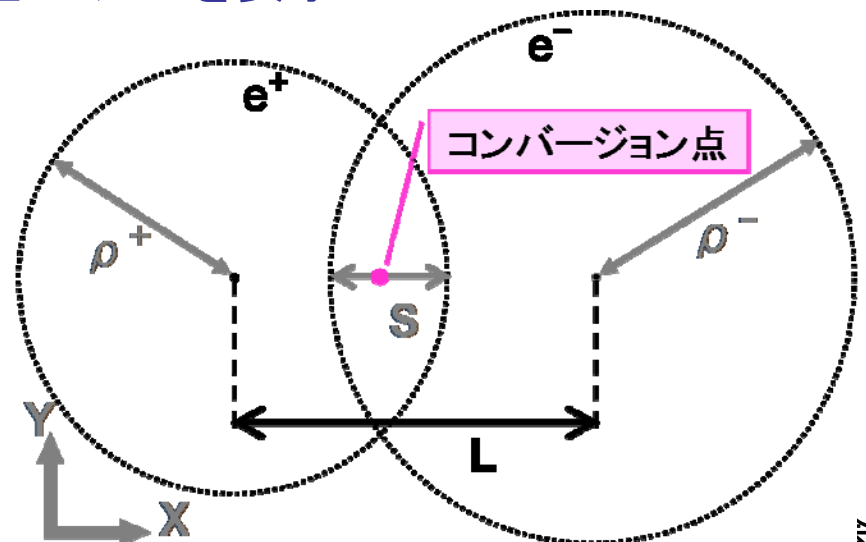
- イベント内でのトラックを探す
  - $\chi^2/Ndf$  飛跡再構成精度の要求
- 電荷が異なるトラックで対をつくる
  - $|\Delta \cot \theta|$  opening angleが小さいことを要求
- トラックを延長する(磁場中で荷電粒子は、曲率半径  $\rho$  の円運動をする)  
⇒トラック対がXY平面上で平行になるところを最近接距離  $S$  と定義
  - $S$  XY平面において飛跡間が近づくことを要求
- $S$ を曲率半径の比で内分する点→コンバージョン点候補(XY平面上)
- XY平面上でコンバージョン点候補に最も近い飛跡上の点のZの中点をコンバージョン点候補(Z軸方向)の位置として決定
  - $|\Delta Z|$  Z方向において飛跡間が近づくことを要求

ソレノイド磁場中における曲率半径  $\rho$

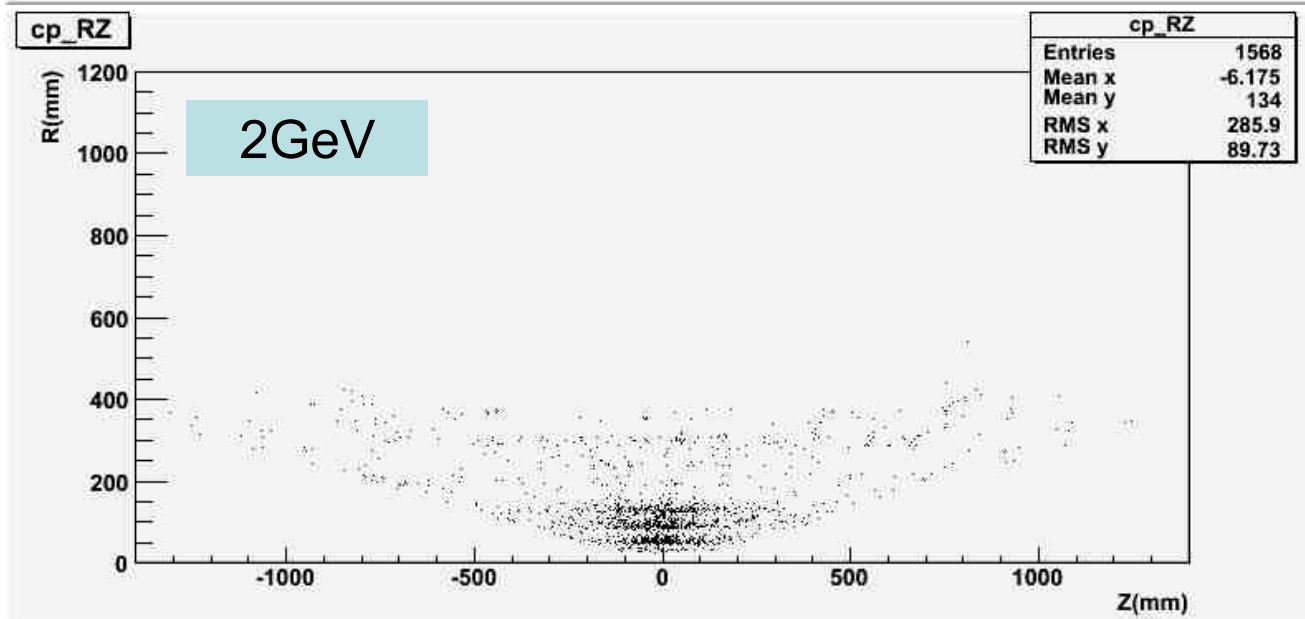
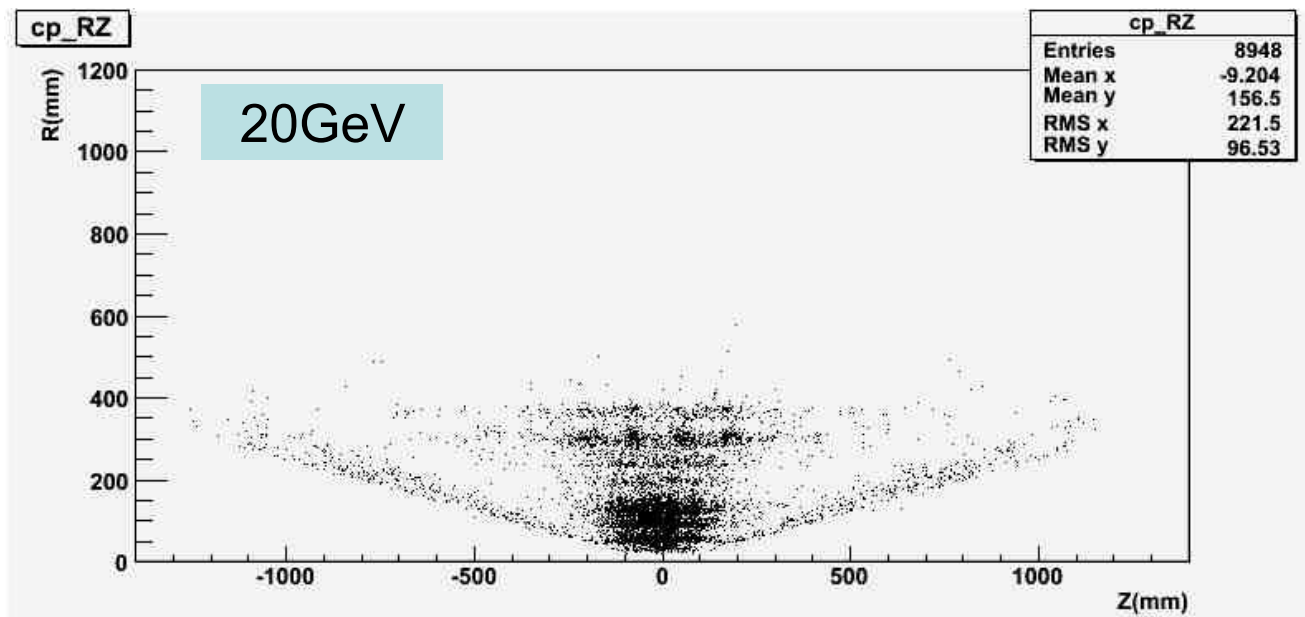
$$\rho[\text{m}] = \frac{Pt[\text{GeV}/c]}{0.3 \times B[\text{T}]}$$

最近接距離  $S$

$$S = L - \rho_+ - \rho_-$$

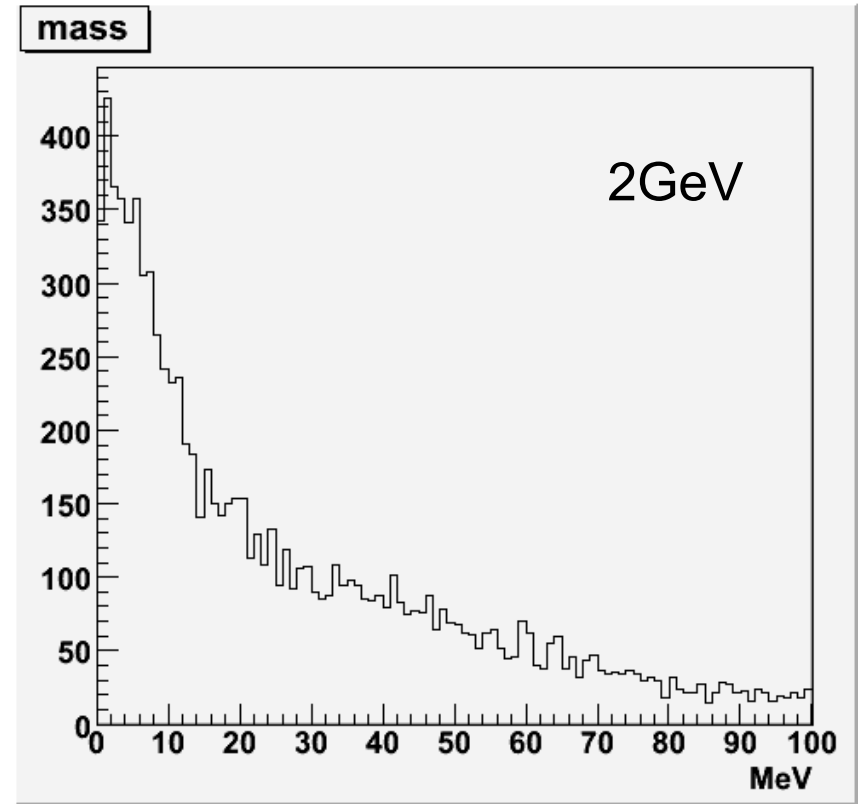
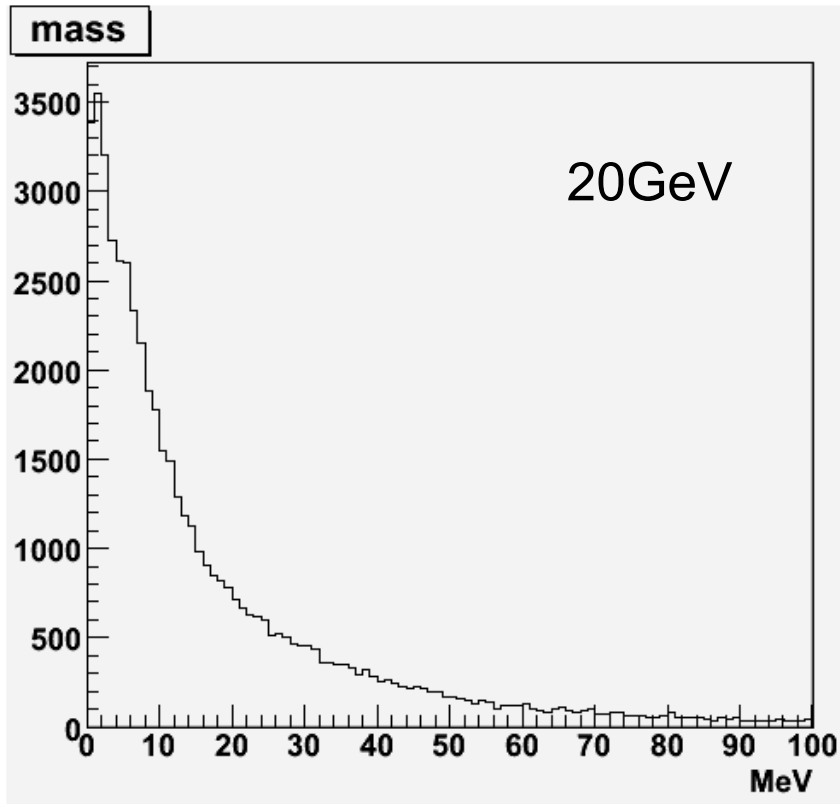


# Pt = 20, 2GeV コンバージョン点分布(RZ)

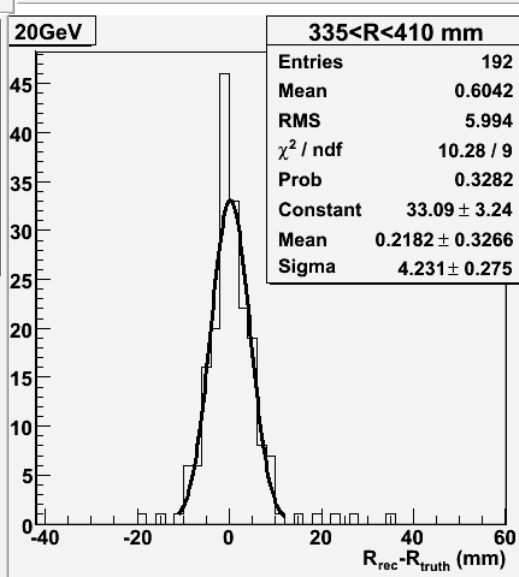
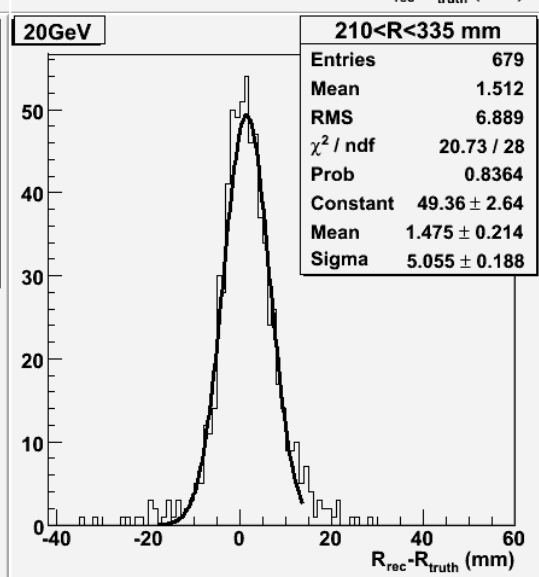
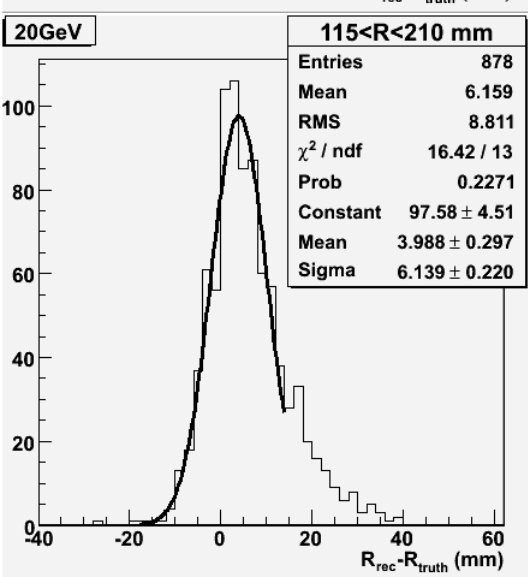
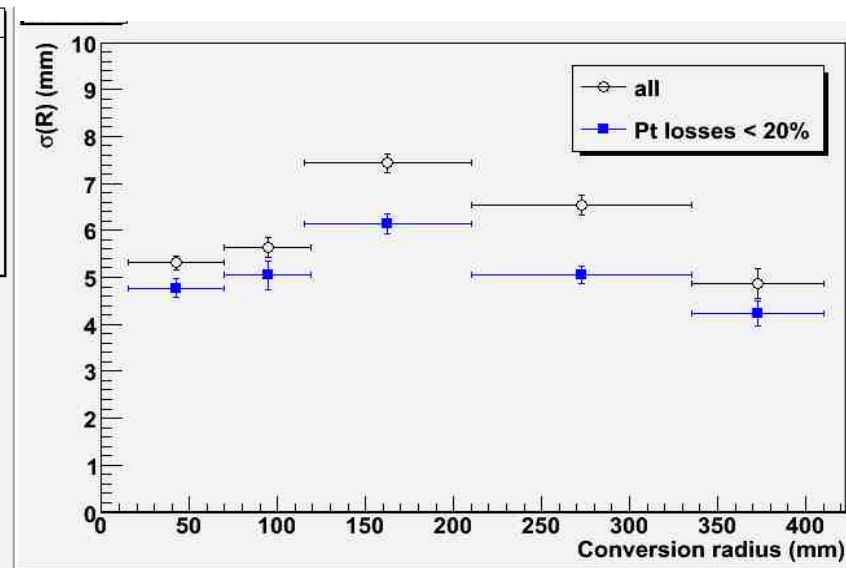
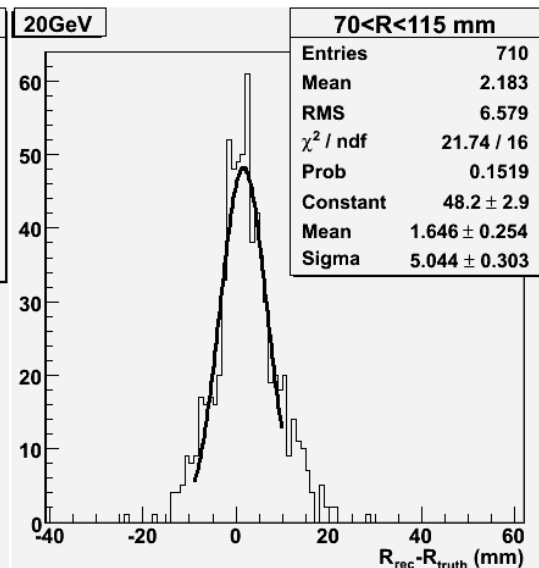
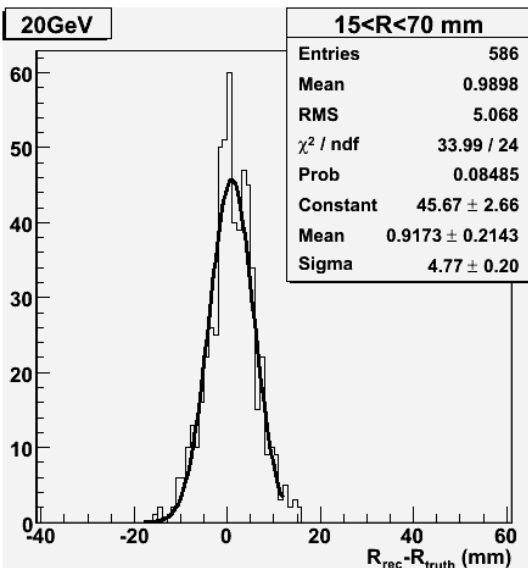


# $P_t = 20, 2\text{GeV}$ invariant mass

$\gamma$   $P_t = 20, 2\text{ GeV}$  MCサンプルの不変質量分布

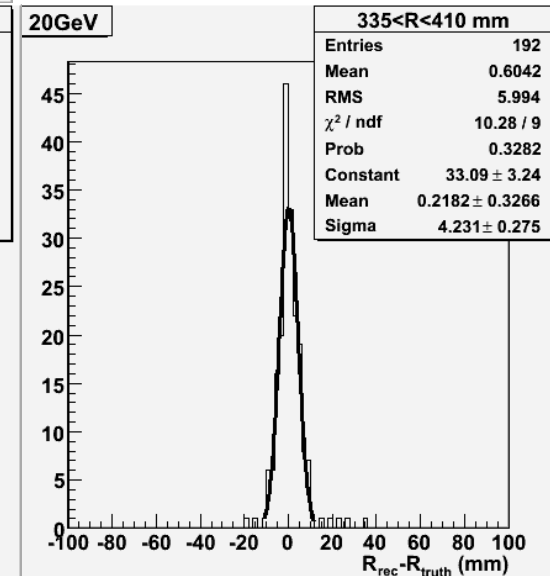
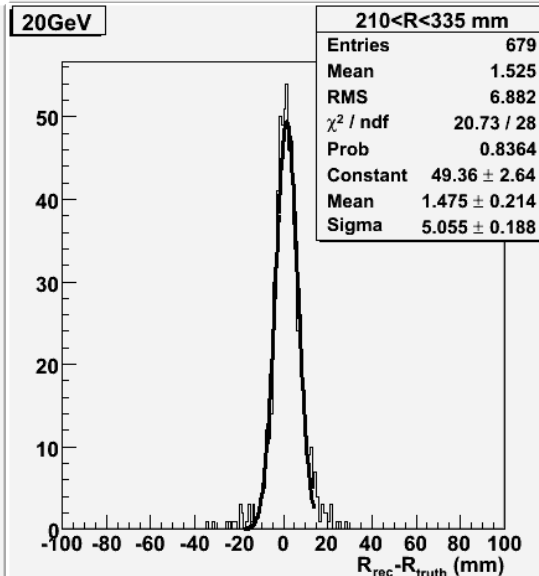
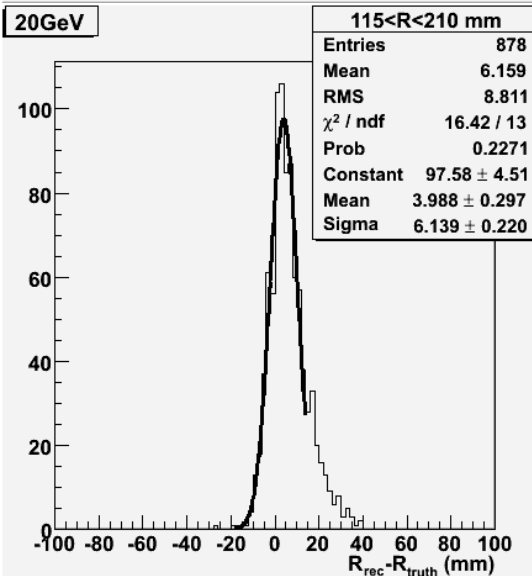
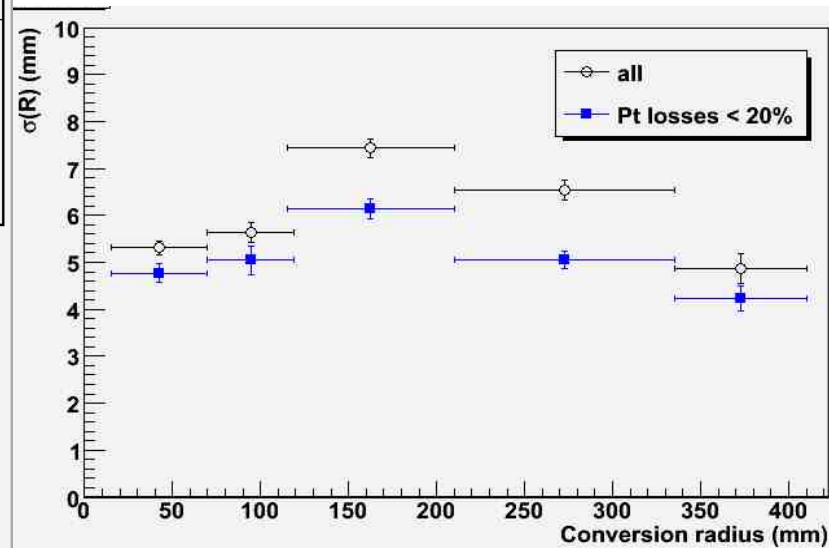
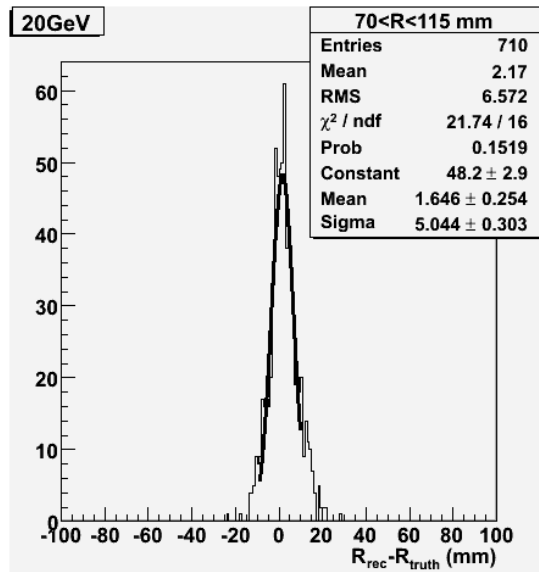
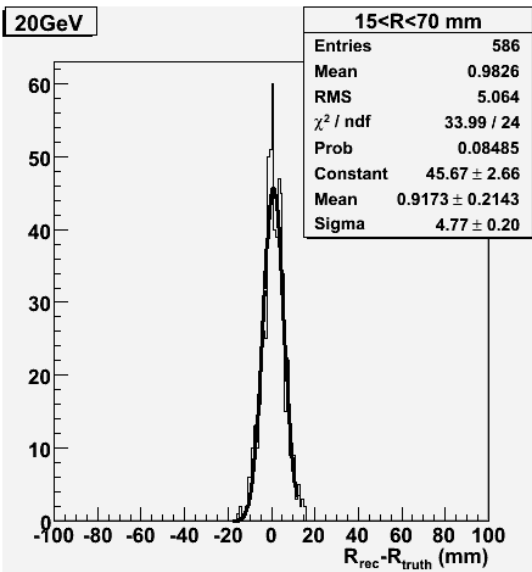


# 20GeV 位置分解能(R)

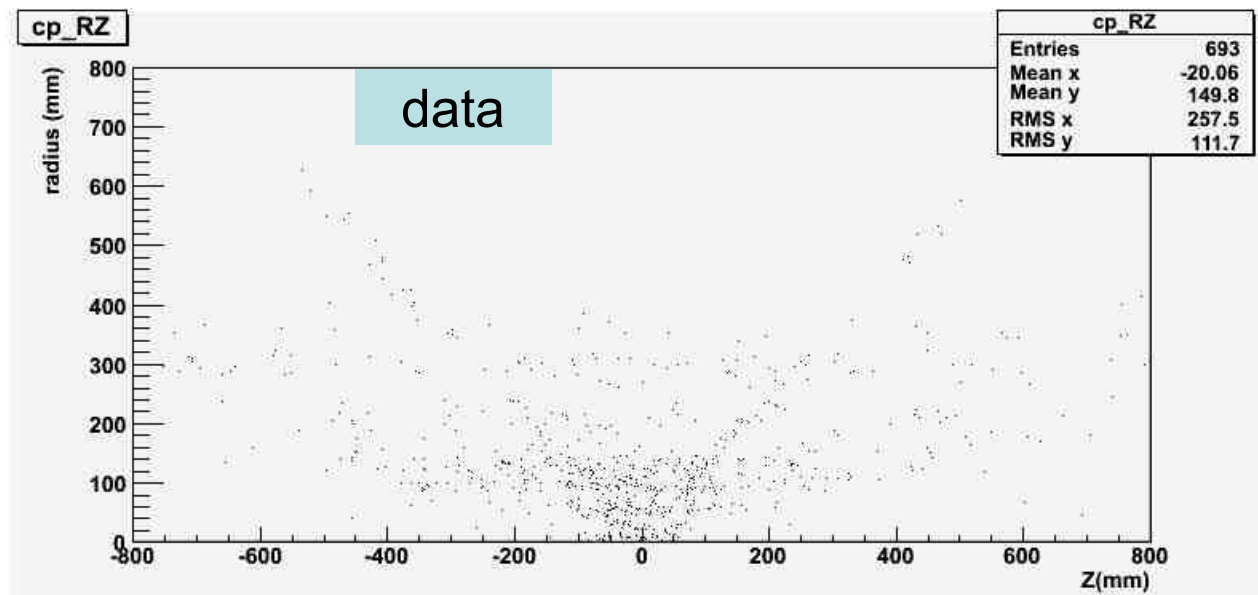
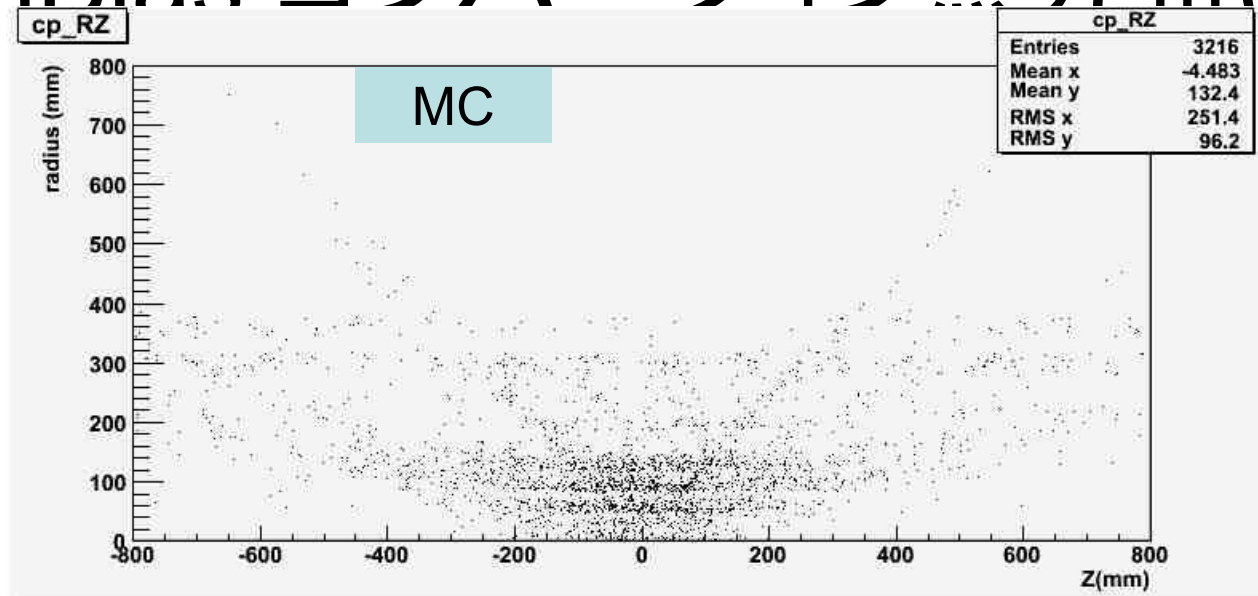


# 20GeV 位置分解能(R)

運動量損失が2トラックともに20%以下

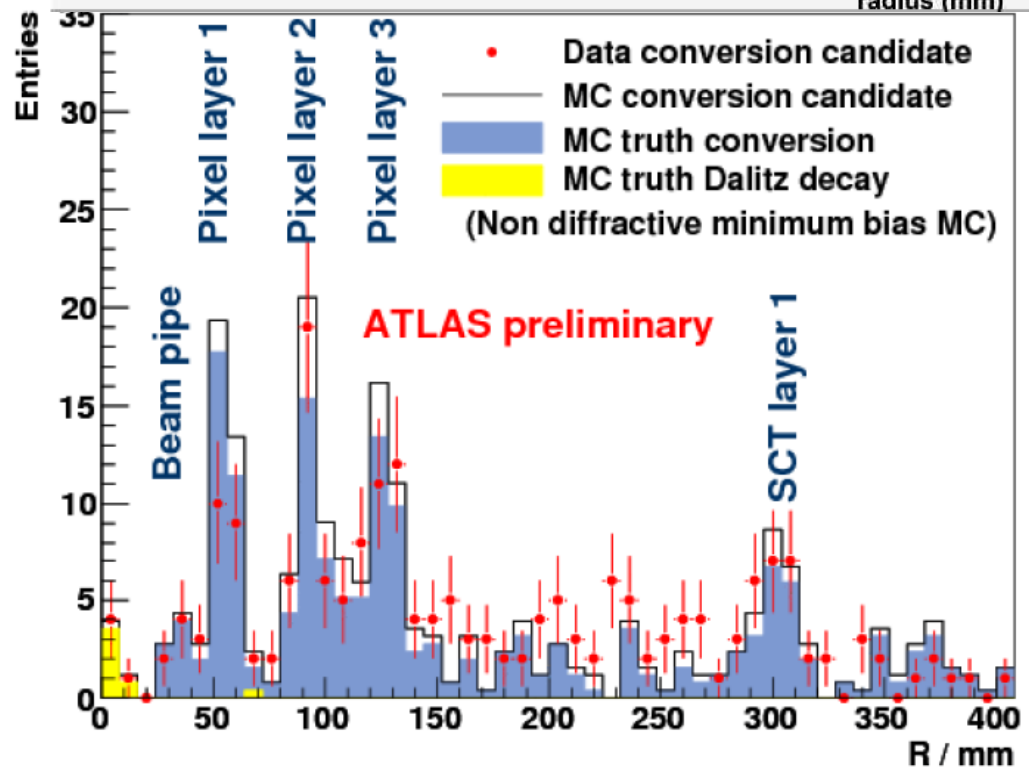
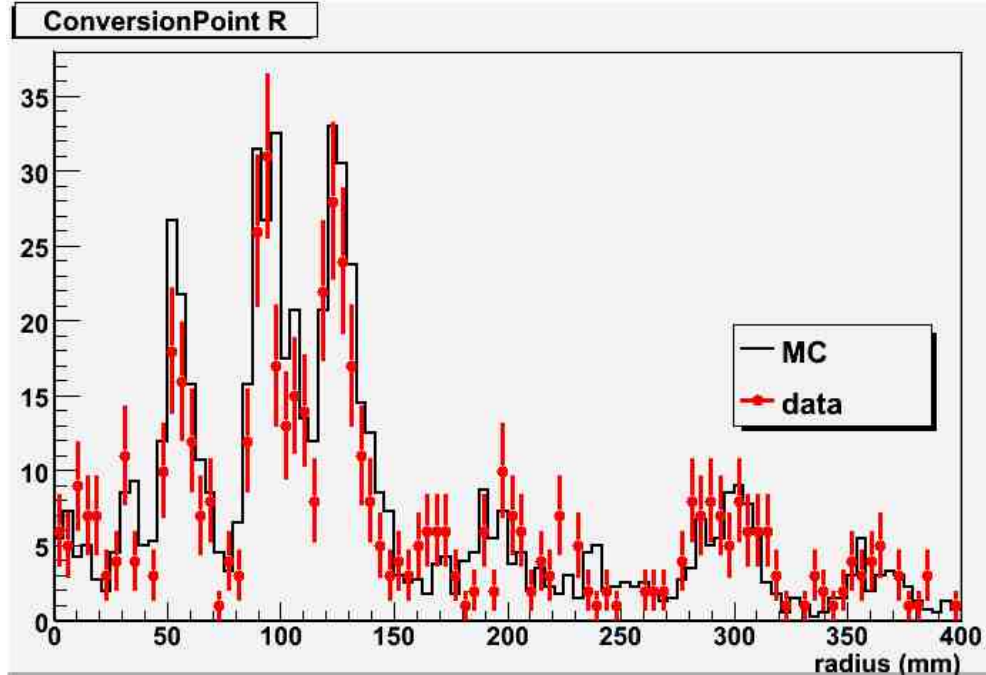


# MinBias コンバージョン点分布(RZ)





# 本研究の結果とATLAS preliminary



# Photon conversion (Feynman diagrams)

