

日本物理学会2011年秋季大会@弘前大学

ATLAS検出器における μ 粒子の横方向運動量再構成精度

筑波大学 小池憲一郎

原和彦、金信弘、受川史彦、埴慶太

-導入

- LHC加速器・ATLAS検出器
- 内部飛跡検出器・ μ 粒子検出器

-研究の目的・方法

- 横方向運動量のスケール測定精度
- 解析方法

-解析の結果

-まとめと今後



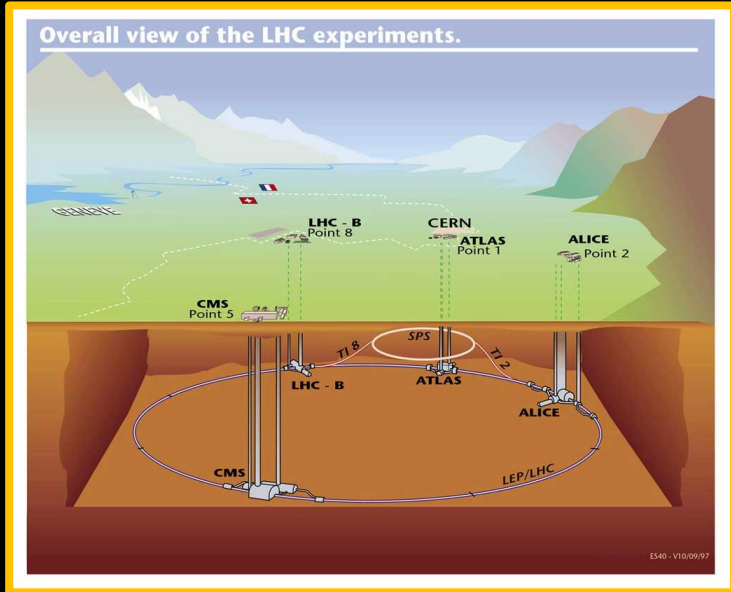
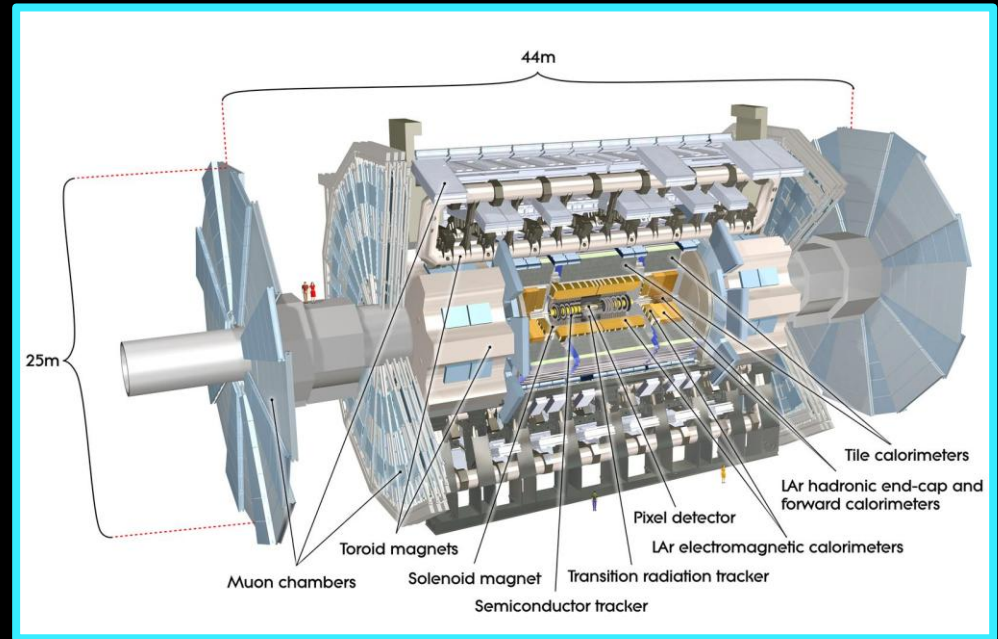
ATLAS

A world wide collaboration at the
European Particle Physics Laboratory CERN

LHC加速器・ATLAS検出器

A Toroidal LHC Apparatus

高さ25 m, 全長 44 m, 重量7000 t
汎用型粒子検出器



Large Hadron Collider

欧州原子核研究機構 (CERN)

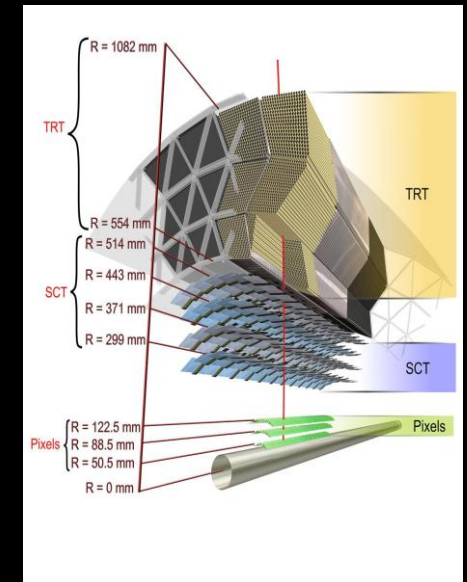
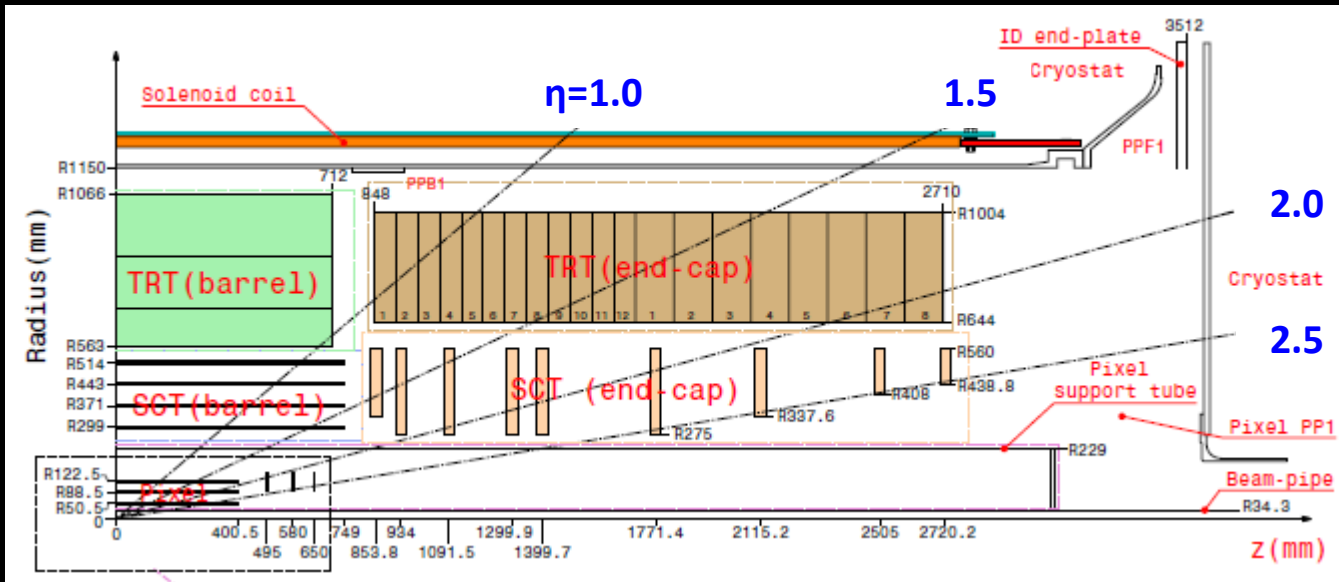
陽子陽子衝突型円形加速器

重心系エネルギー7 TeV (現行)

瞬間ルミノシティ $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (現行)

標準理論で質量の起源とされるHiggs粒子の発見
ダークマターの候補である超対称性粒子の探索
余剰次元によるブラックホールの観測

内部飛跡検出器 (Inner Detector, ID)

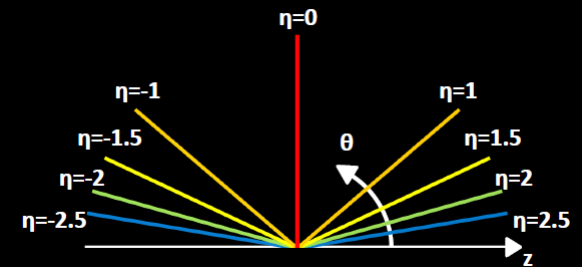


内部飛跡検出器のy-z断面図(左)とR-φ断面図(右)

3つの検出器 (カバーレンジ $|\eta| < 2.5$)

- **Pixel** (Pixel detector)
- **SCT** (Semi Conductor Tracker)
- **TRT** (Transition Radiation Tracker)

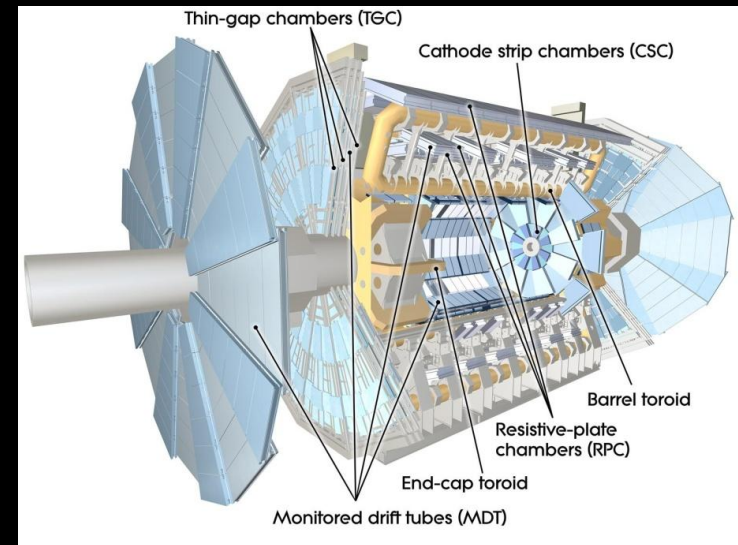
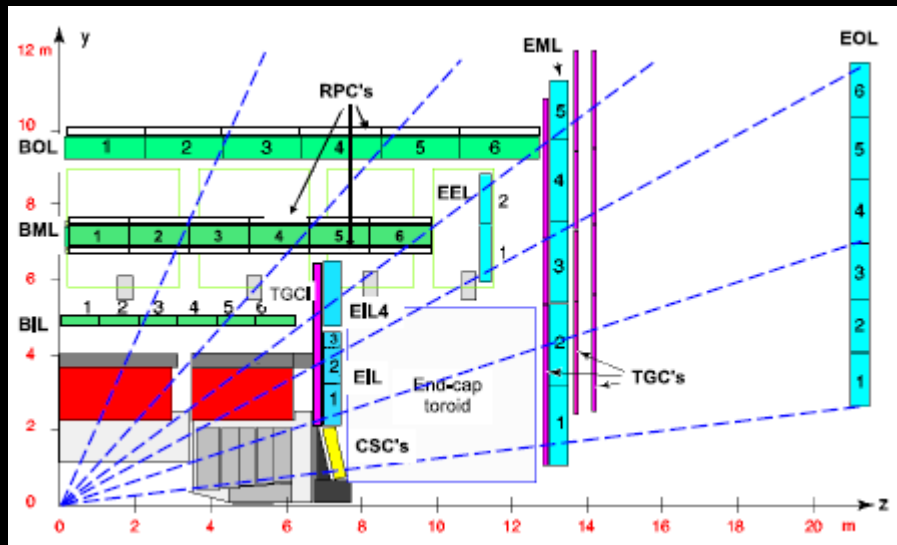
2Tのソレノイド磁場
荷電粒子の運動量や生成座標



$$\eta = -\log \left[\tan(\theta/2) \right]$$

$$\theta = 2 \arctan(e^{-\eta})$$

μ 粒子検出器 (Muon Spectrometer, MS)



μ 粒子検出器のy-z断面図(左)と全体図(右)

4つの検出器 (カバーレンジ $|\eta| < 2.7$)

- **MDT** (Monitored Drift Chamber)
- **CSC** (Cathode Strip Chamber)
- **RPC** (Resistive Plate Chamber)
- **TGC** (Thin Gap Chamber)

超伝導トロイド磁石によるトロイド磁場
 μ 粒子の運動量測定

ATLASでは高い横方向運動量の荷電粒子の測定が必要。
本研究では内部飛跡検出器の横方向運動量のスケールと分解能を
Zボソン崩壊による μ 粒子を用いて測定する。

～ ATLASにおける μ 粒子の種類 ～

Inner Detector Muon (ID Muon)

IDのみの情報で再構成

Combined Muon (CB Muon)

MSとID両方のtrackを利用し再構成

本研究はモンテカルロサンプルによる解析結果

積分ルミノシティ 5.85 fb^{-1}

不変質量とフィッティング

イベントセレクションを通過した μ 粒子対の不変質量分布をフィッティングし、横方向運動量の再構成精度を測定。

Event Selection

| Collision Event Selection | |
|---------------------------|-------------------|
| Data quality | Good Run List |
| Trigger | |
| z-position of PV | < 200 mm |
| Good Muon Selection | |
| nMuons | 2 |
| hasIDTrack | true |
| pt (ID) | > 20 GeV |
| pt (MS) | > 10 GeV |
| eta | < 2.4 |
| z0 wrt Vertex | < 5 mm |
| d0 wrt Vertex | < 1 mm |
| Zmumu Selection | |
| charge | Opposit Chage |
| PtIsolation | PtCone20/pt < 0.2 |
| Mass Window | 66 < M < 116 |

フィット関数

Breit-WignerにGaussianを畳み込みした関数

$$F(m) = \int BW(m') \cdot Gaus(m - m') dm'$$

Breit-Wignerの幅はZの崩壊幅に固定

質量

フィットの中心値 (FitMz)

検出器分の分解能

Gaussianのsigma (GSigma)

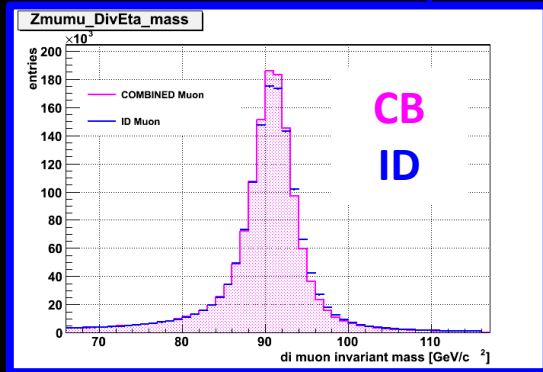
質量のずれとの分解能の違い

ID muonの不変質量とCB muonの不変質量をフィッティングした結果:

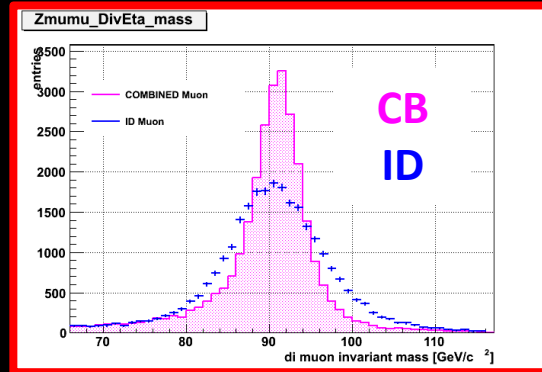
| | | |
|--------|---------------------------------------|----------|
| FitMz | 90.85 ± 0.0028 GeV/c ² | (ID) |
| FitMz | 90.87 ± 0.0025 GeV/c ² | (CB) |
| Z mass | 91.19 ± 0.0021 GeV/c ² | (P.D.G.) |
| | | |
| GSigma | 2.688 ± 0.0031 GeV/c ² | (ID) |
| GSigma | 2.304 ± 0.0027 GeV/c ² | (CB) |

質量がマイナス方向にシフトしている。
μ粒子の内部輻射の影響。

μ粒子のηビンごとにGSigmaを計算し、
IDとCBの差をとった分布

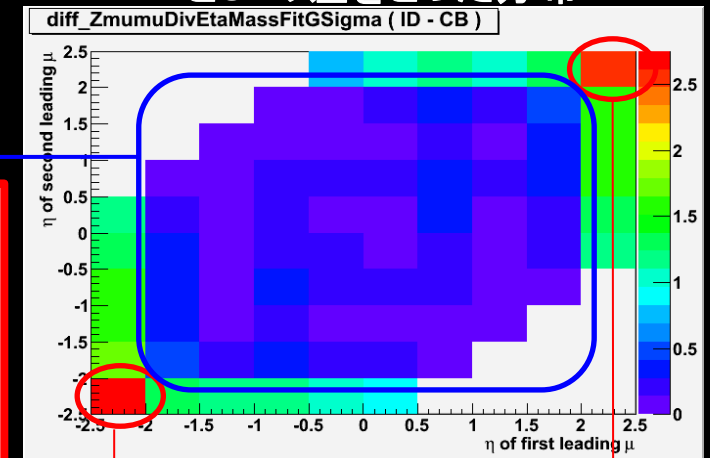


$|\eta_{1,2}| < 2.0$



$2.0 < |\eta_{1,2}| < 2.5$

不変質量分布



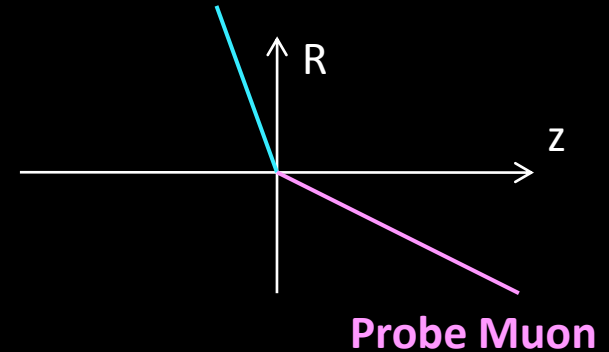
μ粒子のη方向によって
不変質量の分解能が異なる。

TagとProbeの定義

Zボソンが崩壊したふたつの μ 粒子のうち、
 $|\eta| < 1.0$ のものを**Tag Muon**とする。
(両方とも $|\eta| < 1.0$ の場合は $|\eta|$ の小さい方)

他方の μ 粒子を**Probe Muon**とする。

Tag Muon ($|\eta| < 1.0$)



η ビンごとに**Probe Muon**の不変質量分布をフィットすることで
Probe Muonの横方向運動量を評価する。

横方向運動量スケール決定精度

各 η ビンに対してProbe Muonの横方向運動量のスケールの決定精度を見積もる。

不変質量中心値の相対不確かさから求めることを考える

$$M_{\mu\mu} = \sqrt{2 p_T^{\mu_1} p_T^{\mu_2} (\cosh \Delta\eta - \cos \Delta\phi)} \quad (\text{不変質量})$$

$$\left(\frac{\Delta M_Z}{M_Z} \right)^2 \approx \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta P_T^{\mu_{tag}}}{P_T^{\mu_{tag}}} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta P_T^{\mu_{probe}}}{P_T^{\mu_{probe}}} \right)^2$$

η ビンごとに決まる量

$$\frac{\Delta M_Z}{M_Z}$$

不変質量中心値の
相対不確かさ

$$\frac{\Delta P_T^{\mu}}{P_T^{\mu}}$$

横方向運動量スケールの
相対不確かさ(決定精度)

$$\frac{\Delta P_T^{\mu}}{P_T^{\mu}} \approx \sqrt{2 \left(\frac{\Delta M_Z}{M_Z} \right)^2}$$

← $|\eta| < 1.0$ (Tag Muonの条件) の場合を考え
Tag Muonのスケールの決定精度を求める。

Probe Muonのスケールの決定精度を
各 η ビンについて求める。

横方向運動量スケール決定精度

(上)再構成された質量(ID)のZボソンからのシフト

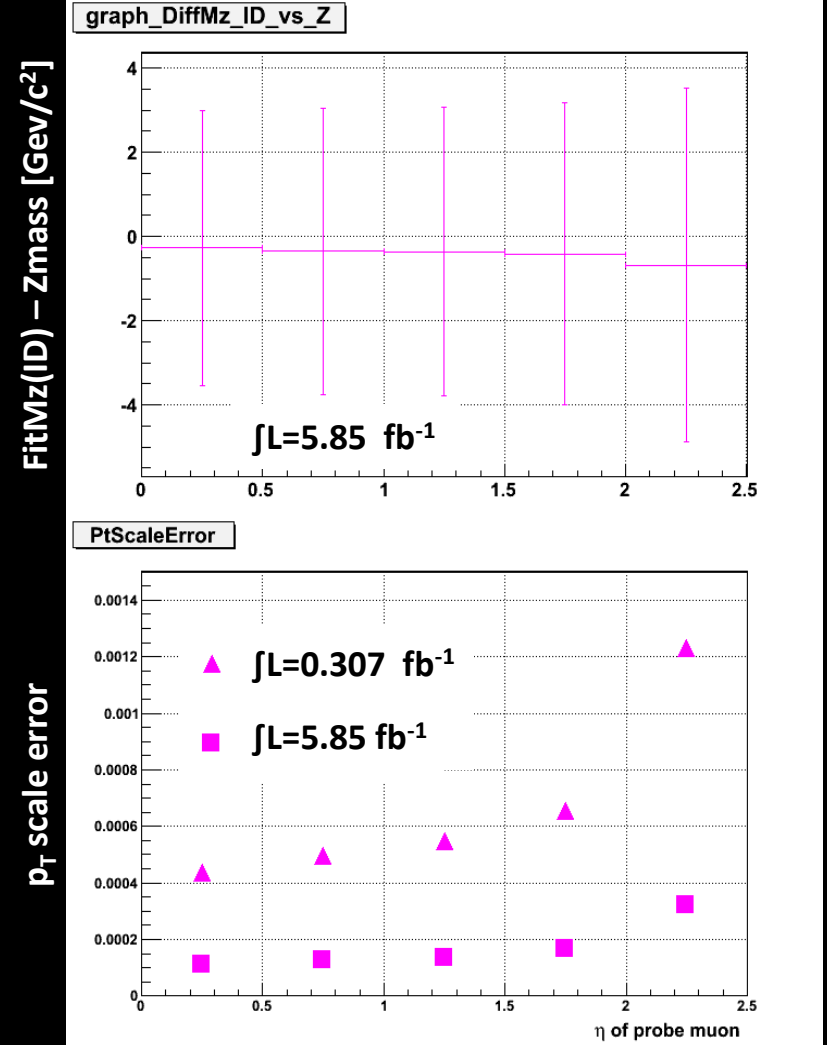
積分ルミノシティ 5.85 fb⁻¹
エラーバーは分布の標準偏差

(下)ηビンごとの横方向運動量スケール決定精度

$$\frac{\Delta P_T^{\mu_{probe}}}{P_T^{\mu_{probe}}} \approx 2 \sqrt{\left(\frac{\Delta M_Z}{M_Z}\right)^2 - \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta P_T^{\mu_{tag}}}{P_T^{\mu_{tag}}}\right)^2}$$

質量中心値の精度に対応した値となる
2種類の統計量について比較した

| Lumi (fb-1) | η <0.5 (%) | 2.0< η <2.5 (%) |
|-------------|------------|-----------------|
| 5.85 | 0.01 | 0.03 |
| 0.307 | 0.04 | 0.12 |



ルミノシティが増えることにより、運動量スケールの決定精度は上がる。
2.0<|η|<2.5で、約0.12%(5.85 fb⁻¹)→0.03%(0.307 fb⁻¹)

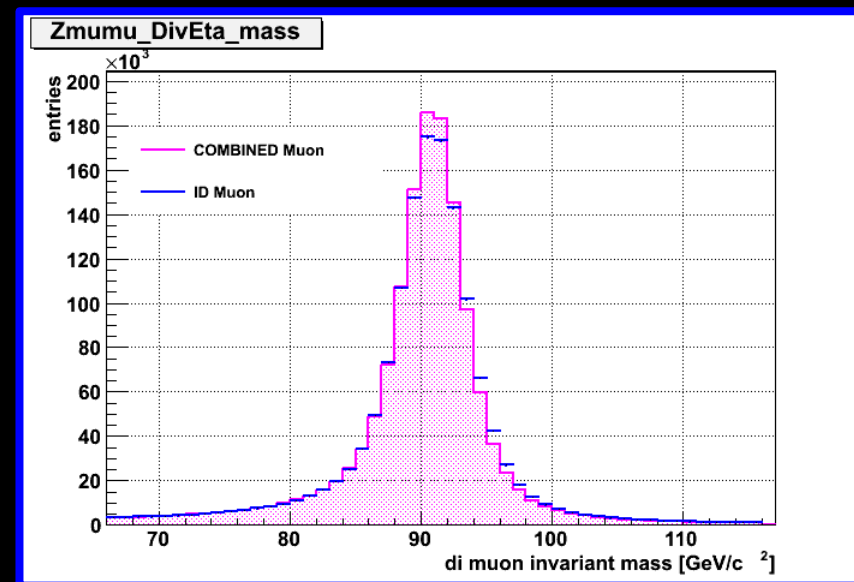
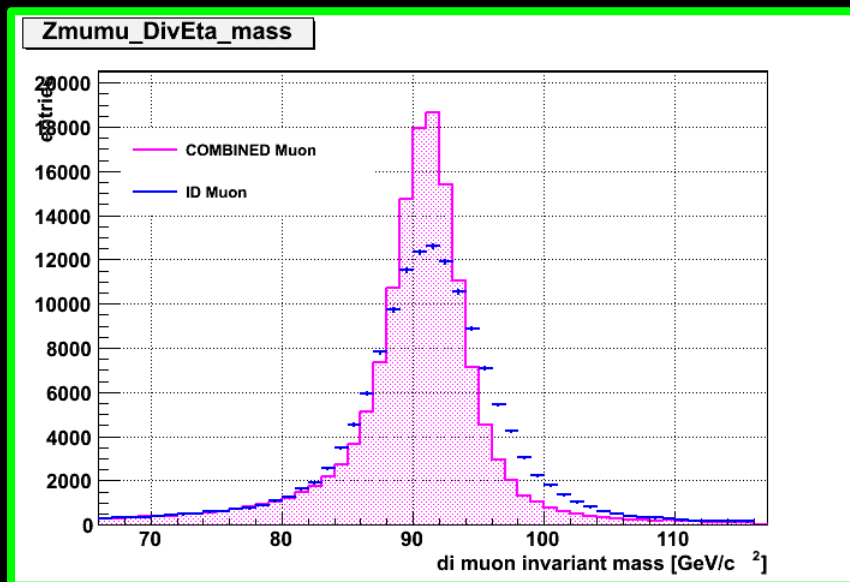
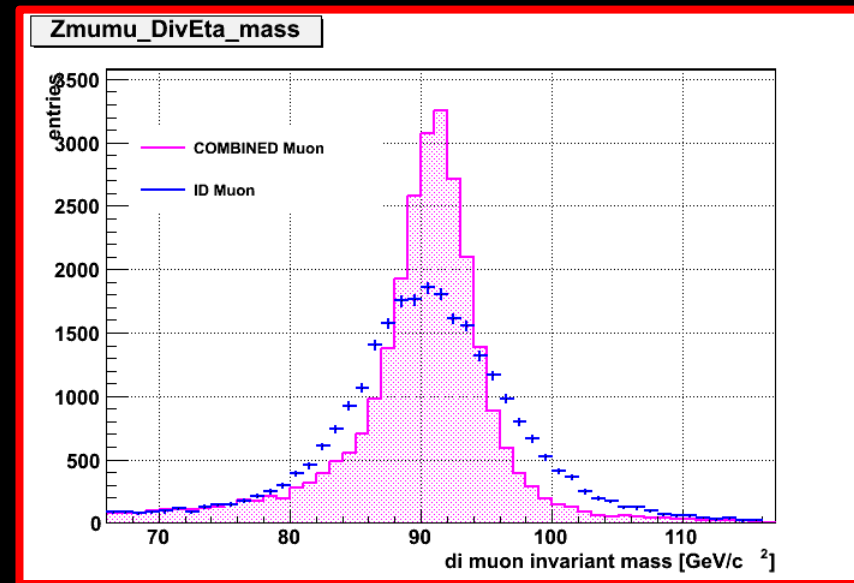
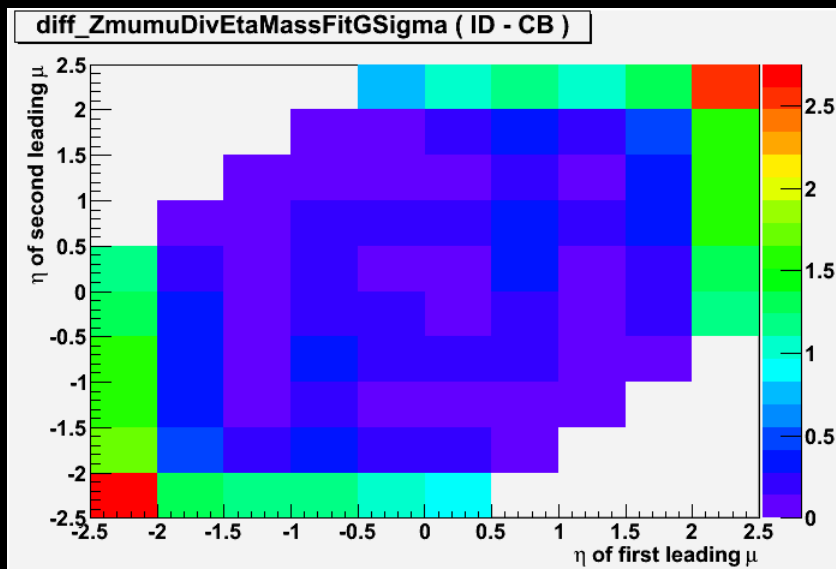
- Zボソンがふたつの μ 粒子対に崩壊する事象を用いて、ATLAS内部飛跡検出器の**横方向運動量測定精度**を評価した。
- 横方向運動量のスケール決定精度は**統計が増すことで抑制**することができ、積分ルミノシティ 5.85 fb^{-1} の統計量で約0.03 %以下に抑えられる。
- 今後は**横方向運動量スケールの絶対値**の評価、及び**実際のデータ**にもとづく評価を行う。

ありがとうございました。

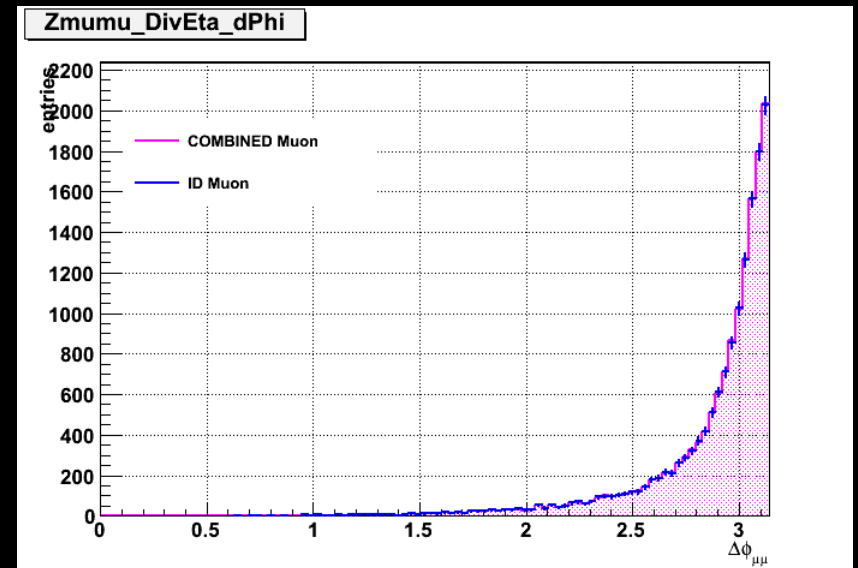
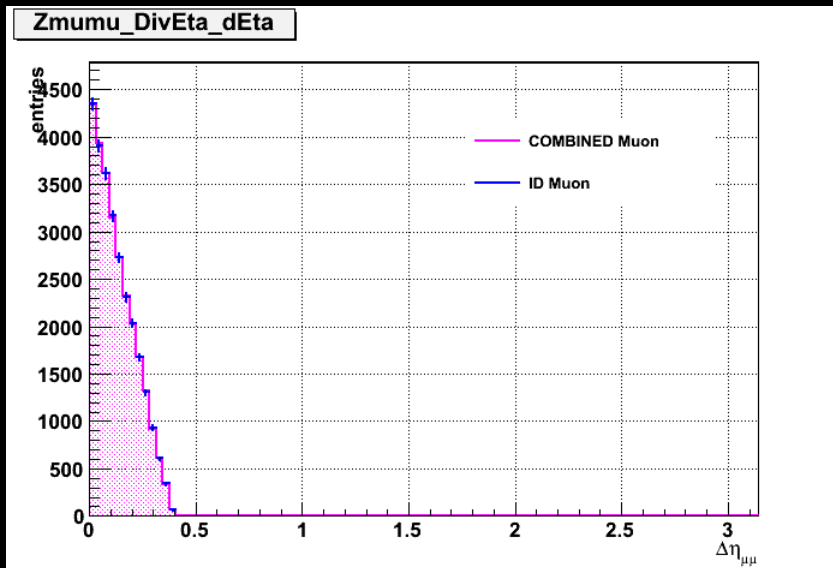
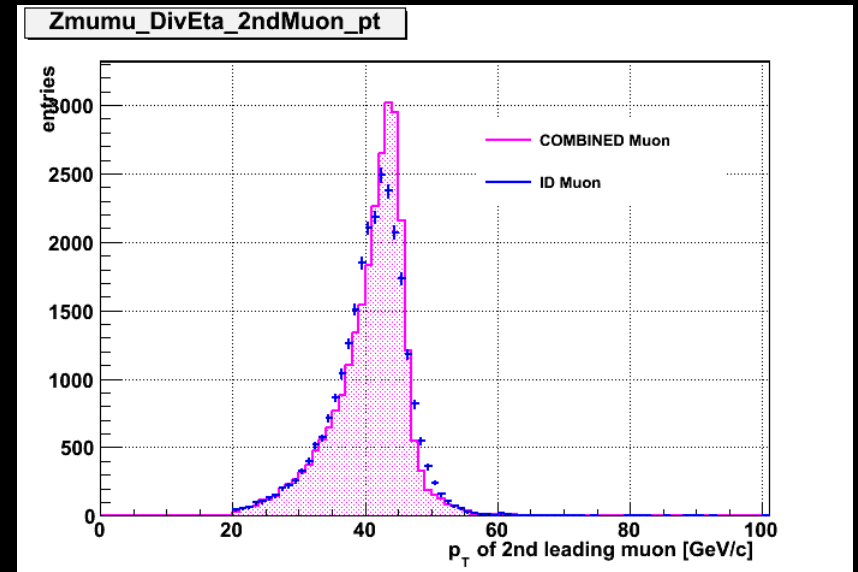
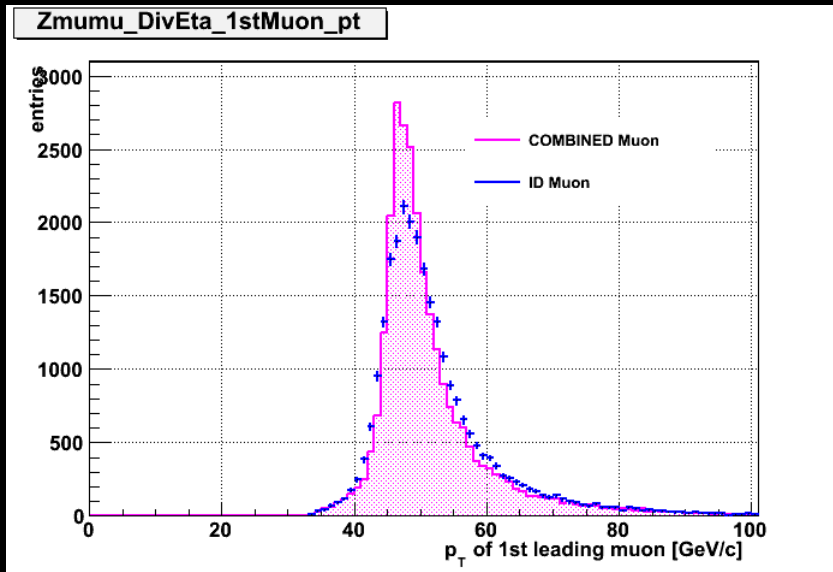


Back Up.

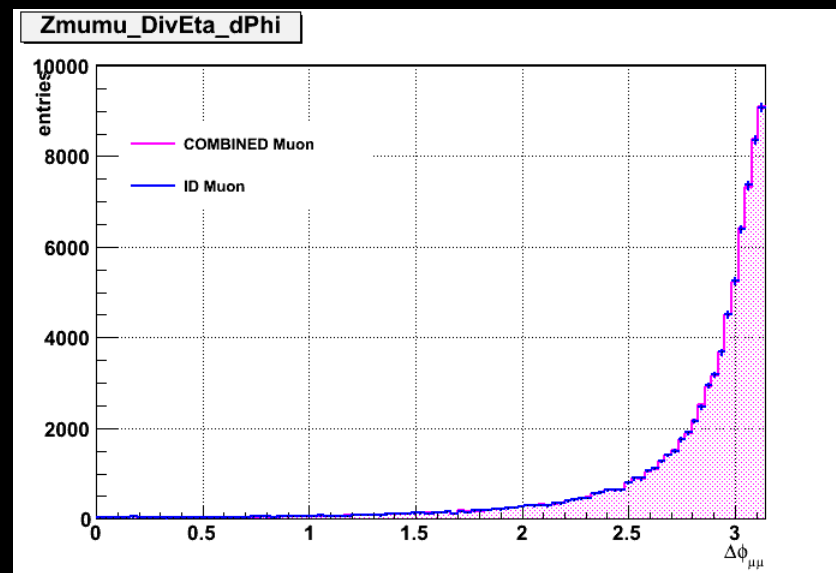
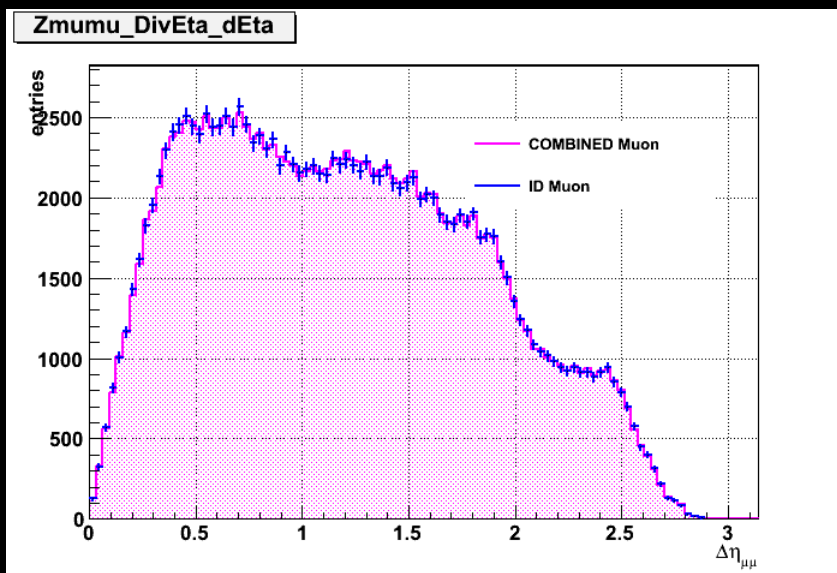
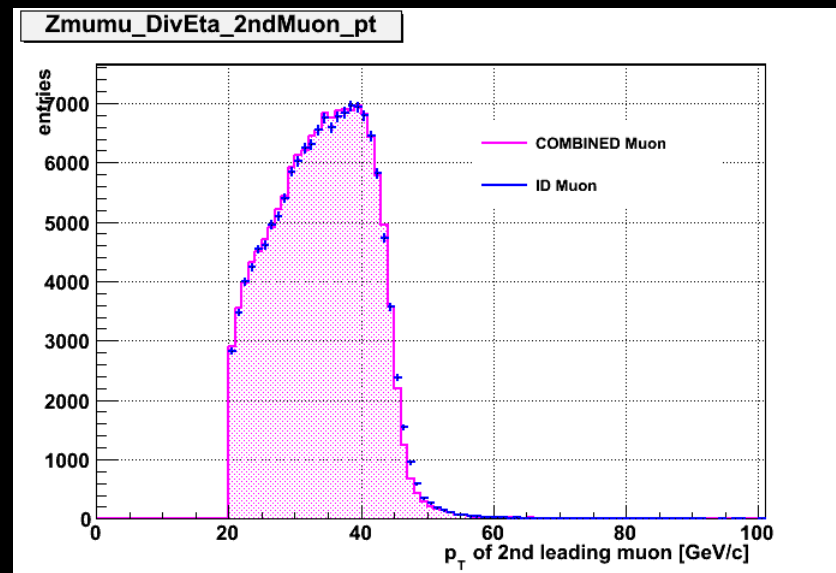
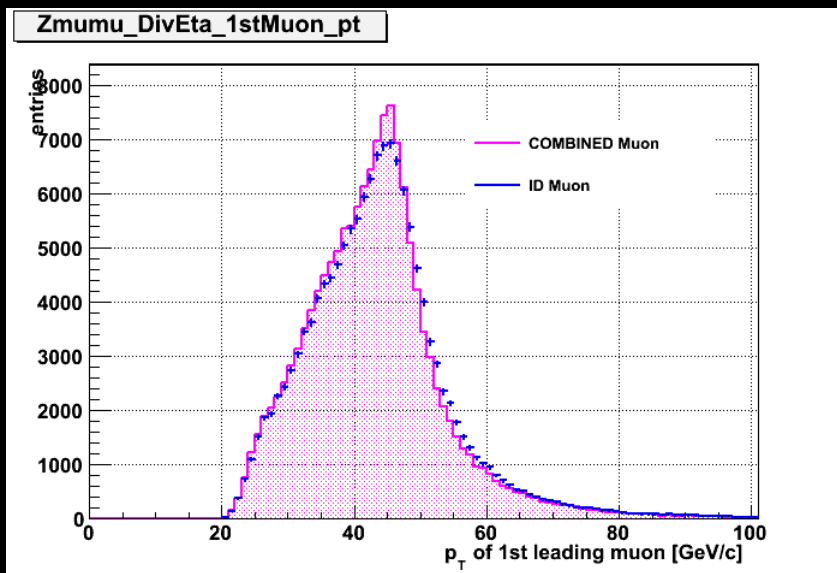
Invariant mass



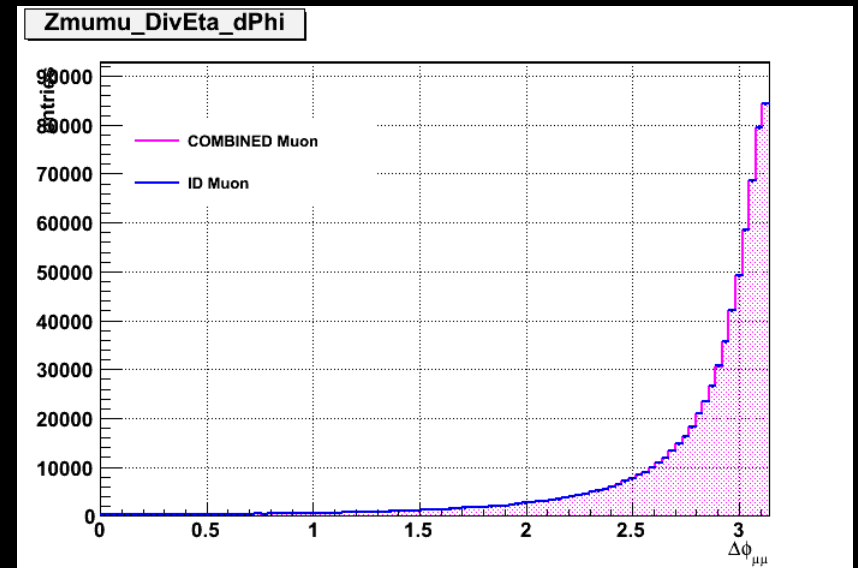
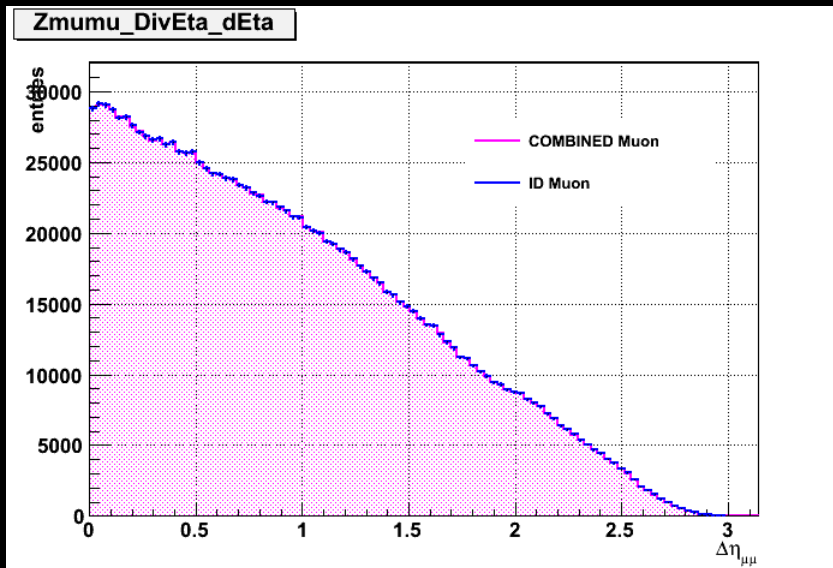
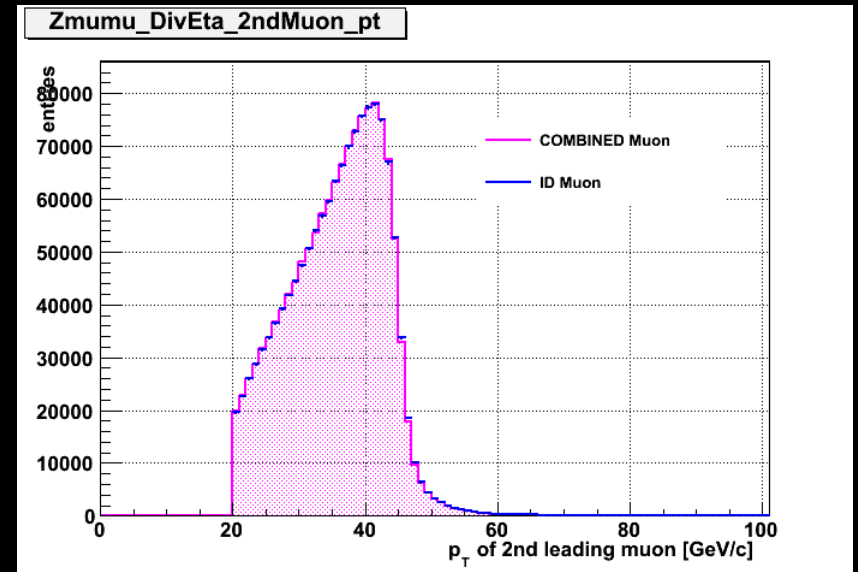
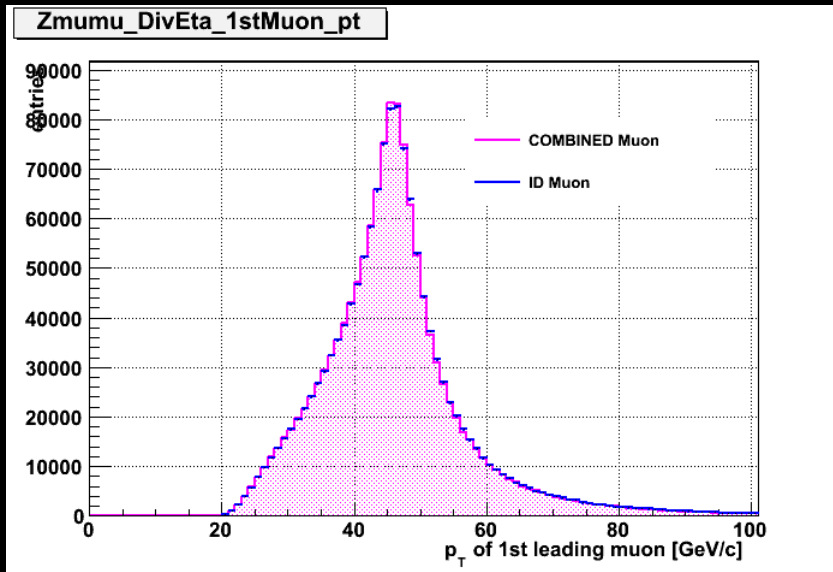
Kinematics (Red region)



Kinematics (green region)



Kinematics (blue region)



Mz and GSigma

| | COMBINED | | ID | |
|-------|------------|-------------|------------|-------------|
| | Mz | GSigma | Mz | GSigma |
| Red | 90.97 | 2.7 | 90.65 | 5.349 |
| | ± 0.02 | ± 0.0 | ± 0.04 | ± 0.042 |
| Green | 90.98 | 2.478 | 91.32 | 4.001 |
| | ± 0.01 | ± 0.010 | ± 0.01 | ± 0.014 |
| Blue | 90.82 | 2.247 | 90.9 | 2.462 |
| | ± 0.00 | ± 0.003 | ± 0.0 | ± 0.003 |
| All | 90.85 | 2.304 | 90.87 | 2.688 |
| | ± 0.00 | ± 0.003 | ± 0.00 | ± 0.003 |

単位 [GeV/c²]