



Tokyo Institute of Technology—TOKYO TECH—develops distinctive students with outstanding qualities of creativity and leadership. TOKYO TECH is making significant contributions to science and technology in many fields of expertise, creating new and powerful synergies. TOKYO TECH, being a research-based university, is dedicated to education and research, and to exploring knowledge in science and technology. Pursuing excellence, TOKYO TECH serves society and the world.

- Title
- Introduction
- Muon Trigger
- Tag&Probe method
- High pT efficiency
- Low pT efficiency
- Total Result
- Summary

東工大, 高エ研<sup>A</sup>, 神戸大理<sup>B</sup>  
小林大, 石塚正基, 菅野貴之, 北村拓己<sup>B</sup>, 久世正弘,  
徳宿克夫<sup>A</sup>, 長野邦浩<sup>A</sup>, 野辺拓也, 樋口浩太,  
松下崇<sup>B</sup>, 山崎祐司<sup>B</sup>, 他ATLAS日本トリガーグループ

Mar.26 2013 68th JPS annual meeting

ATLAS実験における  
ミュオントリガーの広範囲の  
横運動量にわたる効率評価

# ❖ Introduction

- Introduction
- Muon Trigger
- Tag&Probe method
- High  $p_T$  efficiency
- Low  $p_T$  efficiency
- Total Result
- Summary

- ◎ LHC・ATLAS実験で使用されている、ミュオントリガーシステムについて、4GeVから40GeVの広い横方向運動量( $p_T$ )領域に対して、実データ(2012,  $\sim 5\text{fb}^{-1}$ )を用いた効率測定を行った。
- 現在の運転でこれを行うためには、低い $p_T$ 領域の効率測定に対して様々な工夫を導入する必要があった。
- 本発表の流れ

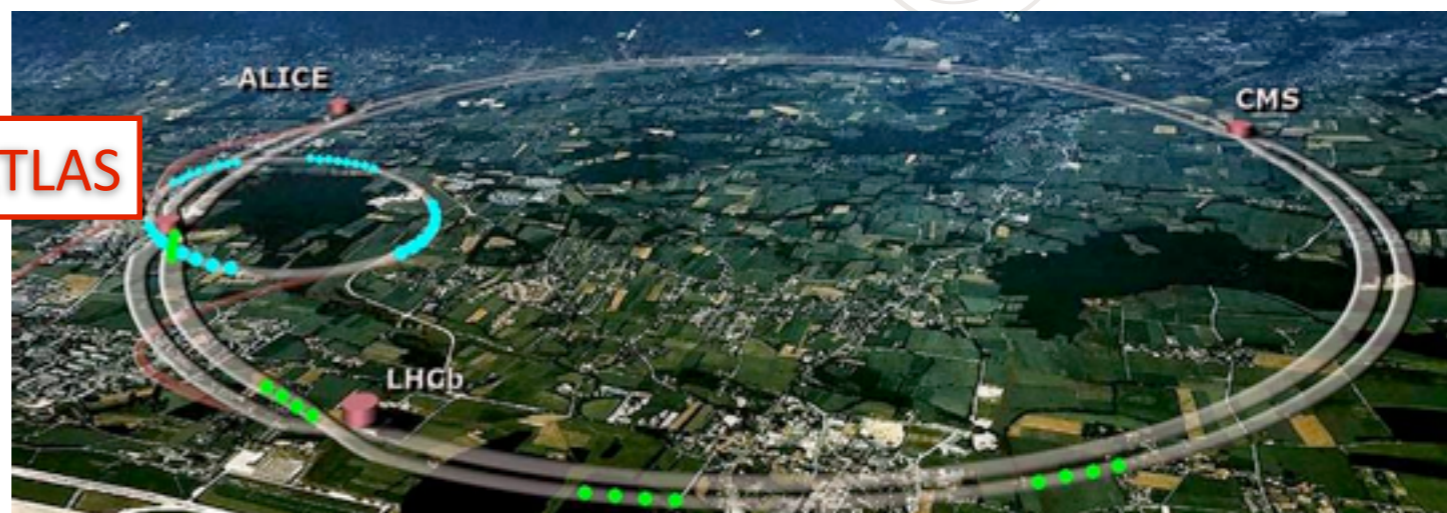
- 1.LHCとATLAS実験について
- 2.ミュオントリガーシステム
- 3.トリガー効率の測定方法Tag&Probe
- 4.High  $p_T$ のミュオンに対する効率測定
- 5.Low  $p_T$ のミュオンに対する効率測定
- 6.まとめ

# ❖ LHC and ATLAS

- Introduction
- Muon Trigger
- Tag&Probe method
- High pT efficiency
- Low pT efficiency
- Total Result
- Summary

## ◎ LHC(Large Hadron Collider)

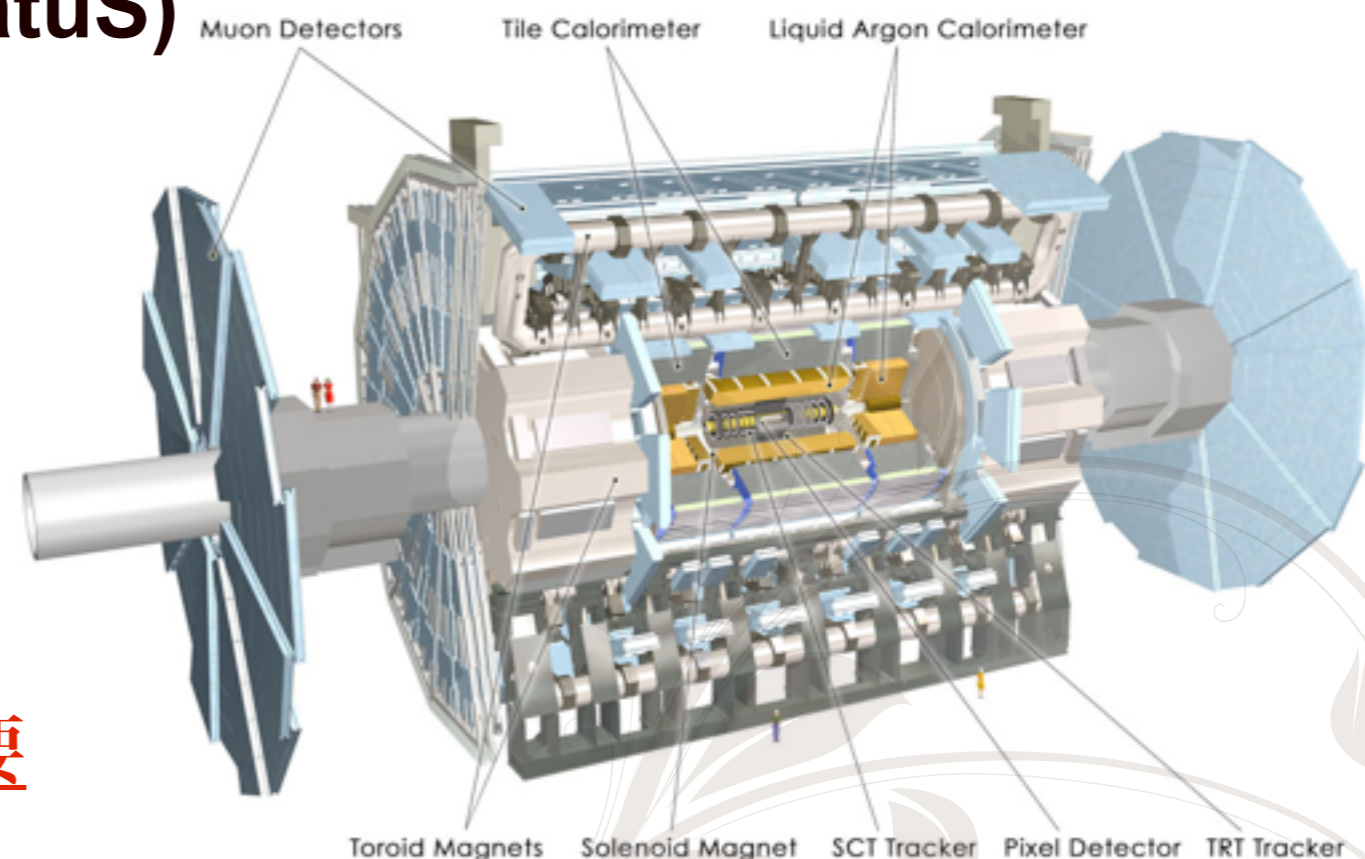
- スイス・フランスにまたがる大型円形加速器
- 陽子陽子衝突型
- リング周長 : 26.7 km
- 重心系エネルギー : 8TeV(2012)



## ◎ ATLAS(A Toroidal LHC ApparatuS)

- Higgs粒子、SUSY粒子等の新物理の探索を主な目的とする汎用検出器。
- 大まかな構成 :
  - 内部飛跡検出器
  - カロリメータ
  - ミューオン検出器

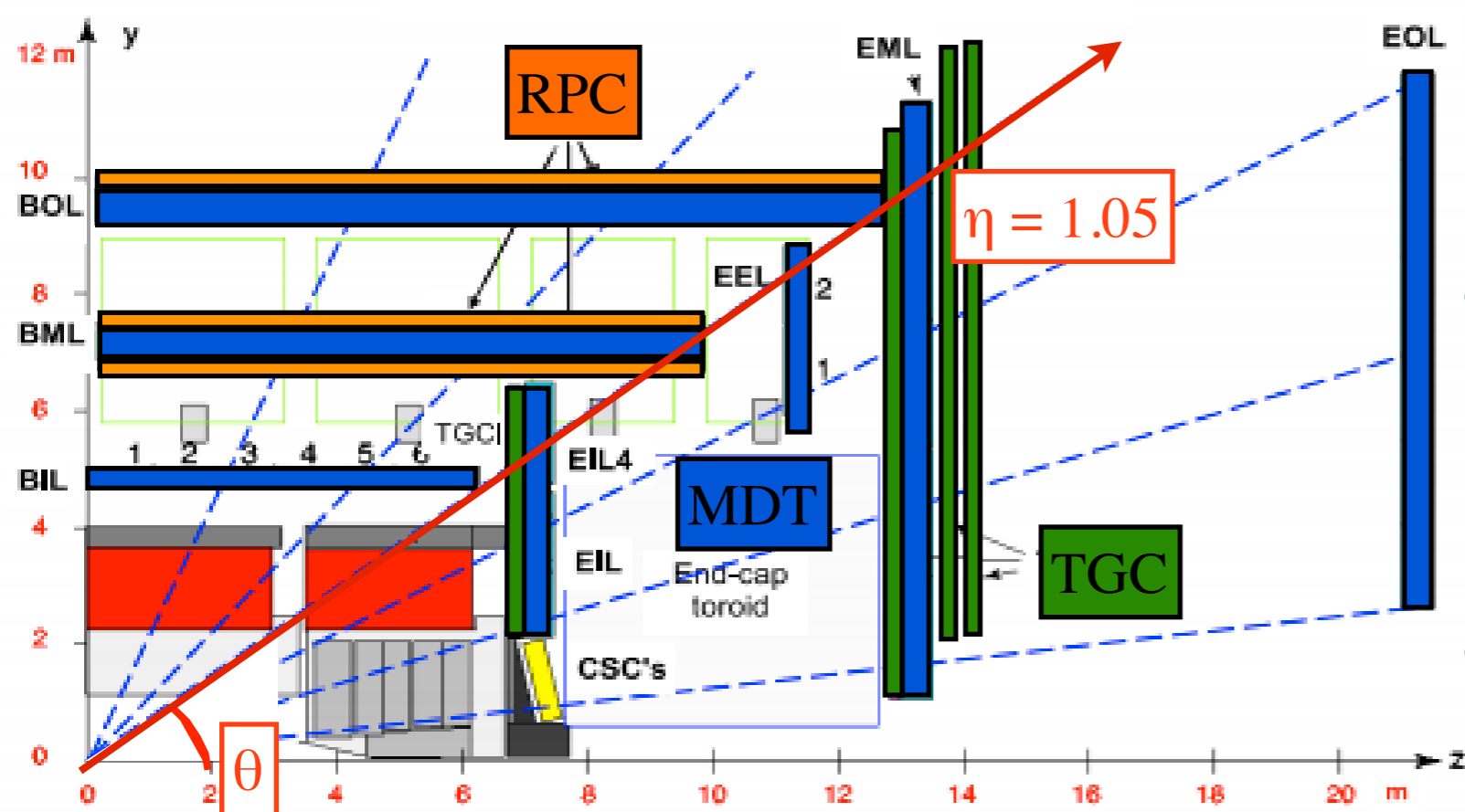
- **膨大な実験データを生成**  
→ **トリガーを用いての事象選別が必要**



# ❖ Muon Detector

- Muon Trigger
- Tag&Probe method
- High pT efficiency
- Low pT efficiency
- Total Result
- Summary

- ◎ ミューオン検出器として以下のようなものを使用し、トリガーにもこれらの検出器の情報を用いている



$$\eta = -\log \left( \tan \frac{\theta}{2} \right)$$

- **RPC (橙)**  
位置 : Barrel部  
位置分解能 : 約10mm  
用途 : トリガー用
- **TGC (緑)**  
位置 : Endcap部  
位置分解能 : 約2-6mm  
用途 : トリガー用
- **MDT (青)**  
位置 : Barrel・Endcap部  
位置分解能 : 約35μm  
用途 : 精密測定

位置分解能は劣るが、応答速度が早い  
TGC, RPCはトリガー専用

その後、精度の良いMDTによって、  
更に事象が選別される

# ❖ Trigger System

- Muon Trigger
- Tag&Probe method
- High p<sub>T</sub> efficiency
- Low p<sub>T</sub> efficiency
- Total Result
- Summary

- ◎ ミューオントリガーシステムには3つの段階があり、オフライン再構成されたミューオンのうち、全段階を通過したイベントの割合として、効率を求める

$$\text{eff} = \frac{\text{Trigger passed muon}}{\text{Offline reconstructed muon}}$$

Level 1	Level 2		Event filter
L1 (RPC,TGC)	L2muonSA (MDT)	L2muonCB (MDT+ID)	EF
Hardware level選別 興味のある領域 (RoI)を指定	Software level選別 RoIで指定された領 域のMDTからp <sub>T</sub> を 計算し、選別 (SA:StandAlone)	Software level選別 内部検出器も利用 して詳細に選別 (CB:ComBined)	Software level選別 処理速度の制限が 厳しくない。 ほぼofflineと同等に 詳細な選別。

- p<sub>T</sub>: 4GeV閾値のトリガー(EF(4GeV))の効率を、測定する

# ❖ Tag&Probe

- Tag&Probe method
- High pT efficiency
- Low pT efficiency
- Total Result
- Summary

◎ 効率測定には、Z及びJ/ψ粒子由来のミュオン対を利用する

• トリガーで取られたミュオンをそのまま見てしまうと、  
効率は100%になってしまう

→ 粒子の崩壊によるミュオン対を利用する(Tag&Probe法)

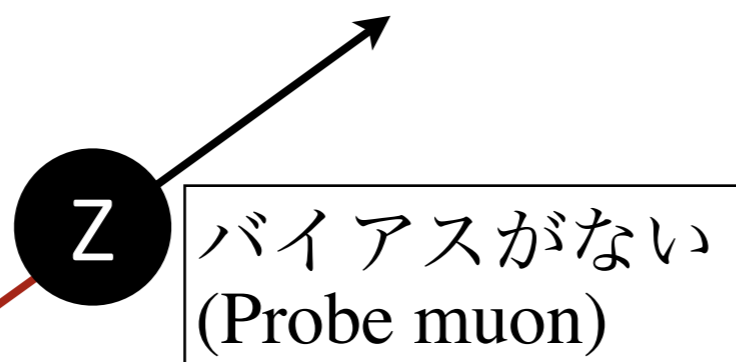
• イベントが単一ミュオントリガーで取得されたことを要求

• ミュオン対の片方：単一ミュオントリガーの通過を要求

→ もう一方のミュオン：トリガー通過の必要がなく、効率測定が可能

• Zは10GeV以上、J/ψは10GeV以下のp<sub>T</sub>領域についてそれぞれ用いる

トリガーを確実に  
通過している  
ことを要求  
(Tag muon)



→ 測定に利用できる

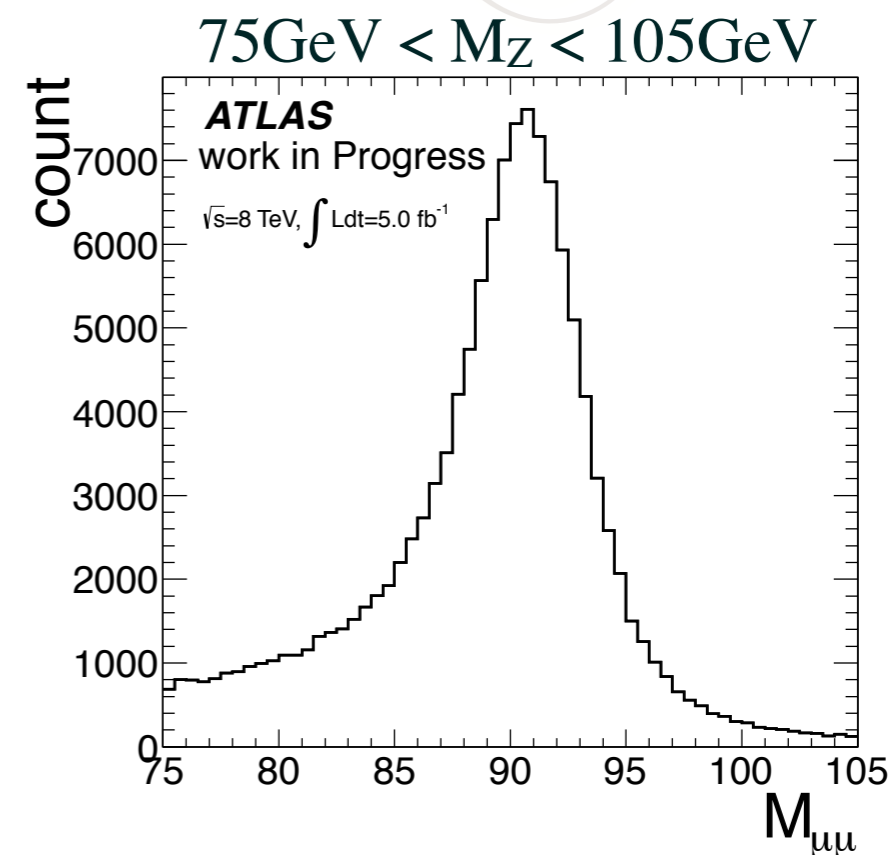
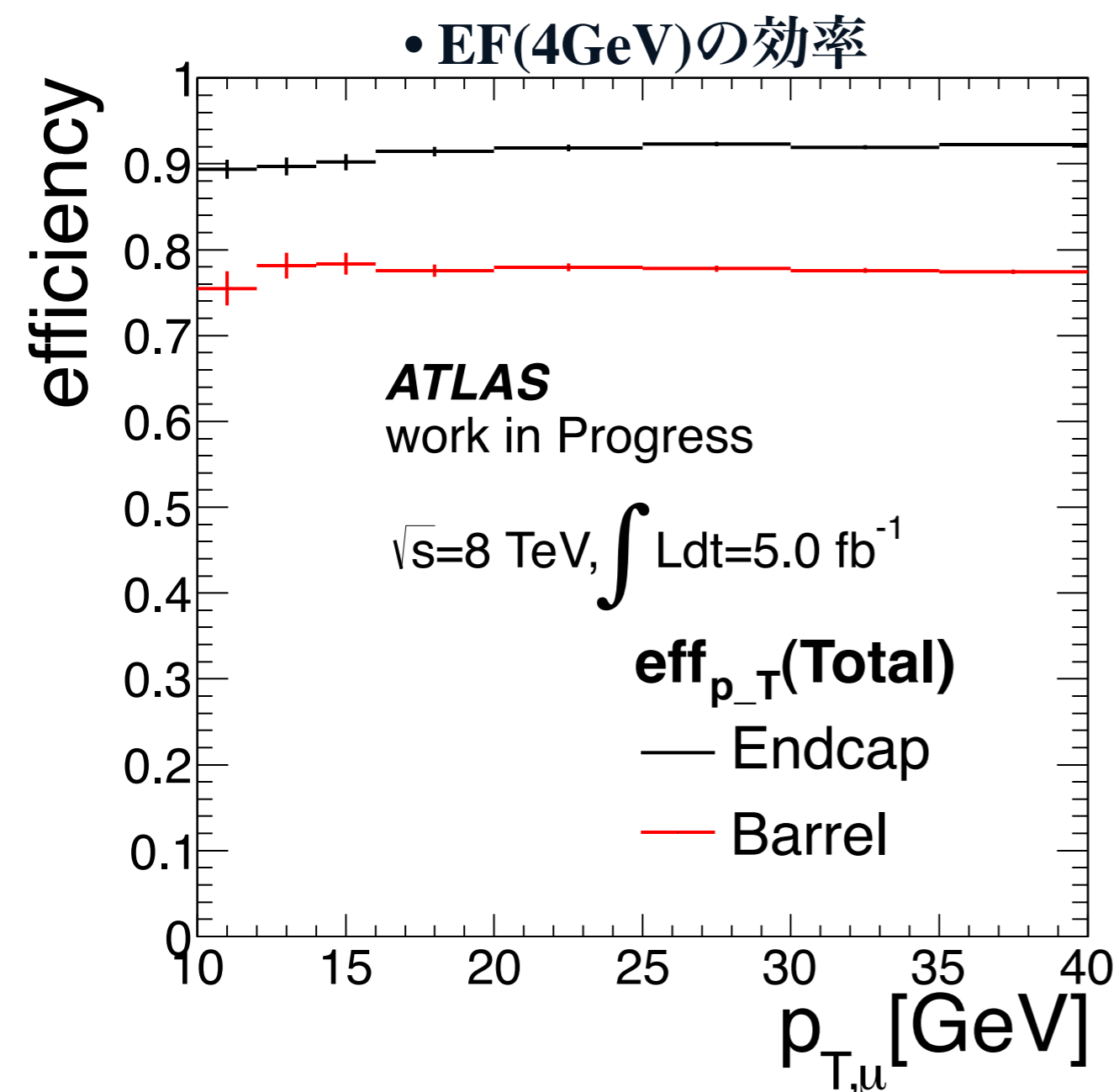
Z, J/ψ由来の  
ミュオン対を利用し、  
効率測定を行う。

# ❖ Z Tag&Probe

- High pT efficiency
- Low pT efficiency
- Total Result
- Summary

◎ 高い $p_T$ (10~40GeV)のミュオンに対する効率測定には、Z由来のミュオンを用いる

• Tag : EF(24GeV)を要求



◎ 効率はBarrelとEndcapの領域に分割して示す

- BarrelとEndcapでの効率は、アクセプタンスの違いによって異なる
- 高い $p_T$ の領域まで十分な統計

# ❖ J/ψ Tag&Probe

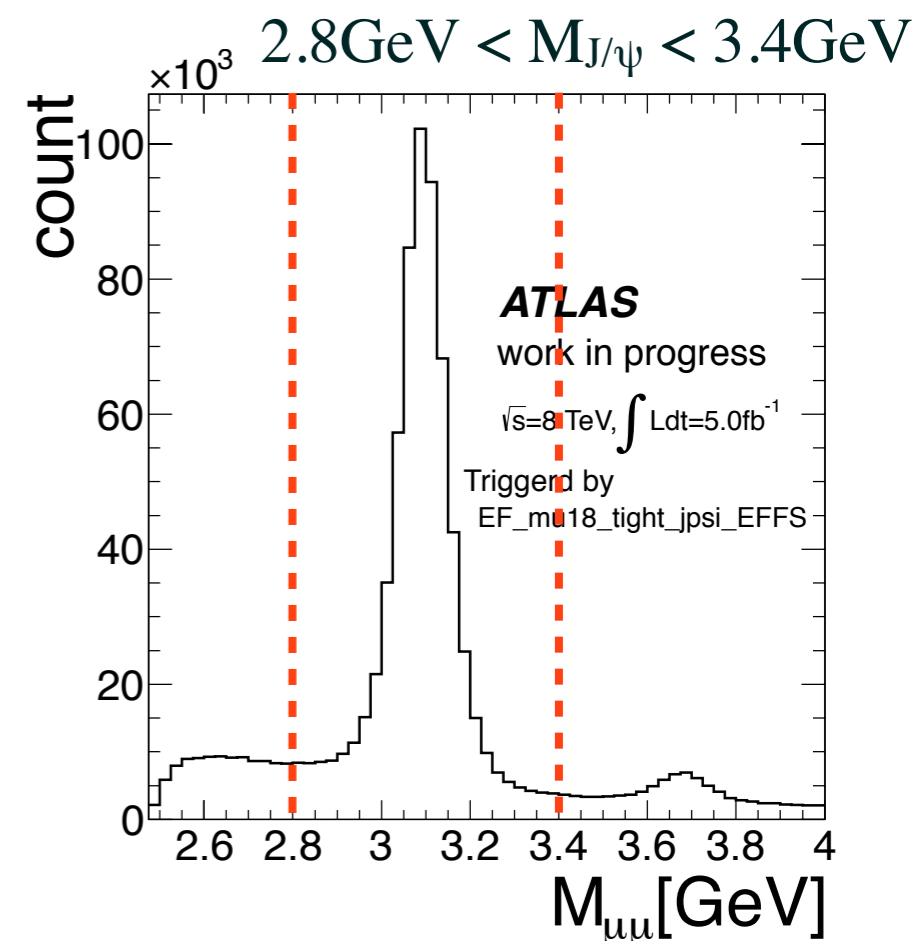
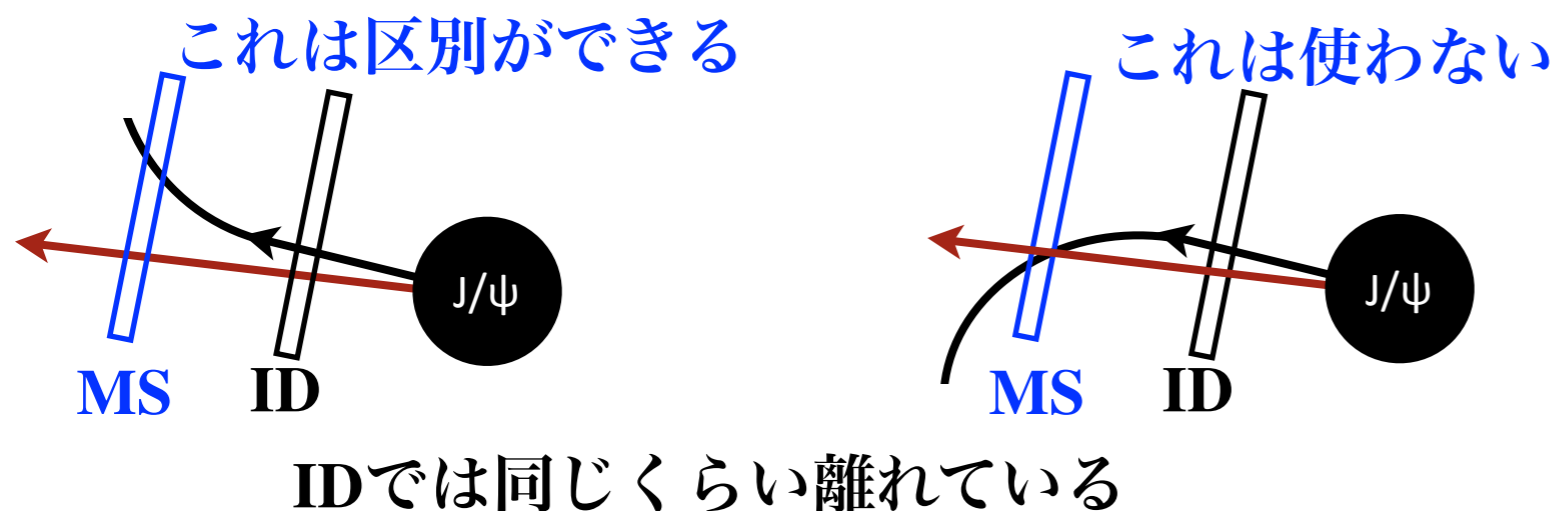
- Low pT efficiency  
- Total Result  
- Summary

## ◎ J/ψを用いたTag&Probeについては、Zの場合よりも困難である

- Low  $p_T$ の単一ミュオンのトリガーは強くプリスケールせざるを得ない  
→ EF(4GeV)などをtagとして要求すると、統計が非常に少なくなってしまう

## ◎ このため、様々な工夫が必要

- Tagに要求するトリガーをEF(18GeV)とし、boostしたJ/ψからの信号を利用
- BoostしたJ/ψを効率よく、かつ効率測定を正しく行えるトリガーを新たに導入した
- 2つのミュオンの飛跡は非常に近く、Tagとprobeの判別が困難な場合がある  
→ ミュオン検出器層(MS)での位置判別を行っている



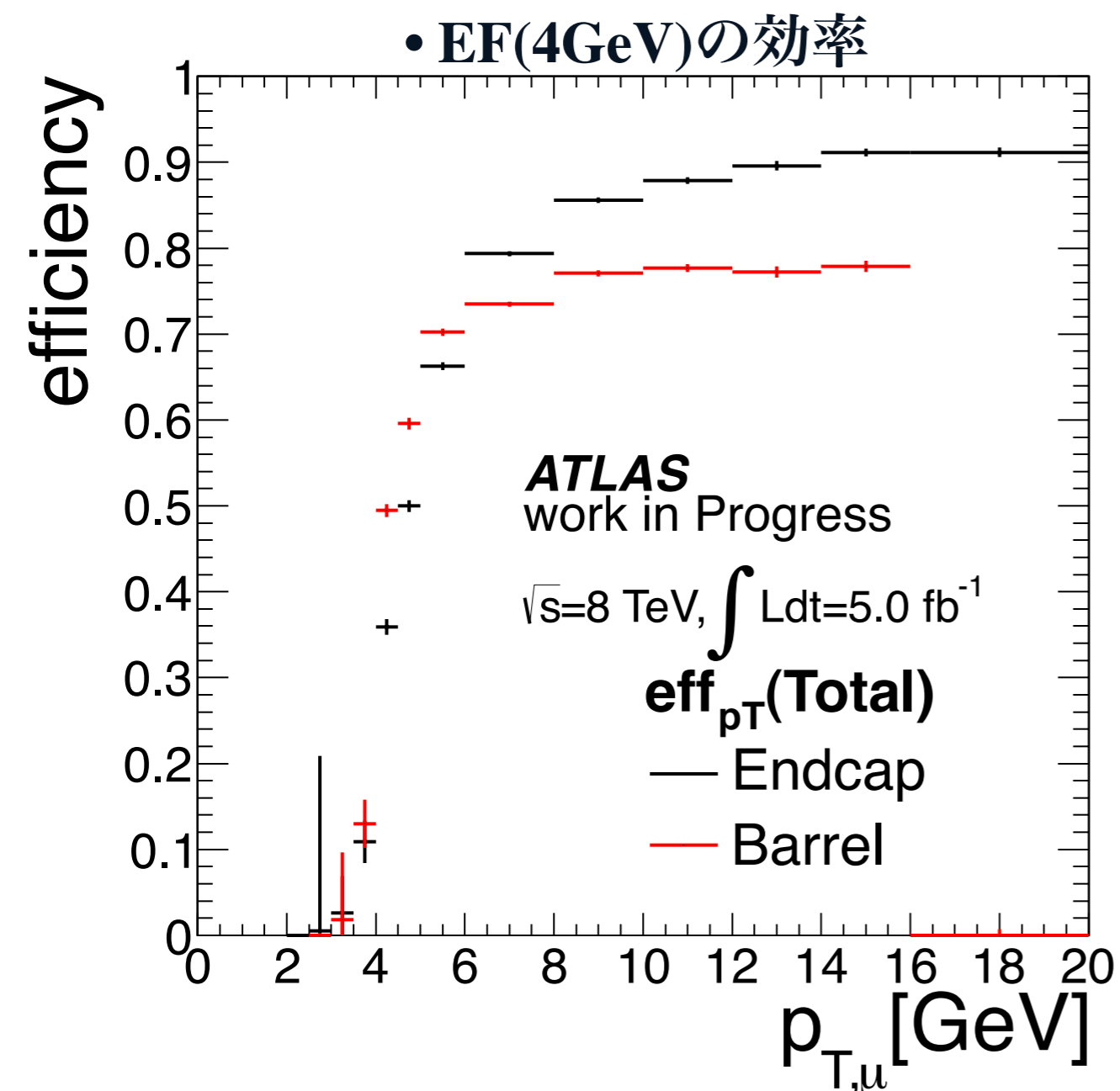


# ❖ J/ $\psi$ Tag&Probe

- Low pT efficiency
- Total Result
- Summary

◎ J/ $\psi$ 由来のミュオンを利用することで、  
低い $p_T$ (0~10GeV)のミュオンに対する効率を求めた

- Tag : EF(18GeV)を要求



◎ BarrelとEndcapの領域に  
分割して示す

- 低い $p_T$ では数GeVの $p_T$ のミュオン  
まで十分に統計があるため、turn onが  
しっかり見える

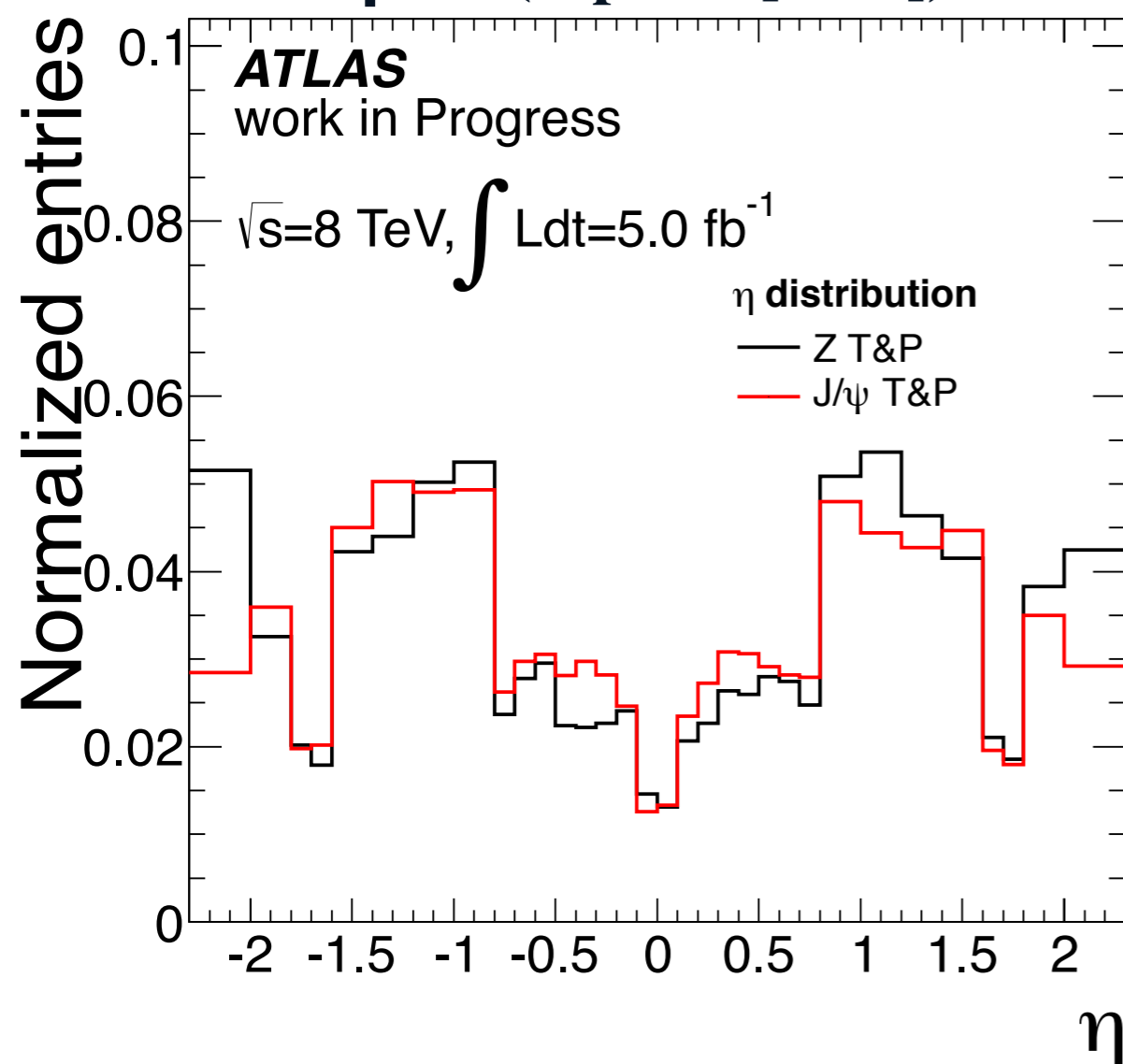
# ❖ Reweighting

- Total Result  
- Summary

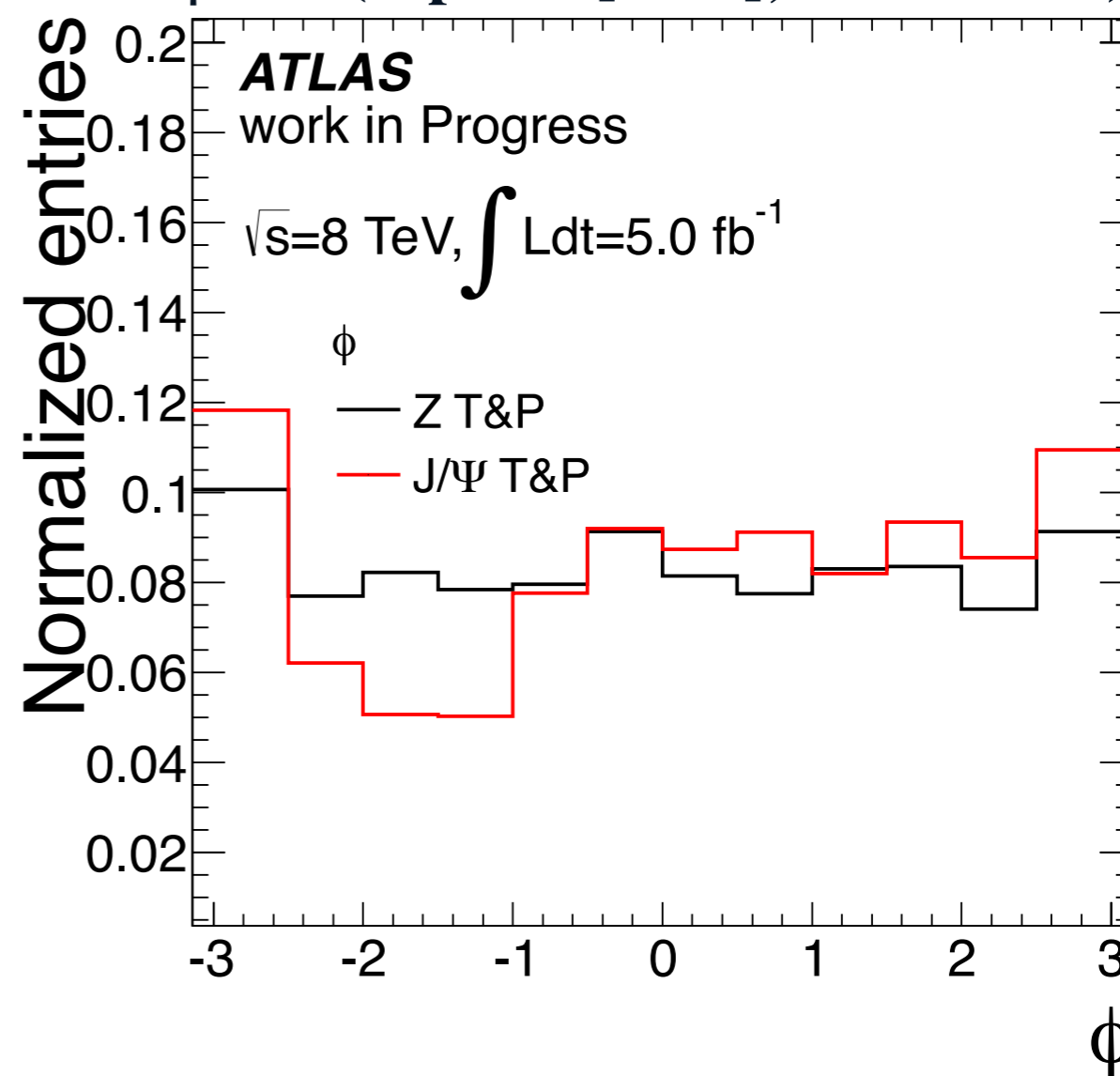
◎ ZとJ/ψの場合では、 $\eta$ 及び $\phi$ 分布に違いが見られるため、この影響を考慮する必要がある

- 効率には $\eta$ 、 $\phi$ の依存性があるため、全体の効率に差が出てくる  
→ Zの $\eta$ 、 $\phi$ 分布をJ/ψに合わせてこの影響を補正

•  $\eta$ 分布(@ $p_T > 10$ [GeV])

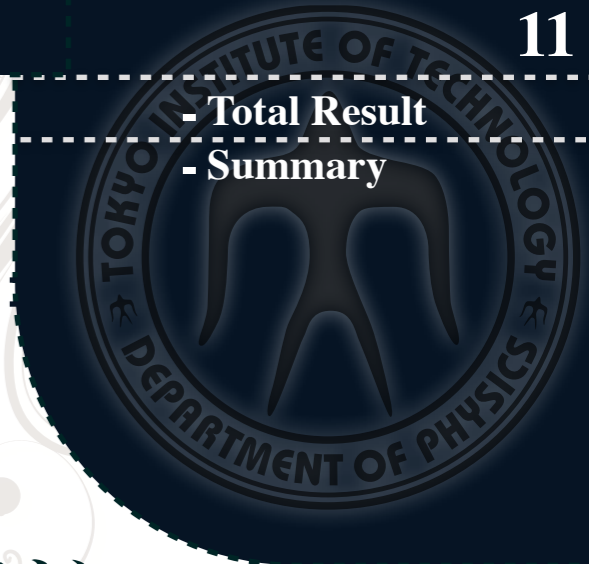


•  $\phi$ 分布(@ $p_T > 10$ [GeV], Barrel領域)



# ❖ Combined Result

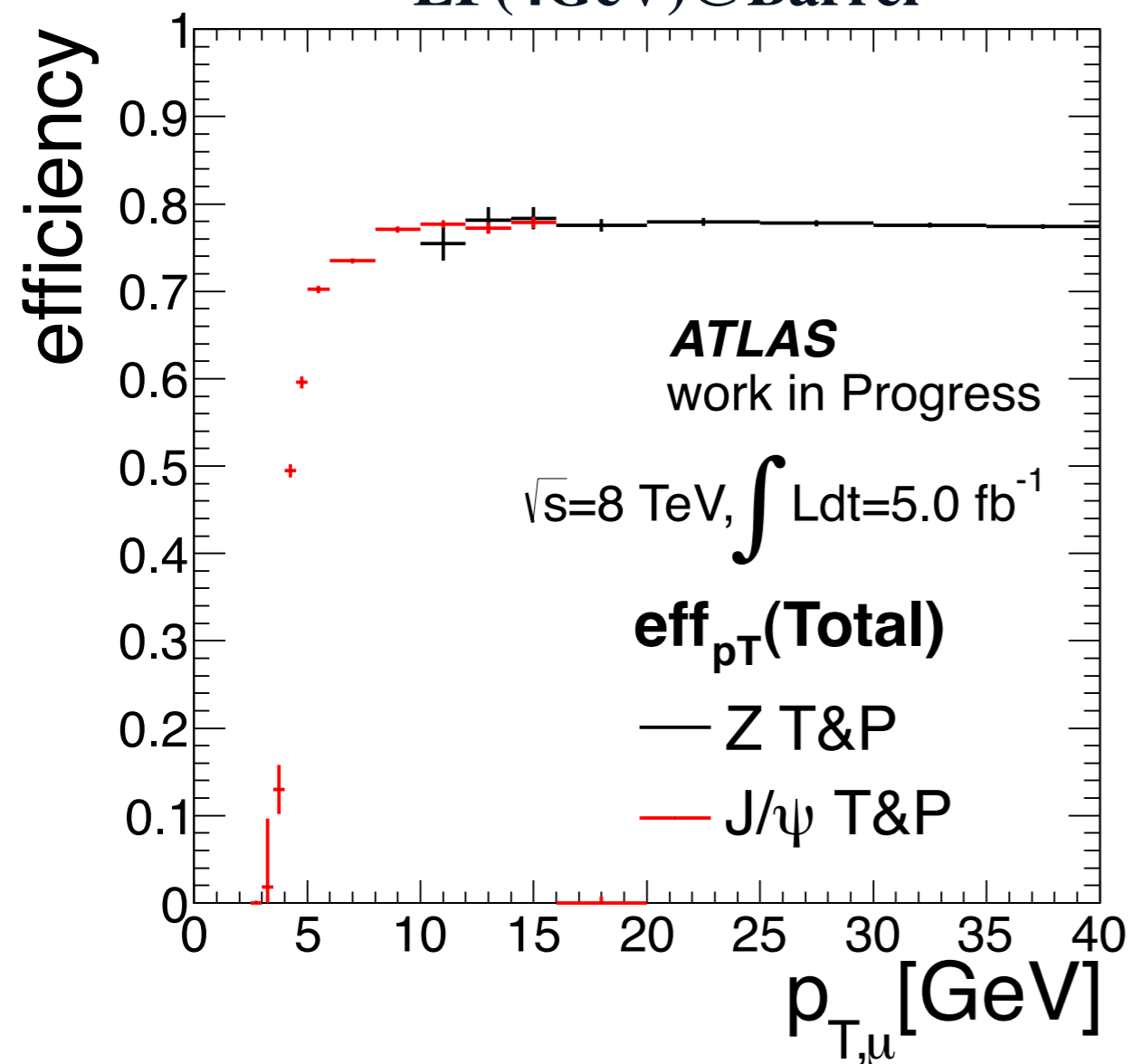
- Total Result  
- Summary



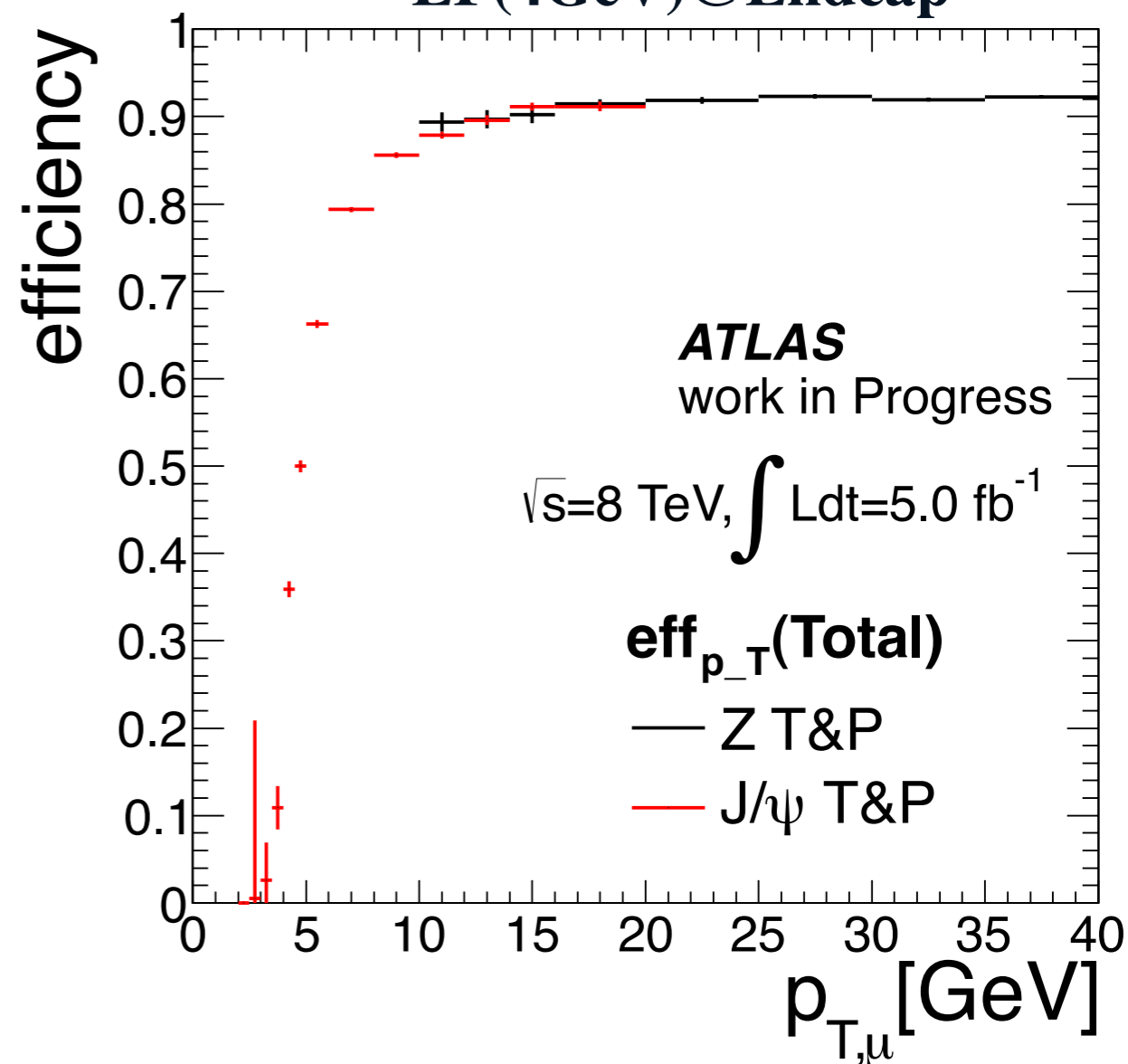
◎ Z, J/ψの結果を重ねて、0 - 40[GeV]の $p_{T}$ に対しての効率測定結果として示す

- 2つの手法の効率がきれいに連続になり、矛盾なく効率測定ができていることがわかる

• EF(4GeV)@Barrel

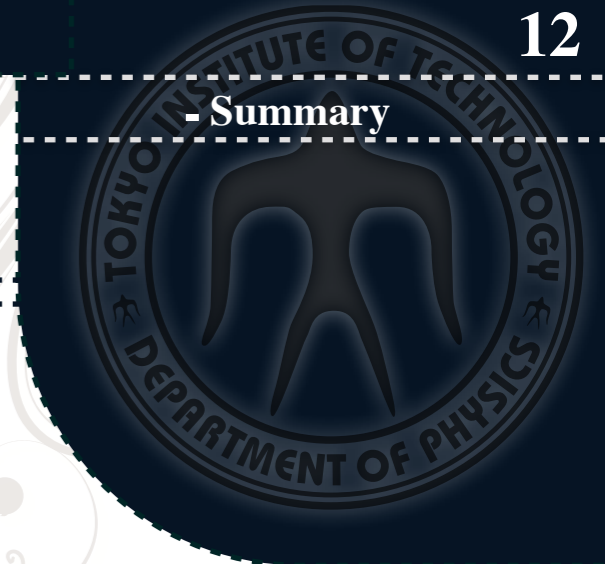


• EF(4GeV)@Endcap



# ❖ Summary & Future work

- Summary



## ◎ まとめ

- ATLAS実験に於いては、データ量が膨大であるために、必要なデータを効率よく選別し、記録する必要がある
- ミューオントリガーシステムについての効率評価を行うために、Tag&Probeという方法を用いた
- Z, J/ψ由来のミューオンを利用することによって、High  $p_T$ とLow  $p_T$ のミューオンに対する効率をそれぞれ求めることができた
- 2つの手法の結果を統合することで、広い横運動量領域に対するトリガー効率を計算することができた

## ◎ 今後

- トリガーの各段階での効率の測定も今後詳細に行っていく
- MCとの比較により、それぞれの手法のクロスチェックを行い、系統誤差を見積もる