

# LHC ATLAS実験における新しいチェンバーを用いた エンドキャップミュオントリガーの改良法の研究

樋口浩太(東工大)、石塚正基(東工大)、奥山豊信(東大理)、岸本巴(神戸大)、  
久世正弘(東工大)、蔵重久弥(神戸大)、小林大(東工大)、陳叶(神戸大)、  
徳宿克夫(高工研)、長野邦浩(高工研)、野辺拓也(東工大)、山崎祐司(神戸大)

日本物理学会2014年春季大会

2014年3月29日

東海大学

# 目次

## ミューオン検出器を用いたトリガーシステムの改良

- Introduction
  - LHCとATLAS検出器
- トリガーシステム
- ミューオン飛跡検出器
- 研究目的
- 研究内容
  - 新しいアルゴリズムの定義
  - $p_T$ 再構成精度の評価法
- 結果
  - $p_T$ 再構成精度
  - トリガーしきい値、トリガー効率
- Summary

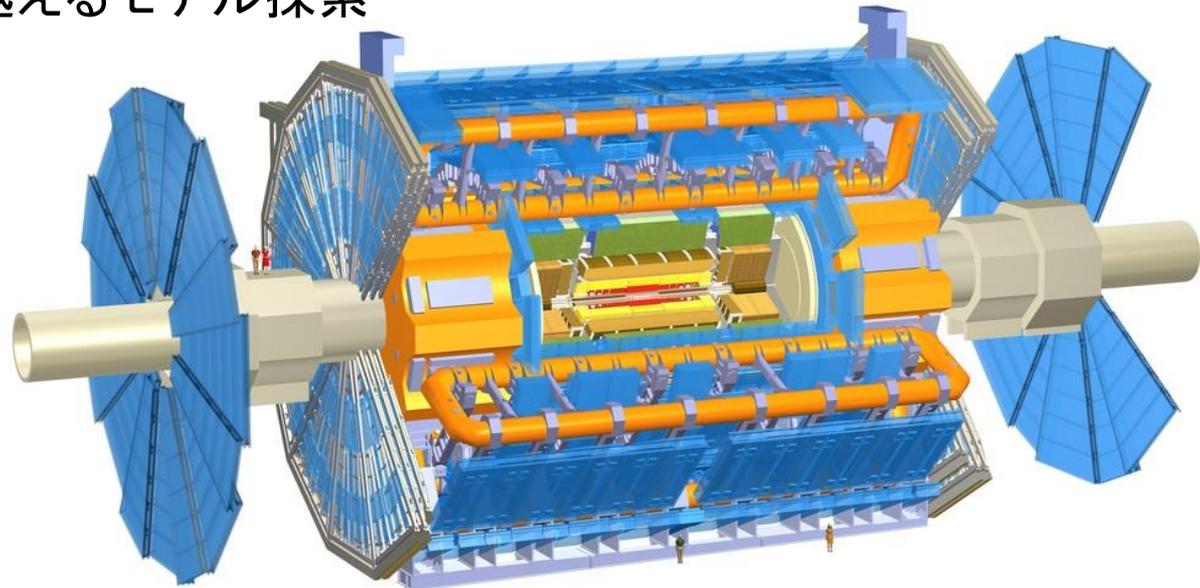
# LHCとATLAS実験

LHC(Large Hadron Collider)

- ・全長27kmの陽子陽子衝突加速器
- ・2012年は衝突エネルギー8TeV
- ・2015年より13TeVでの運用予定

## ATLAS検出器

- ・目的:ヒッグス、標準模型を越えるモデル探索
- ・様々な検出器で構成
  - 内部飛跡検出器
  - 電磁カロリメータ
  - ハドロンカロリメータ
  - ミューオン飛跡検出器



# ミュオントリガーシステム

LHCのビーム衝突頻度は膨大、全ての事象を取得するのは困難  
⇒3段階のトリガーによってオンラインで事象選別

長期シャットダウン後に事象レートの大幅な上昇が予測される  
**ミュオントリガーシステムの改良は必要不可欠**

本研究ではレベル2トリガーの**MuonSA**を対象とする

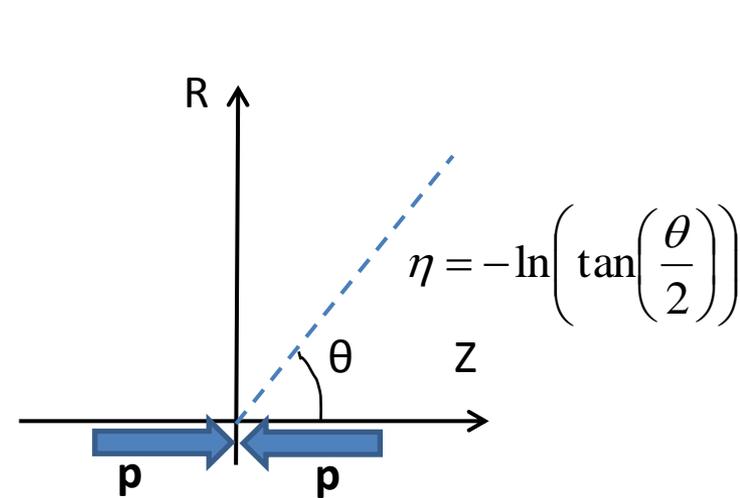
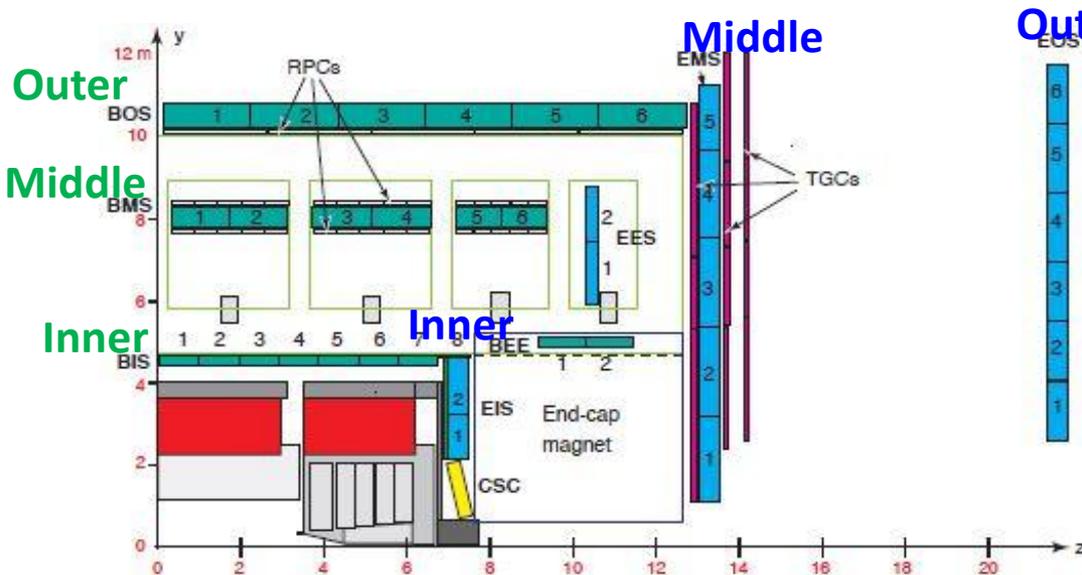


(青括弧内は2012年における平均処理速度)

# ミュオン飛跡検出器(Z-R平面)

MDTはInner,Middle,Outerの3層構造

磁場中でのミュオンの飛跡から運動量を測定  
 バレル領域:0.5T、エンドキャップ領域:1T



MDT	CSC	RPC	TGC
$ \eta  < 2.7$ 位置分解能:35 $\mu\text{m}$ 精密測定用	$2.0 <  \eta  < 2.7$ 位置分解能:40 $\mu\text{m}$ 精密測定用	$ \eta  < 1.05$ 位置分解能:10mm トリガー用	$1.05 <  \eta  < 2.7$ 位置分解能:2~6mm トリガー用

# ミュオン飛跡検出器( $\phi$ 平面)

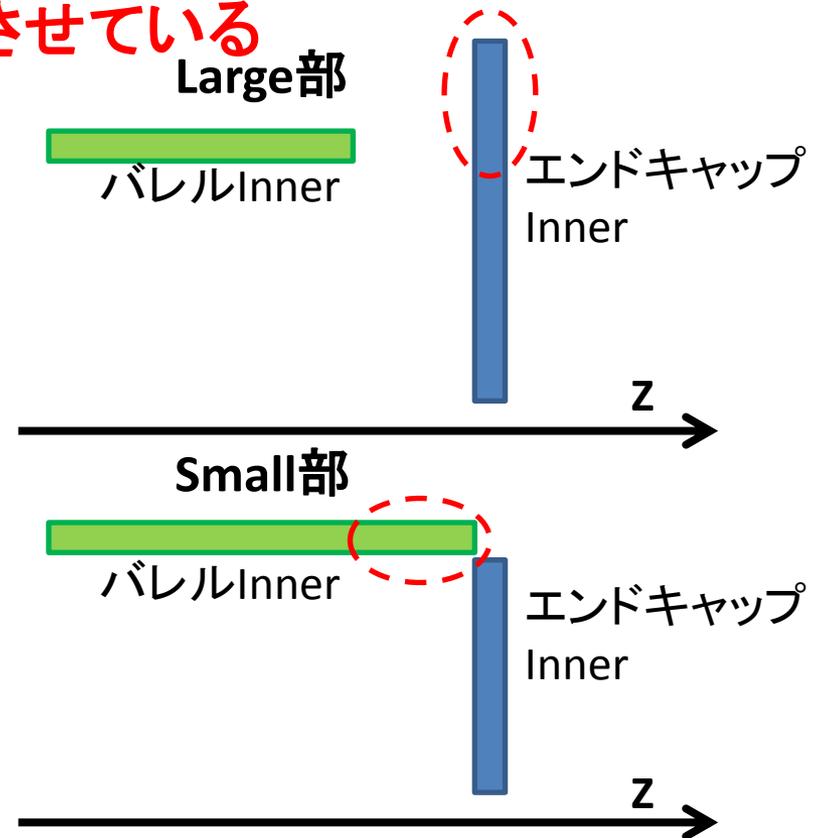
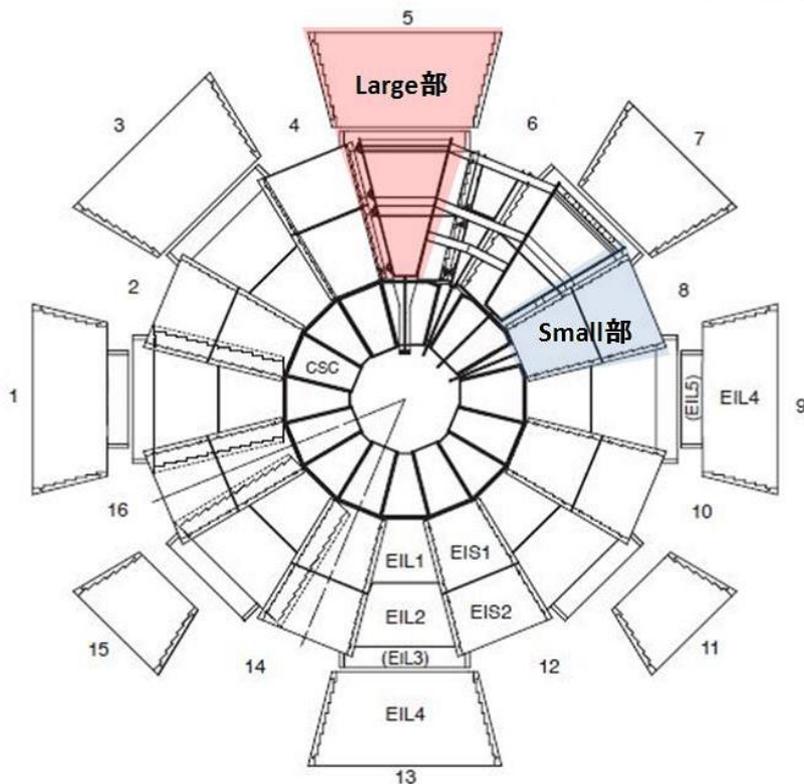
8回対称構造

Large, Small部に分割

Small部はエンドキャップInnerが小さい

⇒バレルInnerによってカバー

**Innerのカバー率を向上させている**



# 本研究の目的

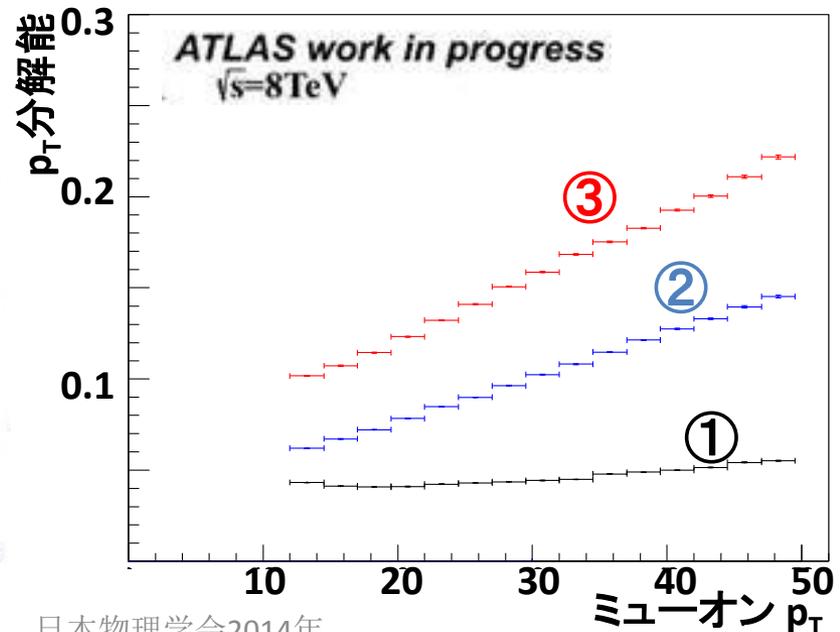
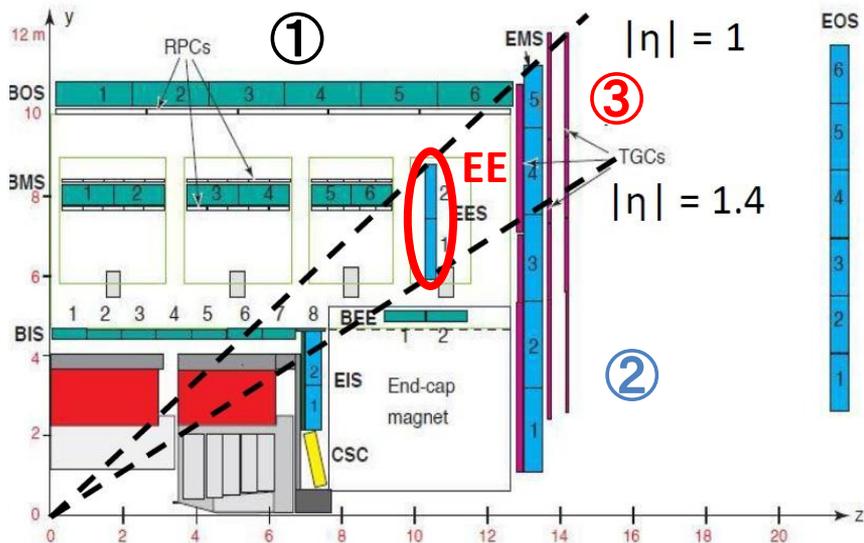
エンドキャップ、バレル領域の継ぎ目は磁場が不均一  
運動量分解能が悪い

MuonSAにおいてトリガーしきい値を厳しく設定できない



2012年にEEステーションが試験的に追加  
磁場中でのミュオンの直接観測が可能となった

EEを用いたエンドキャップ領域のMuonSAの改良  
トリガーしきい値の設定



# 現状のMuonSA(エンドキャップ領域)

Inner,Middle間に磁場が存在

磁場中のミューオンの飛跡から $p_T$ を再構成、しきい値として使用

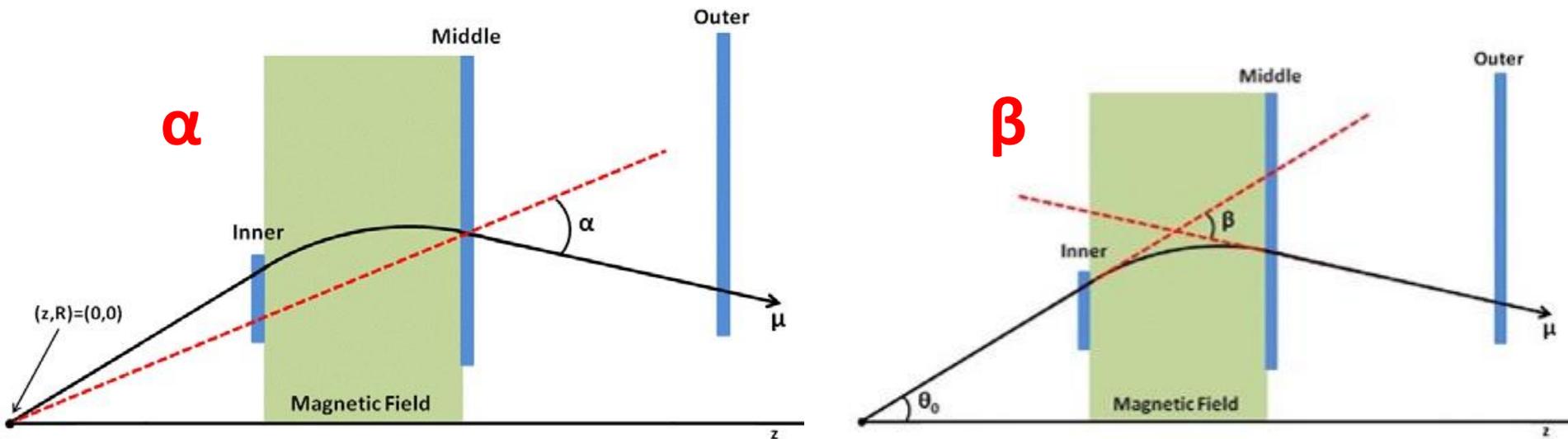
$\alpha$ : Middle,Outer

$\beta$ : Inner,Middle,Outer

$\alpha$ 、 $\beta$ から $p_T$ を求めるパラメータを予め用意

⇒計算時間の短縮

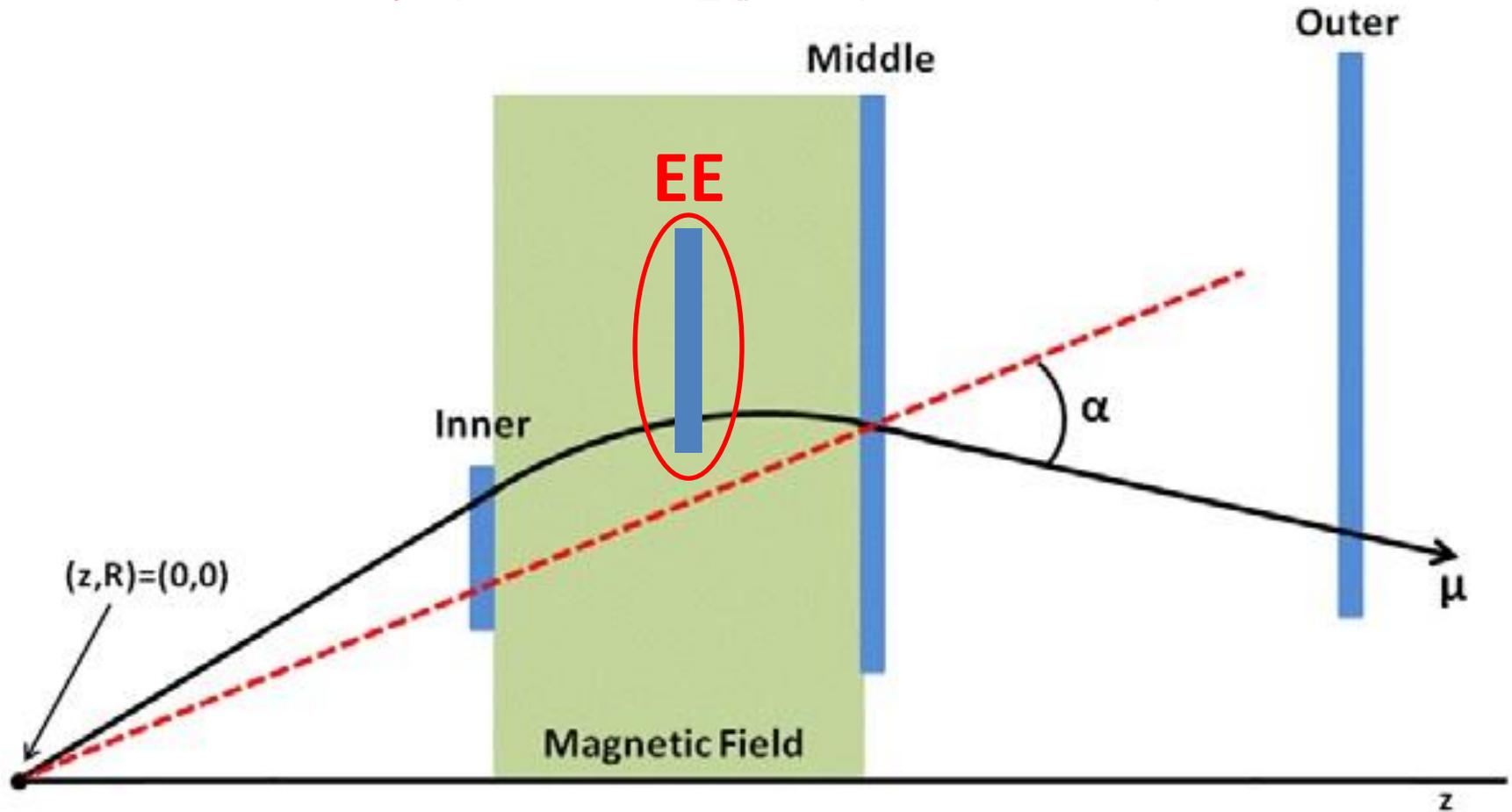
パラメータは $\eta$ 、 $\phi$ で細かく分けられた領域に対しそれぞれ設定



# 現状のMuonSA(エンドキャップ領域)

Inner,Middle間の磁場中にEEが挿入

⇒磁場中での3点を使用することが可能



# EEを用いた新しい変数: R

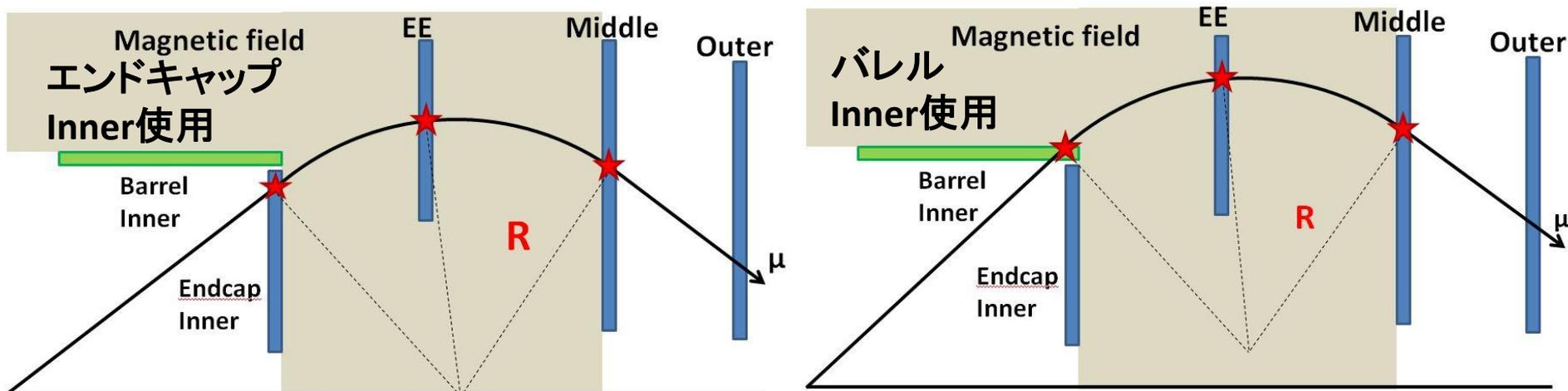
曲率半径R: Inner, EE, Middleを円フィット

不均一磁場中での測定点が増加(2点から3点へ)

$p_T$ 分解能の向上が期待される

Small、Large部についてパラメータを調整  
従来のMuonSAの変数と性能比較

使用データ: 2012年, 8TeV run  
積分ルミノシティ:  $7.0\text{fb}^{-1}$



# $p_T$ 再構成精度の評価法

オフラインで精密測定された $p_T$ との違いを残差と定義

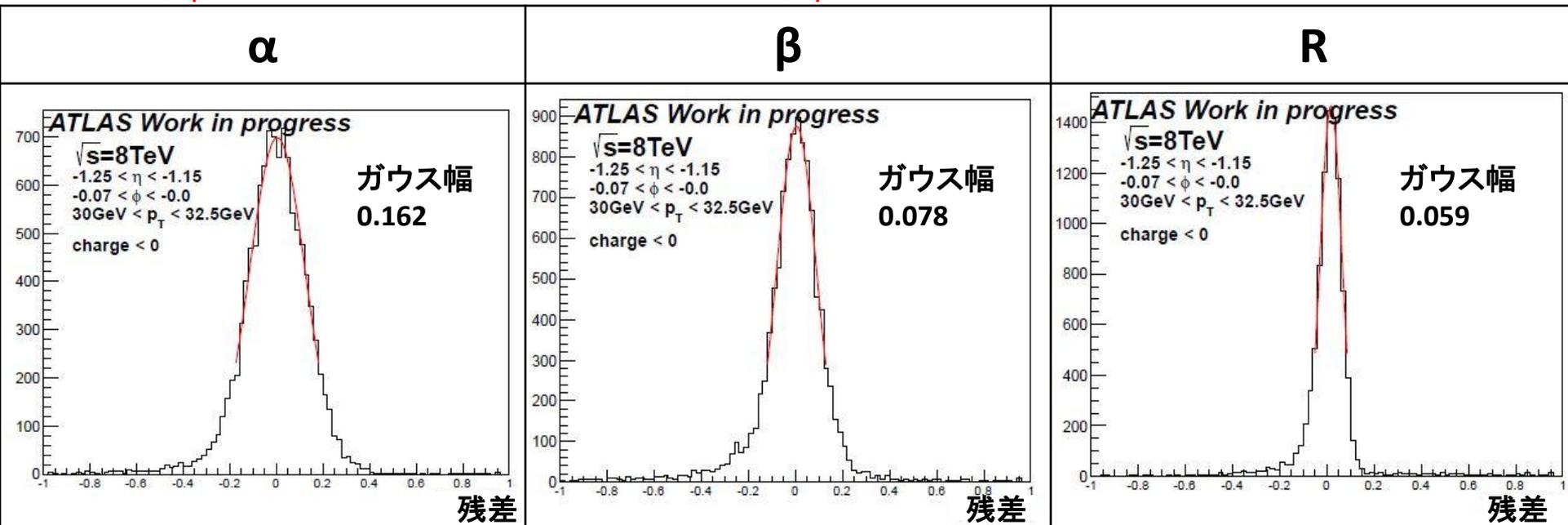
$$\text{残差} = \frac{1/p_T(\text{offline}) - 1/p_T(\text{calc})}{1/p_T(\text{offline})}$$

$p_T(\text{calc})$ :各変数から求めた $p_T$

$p_T$ ごとに残差のヒストグラムを作成

ガウス関数のガウス幅: $p_T$ 再構成精度

$p_T$ 再構成精度とミューオンの $p_T$ との関係性を評価

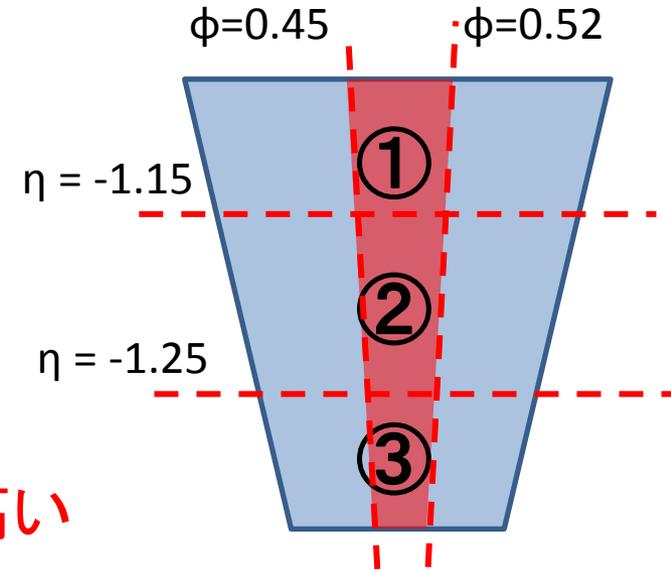


# $p_T$ 再構成精度の結果(for Small部)

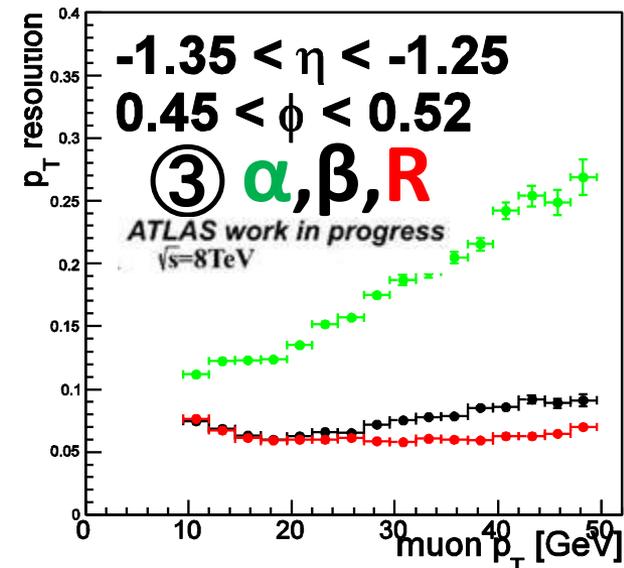
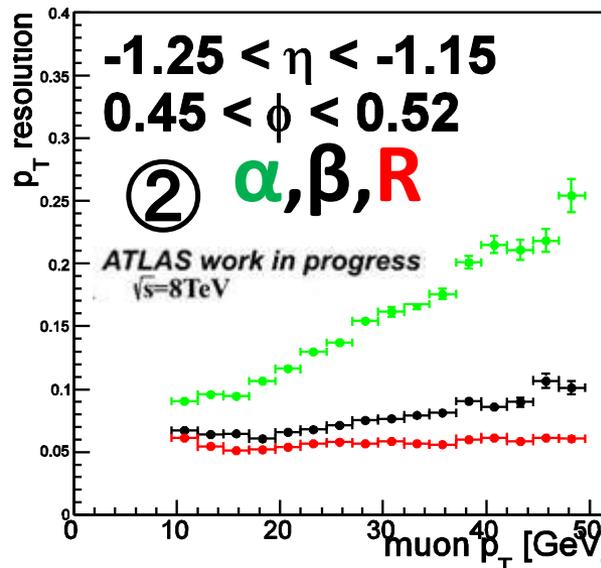
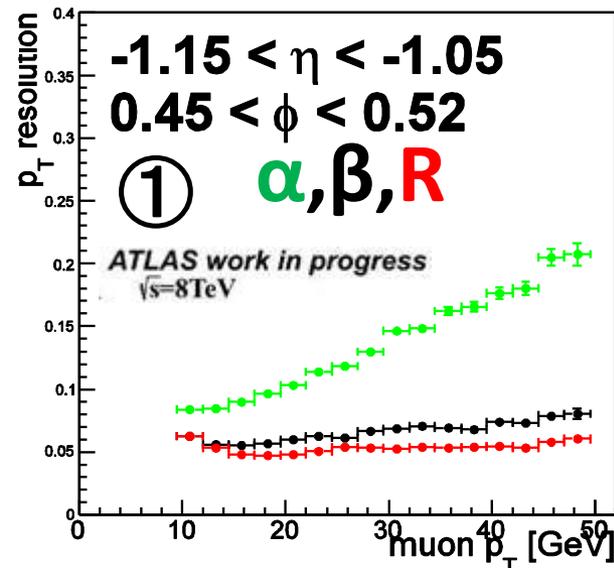
各変数における $p_T$ 再構成精度の振る舞い

( $p_T = 25\text{GeV}$ )

$\eta$ 領域	$\alpha$	$\beta$	$R$
$-1.15 < \eta < -1.05$	12%	6%	5%
$-1.25 < \eta < -1.15$	15%	8%	5%
$-1.35 < \eta < -1.25$	15%	10%	6%



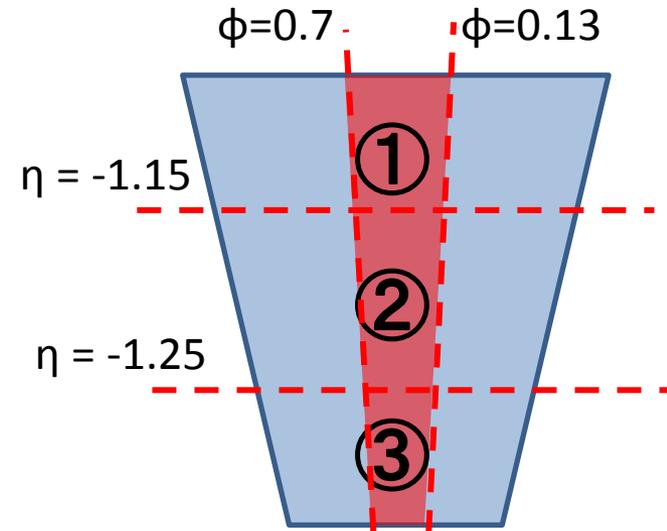
どの $\eta$ 、 $\phi$ 領域でも $R$ の再構成精度が最も高い



# $p_T$ 再構成精度の結果(for Large部)

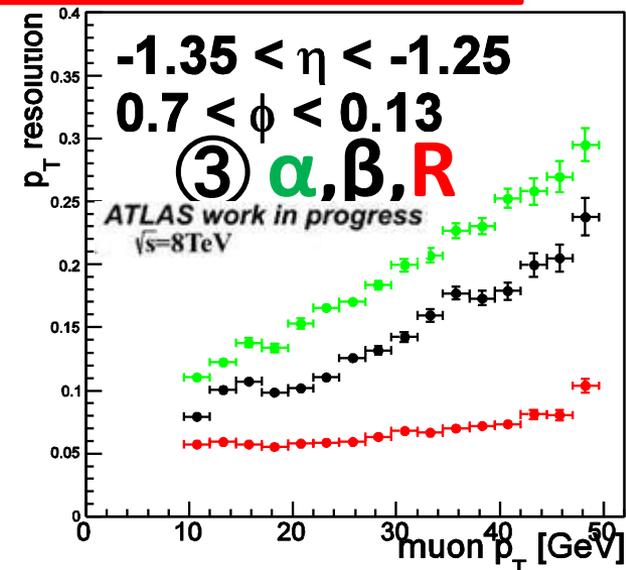
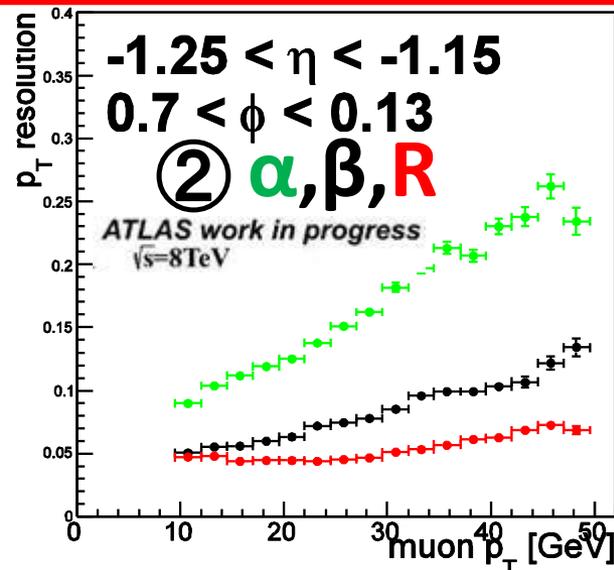
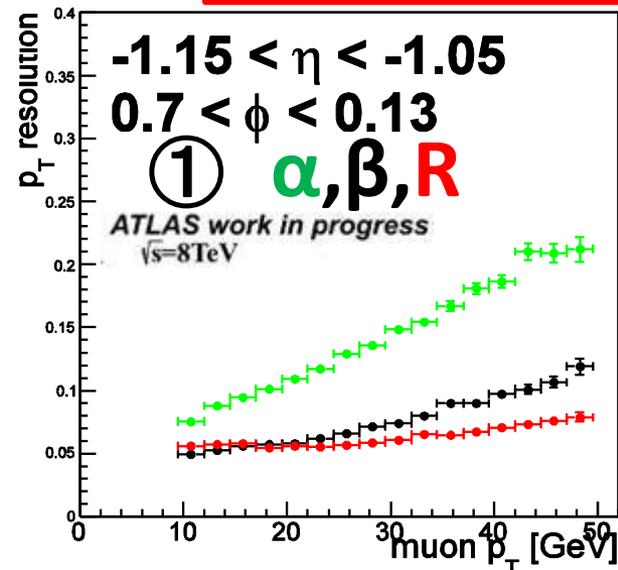
各変数における $p_T$ 再構成精度の振る舞い  
( $p_T = 25\text{GeV}$ )

$\eta$ 領域	$\alpha$	$\beta$	$R$
$-1.15 < \eta < -1.05$	15%	10%	6%
$-1.25 < \eta < -1.15$	17%	10%	6%
$-1.35 < \eta < -1.25$	20%	20%	10%



どの $\eta$ 、 $\phi$ 領域でも $R$ の再構成精度が最も高い

EEを用いるとSmall部、Large部共に $p_T$ 再構成精度が大幅に改善する

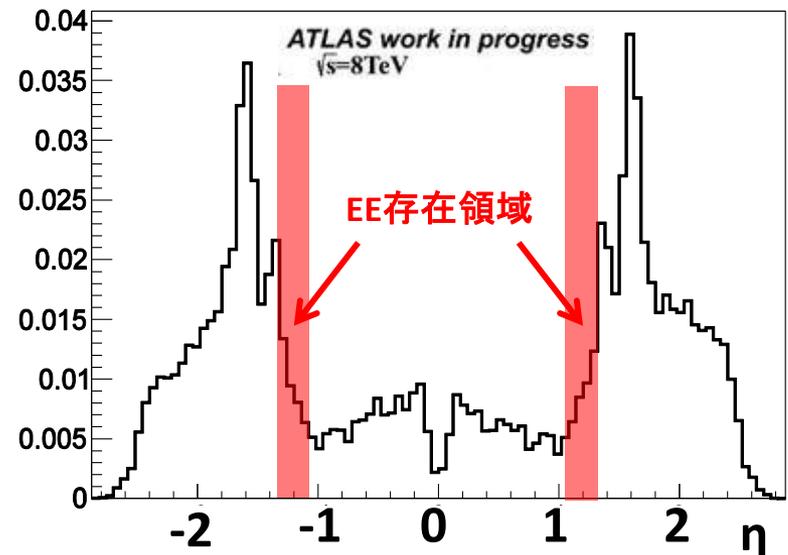
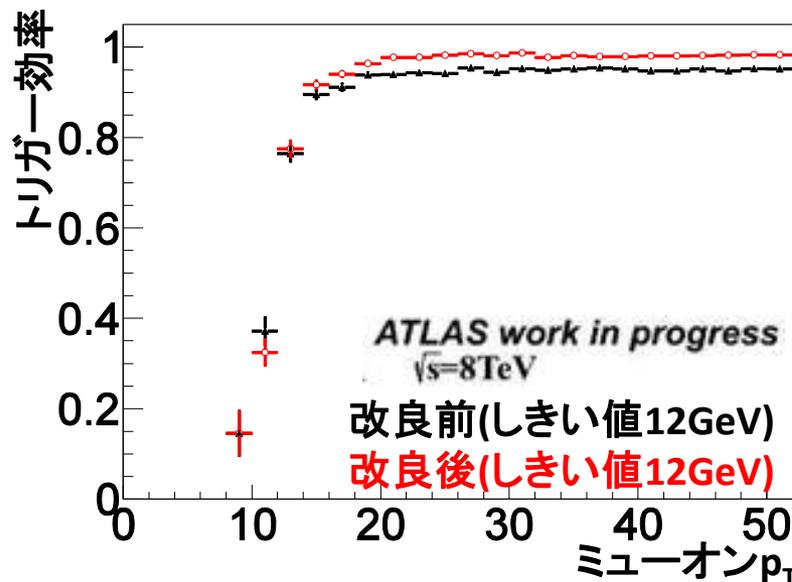


# トリガーしきい値とトリガー効率

MuonSAを改良、 $p_T$ にしきい値をかける(5,10,12,15,20GeV)

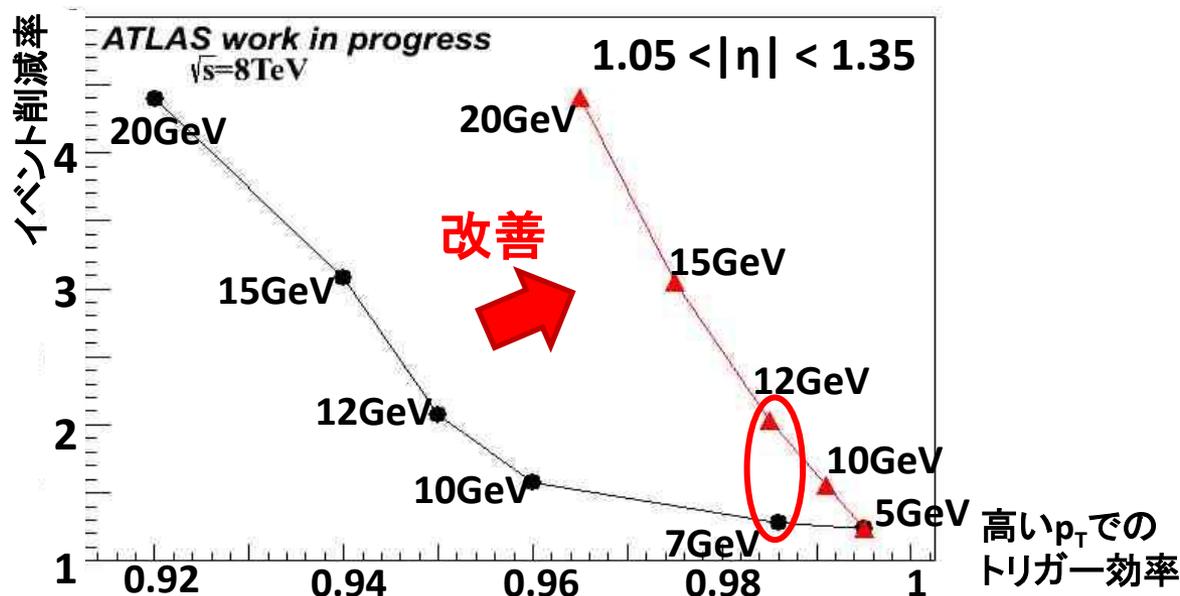
トリガー効率 = (しきい値以上のミュオン)/(MuonSAに入ったミュオン)  
イベント削減率 = (レベル1を通過したミュオン)/(しきい値以上のミュオン)

EEがある領域( $1.05 < |\eta| < 1.35$ )に対する  
高い $p_T$ 領域でのトリガー効率 & イベント削減率  
を測定



# イベント削減率

高い $p_T$ 領域でのトリガー効率と同じでも、イベント削減率が多い  
 ⇒ **EEの使用でしきい値を高く設定可能に**



レベル1に対する $1.05 < |\eta| < 1.35$ 領域のMuonSAで削減できるレート  
 2012年の瞬間最高ルミノシティ( $7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )での見積もり  
 レベル1レート: 全 $\eta$ 領域8.6kHz,  $1.05 < |\eta| < 1.35$ 領域0.8kHz

従来のMuonSA(しきい値7GeV)	改良後MuonSA(しきい値12GeV)
0.19kHz(2.2%)	<b>0.4kHz(4.7%)</b>

# Summary

- ・エンドキャップ、バレルの継ぎ目付近は磁場が不均一  
     $p_T$ 再構成精度が悪い
- ・不均一磁場中にEEが追加

## EEを用いたMuonSAでの $p_T$ 再構成精度の改良、しきい値の設定

- ・EEを使用して変数を定義、従来の変数との性能を比較  
    EEを使用した場合が最も再構成精度が良い  
    高い $p_T$ 領域で効率を保ちつつ、イベントを削減することが可能

今後増加が予測されるトリガーレートの削減に貢献できる