

I6aSH-10

ATLAS検出器におけるレベル2

ミュオントリガーの性能改良

野辺拓也(東工大)、石塚正基(東工大)、管野貴之(東工大)、久世正弘(東工大)、
島内明理(東工大)、徳宿克夫(高工研)、長野邦浩(高工研)、奥山豊信(東大理)、
小森雄斗(東大理)、道前武(東大理)、藏重久弥(神戸大理)、山崎祐司(神戸大理)

日本物理学会2011秋季大会

2011年9月16日

弘前大学



130th Anniversary in 2011

目次

1. LHCとATLAS実験
2. ミューオントリガーシステム
3. レベル2ミューオントリガーアルゴリズム
L2 Muon SA(muFast)の改善
4. 2011年運転での性能評価
5. まとめ

目次

1. LHCとATLAS実験

2. ミューオントリガーシステム

3. レベル2ミューオントリガーアルゴリズム

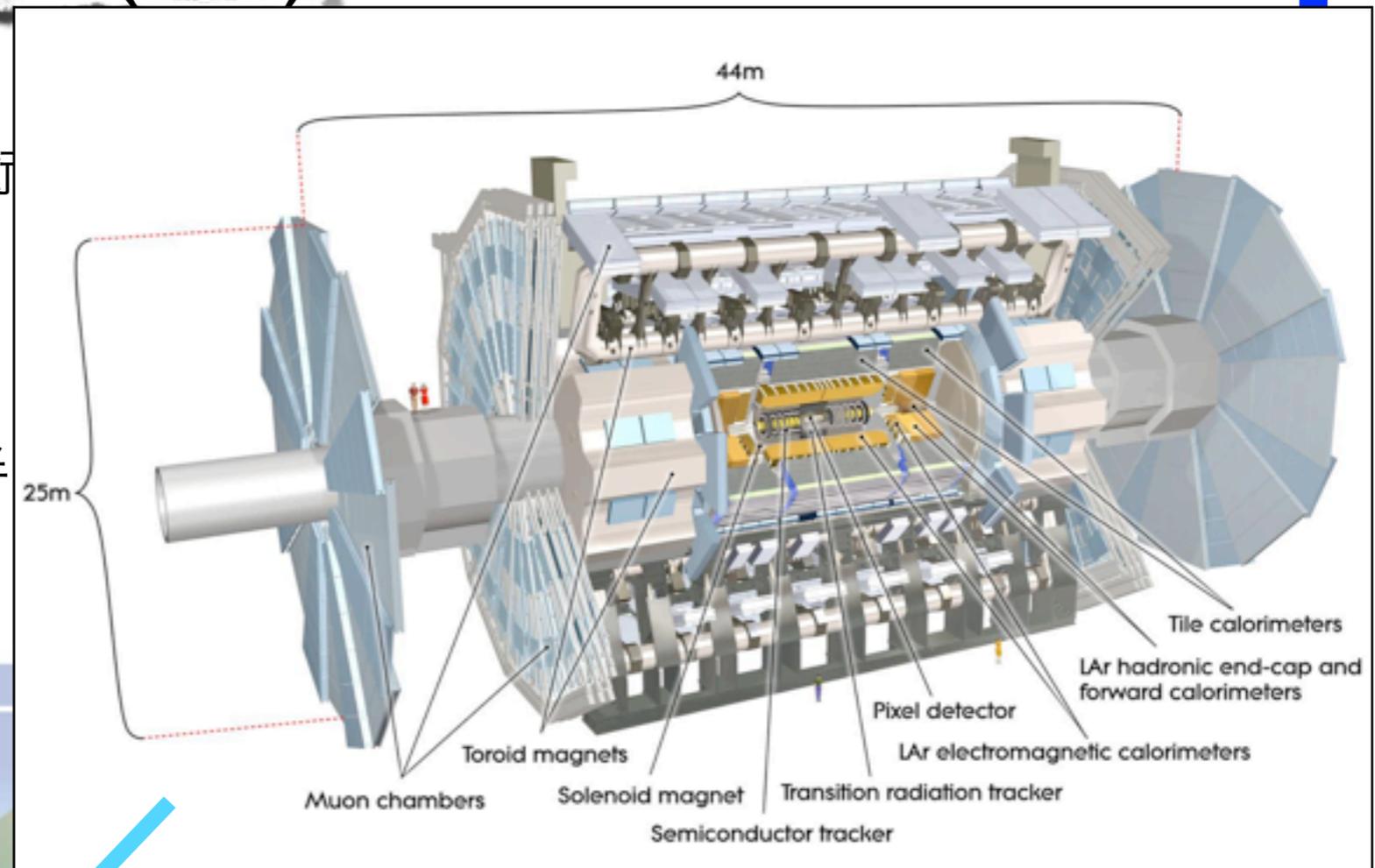
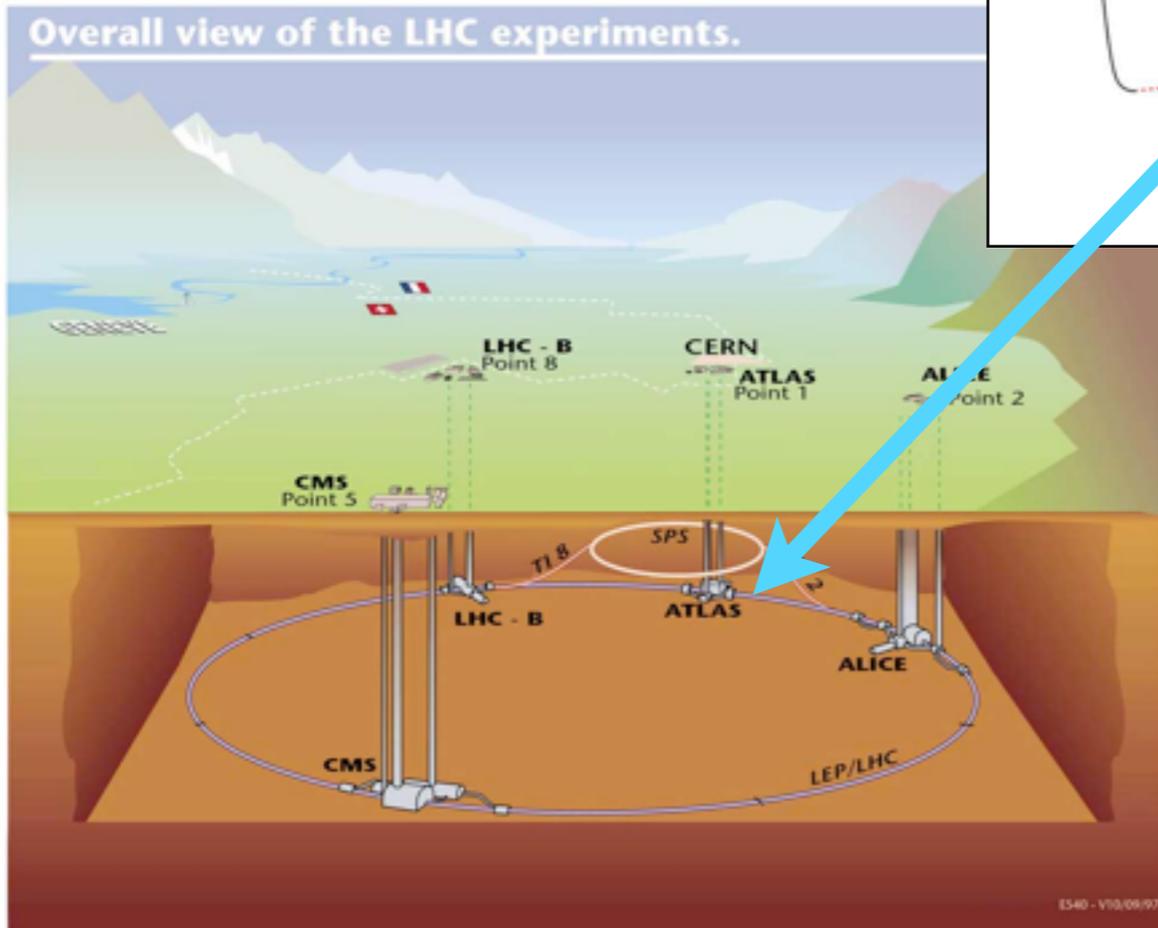
L2 Muon SA(muFast)の改善

4. 2011年運転での性能評価

5. まとめ

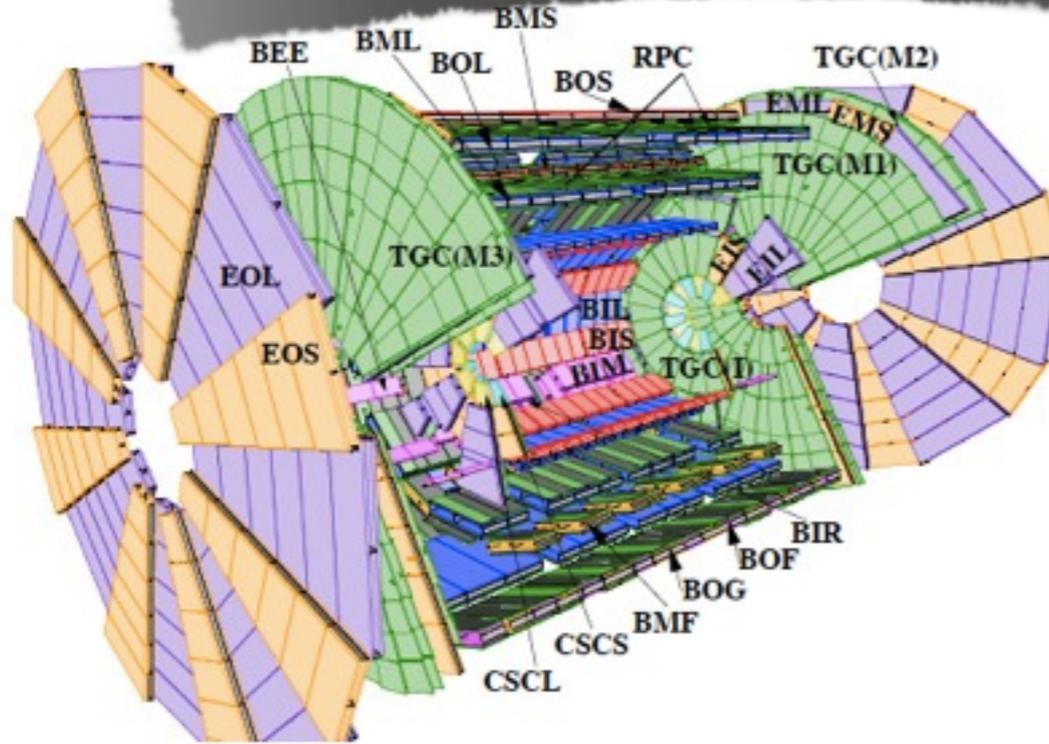
LHCとATLAS実験(1/3)

- LHC
- CERN(ジュネーブ)の陽子・陽子衝突加速器
- 重心系エネルギー7TeV(世界最高)
- 2012年まで稼働した後、約1年半一旦停止。その後、~14TeVでの衝突予定

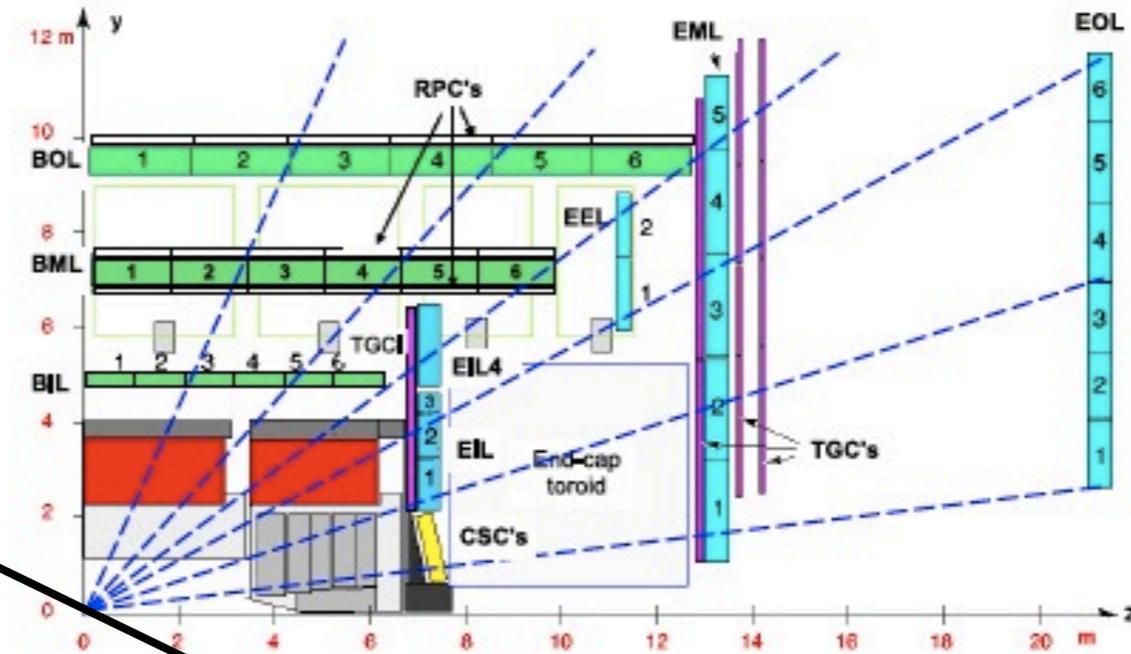
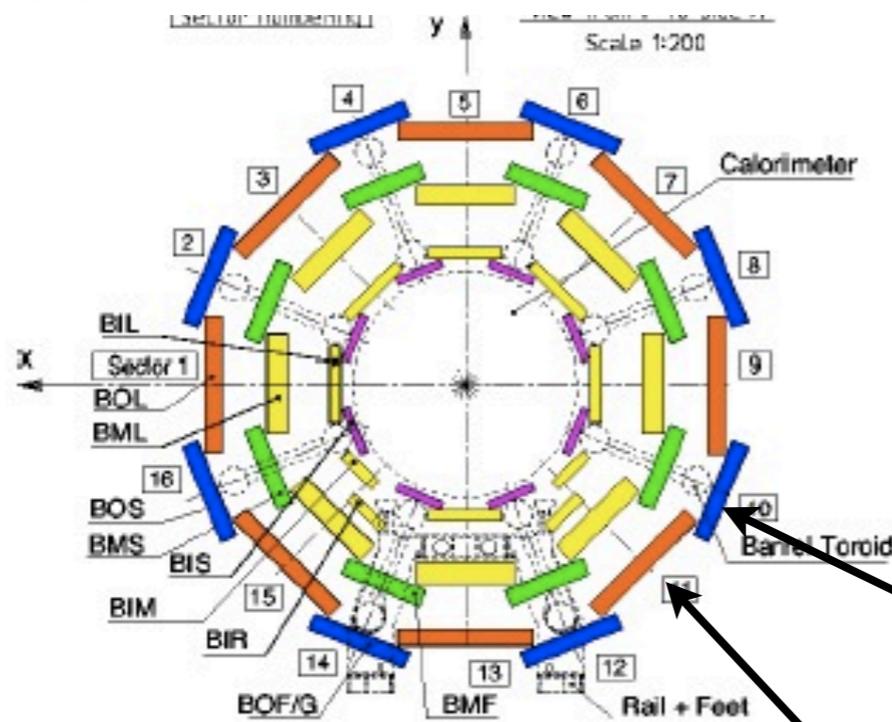


- ATLAS検出器
- LHCに設置された多目的検出器
- 立体角 $\sim 4\pi$ をカバー
- 日本グループは衝突点付近のシリコン検出器、ミュオントリガー検出器の設計~建設~運転に大きく貢献

LHCとATLAS実験(2/3)



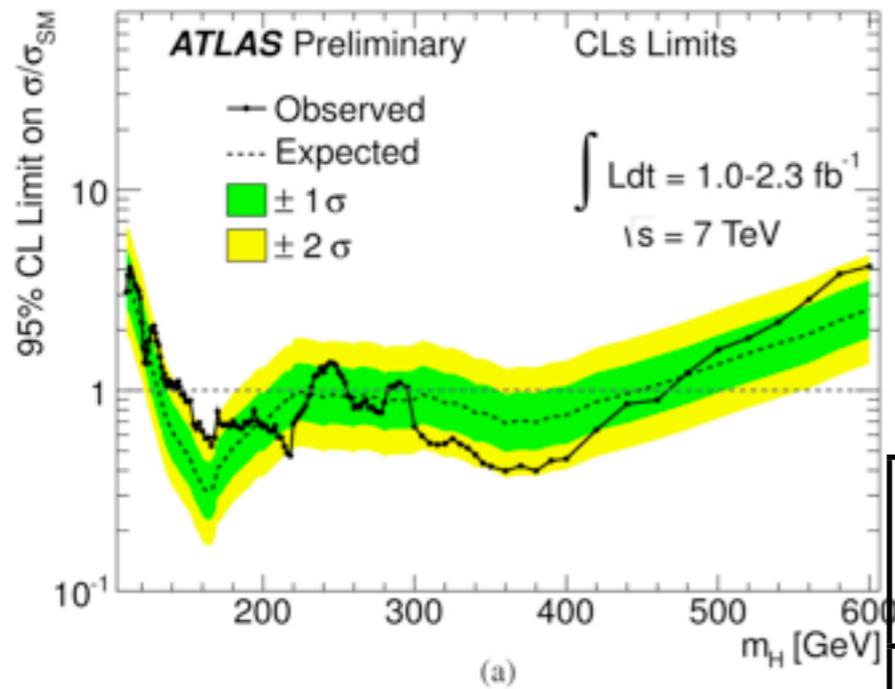
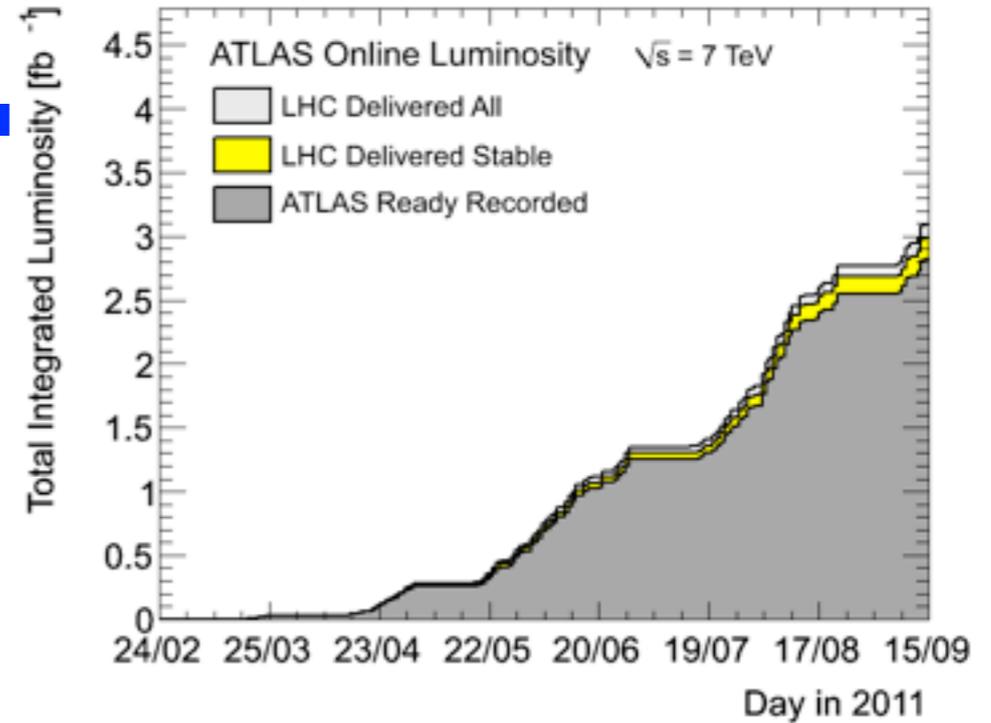
- Muon検出器
- MDT(Monitored Drift Tube):
高精度($<100\mu\text{m}$)飛跡検出器
- TGC@EndCap, RPC@Barrel:
ともにLVLIトリガー(後述)で用
いられる高速読み出しの検出器



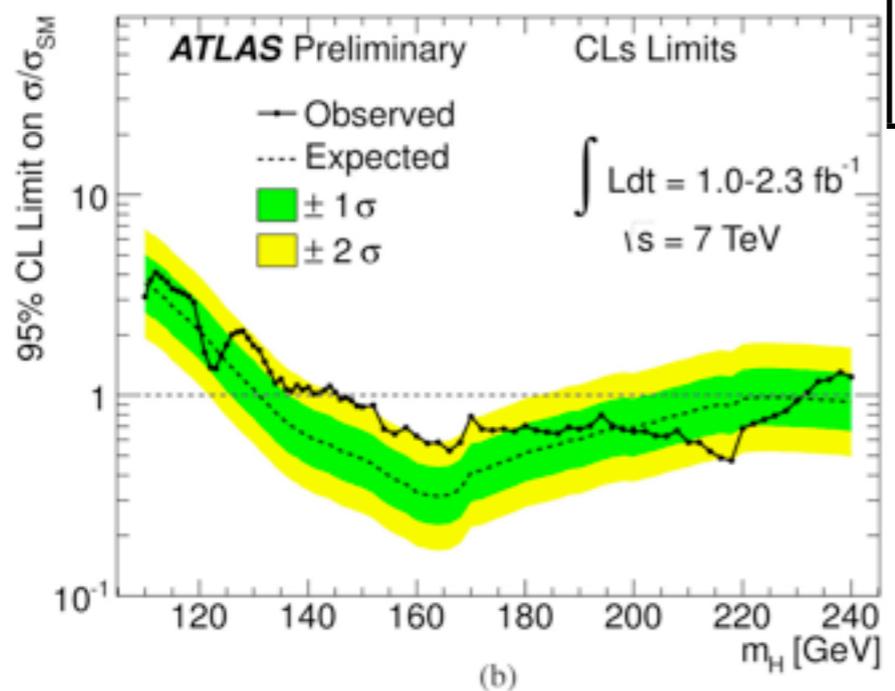
BarrelはLargeチェンバーとSmallチェンバーの入れ子構造。

検出器の足部分はSpecialチェンバーと呼ぶ

LHCとATLAS実験(3/3)



最高瞬間ルミノシティ	$3.3 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (ハドロン加速器で世界記録)
積分ルミノシティ	2.86 fb^{-1}



- ATLAS検出器は順調に統計を増やしており、2012年までの7TeV運転で $\sim 10 \text{ fb}^{-1}$ の取得を目指している
- 今後 $3-5 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の瞬間ルミノシティが見込まれる
- この1-2年でヒッグス粒子発見をはじめとした大きな成果が期待

Higgs探索結果@LP2011

<http://www.atlas.ch/news/2011/fig-1-82211.html>

目次

1. LHCとATLAS実験

2. ミューオントリガーシステム

3. レベル2ミューオントリガーアルゴリズム

L2 Muon SA(muFast)の改善

4. 2011年運転での性能評価

5. まとめ

ミューオントリガーシステム

- ATLAS検出器の衝突頻度=40MHz(デザイン)
→その全てを記録する事は不可能⇔興味のあるイベントは確実に記録する
→オンラインで既に複雑で精度の高い選別=トリガーが必要
(記録頻度~200Hz。 rejection factor=20M/200=100,000)
- ATLASでは3段階のトリガーシステム
電子やミューオン、 τ 、ジェットなどといった特徴的な信号を判別して同定し、それらの"オブジェクト"を使った汎用な論理でトリガーする。

Muon Candidate

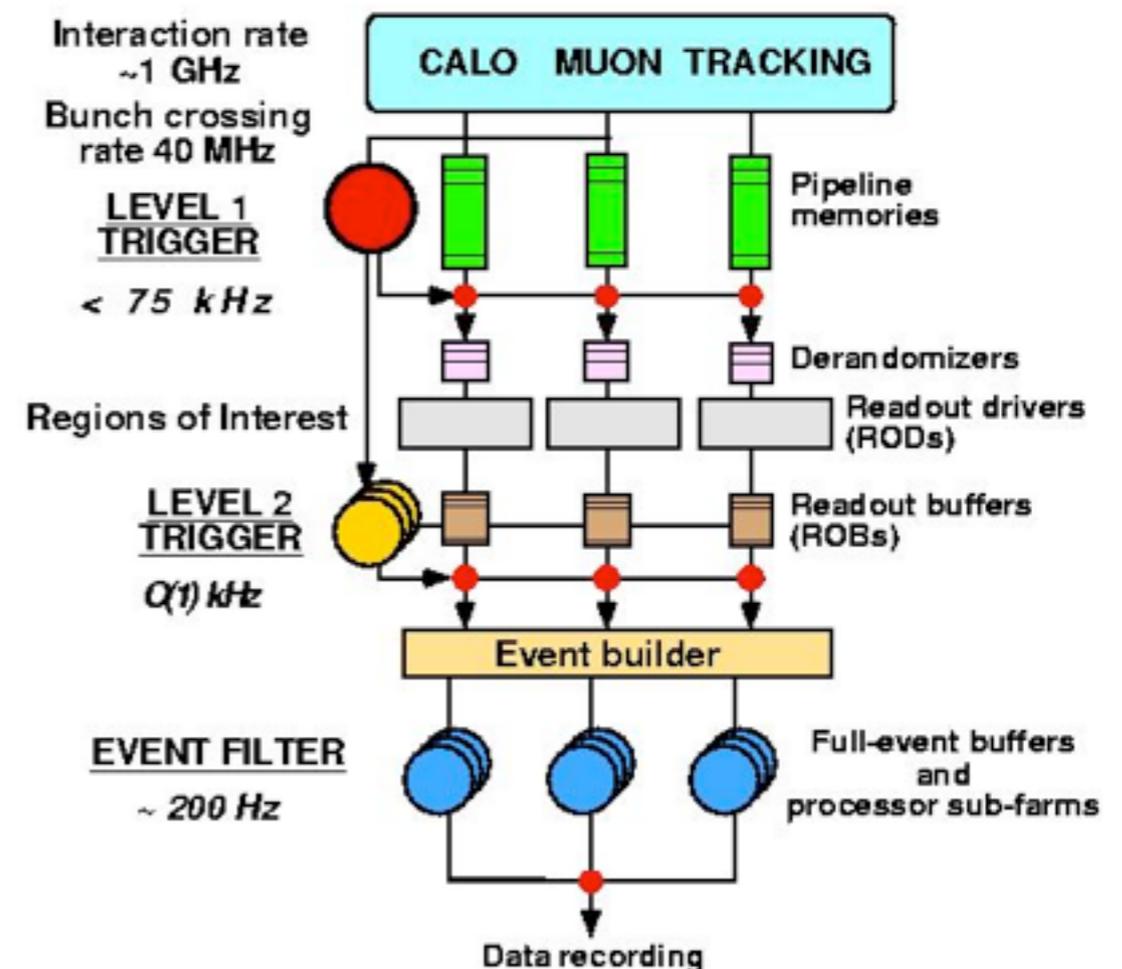
LVL.1 高速選別(2.5 μ sec)。ハードウェア(完全同期)によって実現。RoI(Region of interest)情報をLVL.2に渡す

LVL.2 ソフトウェアによる再構成。
RoI情報をもとにより精度の高い選別

L2 Muon SA: Muon検出器の情報のみを用いて(p_T , η , ϕ)を計算

L2 Muon CB: L2 Muon SAの情報とInner検出器の情報を組み合わせ、より精度の高い(p_T , η , ϕ)を計算

Event Filter オフラインとほぼ同様な再構成



L2 Muon SA トリガー(muFast アルゴリズム)

- LVL1 RoI 情報をもとに、ミューオン検出器の情報のみを用いて p_T, η, φ を再構成する(ソフトウェア)
- トリガーレートを $<75\text{kHz}$ から $O(1)\text{kHz}$ まで下げる
- Inner 検出器の情報を用いる L2 Muon CB トリガーへ情報を渡す

研究の背景

- 2010年運転($\sim 50\text{pb}^{-1}$)でいくつかの問題点が見つかった
muFastでは設計値よりも p_T 分解能が悪く、信号に対する効率を守るためレベル2での選別をせずに下流のトリガーに渡した
- 2011年運転(既に $\sim 3\text{fb}^{-1}$!)ではレベル2レートが上昇する事が予測されており、muFastでより良い p_T 分解能を出し、カットをかける必要があった

目次

1. LHCとATLAS実験

2. ミューオントリガーシステム

3. レベル2ミューオントリガーアルゴリズム
L2 Muon SA(muFast)の改善

4. 2011年運転での性能評価

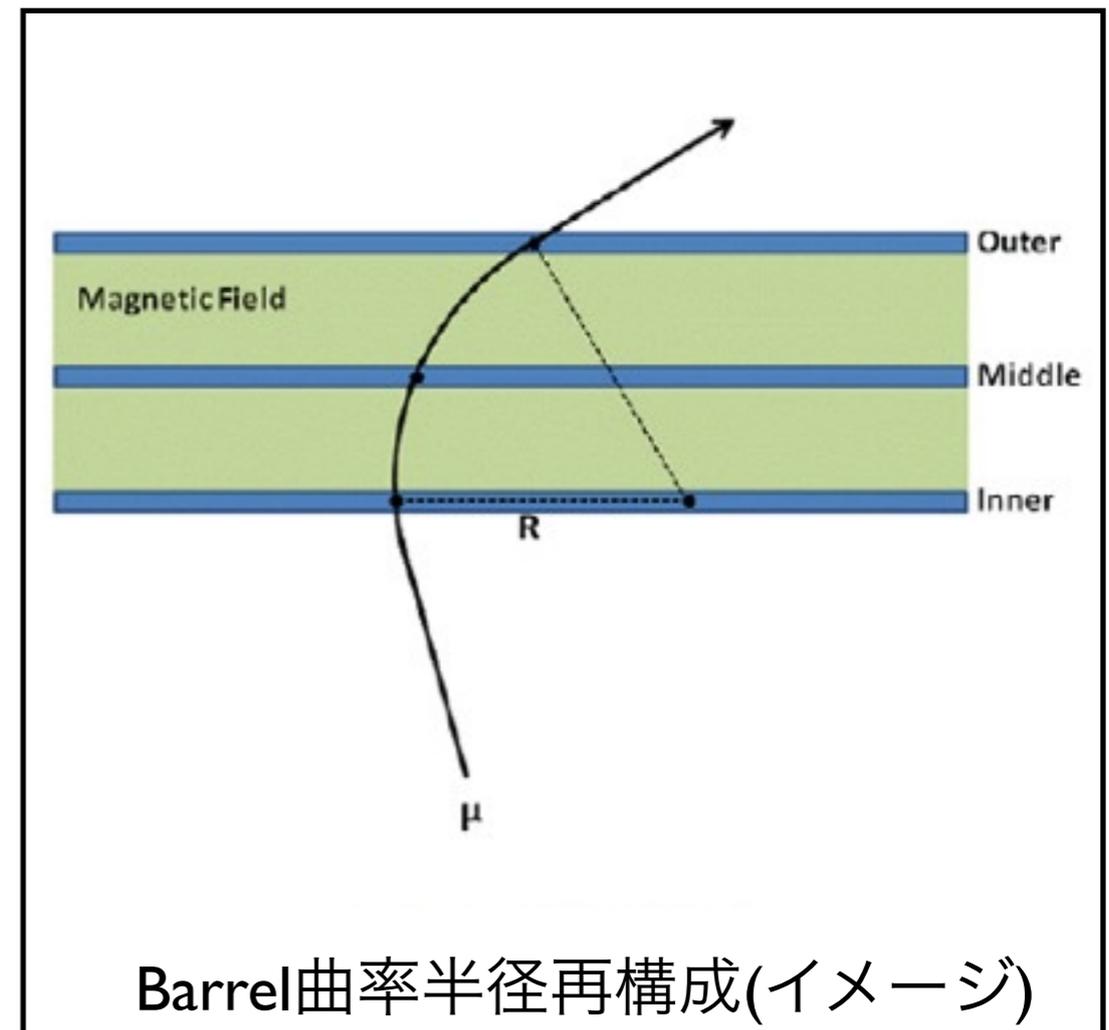
5. まとめ

muFast Barrel領域(1/2)

- LVL.1から渡されたRoI情報をもとに、三層あるMDTのヒット情報から円を再構成。
二層しかヒットがない場合も原点を仮定してフィット可能
- 曲率半径Rから一次式で近似し、 p_T を算出する(トリガースピードを優先)

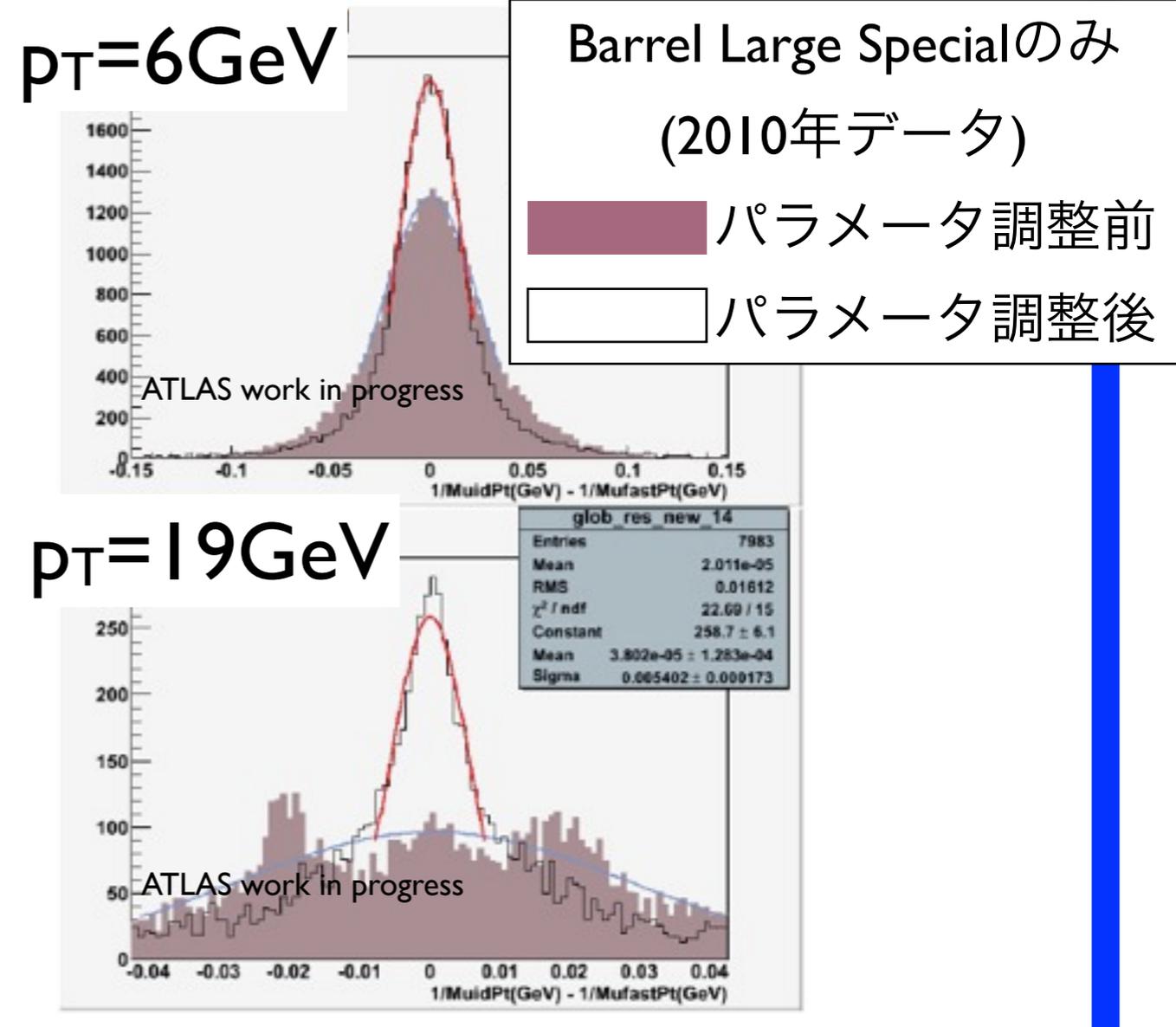
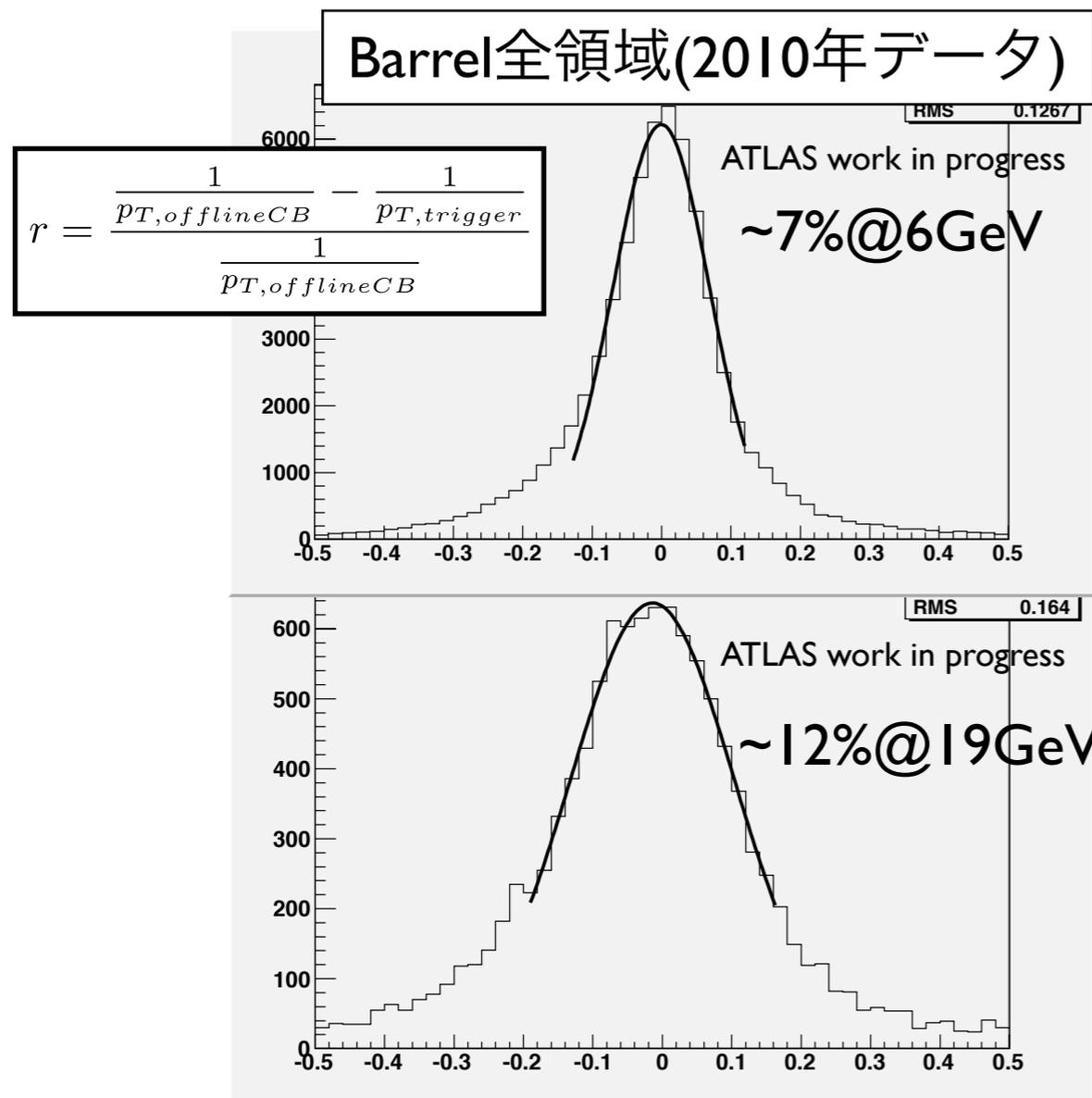
$$p_T = A_{ij} \times R + B_{ij}$$

- 傾きAは磁場依存、切片Bはエネルギー損失に依存するパラメータ
- 磁場は厳密に一様ではない。位置によって同じ p_T のミュオンでも曲がり方が異なる
→ 検出器をチェンバー毎に $\eta(\theta)$ 方向に30領域、 φ 方向に30領域に区切り、それぞれの領域で傾きAと切片Bを求めたテーブルを用意
(i: η bin number, j: φ bin number)
- 実験開始前のモンテカルロシミュレーションでの検出器の位置・磁場・物質が正しいとしてパラメータを決定していた



muFast Barrel領域(2/2)

- Barrel領域の大半では、2010年のデータで再構成された p_T は比較的良い分解能を示した(左下図)。
- 検出器の足部分(Specialチェンバー)では実際の検出器が正しい位置よりズレてしまっており、分解能が悪かった
→2010年データを用いて p_T 再構成のためのパラメータ(A, B)を再調整(右下図)

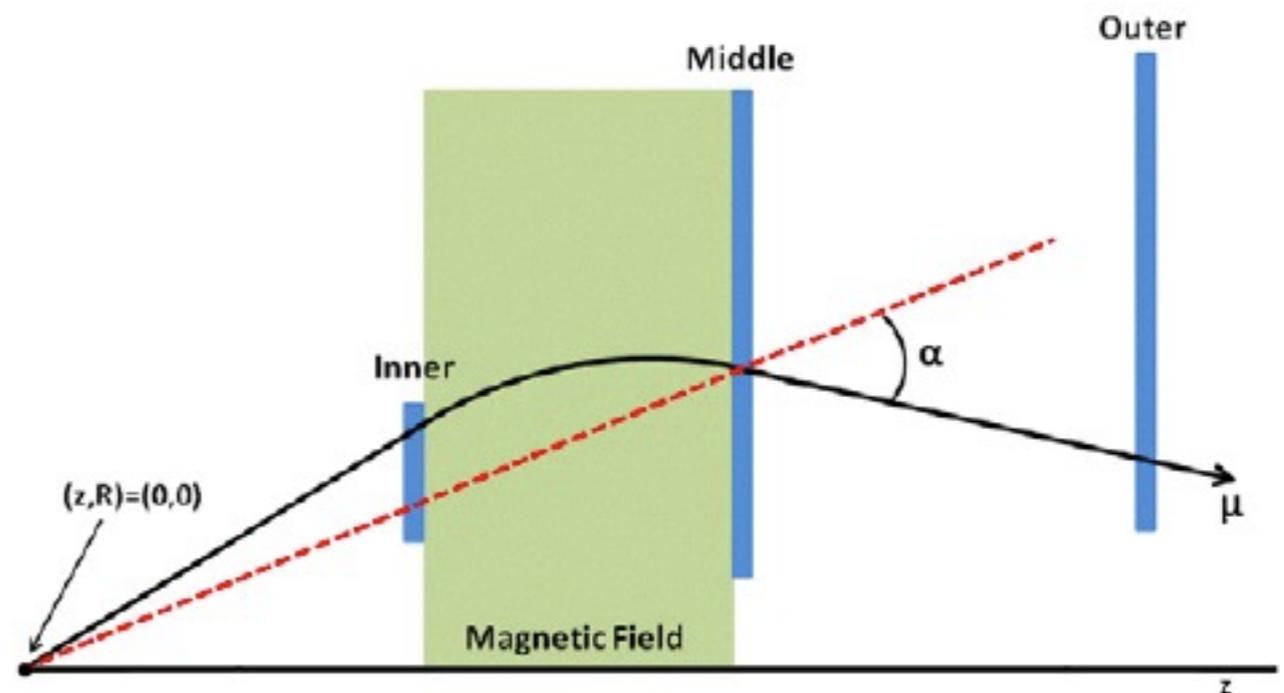


muFast EndCap領域(1/3)

- 原点とMiddle MDTヒットを結んだ直線とMiddleとOuter MDTヒットを結んだ直線の為す角 α を用いる(Outerにヒットが無い場合はMiddleでの傾きを用いる)。 α は曲率半径R依存の量
- α と $1/p_T$ の関係を一次式で近似し p_T を算出していた
- EndCapでもチェンバーを η 方向に30, φ 方向に12分割し、そのそれぞれの領域で p_T と α を関係付けるパラメータのテーブルを用意

$$\frac{1}{p_T} = A_{ij} \times \alpha + B_{ij}$$

α を用いる理由: LVL1トリガーはMiddle層で出される=Middle層のヒットをもとに再構成を行うことで高い検出効率が期待できる。EndCapはBarrelと異なり磁場が複雑なので、トリガー効率を最優先して簡単な p_T 再構成を行う設計になっていた(1次関数の使用etc)。

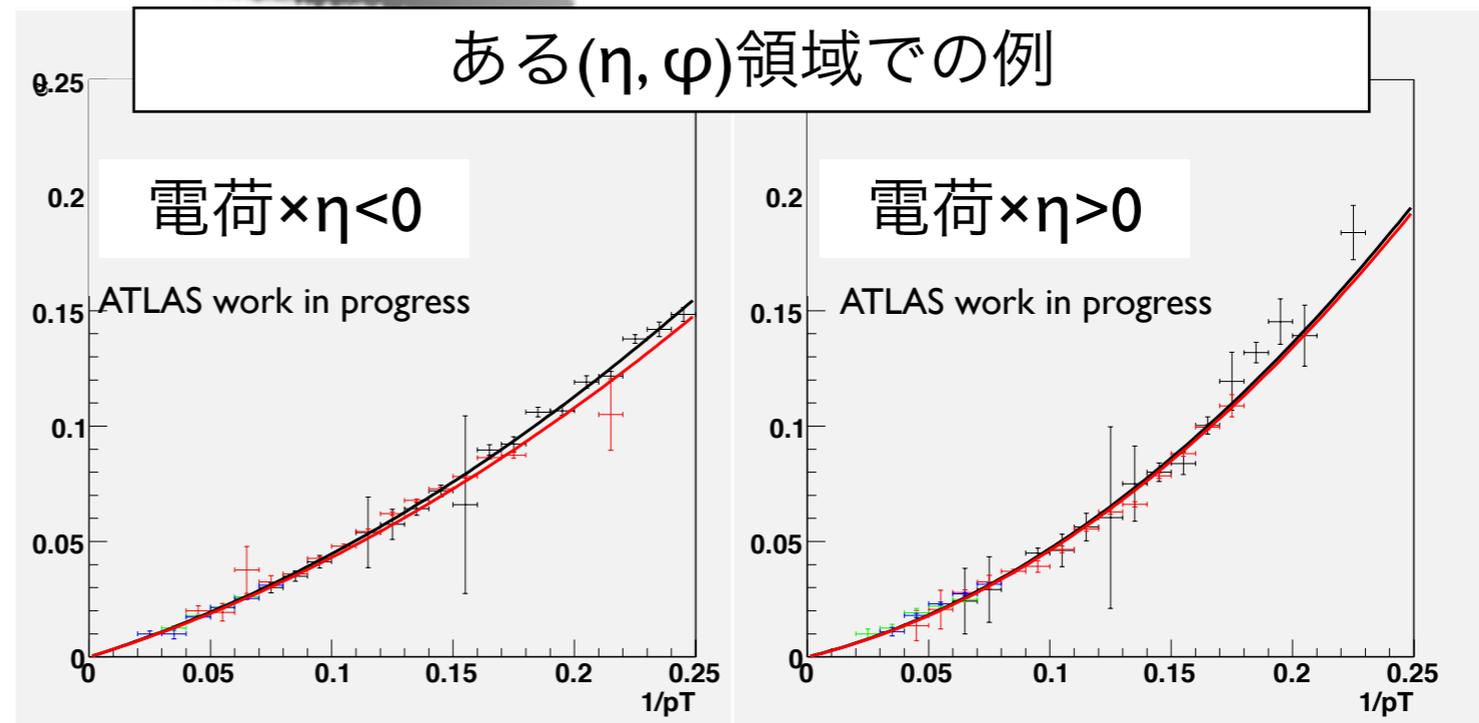
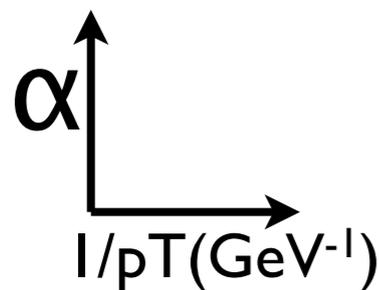


muFast EndCap領域(2/3)

各点: データ(2010)

黒線: フィット結果

赤線: MCのフィット結果



- EndCapでもパラメータの再調整を行った。(2010年データ、最新のMC両方)
- Data/MC双方で、 $1/p_T$ と α の間は比例関係でない→直線近似だと再構成される p_T にバイアス(次頁)
- 2010年では効率を最優先して p_T がバイアスしたまま運転していた(大きな誤差付きで下流のトリガーに渡していた)が、2011年運転ではレートの問題からより高い分解能が求められた
- 様々な関数を試みた結果、トリガースピードも考慮して二次関数でのフィットを採用

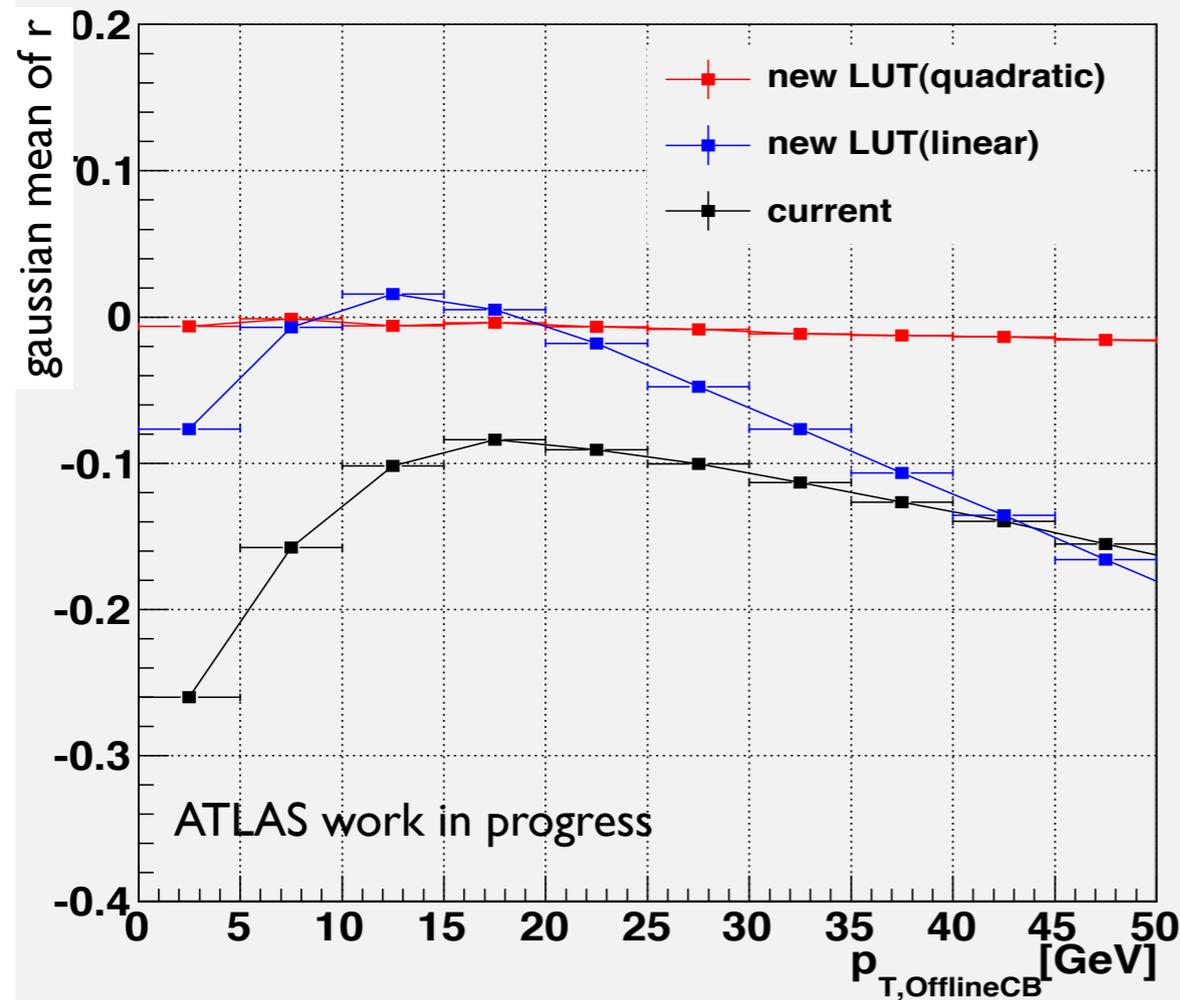
$$\alpha = A + B \left(\frac{1}{p_T} \right) + C \left(\frac{1}{p_T} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{p_T} = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4C\alpha}}{2C}$$

定数 $A=0$ に固定することでパラメータの数を増やさない、 p_T に上限値を与えない。

- DataとMCはよく合っている

muFast EndCap領域(3/3)

η で9つに分けたI領域($|\eta| \sim 1.6$)



黒: 古いパラメータで再構成した p_T を用いて計算した p_T のズレ分布
 青: 1次関数を用いて再調整したパラメータで再構成した p_T を用いて計算した p_T のズレ分布
 赤: 2次関数を用いて調整したパラメータで再構成した p_T を用いて計算した p_T のズレ分布

$$r = \frac{\frac{1}{p_{T,offlineCB}} - \frac{1}{p_{T,trigger}}}{\frac{1}{p_{T,offlineCB}}}$$

- 1次関数によるパラメータ調整では、 p_T 分布に p_T 自身に依存したバイアスが生じてしまう(青線)
- 2次関数による p_T 再構成(赤線)では p_T のズレはほぼ消え、その結果分解能も大きく向上(後述)

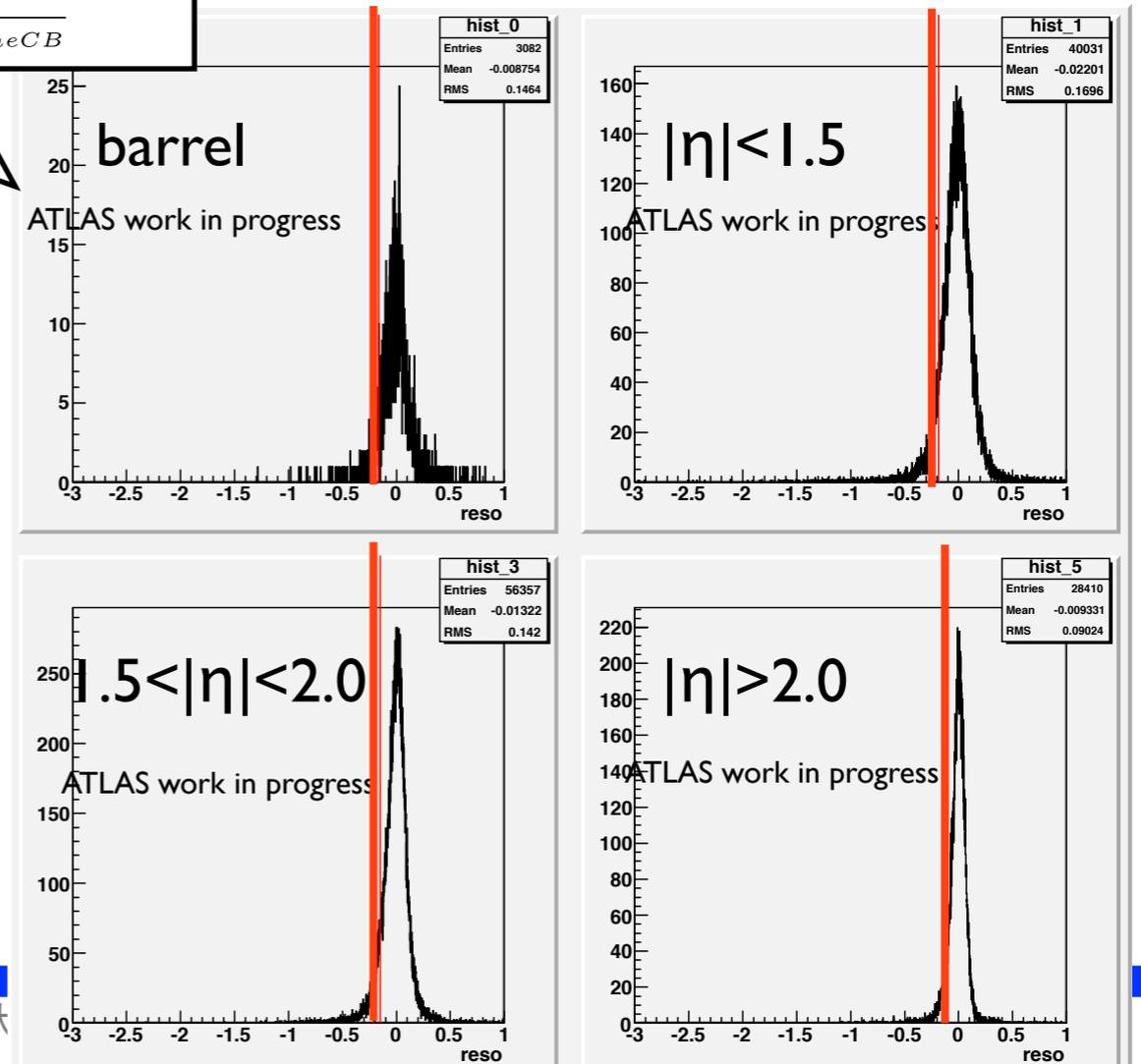
muFastでのしきい値の設定

- 各しきい値(4GeV, 6GeV, 10GeV, ... etc.)付近の p_T のミュオンのうち95%がpassするようなmuFastでのしきい値を決定
- これによってLVL2レート的大幅な削減が期待される→LHCの爆発的な瞬間ルミノシティの上昇にそなえた
- これらの改善はすべて2010年データを用いて行い、2011年運転の開始からオンラインで導入されている

各領域でのr分布($5 < p_T < 7 \text{ GeV}$)。
赤実線はシグナルの95%をカバーする線

$$r = \frac{\frac{1}{p_{T,offlineCB}} - \frac{1}{p_{T,trigger}}}{\frac{1}{p_{T,offlineCB}}}$$

6GeVの例	Threshold
Barrel	5.04GeV
$1.05 < \eta < 1.5$ (磁場が安定しない領域は カットを緩めている)	4.81GeV (4.37GeV)
$1.5 < \eta < 2.0$ (磁場が安定しない領域は カットを緩めている)	5.01GeV (3.77GeV)
$ \eta > 2.0$	5.25GeV



目次

1. LHCとATLAS実験

2. ミューオントリガーシステム

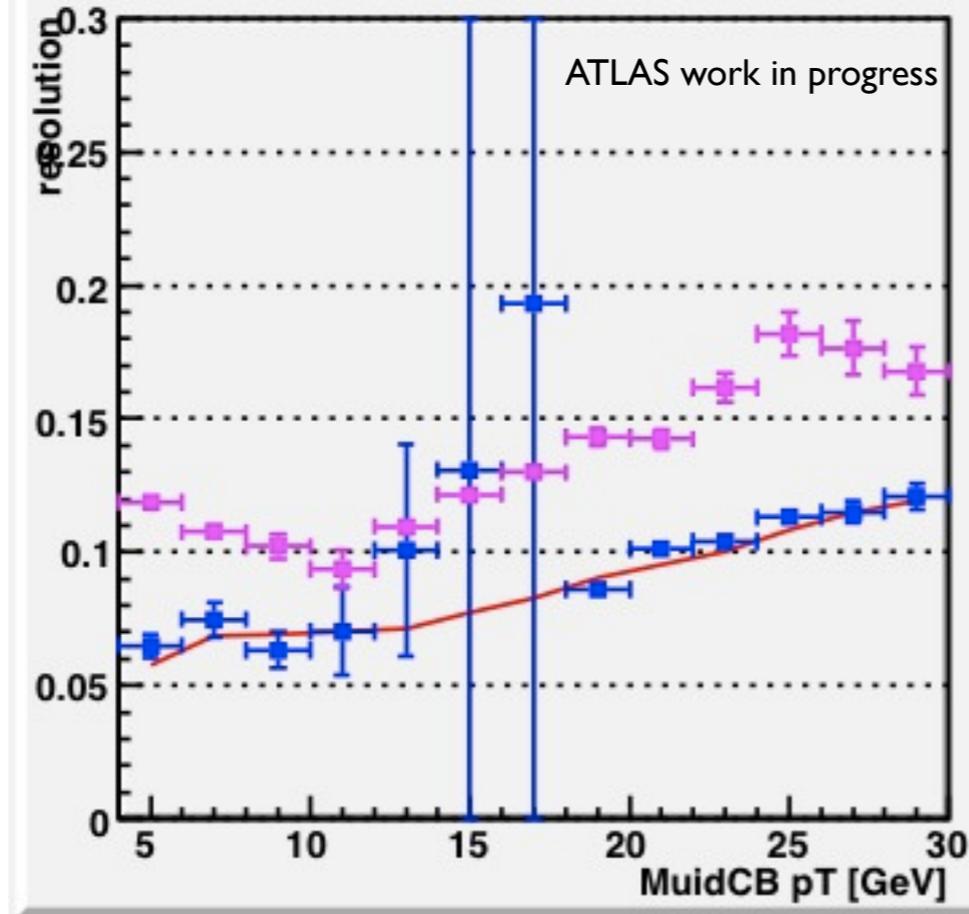
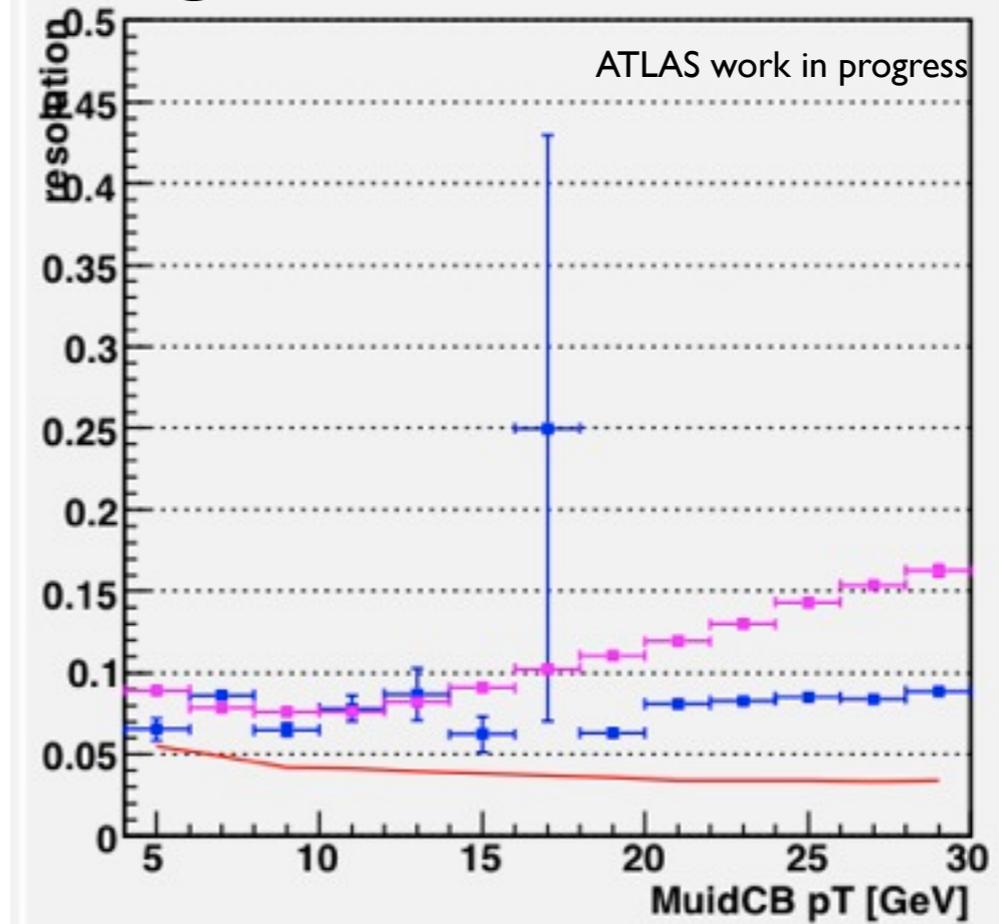
3. レベル2ミューオントリガーアルゴリズム
L2 Muon SA(muFast)の改善

4. 2011年運転での性能評価

5. まとめ

2011年運転での性能評価(1/2)

EndCap

 η で9つに分けたI領域($|\eta| \sim 1.9$)Barrel
Large Chamber

- I/p_T分解能分布(EndCap:Barrel)
- EndCapでは2010年データと比較して分解能が大幅に(2倍)向上している。また、MCがデータをよく再現している
- Barrelの一部の領域(足部分)ではまだ改善の余地があるものの全体としては2倍の改善。MCとあまり合っていない(調査中)

ピンク:2010データ

青:2011データ

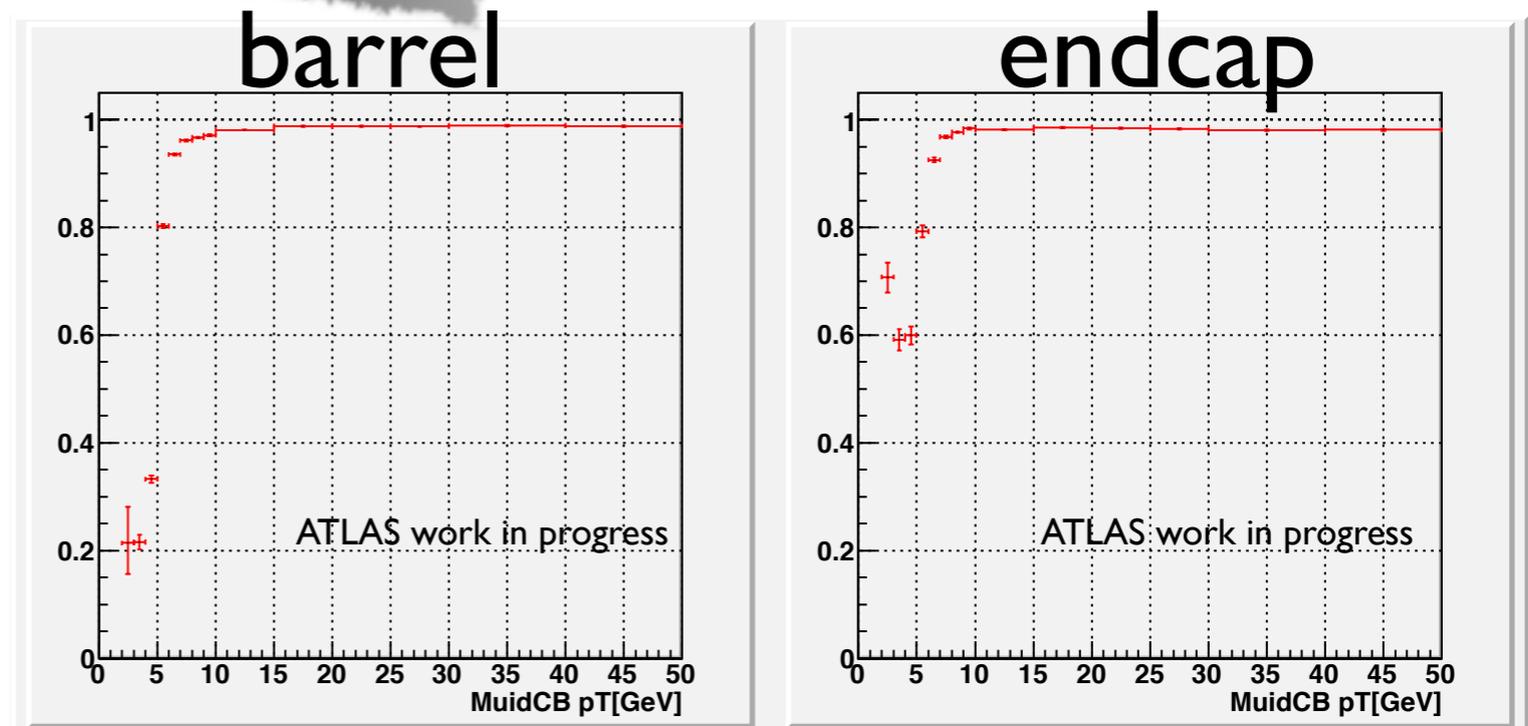
赤線:MC

2011年運転での性能評価(2/2)

効率

(muFastで6GeVカット)

LVL.1に対する効率~99%



Z粒子からの2muonを用いたprompt muonに対する
トリガー効率の研究は管野トーク(16aSH8)参照

レート

	Rate@muFast (2010年)	Rate@muFast (2010年×10統計)	Rate@muFast (2011年)
4GeV cut@muFast	~36kHz@ 2×10^{32}	~360kHz@ 2×10^{33}	~70kHz@ 2×10^{33}
6GeV cut@muFast	~1.4kHz@ 2×10^{32}	~14kHz@ 2×10^{33}	~8kHz@ 2×10^{33}

信号効率を保ちつつ、レート的大幅な削減に成功

目次

1. LHCとATLAS実験

2. ミューオントリガーシステム

3. レベル2ミューオントリガーアルゴリズム

L2 Muon SA(muFast)の改善

4. 2011年運転での性能評価

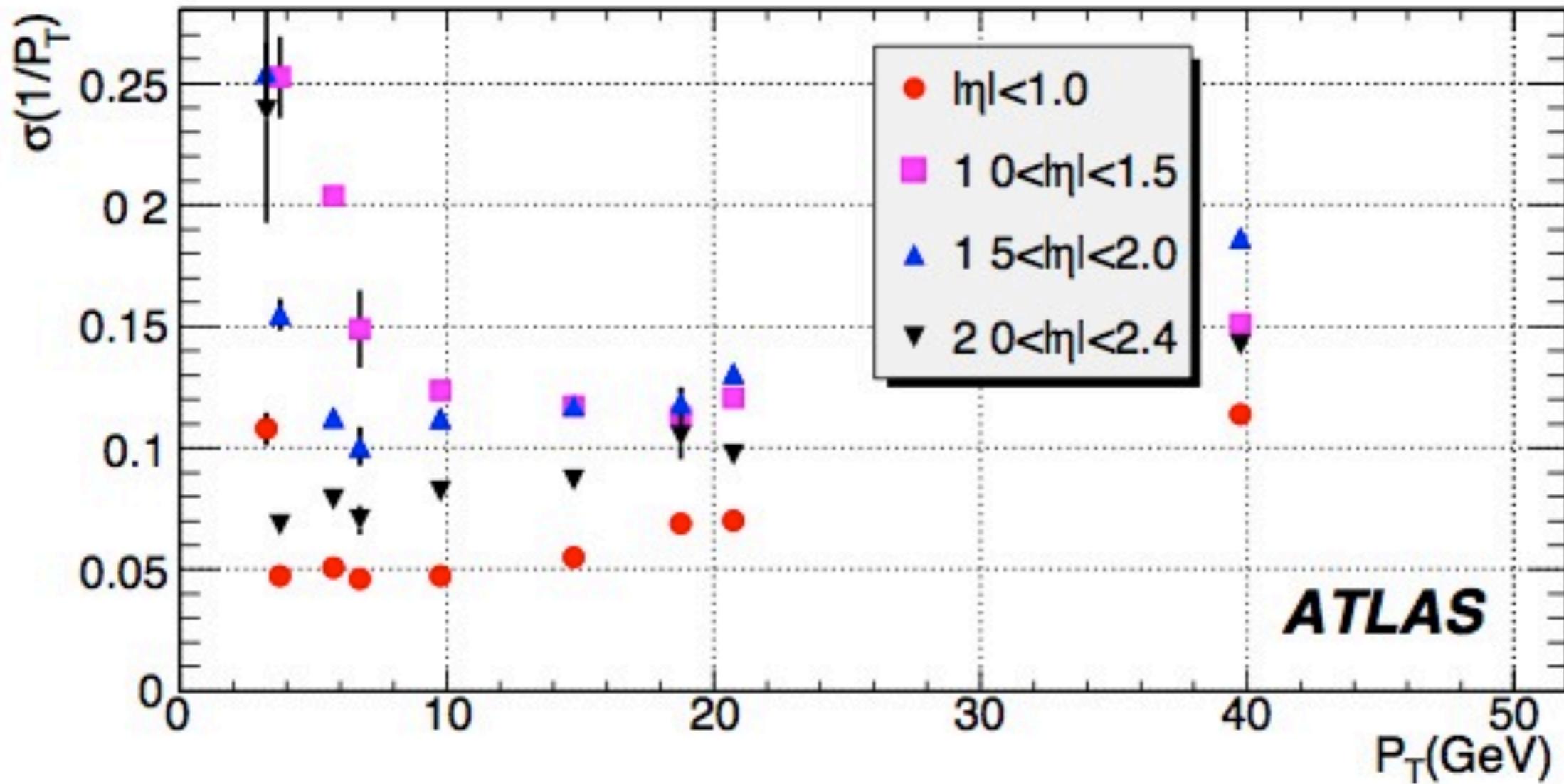
5. まとめ

まとめ

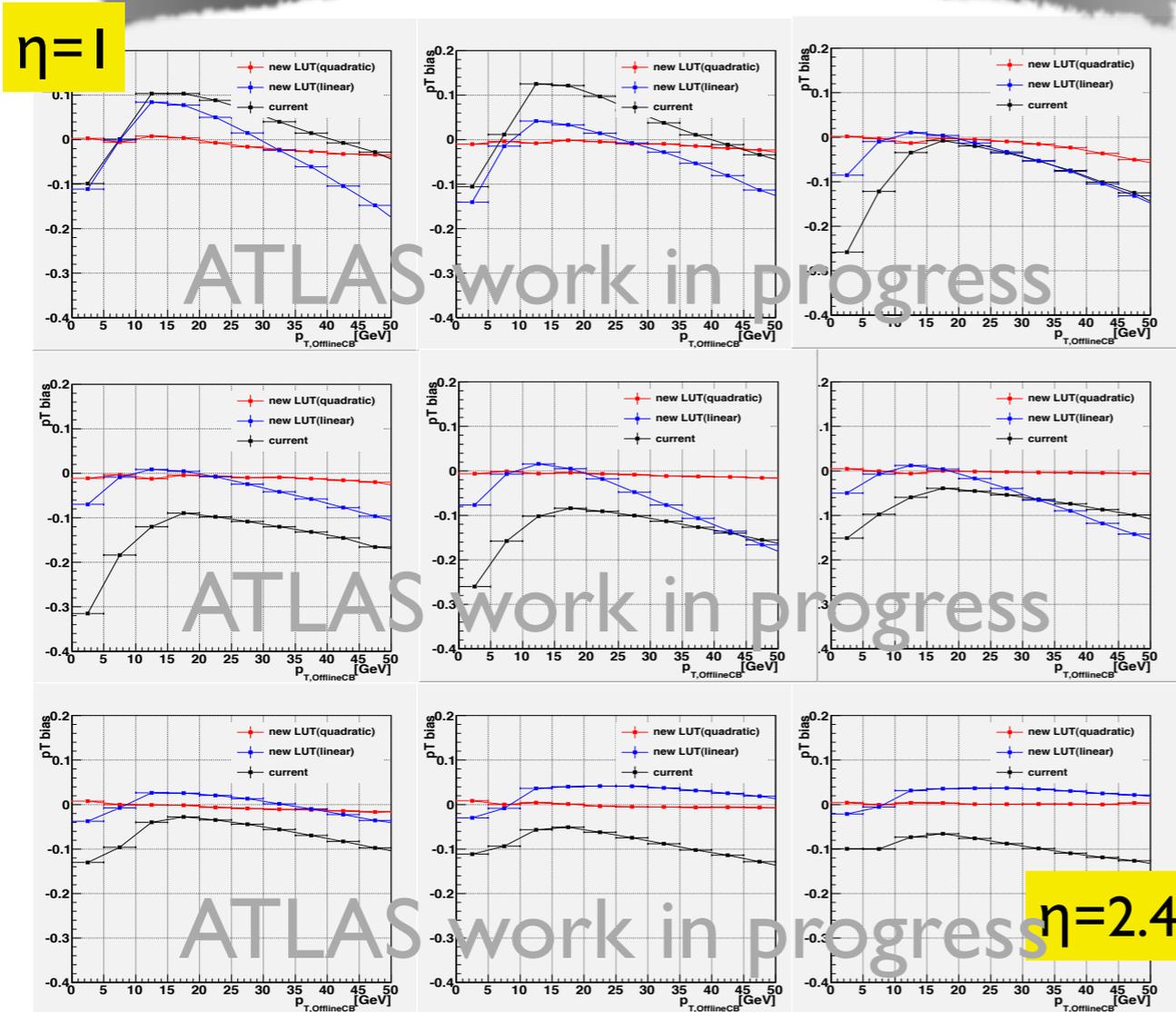
- LHC/ATLAS実験は2012年末までに $\sim 10\text{fb}^{-1}$ のデータ取得を目指して順調に稼働中
- L2 Muon SAトリガー(muFast)において横方向運動量の再構成方法を一新し、2010年データを用いて分解能が向上するように調整した
- 2011年のデータで、期待通りの性能が得られる事を確認した
- これによってmuFastにおいて厳しいカットを課す事が可能となり、**信号に対する効率を保ちつつより大きなレート削減を得た**
- 今後もLHCの瞬間ルミノシティは急激に上昇する予定($3\text{-}5 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)であり、この改善はATLAS実験のデータ収集に対する大きな貢献

backup

$1/p_T$ 分解能(デザイン値)



muFast EndCap領域(3/3)



黒: 古いパラメータで再構成した p_T を用いて計算した p_T バイアス分布
 青: 1次関数を用いて再調整したパラメータで再構成した p_T を用いて計算した p_T バイアス分布
 赤: 2次関数を用いて調整したパラメータで再構成した p_T を用いて計算した p_T バイアス分布

gaussian mean of r

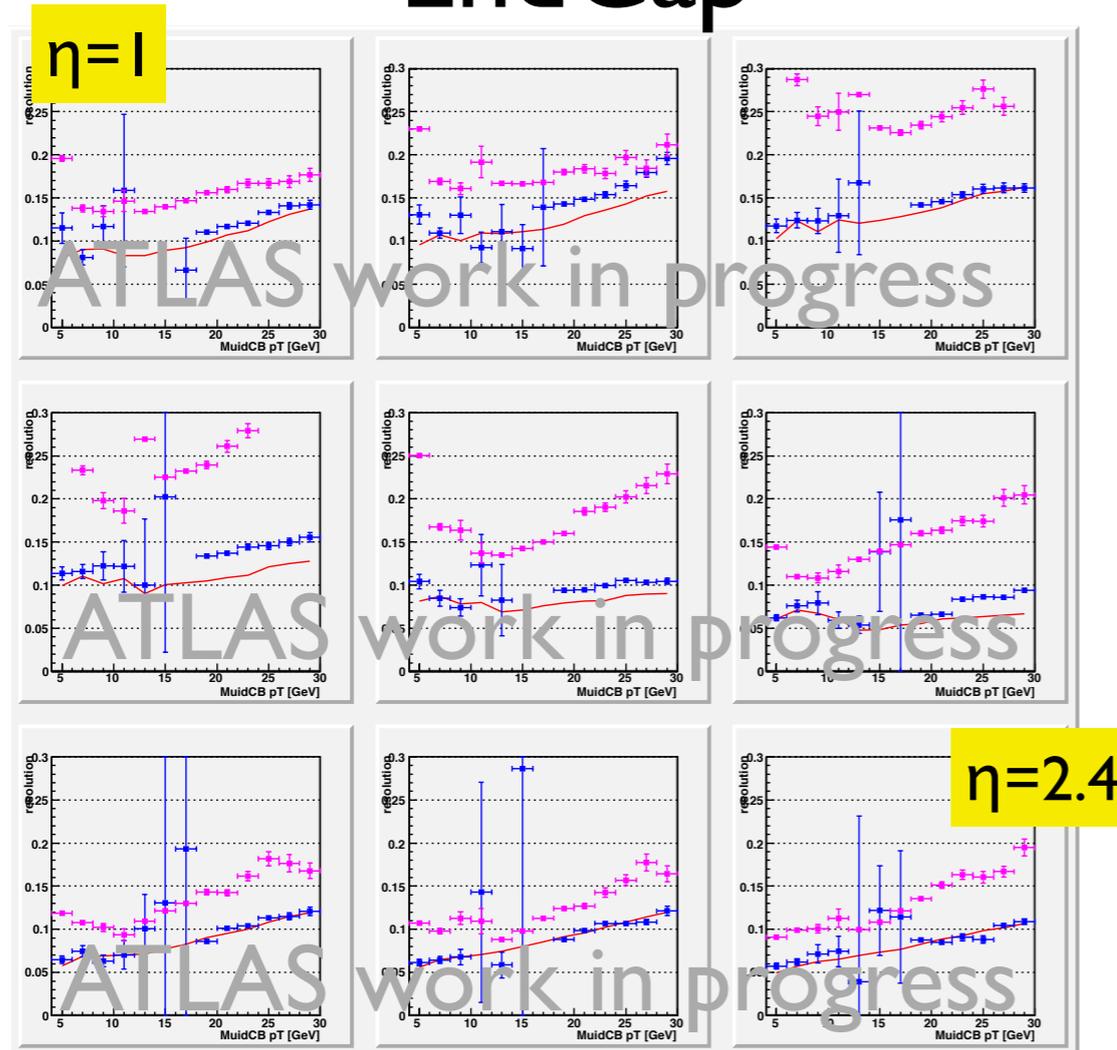
$$r = \frac{\frac{1}{p_{T,OfflineCB}} - \frac{1}{p_{T,trigger}}}{\frac{1}{p_{T,OfflineCB}}}$$

$p_{T,offline}$ (GeV)

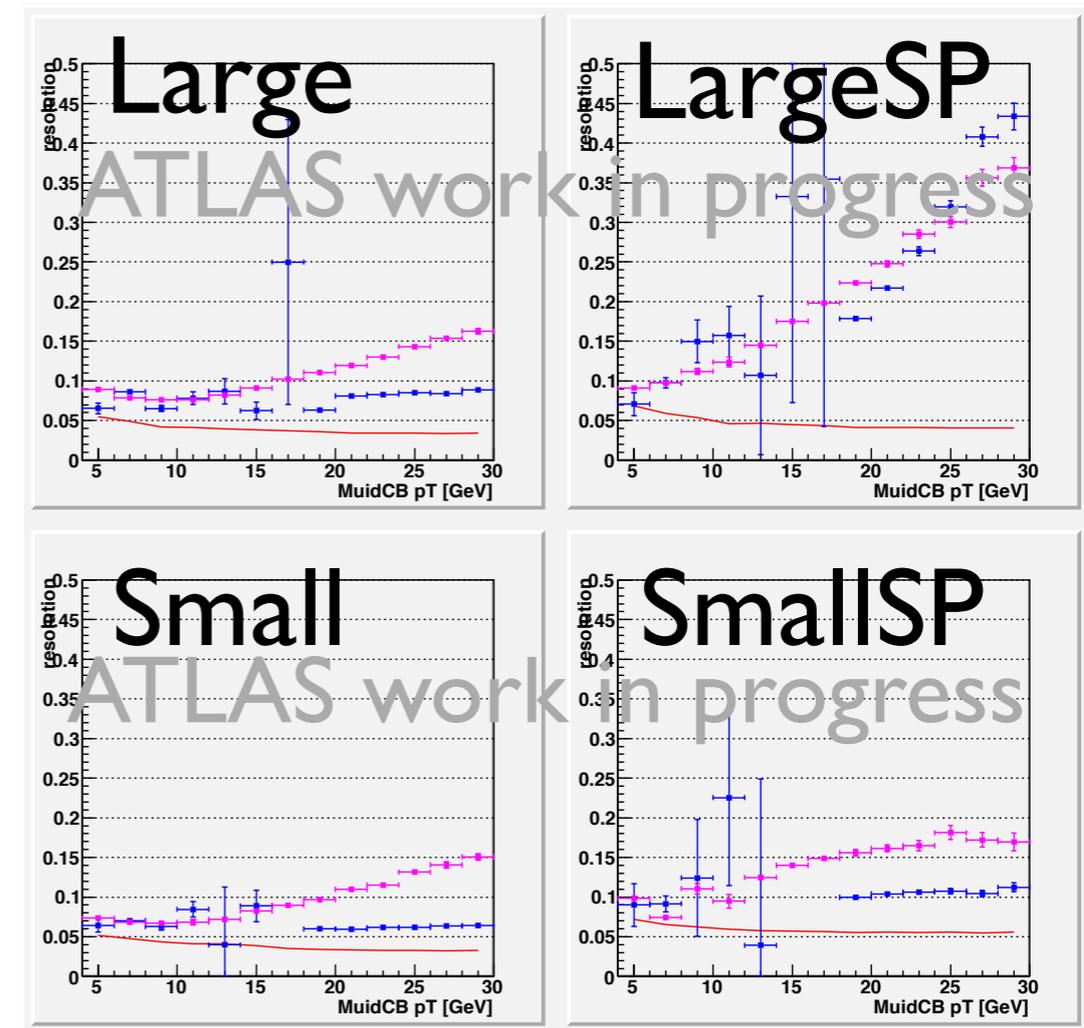
- 1次関数によるパラメータ調整では、 p_T 分布に p_T 自身に依存したバイアスが生じてしまう(青線)
- 2次関数による p_T 再構成(赤線)では p_T バイアスはほぼ消え、その結果分解能も大きく向上(後述)

2011年運転での性能評価(1/2)

EndCap



Barrel



- $1/p_T$ 分解能分布(EndCap:Barrel)
- 2010年データと比較して大幅に向上している
- EndCapではMCがデータをよく再現している
- BarrelではMCの分解能よりまだ少し悪い(調査中)

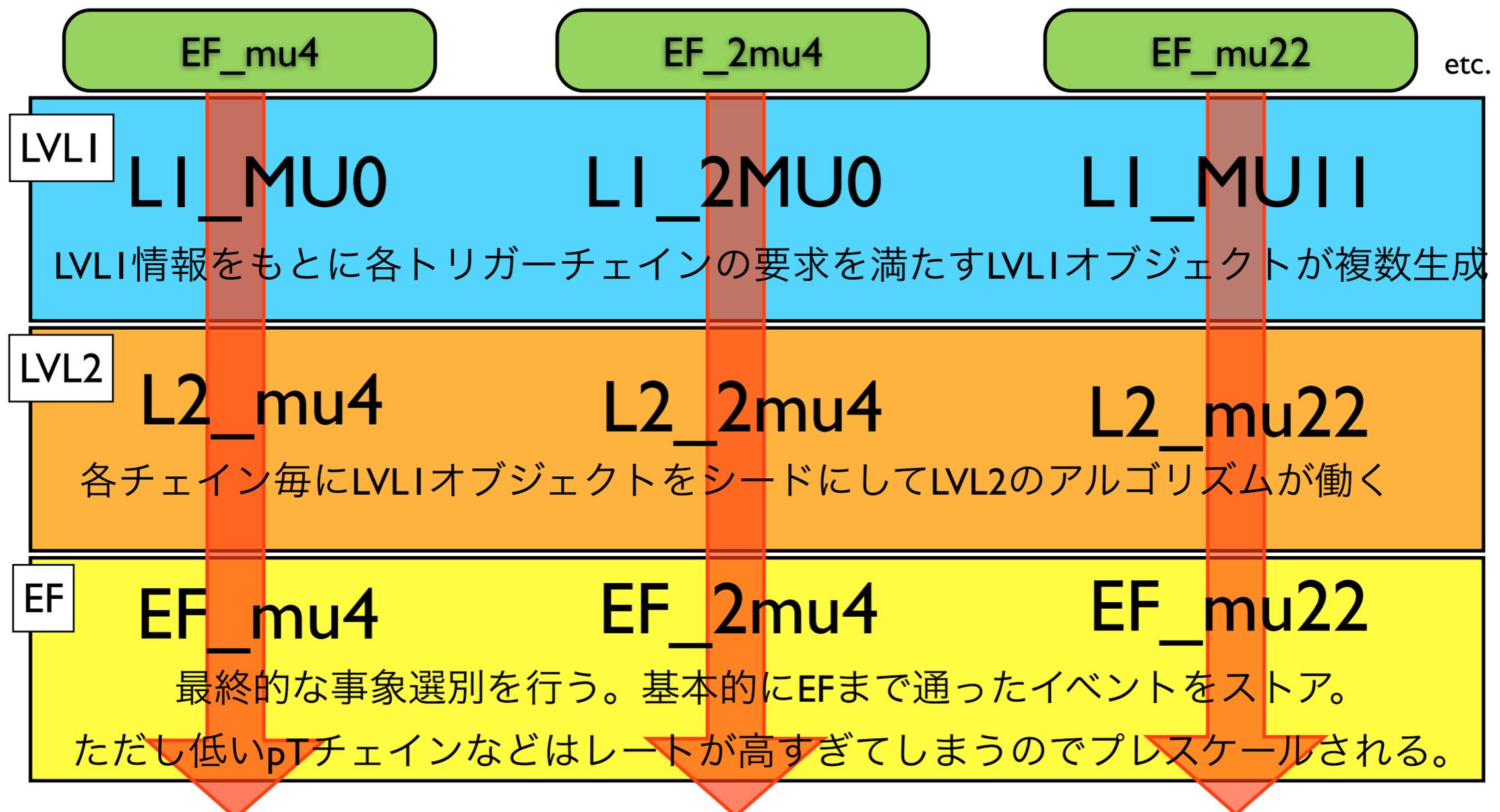
ピンク:2010データ

青:2011データ

赤線:MC

トリガーチェーン

- ATLASでは目的の物理に合わせた様々なトリガーが並列で走っている。それらはLVL1, LVL2, EFでの処理の流れの組み合わせで定義されている(トリガーチェーンと呼ぶ)



Higgs探索(各モード)

