

# Look Up Table改良によるATLASレベル1 ミューオントリガーの性能向上の研究

神戸大学粒子物理学研究室

M2

鈴木雄太

# 目次

1. 目的
2. ATLAS検出器
3. TGC検出器
4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス
5. 現状の課題(Cross-talk)
6. 改善策、評価
7. まとめ

# 1. 目的

2. ATLAS検出器

3. TGC検出器

4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス

5. 現状の課題(Cross-talk)

6. 改善策、評価

7. まとめ

# 目的

- LHC加速器

- スイス・ジュネーブCERN研究所にある陽子陽子衝突型円形加速器
- 衝突点の一つにATLAS検出器

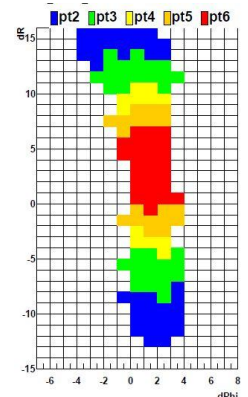
- TGC検出器

- ATLAS検出器に組み込まれている検出器の一つ
- 物理現象から生じるミュー粒子を検出する

- Coincidence Window

- TGC検出器に組み込まれている参照表(Coincidence Window)
- 飛来したミュー粒子の運動量を概算するためのもの

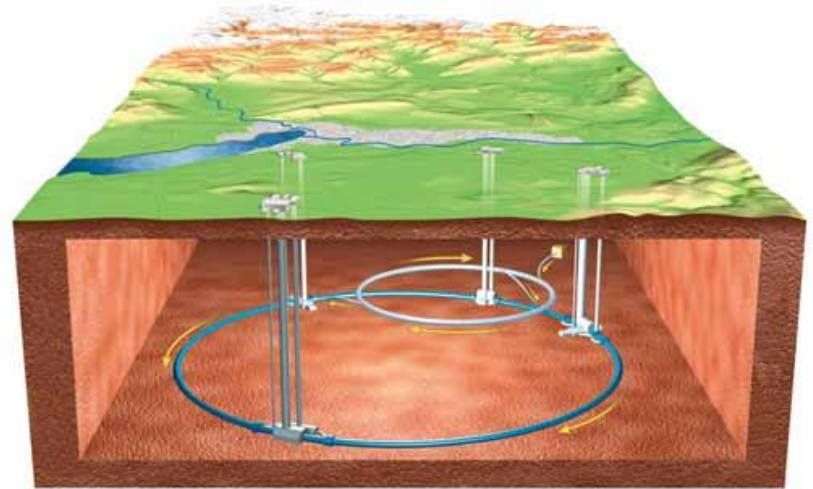
Coincidence Windowを改良することでTGCの検出効率とレートを最適化する。



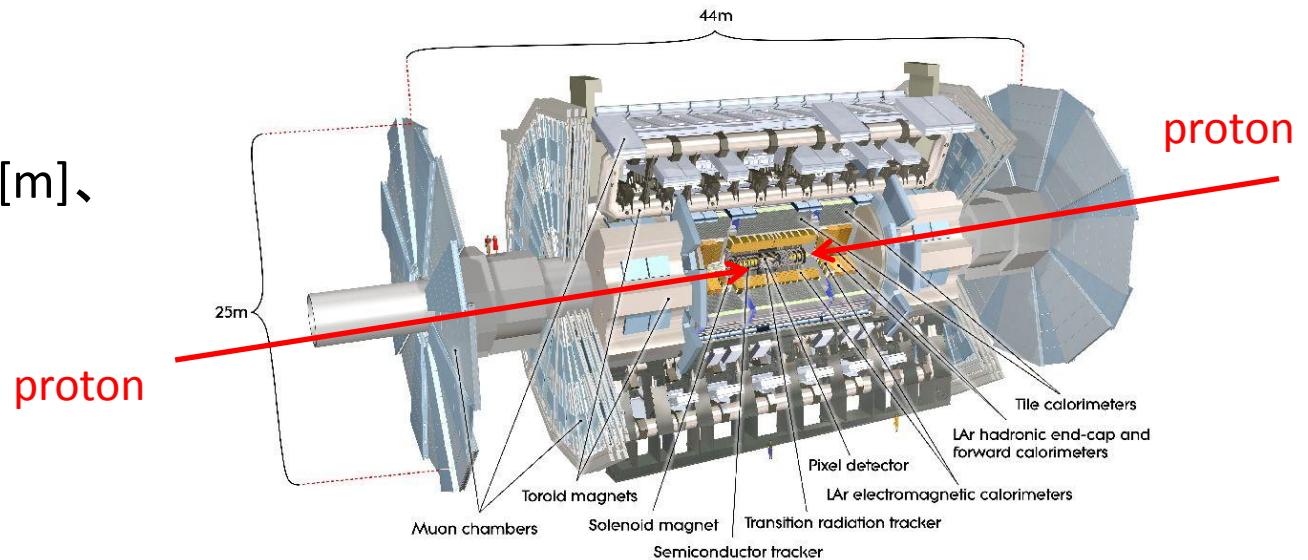
1. 目的
- 2. ATLAS検出器**
3. TGC検出器
4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス
5. 現状の課題(Cross-talk)
6. 改善策、評価
7. まとめ

# LHC, ATLAS検出器

- LHC加速器
  - 陽子陽子衝突型円形加速器
  - 周長; 27[km]
  - 重心系エネルギー14[TeV](デザイン)
  - 8.4[T]の超電導磁石
- 4つの衝突点のうちの1つにATLAS検出器が設置されている。

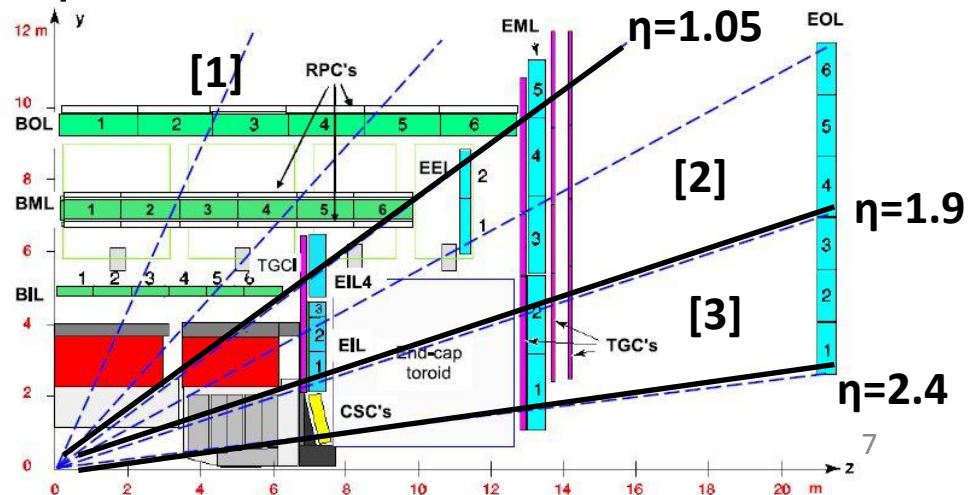
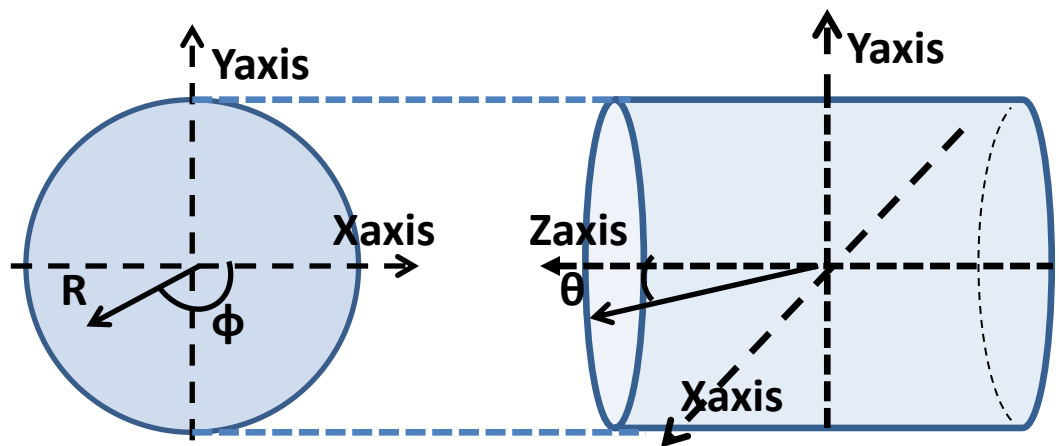
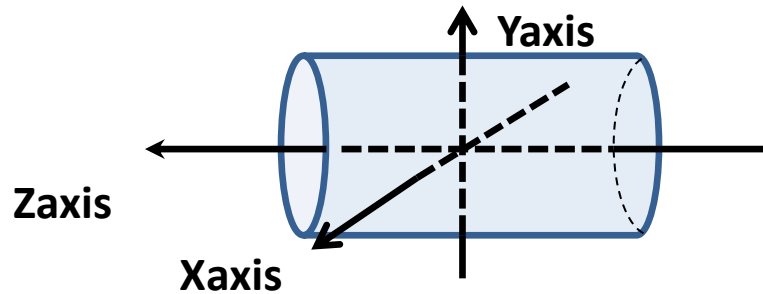


- 直径25[m]、幅44[m]、  
総重量7000[t]



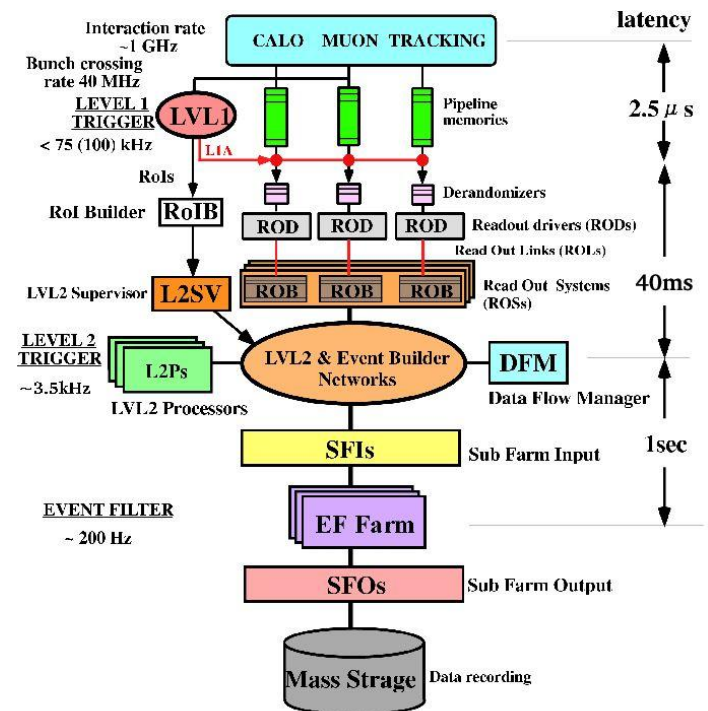
# ATLAS検出器座標系

- x,y,z座標
  - Xaxis;LHC中心
  - Yaxis;鉛直上向き
  - Zaxis;ビーム軸方向
- 円柱座標R、 $\theta$ 、 $\phi$ 
  - 擬ラピディティを定義
  - $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$
  - 方向、 $(\eta, \phi)$ で表現
- [1] Barrel領域
  - $|\eta| < 1.05$
- [2] Endcap領域
  - $1.05 < |\eta| < 1.9$
- [3] Forward領域
  - $1.9 < |\eta| < 2.4$



# トリガーシステム

- 陽子衝突頻度; およそ1[GHz]
- データストレージの制約->イベントレート: 200[Hz]に制限
- Level1(LVL1)、Level2(LVL2)、Event Filter(EF)から成る3段階のトリガーシステム
- LVL1トリガー
  - ハードウェア上で2.5[ $\mu$ s]の以内に処理
  - トリガーが発行された場所をRoI (Region of Interest)と呼ぶ。
  - 75[kHz]までイベントを絞る。
- LVL2トリガー、EF
  - ソフトウェア上で処理
  - 検出器の更に詳細な情報を用いて選別
  - 200[Hz]まで絞る





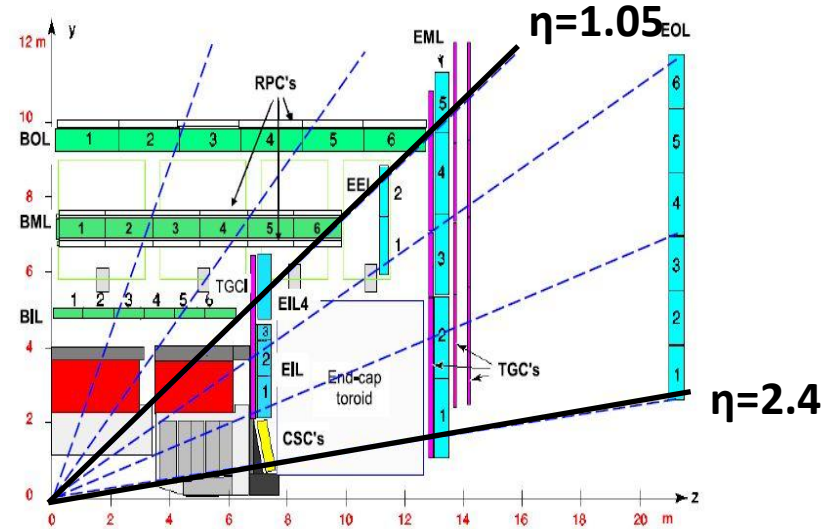
# LVL1ミューオントリガー

- LVL1ミューオントリガー

- RPC、TGCにより発行されるトリガー
- RPC; Barrel部  $|\eta| < 1.05$
- TGC; Endcap部  $1.05 < |\eta| < 2.4$

- 高い横方向運動量を持つミュー粒子事象の選別

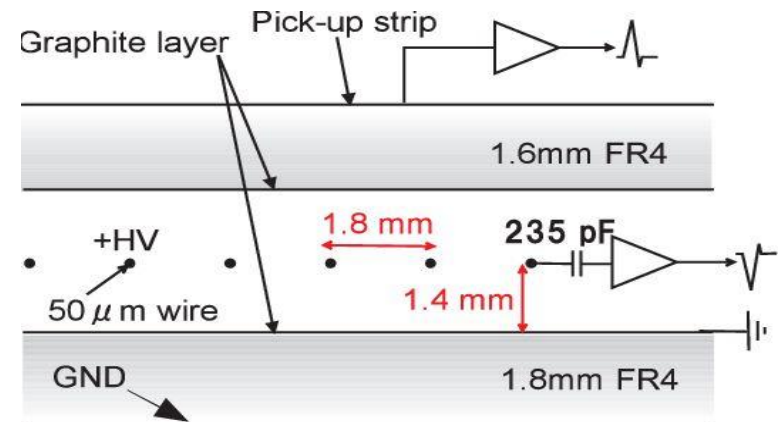
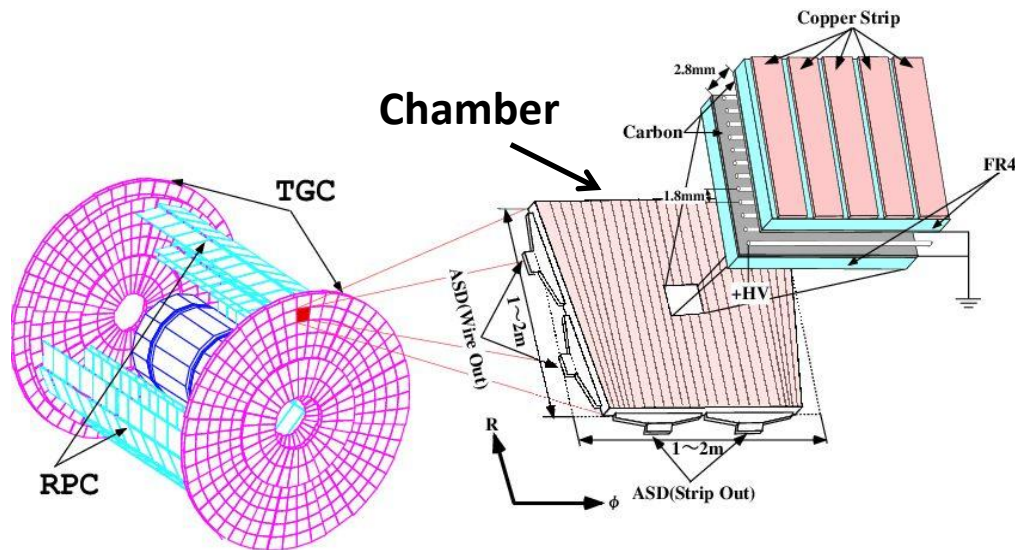
- 横方向運動量(pT)
  - ビーム軸に垂直な平面内の運動量成分



1. 目的
2. ATLAS検出器
- 3. TGC検出器**
4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス
5. 現状の課題(Cross-talk)
6. 改善策、評価
7. まとめ

# TGC 構造

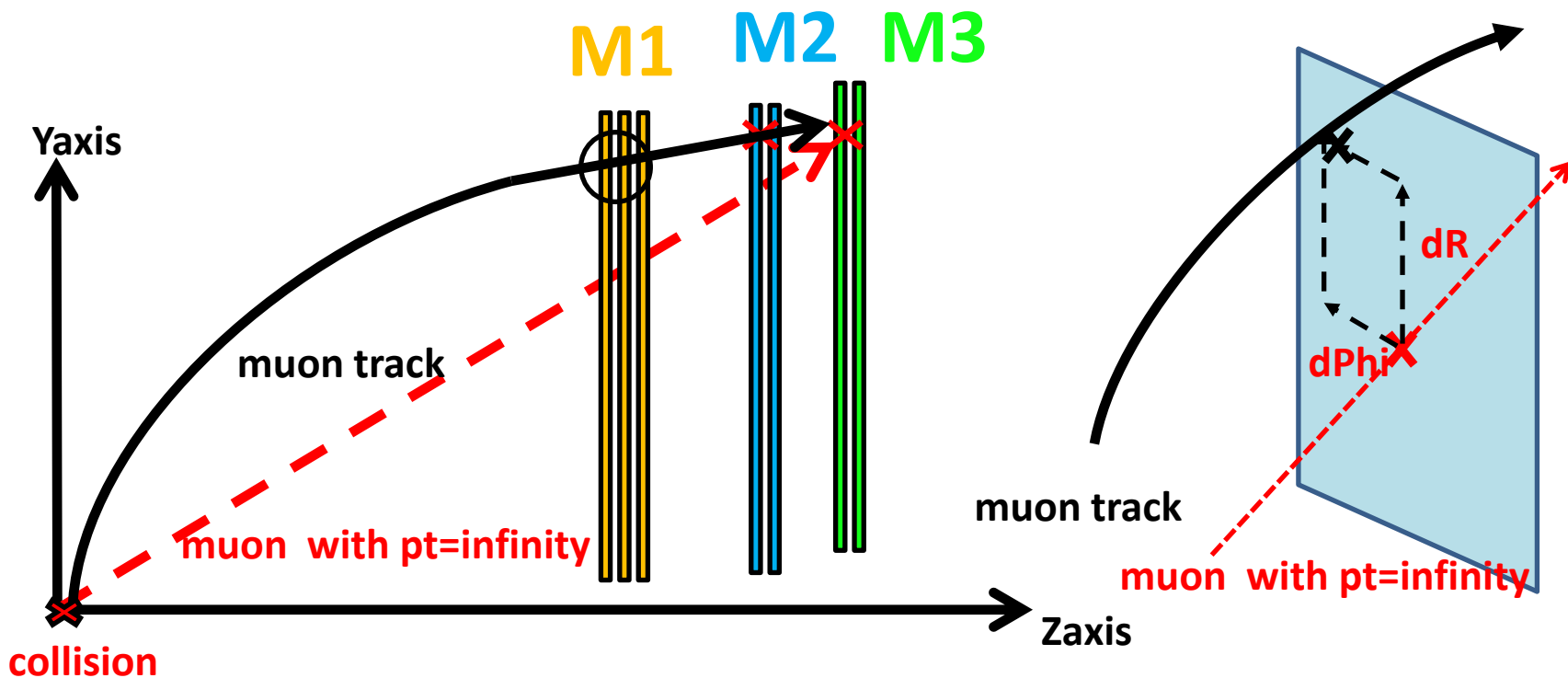
- TGC(Thin Gap Chamber)
  - CO<sub>2</sub> / n-pentane ガスチェンバー
  - ワイヤー; R方向読み出し
  - ストリップ; φ方向読み出し → 2次元の位置情報読み出し
  - ワイヤー、カソード間が狭い → 高レートに耐える
  - ワイヤー読み出し; η当たりのチャンネル数が一定
  - ストリップ読み出し; φ幅が一定





# トリガー判定(pT概算方法)

- pT概算方法
  1. 衝突点とM3上の検出点を直線で結ぶ(無限運動量の飛跡)
  2. M2上にHitがあることを要求
  3. M1上のHitを要求、無限運動量の飛跡とM1の交点との距離( $dR, d\phi$ )を算出
  4.  $-15 < dR < +15$  and  $-7 < d\phi < +7$ を満たせば次のプロセスに移る

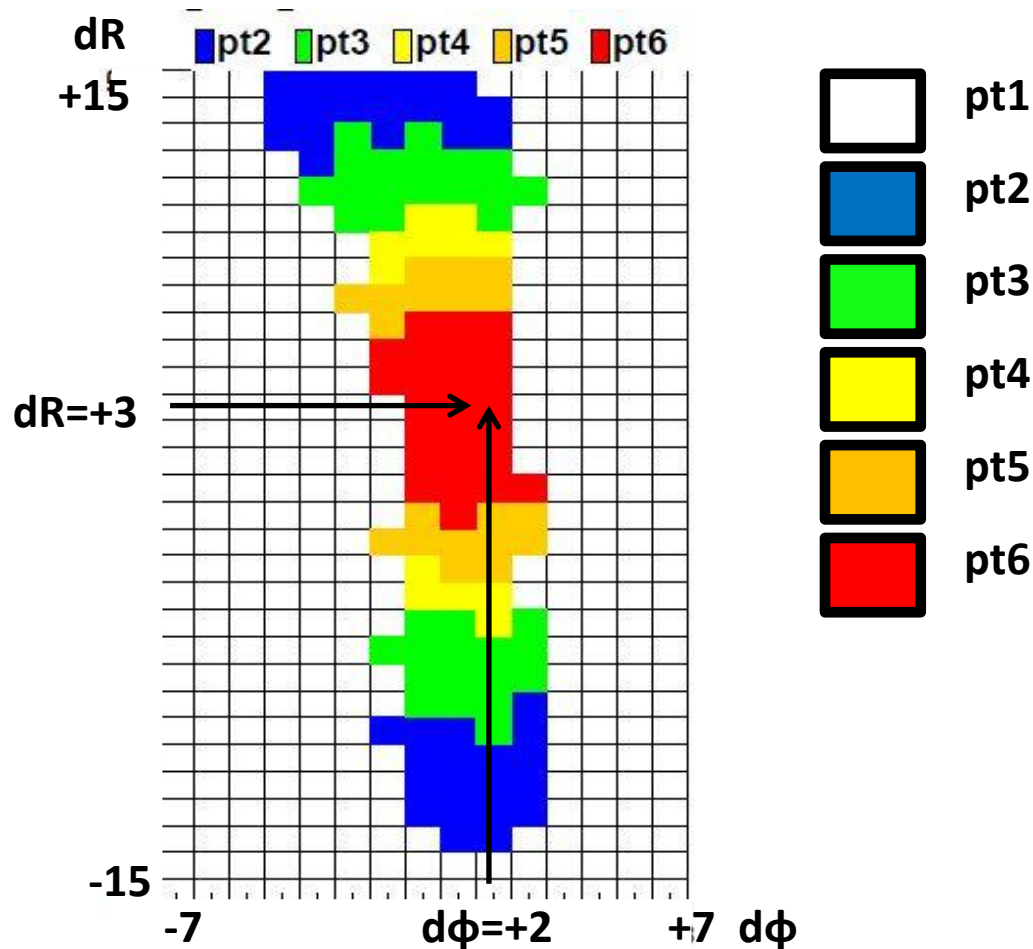


# トリガー判定(pT概算方法)

5.  $dR, d\phi$ を元に、Coincidence Window(下図)を参照、pt1~pt6のいずれかのトリガーを発行

例;  $dR=+3, d\phi=+2 \rightarrow$ pt6発行

ptX;bitに対して与えられたトリガーネーム、LVL1で使用される。



1. 目的
2. ATLAS検出器
3. TGC検出器
- 4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス**
5. 現状の課題(Cross-talk)
6. 改善策、評価
7. まとめ

# トリガー効率

- 定義  $\text{トリガー効率} = \frac{\text{LVL1トリガーが発行されたミュオン粒子の数}}{\text{TGCに入射したミュオン粒子の数}}$

- pt6(pTが20GeV以上)のトリガー効率(pTの関数) 2011年度のデータ使用

– TGCの運動量分解能、Alignmentのずれにより、立ちあがり鈍る。

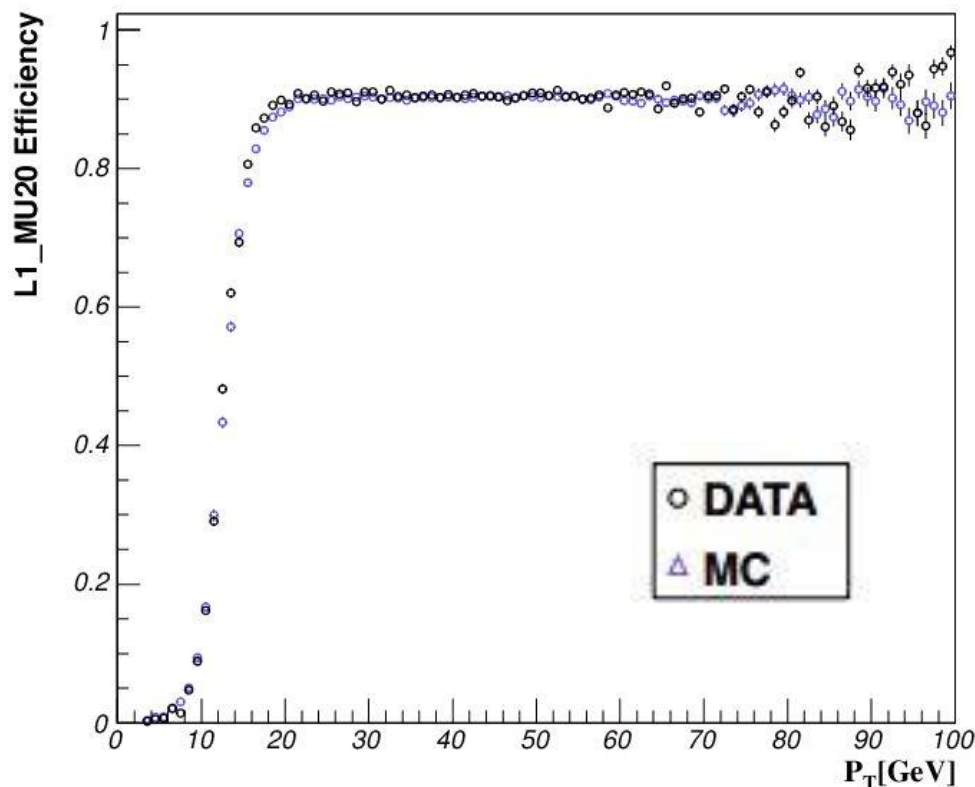
– pT>20[GeV]以上の平ら(plateau)な部分

のトリガー効率の平均値

(plateau efficiency)

= 0.902343 +/- 0.0003(Data)

= 0.904698 +/- 0.0003(MC)





# トリガーレート

- 2011年度は
  - pt4 ; L1\_mu11 (pT>11GeV)
  - pt5 ; L1\_mu15 (pT>15GeV)
  - pt6 ; L1\_mu20 (pT>20GeV) という名称を使用

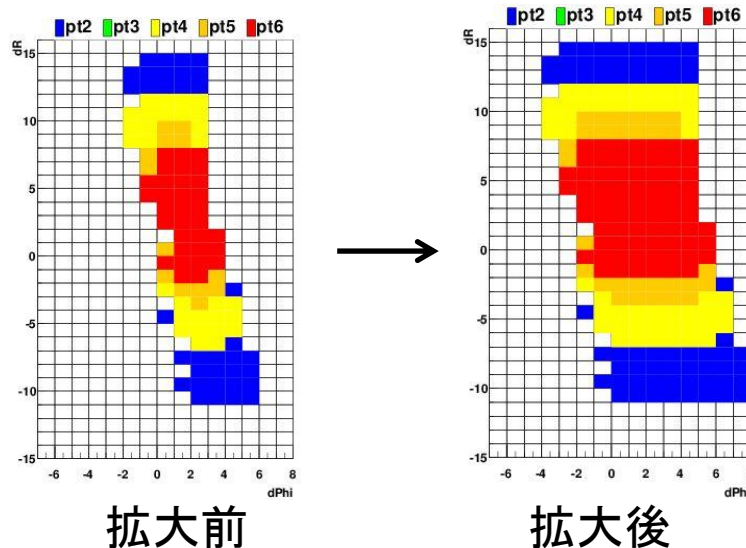
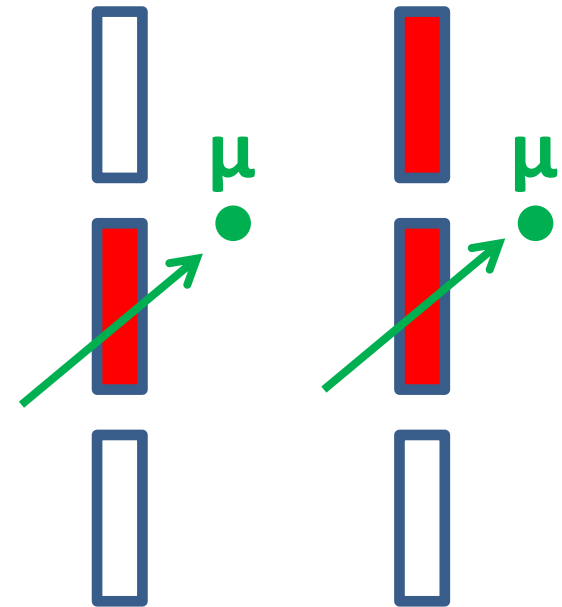
	ルミノシティ[cm <sup>(-2)</sup> sec <sup>(-1)</sup> ]	L1_mu11	L1_mu15	L1_mu20
2011年	3e33	8.2[kHz]	4.4[kHz]	3.2[kHz]
2012年(予測)	7e33	19.1[kHz]	10.3[kHz]	7.5[kHz]

- LVL1ではイベントレートは75[kHz]に制限されている。
  - L1\_muXトリガーはこのうちおよそ15[kHz]しかとれない。
  - 来年度はL1\_mu11がこの値を超える。
  - L1\_mu15に移行。それでもトリガーレートをひっ迫する。
    - 重心系エネルギーが8[TeV]に上がるため、トリガーレートが上の予測よりさらに上昇する。
- **トリガーレートの削減が必要**

1. 目的
2. ATLAS検出器
3. TGC検出器
4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス
5. **現状の課題(Cross-talk)**
6. 改善策、評価
7. まとめ

# 現状の課題

- トリガーレート、Cross-talk
- Cross-talk
  - 荷電粒子が通過したチャンネルが、隣のチャンネルに電荷を誘発、誤ったdR, dφを発行。トリガー効率を下げる。
    - 複数のチャンネルが信号を出した場合、2番目のチャンネルを採用
  - 対策; CWをdφ正、負方向に2マス拡大
  - 2010年途中~2011年11月まで拡大後のCWを使用してデータを取得



Cross-talk模式図

# CW拡大による効果

- トリガー効率(L1\_mu20)

- 拡大前; 83.52±0.14[%]
- 拡大後; 90.15±0.11[%]

- トリガー効率**約7[%]**回復

- トリガーレート(L1\_mu20)

- 正規化されたトリガーレート

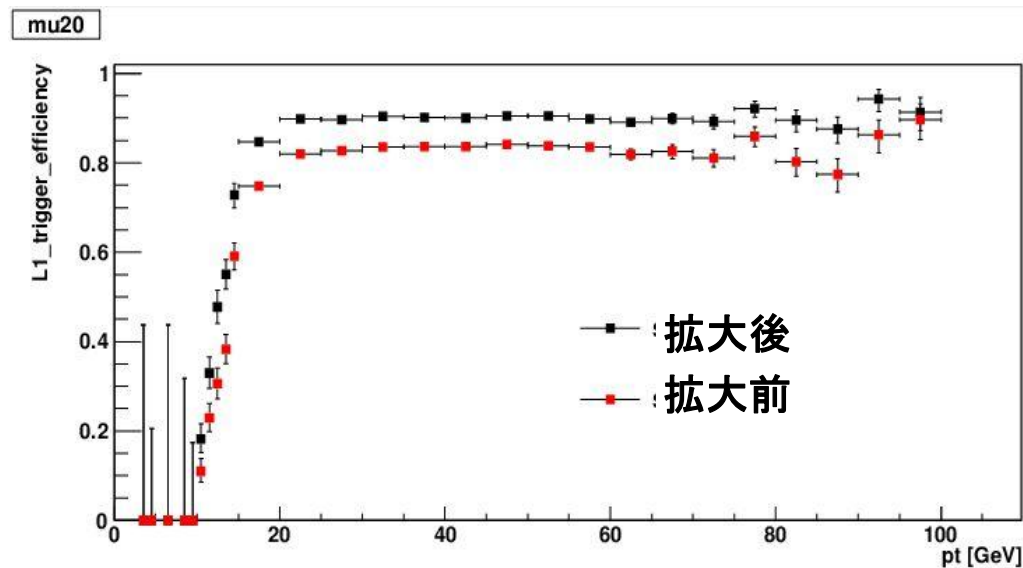
$$\frac{\text{L1\_mu20が発行された回数}}{\text{積算ルミノシティ}}$$

- 拡大前; 0.0035
- 拡大後; 0.0084

- トリガーレート**約2.4倍** -> CW拡大がトリガーレートをひっ迫する要因
- 来年度に向け、

- **トリガー効率の維持**
- **トリガーレートの削減**

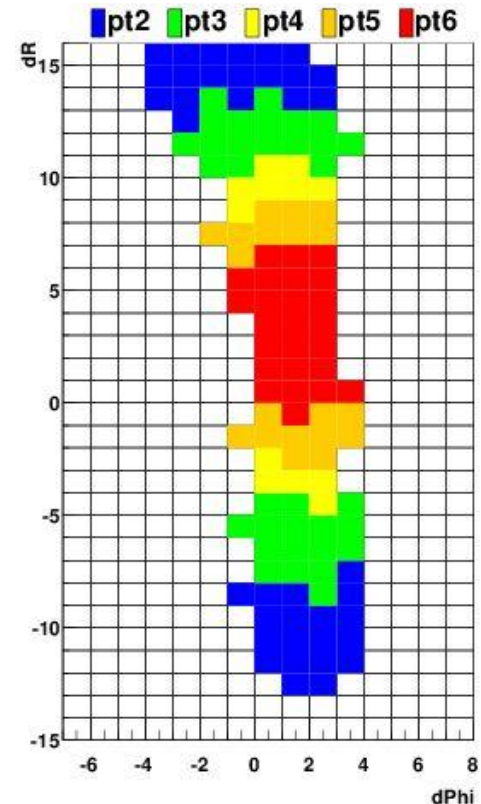
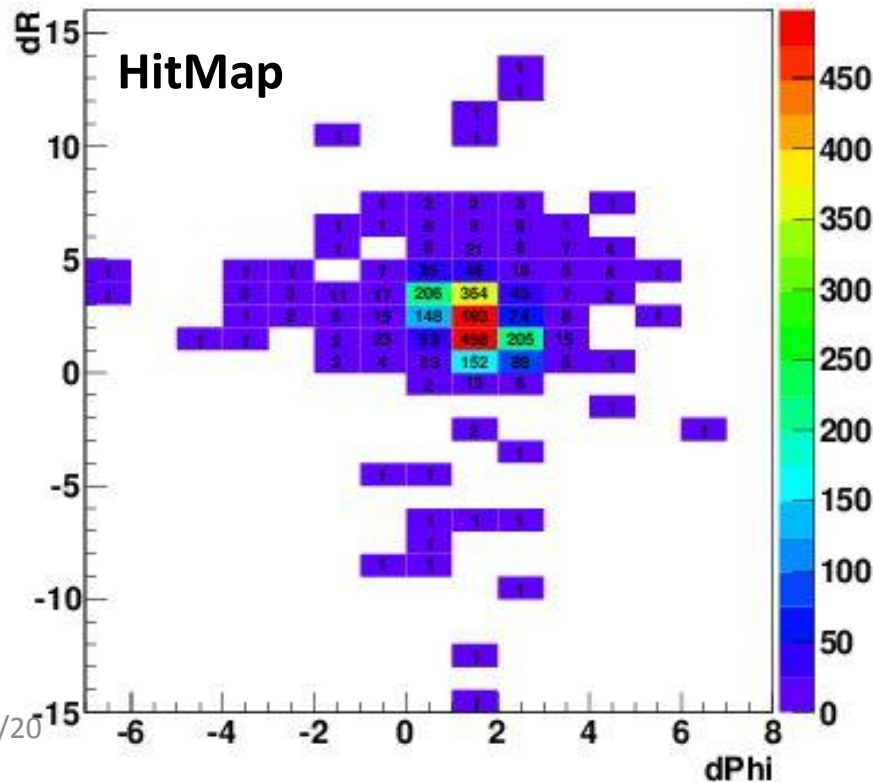
が可能なCWを作成する必要がある。



1. 目的
2. ATLAS検出器
3. TGC検出器
4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス
5. 現状の課題(Cross-talk)
- 6. 改善策、評価**
7. まとめ

# CW作成方法

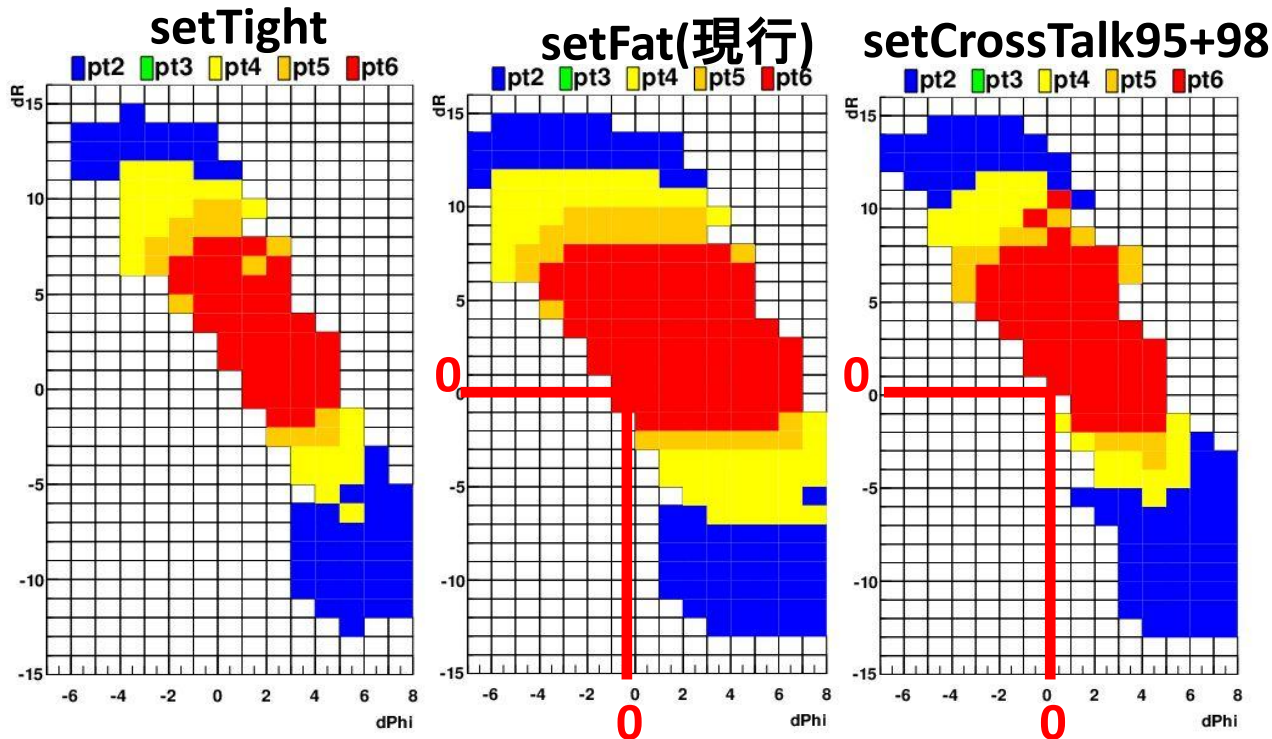
- 磁場が8回対称であるため1/8円内にある1080のRoIに対し個別のCWを作成。
- 作成方法
  - シミュレーションを用い、シングルミュオンイベントを作成
  - $dR, d\phi$ の2次元分布(HitMap)を作成
  - エントリーの高いセル( $dR, d\phi$ で区切られたマス)からwindowを開けてゆく。



# 新しいCW作成

- 5パターン
- setTight
  - CWdφ方向拡大前
- setFat(現行)
  - CWdφ方向拡大後、2011年度runで使用されていたCW
- setCrossTalk95
  - シミュレーションでCross-talkを再現し、従来と同じ方法(95%上限値)で作成したCW
- setCrossTalk98
  - setCrossTalk95よりも反映するイベント量を増やしたCW  
(開けるwindowの数を増やした)
- setCrossTalk95+98
  - Endcap部でsetCrossTalk98 , Forward部でsetCrossTalk95を使用したCW
  - setTight , setFat
    - >シミュレーションでCross-talkを再現していない
  - setCrossTalk95 , setCrossTalk98 , setCrossTalk95+98
    - >シミュレーションでCross-talkを再現

# 新しいCW比較



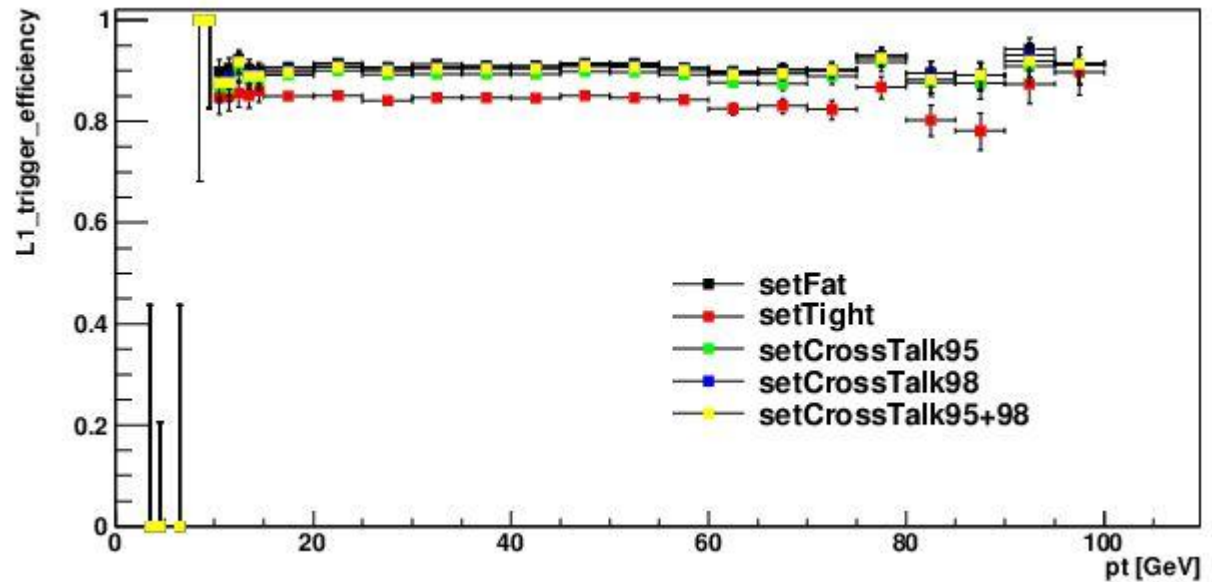
- setTight
    - Cross-talkが拾えない
  - setFat(現行)
    - $d\phi$ 正、負方向に2マス拡大->Cross-talkを補える
  - setCrossTalk95+98
    - Cross-talkをシミュレーションで再現、Cross-talkを拾える。
    - setFatと比較すると、 $d\phi$ 正方向には広がっていない事がわかる
- >setFatは不用意な拡大をしており、トリガーレートをひっ迫していた。
- 各々のCWをトリガー効率、トリガーレートの2点から評価



# トリガー効率

- L1\_mu11トリガー比較
  - CWの面積が大きい順でトリガー効率が大きくなっている。
  - setTight; Cross-talkを拾えておらずトリガー効率が低い
  - setCrossTalk95+98; 約0.46[%]トリガー効率を悪化させる。

トリガー効率(pTの関数)



plateau efficiency

CW	setFat(現行)	setCrossTalk98	setCrossTalk95+98	setCrossTalk95	setTight
効率[%]	90.13+-0.11	90.02+-0.11	89.67+-0.11	88.51+-0.12	83.5+-0.14
setFat差	+0	-0.11	<b>-0.46</b>	-1.62	<b>-6.63</b>

# トリガーレート

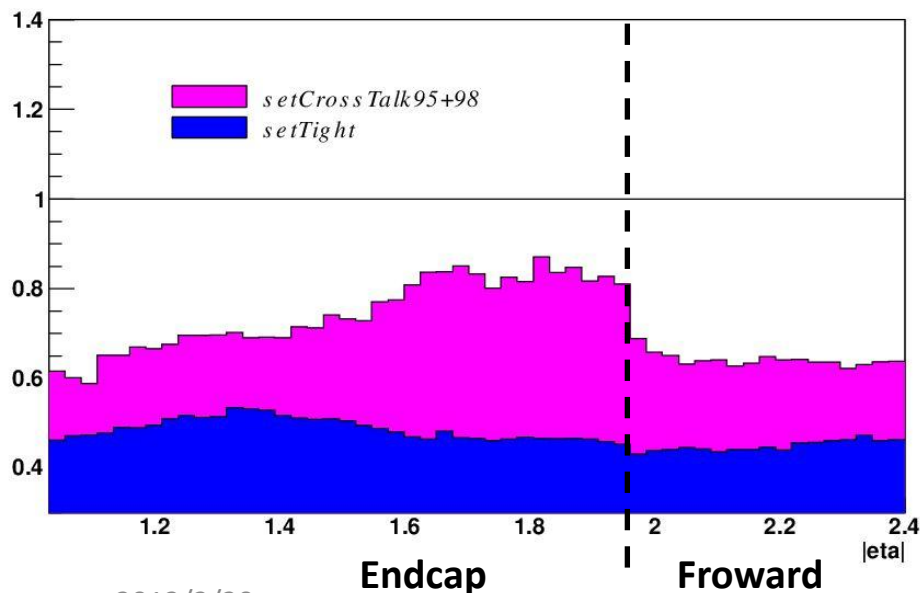
- L1\_mu11トリガーが発行される回数をsetFatと比較
  - CWの面積の大きい順にトリガーレートが高い
  - setTight;トリガーレートが一番低い
  - setCrossTalk95+98; setFatと比較し、  
約27.9[%]トリガーレートを抑えられる  
来年度のトリガー予測13.8[kHz] (<15[kHz])

CW	setFat(現行)	setCrossTalk98	setCrossTalk95+98	setCrossTalk95	setTight
トリガーカウント(setFat比)[%]	100	82.19	72.1(-27.9)	64.13	54.51
トリガーレート2012年run予測[kHz]	19.1	15.7	13.8	12.3	10.4

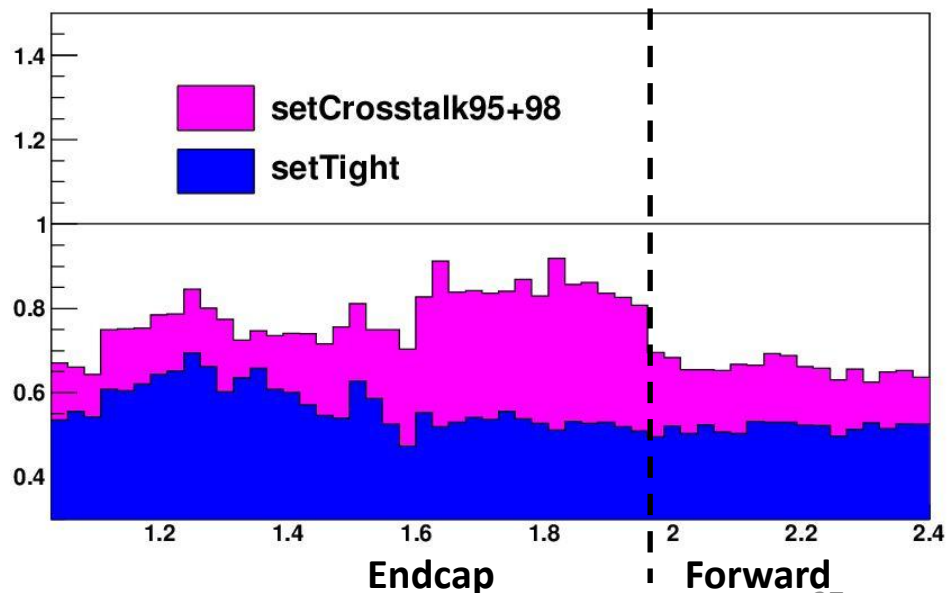
# トリガーレート

- CWの面積とトリガーレートの相関が見える
  - 面積を狭める程、トリガーレートを削減できる
  - setCrossTalk95+98
  - setFat (現行)のトリガーレートを全ての $|\eta|$ で下回る

$|\eta|$ 毎のCW面積、setFat(現行)比



$|\eta|$ 毎のトリガーレート、setFat (現行)比



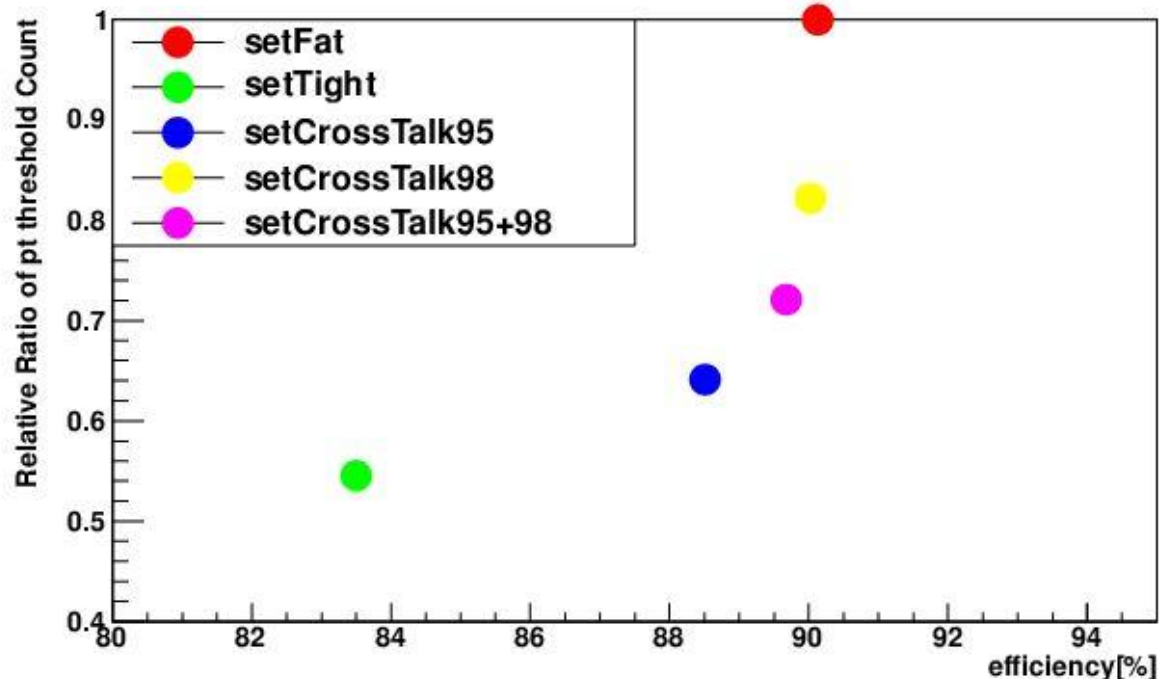
1. 目的
2. ATLAS検出器
3. TGC検出器
4. トリガー効率、レート2011年度パフォーマンス
5. 現状の課題(Cross-talk)
6. 改善策、評価
7. **まとめ**

# まとめ

- 2012年度;トリガーレートが最低2倍
- 現行のCW(setFat)はトリガーレートの増加に対応不可能
- トリガーレートひっ迫要因である、Cross-talkの影響をシミュレーションの段階から考慮、新たなCWを作成。

CW	setFat(現行)	setCrossTalk98	setCrossTalk95+98	setCrossTalk95	setTight
トリガー効率(setFat差)	+0[%]	-0.11[%]	-0.46[%]	-1.62[%]	-6.63[%]
トリガーレート(setFat比)	100[%]	82.19[%]	72.1[%]	64.13[%]	54.51[%]

efficiency vs count mu11



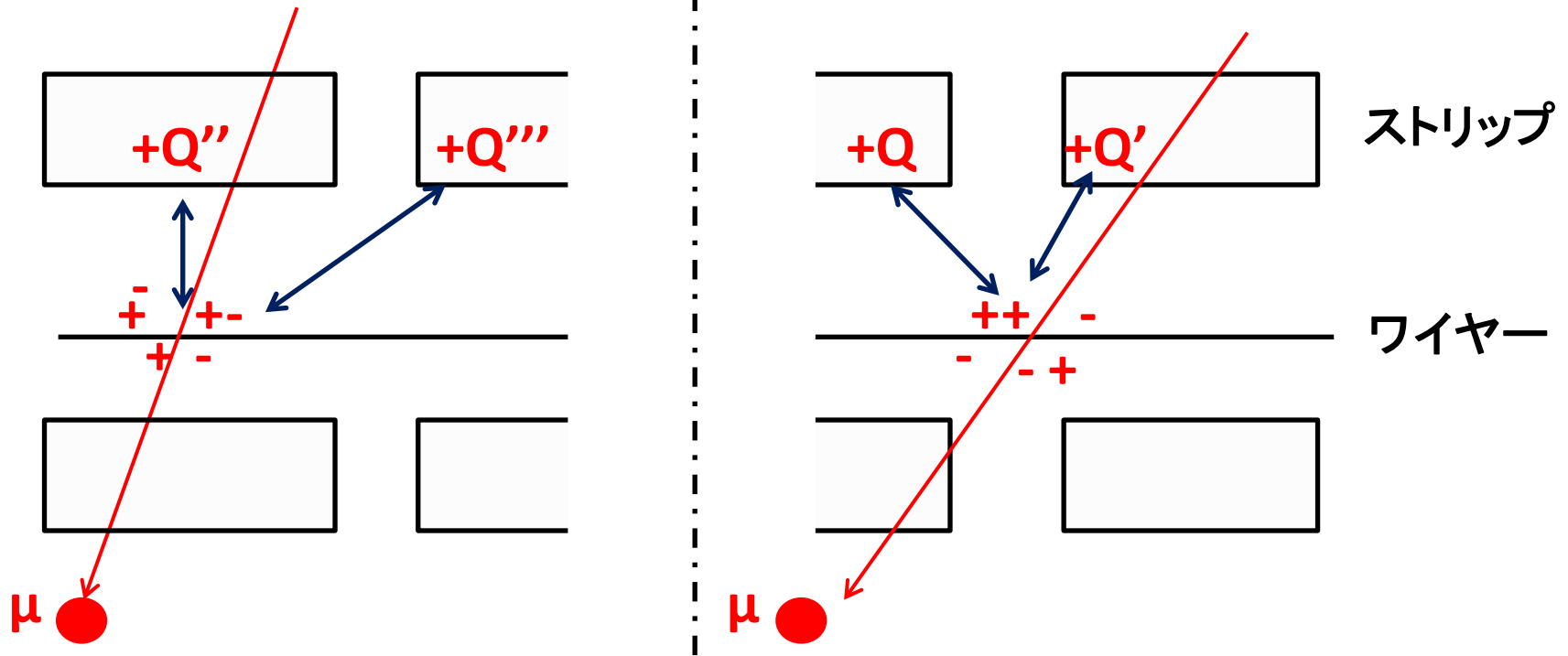
- 横軸;トリガー効率
- 縦軸;トリガーレート (setFat比)

# まとめ

- 2012年度用CWに求められる事項
    - **トリガー効率の維持**
    - **トリガーレートの減少**
  - setTight; Cross-talkイベントを拾えない
  - setCrossTalk98; 来年度のトリガーレート予測15.7[kHz] (>15[kHz])
- >setCrossTalk95+98を採用。
- 2012年度はsetCrosstalk95+98をAlignment分だけずらしたCWを用いてデータを取得する。
  - 2012年度のデータを用い、このCWにおけるCross-talk、Alignmnetの考慮の正しさを評価する必要がある。

Back Up

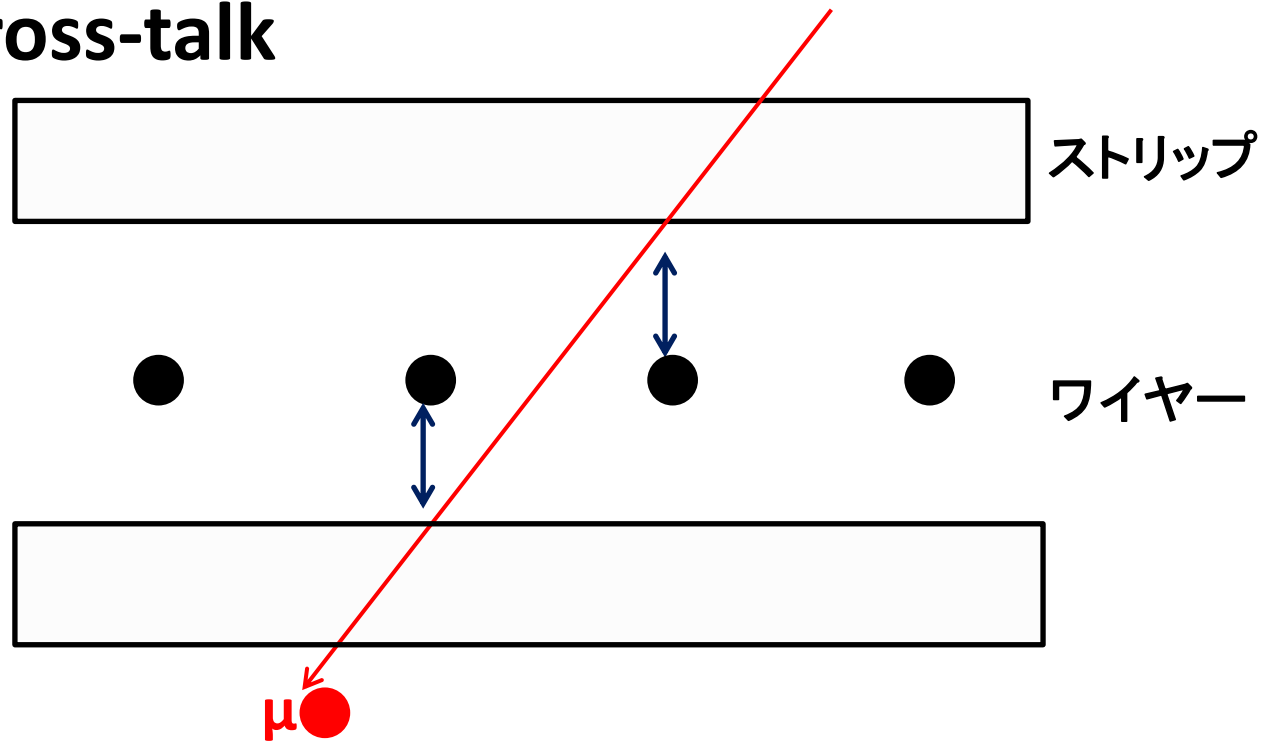
# ストリップCross-talk



- ストリップにおけるCross-talk
  - イオンの発生した場所とストリップの距離により、チャンネルに誘発される信号の大きさが決定。
  - 複数のストリップが信号を出す。



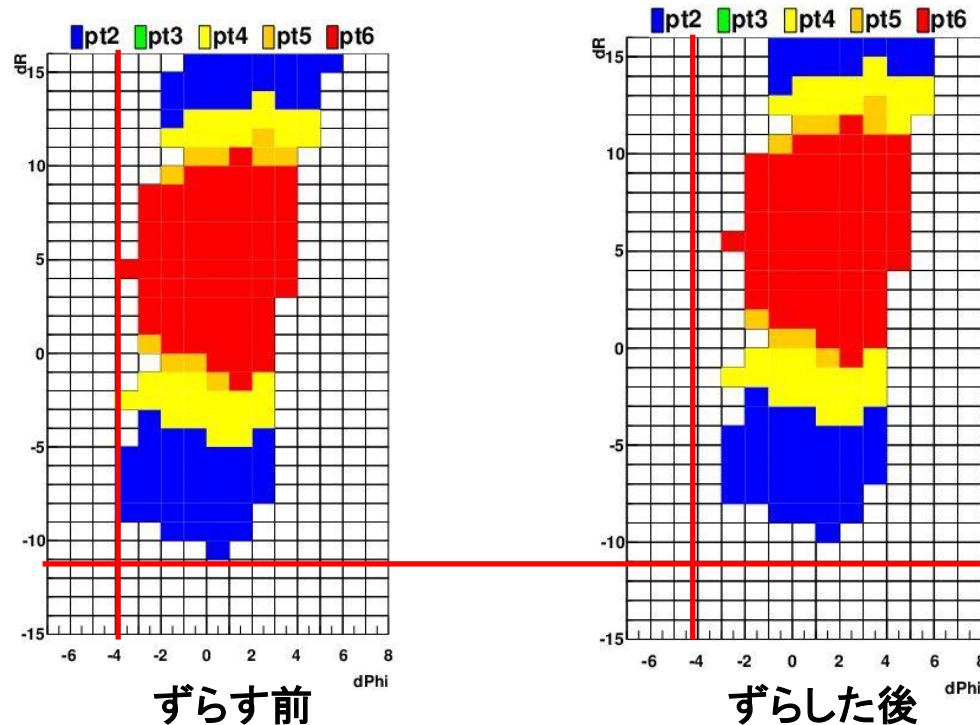
# ワイヤーCross-talk



- ワイヤーにおけるCross-talk
  - 2本のワイヤー中心を通過した時に発生
  - 両方のワイヤーに誘発される信号の大きさが同程度
  - ストリップより出現する確率が小さい

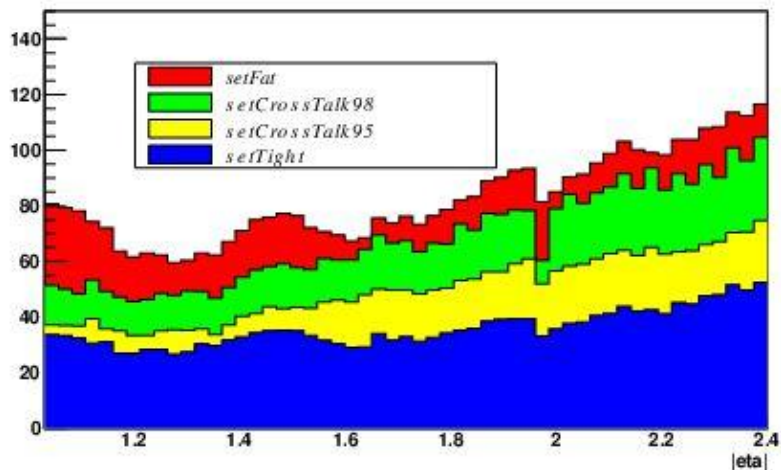
# TGC Alignment効果

- TGCが想定されている位置からずれてしまっている。
- チェンバー毎のずれをデータをもとに算出、チャンネルのずれに変換、その分だけCWをずらす。
  - dR 方向に+1
  - $d\phi$ 方向に+1

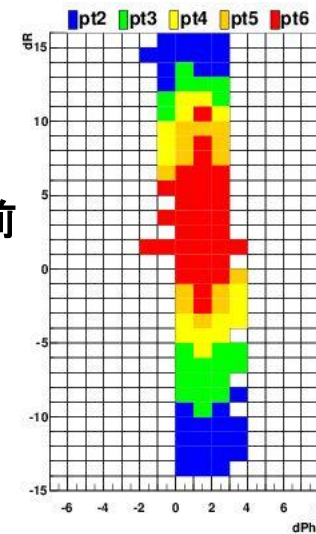


# CW比較

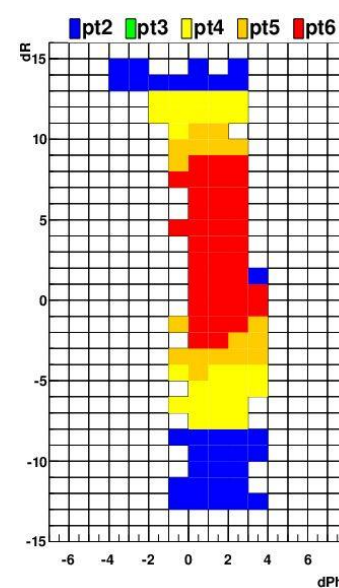
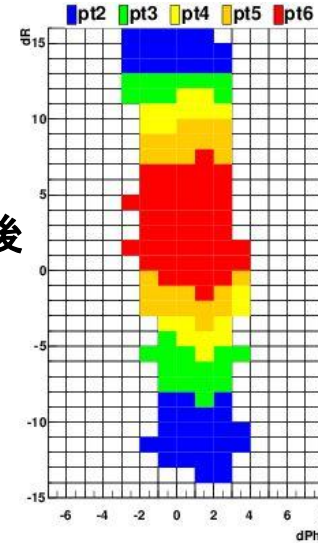
- Cross-talkにより、CWが $d\phi$ 負方向に拡大
- pt6 windowの数を比較
  - $|\eta|$ が小さい所で、setCrossTalk95(黄)、setTight(青)の値があまり変わらない。
  - >トリガー効率を落としてしまう。



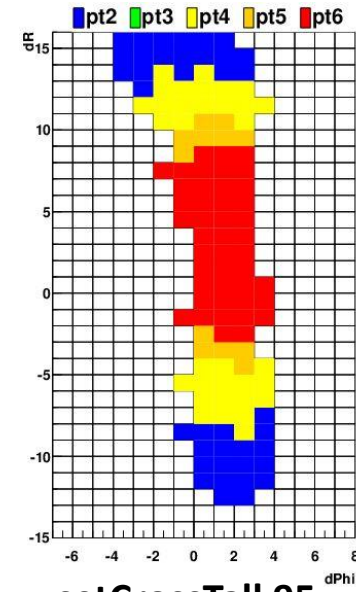
拡大前



拡大後



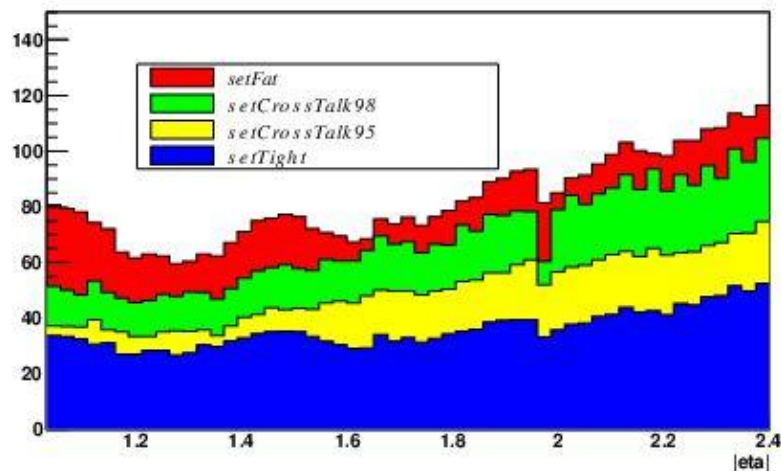
setTight



setCrossTalk95

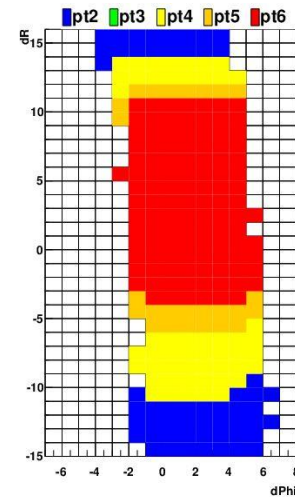
# CW比較

- pt6 windowの数を比較
  - $|\eta|$ が大きい所で、setCrossTalk98(緑)、setFat(赤)の値があまり変わらない。
  - >トリガーレートをひっ迫する。

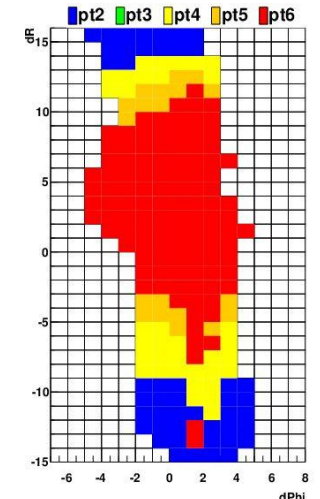


- setCrossTalk95+98を作成。

- 5パターンをトリガー効率、トリガーレートの2点から比較



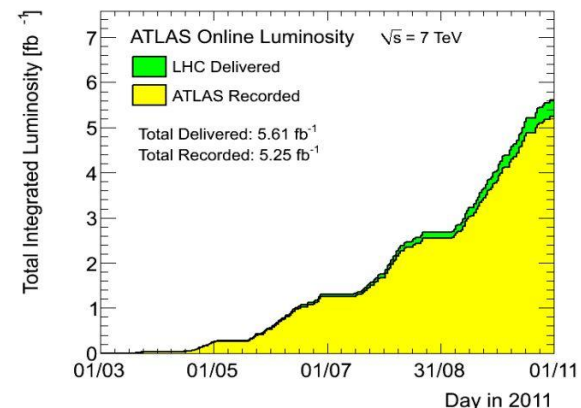
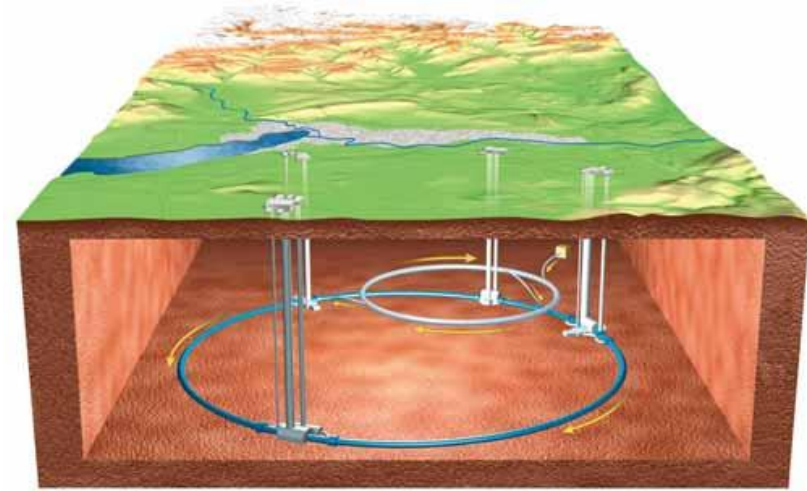
setFat



setCrossTalk98

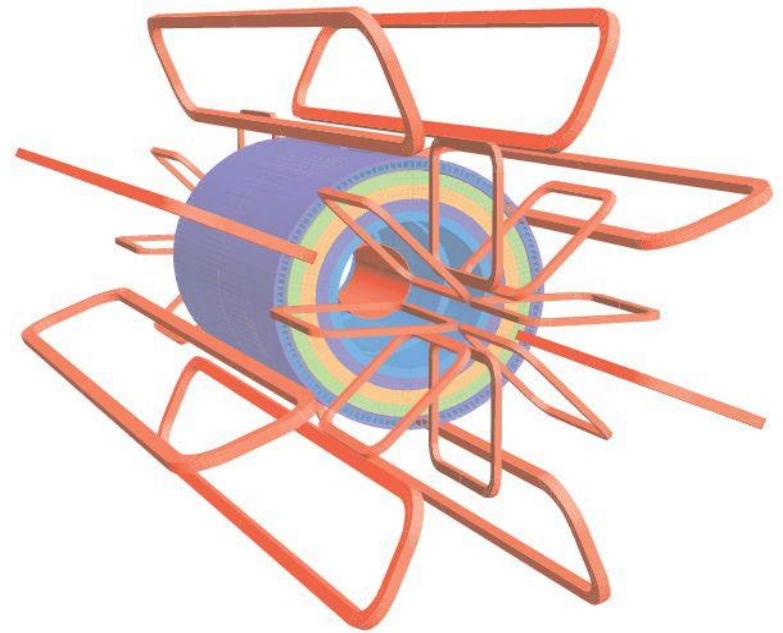
# LHC加速器

- LHC加速器
  - 陽子陽子衝突型円形加速器
  - 周長; 27[km]
  - 重心系エネルギー14[TeV](デザイン)
  - 8.4[T]の超電導磁石
- 4つの衝突点のうちの1つにATLAS検出器が設置されている。
- ATLAS実験の目的
  - 標準模型の基本粒子であり、唯一未発見のHiggs粒子探索
  - 超対称性粒子の探索
- ATLAS実験は2010年3月より本格的に運転を開始。2011年11月までで約5.3[fb<sup>-1</sup>](のデータを取得



# 超電導磁石システム

- 粒子の飛跡を曲げ、運動量を測定
- 3つの超電導磁石
  - ソレノイド磁石
  - バレルトロイド磁石
  - エンドキャップトロイド磁石
- トロイド磁場
  - ビーム軸を周回する方向
- 両トロイド磁石は8つのコイルがビーム軸に対し、8回対称になるよう配置





# ミュオンスペクトロメータ

- ミュー粒子は物質の透過性が高い  
->ミュオンスペクトロメータは外側に設置される。
- MDT、RPC、CSC、TGCの4種類の検出器から構成
  - MDT(Monitored Drift Tube) 図: 水色、緑
  - RPC(Resistive Plate Chamber) 図: [1]
  - CSC(Cathod Strip Chamber) 図: 黄色
  - TGC(Thin Gap Chamber) 図: 紫 <-本研究対象
  - トロイド、ソレノイド磁石 -> 次ページ

