

# LHCアップグレードに向けた ATLASミュオントリガー回路の開発

神戸大学 粒子物理学研究室  
徳永香

早川俊、西山知徳、吹田航一、谷和俊  
藏重久弥、川越清以、山崎祐司  
坂本宏 A、佐々木修 B、石野雅也 B、道前武 C  
他 ATLAS日本TGCグループ

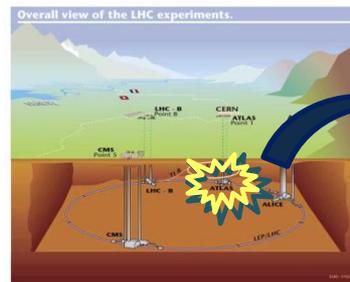
神戸大理、東大素セ A、高工研 B、東大理 C

# 目次

- Introduction
  - ATLAS実験
  - LHCアップグレード
- 現在のシステム
  - ミューオントリガーシステム
  - TGCエレクトロニクス
- アップグレード後のシステム
  - accidental hitの影響
  - Inner stationとのcoincidence
- まとめ

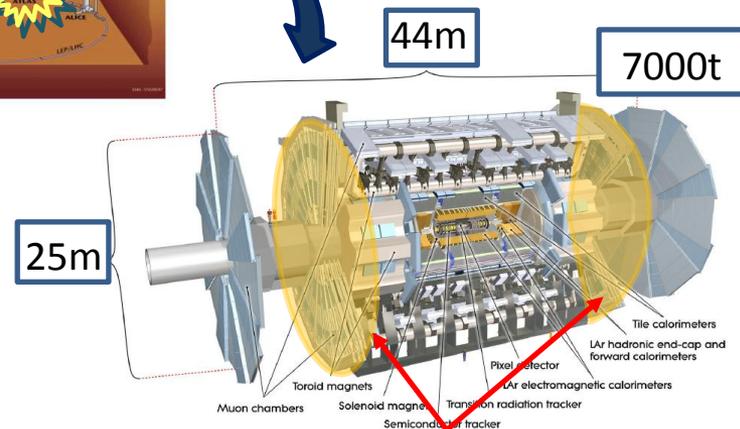
# ATLAS実験

- LHCで行われる実験
  - LHC : 陽子陽子衝突型加速器
    - 重心系エネルギー 14TeV
- 目的
  - Higgs粒子の探索
  - 超対称性粒子 (SUSY) の探索



LHC 加速器

ATLAS検出器



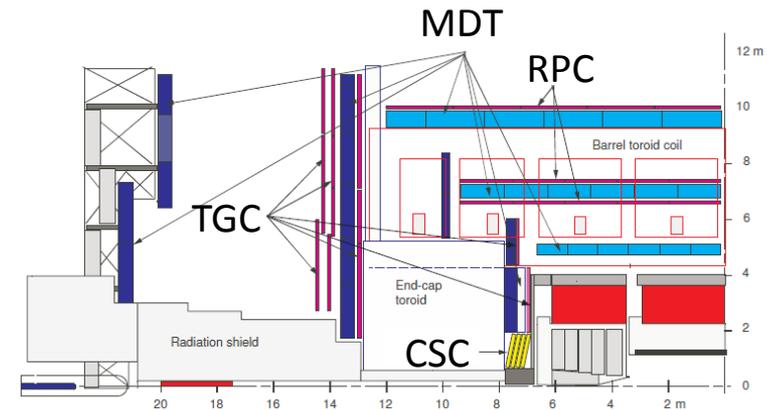
Endcap ミューオントリガーシステム

## LHCアップグレード (2020年頃)

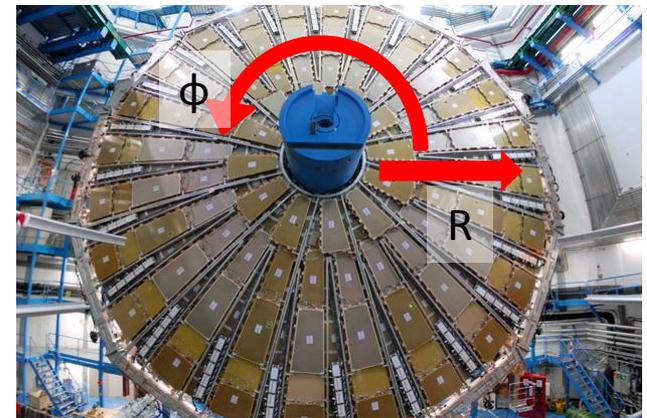
- デザインルミノシティ  $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 10^{35}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Endcap ミューオントリガー
  - トリガーレート:  $9.5\text{kHz} \rightarrow 95\text{kHz}$   
(Pt = 20GeV/c threshold、バックグラウンドなしのとき)  
※現在のEndcapトリガーに要請されるレート:  $\sim 20\text{kHz}$

# ミュオントリガーシステム

- level 1 Endcapミュオントリガー
  - 40.08MHz → 20kHz
  - レイテンシ: 2.5 $\mu$ s以内  
→ハードウェアで高速処理
  - Pt 6GeV/c以上をトリガー
- ミュオンスペクトロメータ
  - 軌跡精密測定用
    - MDT(Monitored Drift Tube)
    - CSC(Cathode Strip Chamber)
  - トリガー用
    - RPC(Resistive Plate Chamber)
    - TGC(Thin Gap Chamber)
  - トロイド磁石
- TGC ( Thin Gap Chamber )
  - MWPCの一種
    - R方向: wire,  $\phi$ 方向: strip



ミュオンスペクトロメータ R-Z平面図

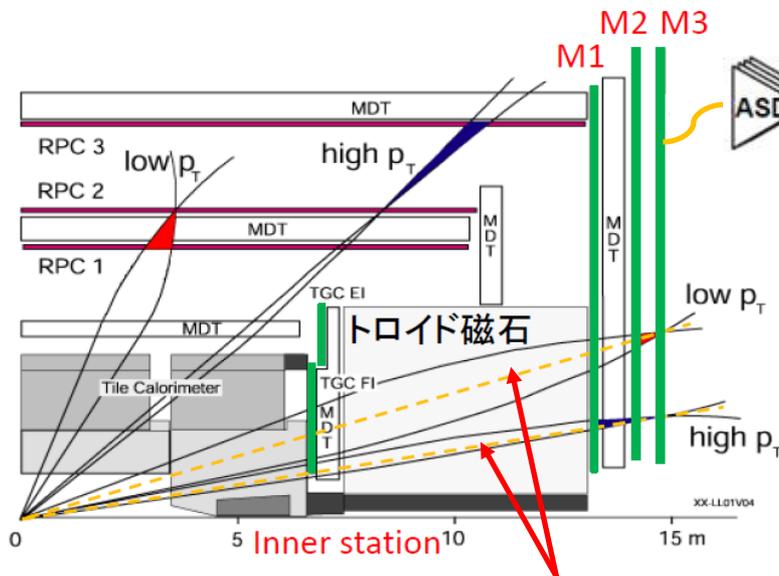


TGC

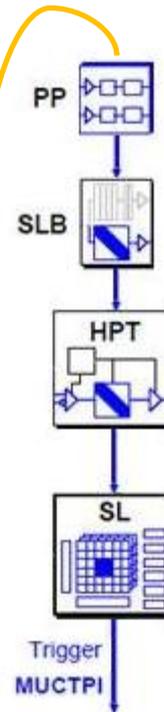
# TGCエレクトロニクス

TGC : M1, M2, M3, Inner stationで構成

M1(wire 3 layers, strip 2 layers)  
 M2(wire 2 layers, strip 2 layers)  
 M3(wire 2 layers, strip 2 layers)



M3のhit positionとビーム衝突点を結ぶ直線  
 = 無限運動量トラック



**SLB (Slave board) : Low-Pt**

- M2とM3のcoincidence (wire, strip 別に)

**HPT (High-Pt board) : High-Pt**

- SLBでcoincidenceが取れたものとM1のcoincidence (wire, strip 別に)

**SL (Sector Logic)**

- wire、stripの情報を統合、最終的なcoincidence
- Ptを概算

※Low-Pt, High-Ptでは、M2, M1でのhit positionと無限運動量トラックとの差 ( $dR$ ,  $d\phi$ )に条件を設けている

# トリガーレート増加への対応策

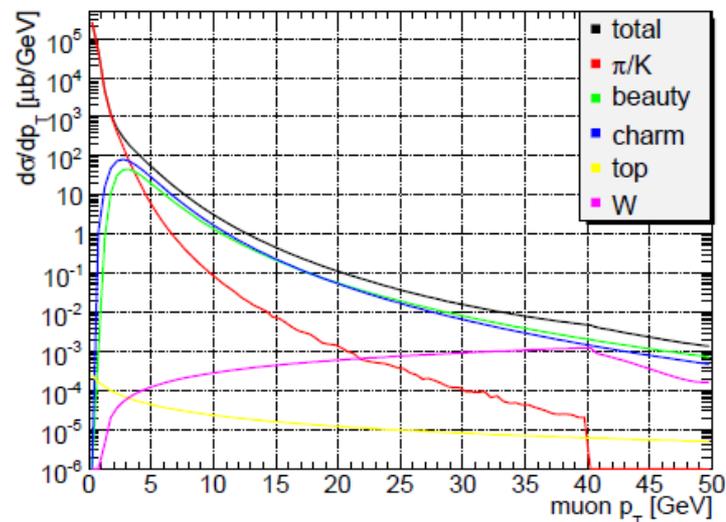
- Endcap ミューオントリガー
  - $\pi/K, b, c$ 由来のミュオンを落としたい
    - 20GeV/c以下の低いPtのミュオンを防ぐ
    - TGCだけでは運動量分解能が足りない
    - 他の検出器も使う  
e.g. 内部飛跡検出器, MDT... etc
  - isolated ミュオンがほしい
    - イベントポロジートリガーを考える
    - カロリメータ、内部飛跡検出器を使う

High-Pt threshold (20GeV/c)

process(kHz)	trigger rate
total	95
$\pi/K$ decays	20
bottom	30
charm	35
top	0.0049
W	0.39

←ルミノシティ  
 $10^{35} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、  
 今のトリガー  
 で予想される  
 トリガーレート  
 内訳 (Endcap)

↓微分断面積



# アップグレード後のトリガーレート

- 現在のトリガーのままアップグレードすると...
  - バックグラウンドがなくても **95kHz** (@Endcap)
  - + fakeトリガーレート: **50kHz**
    - accidental hit の関わる High-Pt トリガーレートの値から算出
- TGCだけではトリガーレートを落とすのは厳しい
  - **Inner station** を使うことを考える

accidental hitがPt判定に与える影響  
6GeVのミュオンを20GeVと間違える割合

- accidental hitなし: 0.95%
- accidental hitあり: 0.98%

→ 差は0.03%. 小さい

accidental hit

- correlated hit  
ビームハローミュオン、etc
- uncorrelated hit  
 $\gamma$ 、中性子、etc

(MHz)	M1	M2	M3
Uncorrelated	51	40	40
Correlated	16	13	13

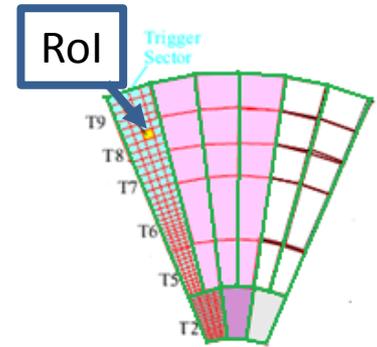
layerごとのaccidental hit レート

(MHz)	wire	strip
Low-Pt	19	20
High-Pt	0.43	2.3

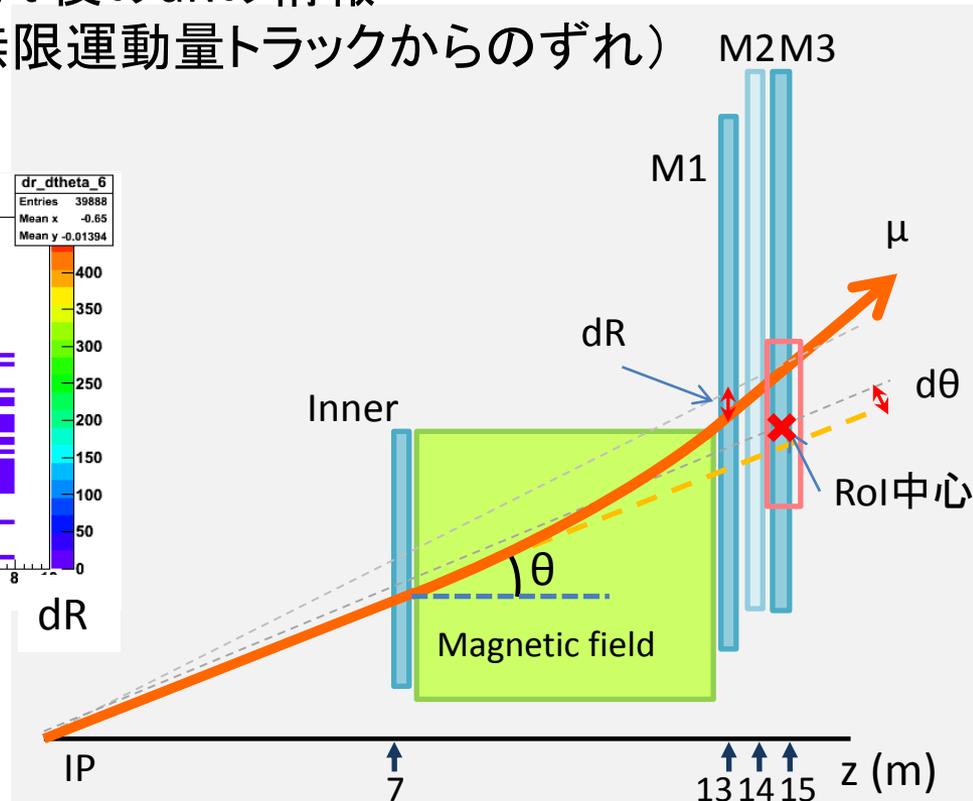
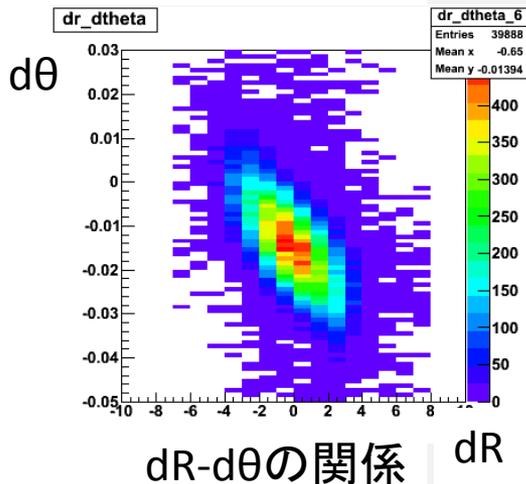
accidental hitの関わる  
トリガーレート

# Inner stationとのcoincidence

- Region of Interest ( RoI ) ごとにcoincidence
- Inner stationとのcoincidenceに用いるもの
  - $d\theta$ : (Innerでの角度) - (RoI中心とIPを結ぶ直線の角度)
  - $dR$ : High-Pt 後の $dR$ の情報  
(M1での無限運動量トラックからのずれ)



↑TGC 1/8  
 緑が1つのSLで  
 カバーする範囲



Look Up Table :

4-bit( $dR$ ) × 5-bit( $d\theta$ )

- $dR$ : -7 ~ +7
- $d\theta$ : [RoI#]

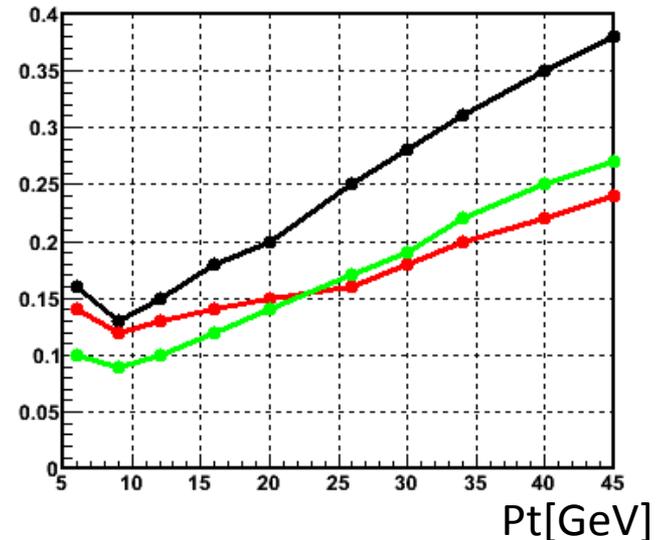
0~4: 幅96mrad  
 5~52: 幅64mrad

※RoI#: Rの大きい方  
 (外側)からRoI#(0,1,...,52)

# Inner stationとのcoincidence

- アップグレードの時にInner stationを置き換える
  - そのための検出器はR&Dの段階
- Inner stationからの情報
  - 精度1mradの角度情報
    - 運動量分解能が上がる(右図)
    - トリガーレート: **~50kHz**まで落とすことができる
- Inner stationに要求する条件
  - 精度:
    - $\theta$ 方向: 1mrad
    - $\phi$ 方向: ~30mrad(Region of Interest (RoI)がひとつ指定できるくらい)

Resolution ( $1.5 < |\eta| < 2.0$ )



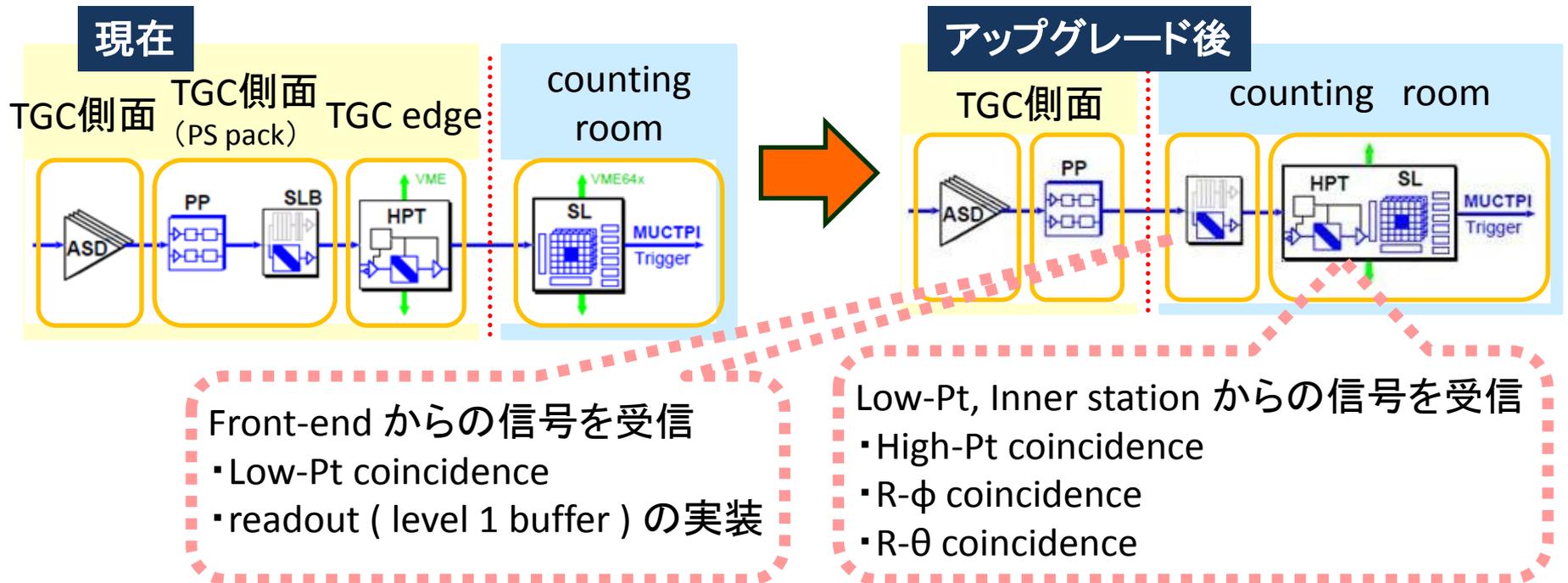
Black: Vtx + TGC

Green: Inner (精度1mrad) + TGC

( Red: Vtx + MDT Middle )

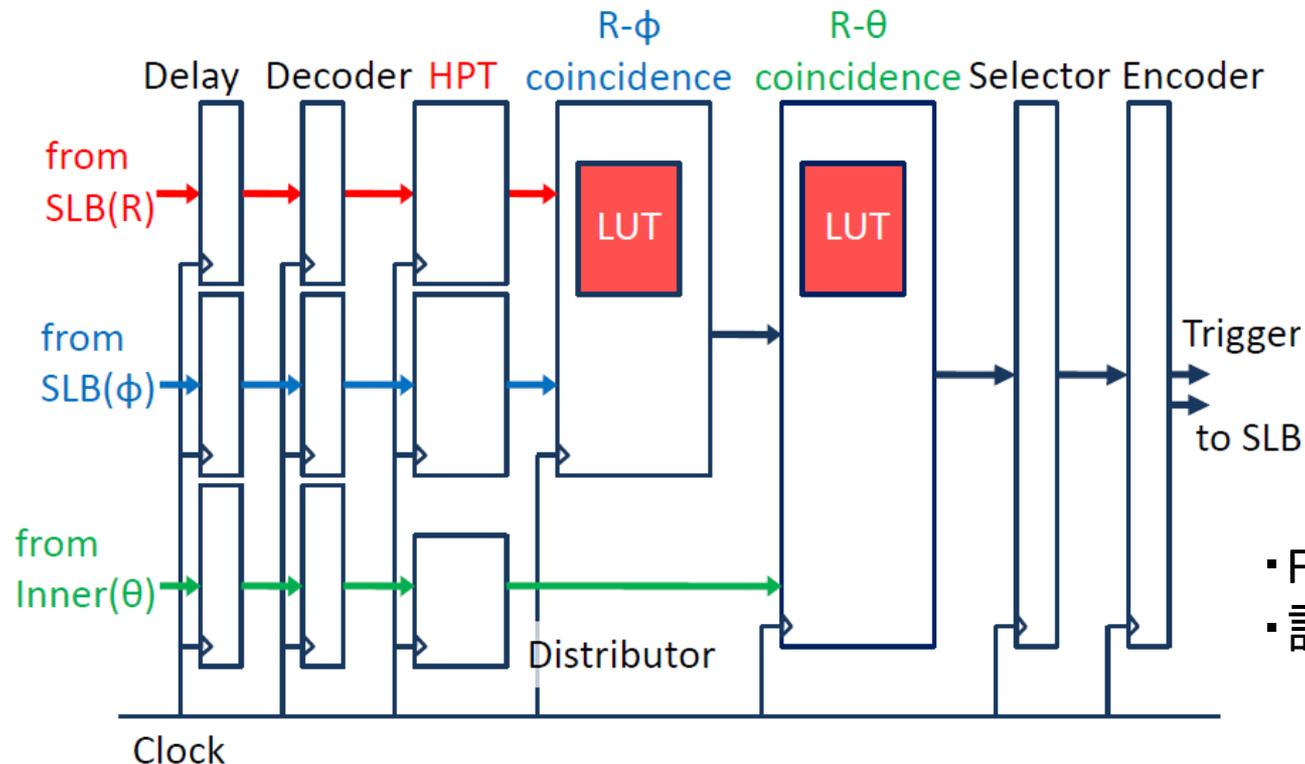
# アップグレード後のエレクトロニクス

- レイテンシの延長 ( $2.5\mu\text{s} \rightarrow 5\mu\text{s}?$ )  
 → フロントエンドエレキの交換
  - SLB以下をcounting roomに置く
  - SLB~SLを2種類のchipにまとめる



# 新しいSL (+HPT)

- HPTとSLを1つのchipにまとめる
- wireでLow-Pt coincidenceが取れたものに、順次 coincidenceを取っていく
  - HPT → R- $\phi$  coincidence → R- $\theta$  coincidence



- FPGAに実装
- 設計を始める

# まとめとこれから

- LHCのアップグレードに向けて、Endcapミュオントリガーのスキームを考察
  - 低いPtのミュオンを防ぐために、Inner stationからの角度情報( $d\theta$ )とHPTからの情報( $dR$ )の相関関係を用いることに決定
  - Inner stationからの精度1mradの角度情報を用いることで、トリガーレートを約50kHzに落とすことが可能
- 今後は
  - 詳細なトリガーレートのMC simulation
  - HPT, Inner stationとのcoincidenceを組み込んだSector Logicの細かい仕様の設計を行う予定



# トリガー効率

