

ヒッグス粒子をとらえる最新技術 - ミュー粒子トリガーシステム -

名古屋大学
高エネルギー物理学研究室
博士課程1年

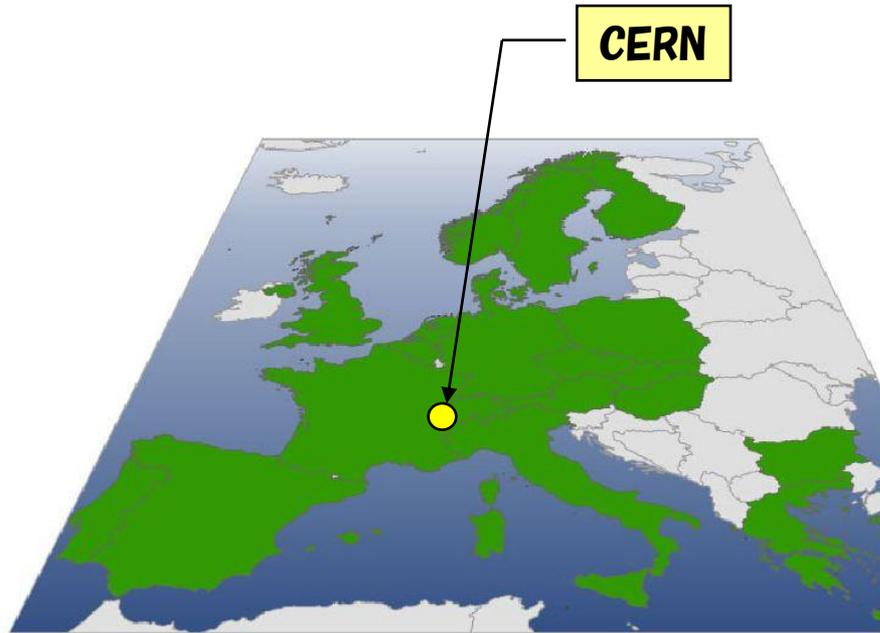
奥村恭幸

Search for Higgs Particle



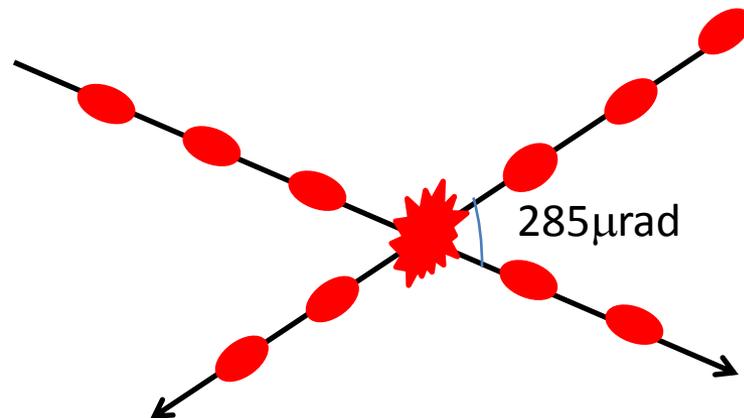
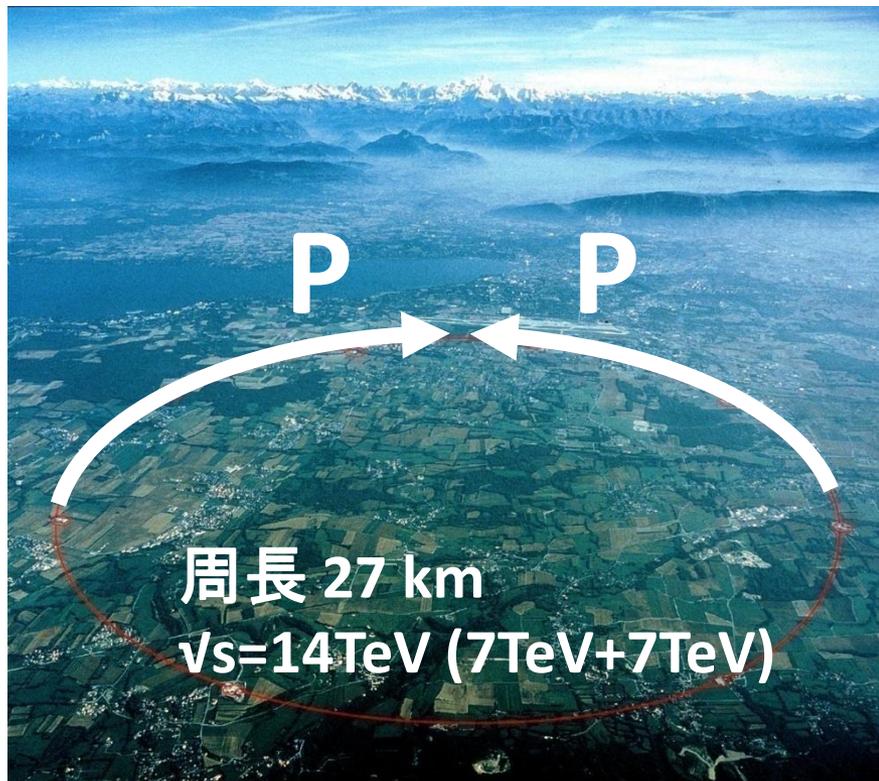
- Higgs粒子
 - 素粒子標準理論における最後の未発見粒子
 - Higgs場の粒子としての現れ
 - 「質量の起源」解明のための大きな手がかり

CERN, LHC, and ATLAS



- CERN[European Organization for Nuclear Research]
 - 構成員 欧州20か国/オブザーバ国 5か国(日本含む)
 - 国際色豊かな、素粒子物理学のメッカ

CERN, LHC, and ATLAS

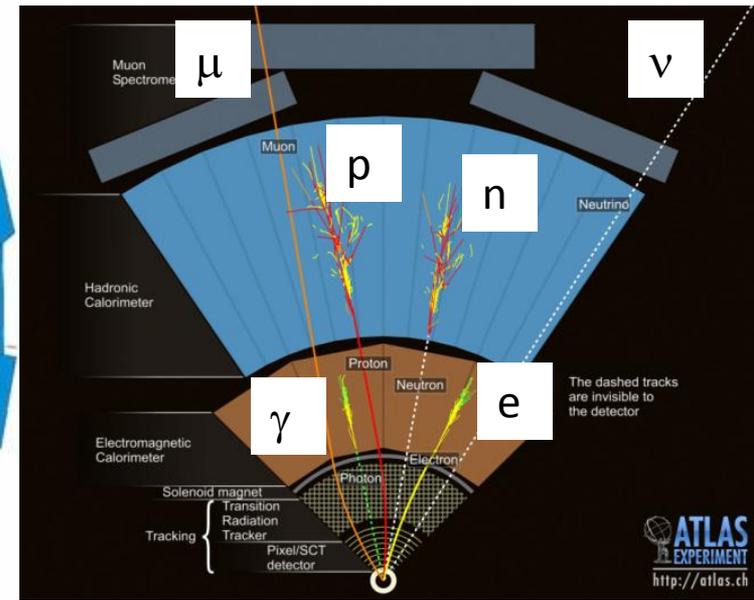
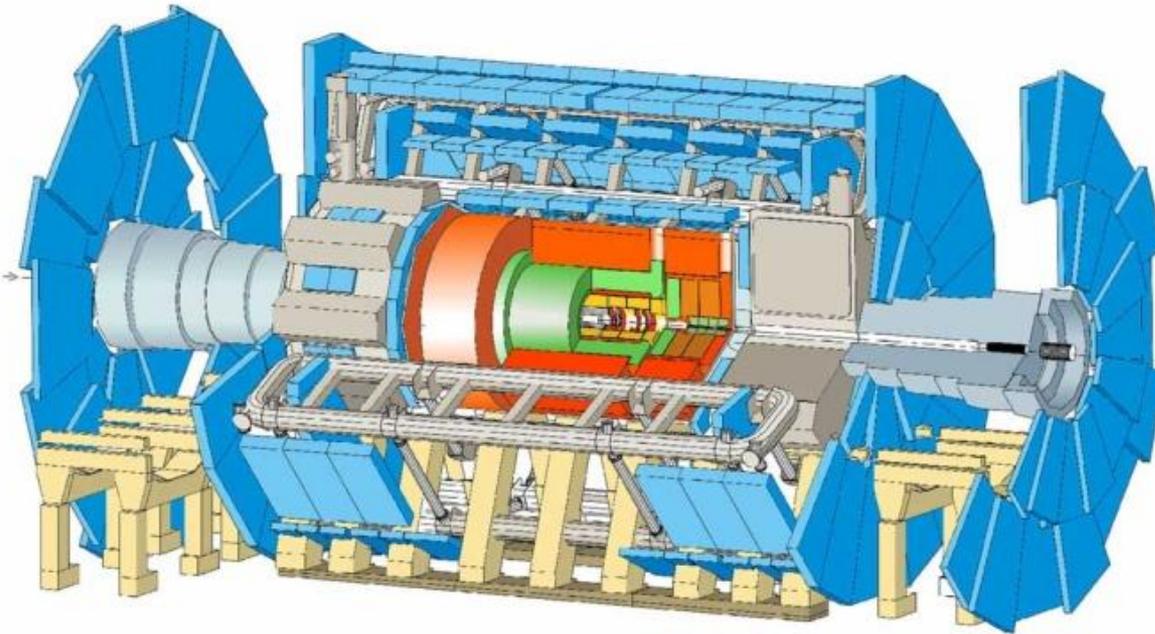


陽子集団(BUNCH)同士の交差(CROSSING)

- 陽子の数 10^{11}
- 7.5 m 間隔 = 25 ナノ秒周期 (40MHz)

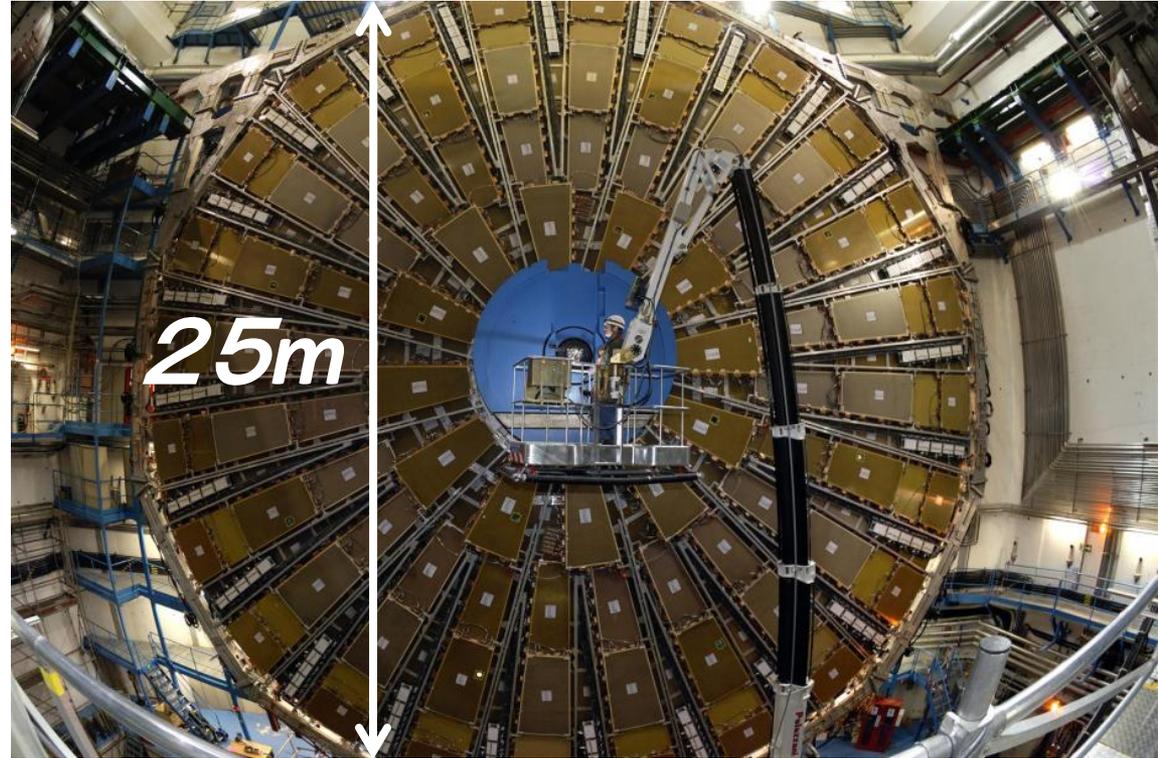
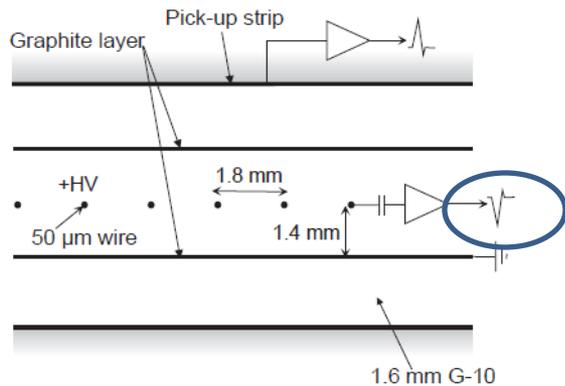
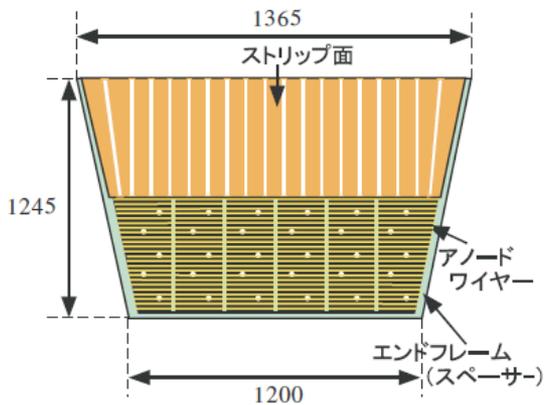
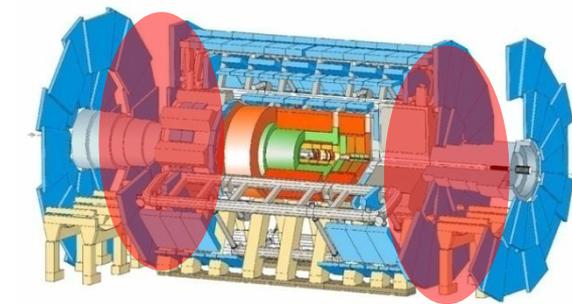
- 一回の交差で平均25組の陽子-陽子が衝突する
- ヒッグス粒子生成事象は0.1 Hz程度
 - ヒッグス探査におけるシグナルノイズ比 $S/N 10^{-10}$

CERN, LHC, and ATLAS



- 全立体角を覆う汎用検出器
 - 飛跡検出器 / カロリメータ / ミュー粒子検出器
- ヒッグス粒子の崩壊終状態粒子をとらえる
 - 粒子種 / 運動量 / エネルギー

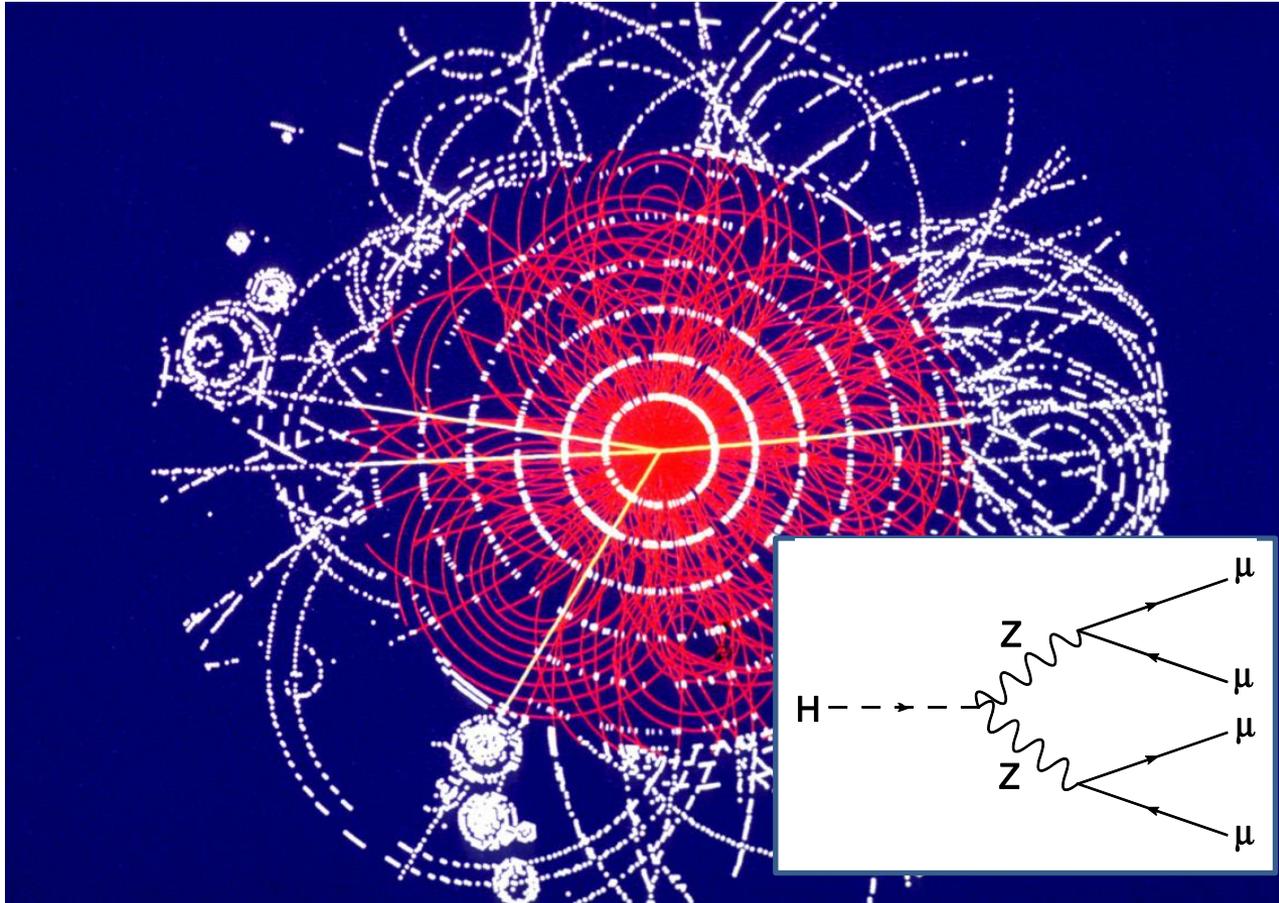
ミュー粒子検出器 TGC



- **TGC (Thin Gap Chambers)**

- 高速応答可能な荷電粒子検出器 (<25ns)
- 高い検出効率 (~100%)
- 高い位置分解能 (~1mm)

Higgs粒子探索とミュー粒子



- 高い横運動量のミュー粒子はヒッグス探索において、よいプローブになる

トリガーシステム

- $N(\text{higgs})/N(\text{other}) = 10^{-10} = 1/(100\text{億})$

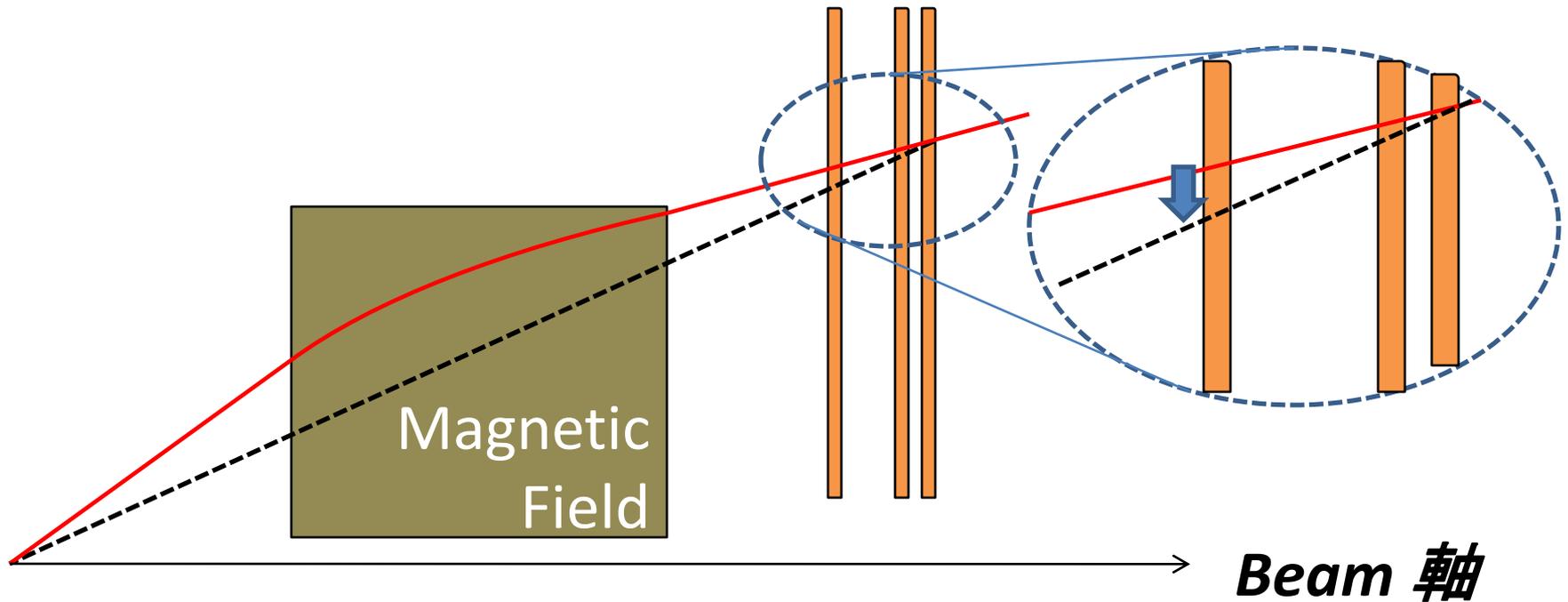
- 網目の荒いふるいにかけて
- 残ったものを細かいふるいにかける

- Higgs 探索のために
 - 「高運動量ミュー粒子を含む」衝突事象のみを記録する
 - 詳細な解析が可能になる



ミュー粒子トリガーシステムの成功が
ヒッグス探査の鍵を握る！

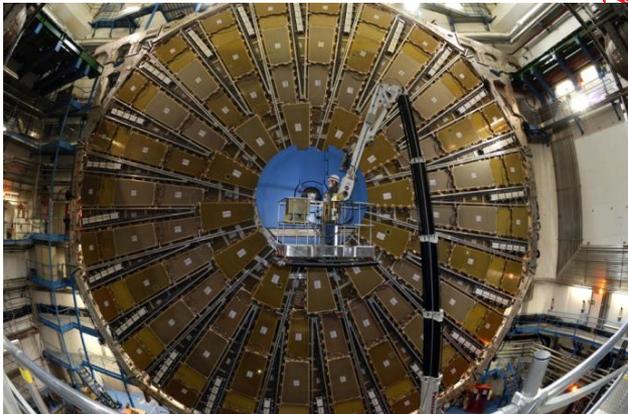
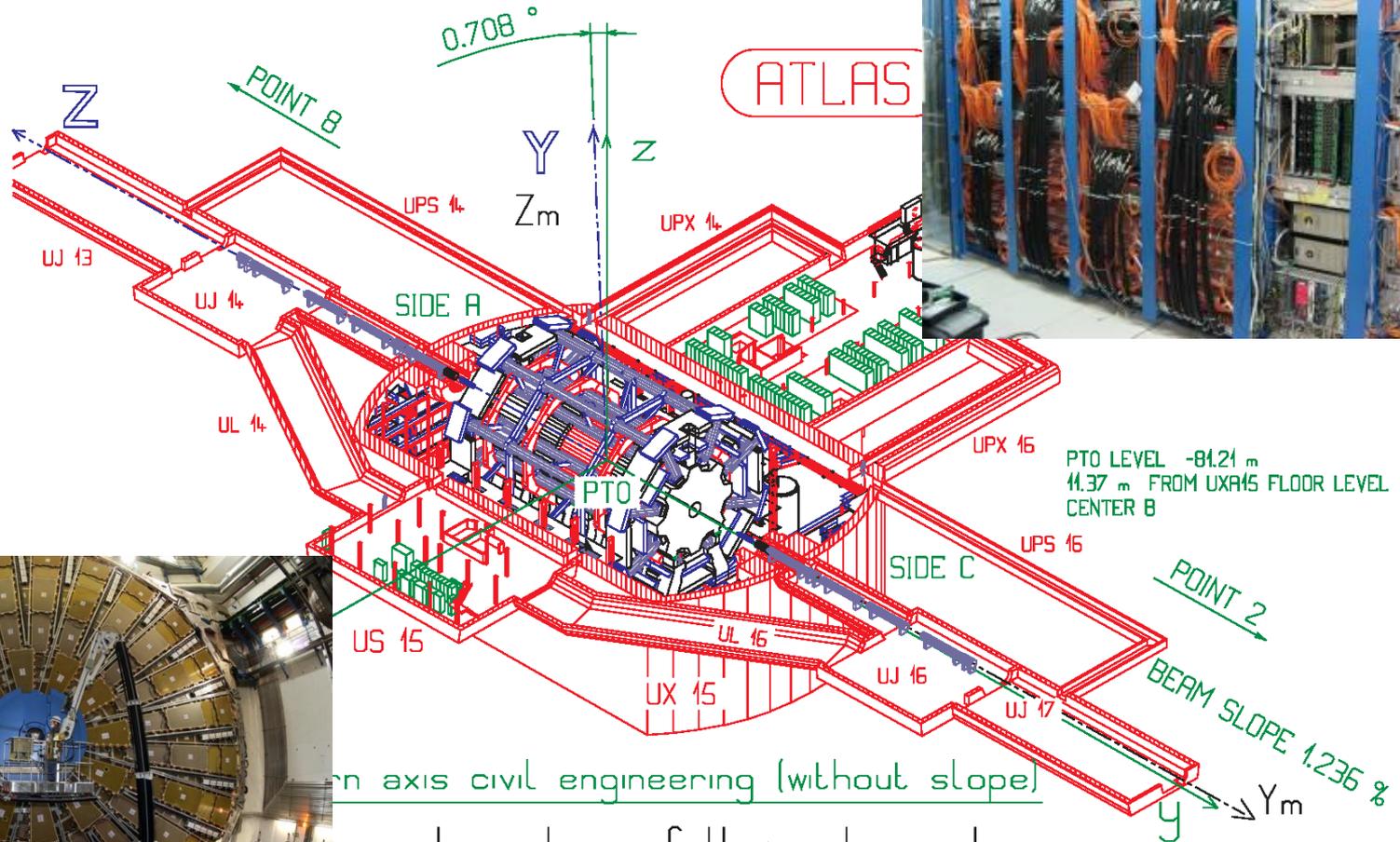
ミュー粒子トリガーシステム



- マグネット + 荷電粒子検出器
 - 最外層の検出器のヒット点を軸に、どの程度直線トラックとずれているかが指標
 - 高い運動量のミュー粒子のヒットパターンを含む事象を選別

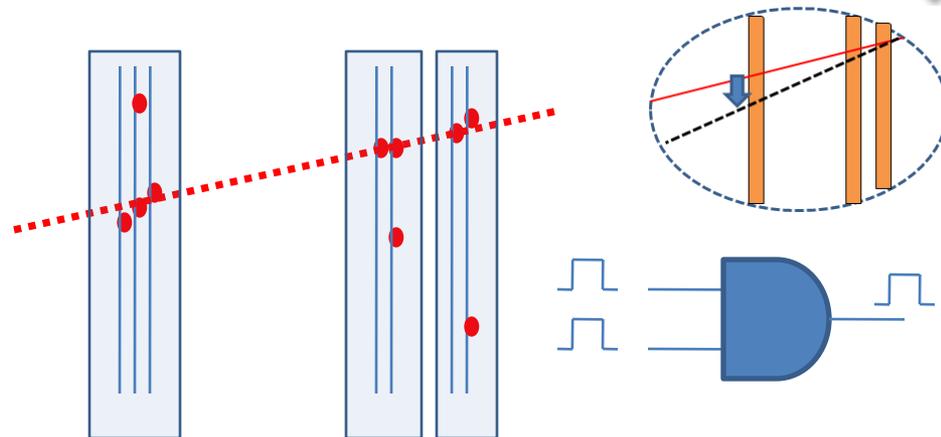
ミュー粒子トリガーのための技術

TGC + Trigger Electronics



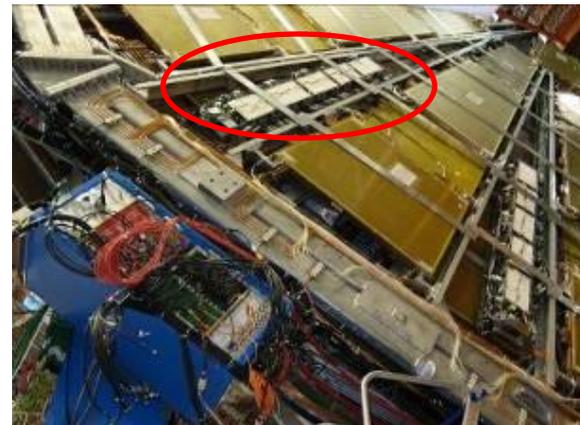
in axis civil engineering (without slope)
in mechanical axis following beam slope
DETECTOR AXIS FOLLOWING BEAM SLOPE

ミュオン粒子トリガーのための技術

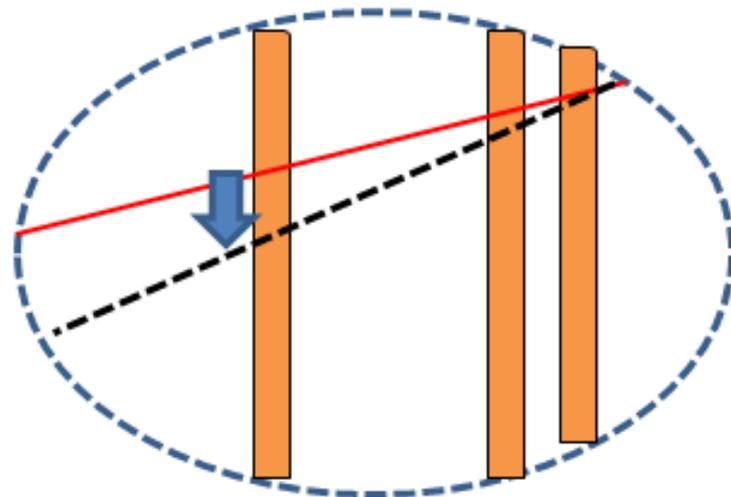
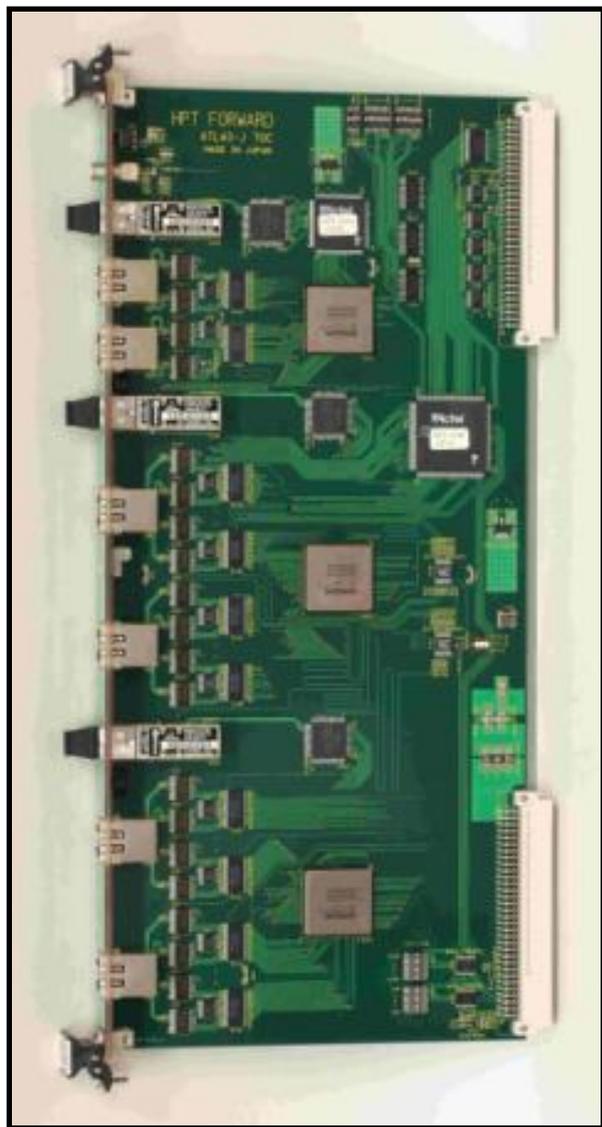


ステーション内の複数層のコインシデンスをとることによりミュオン粒子通過によるヒットを選別

1500 Boards



ミュー粒子トリガーのための技術

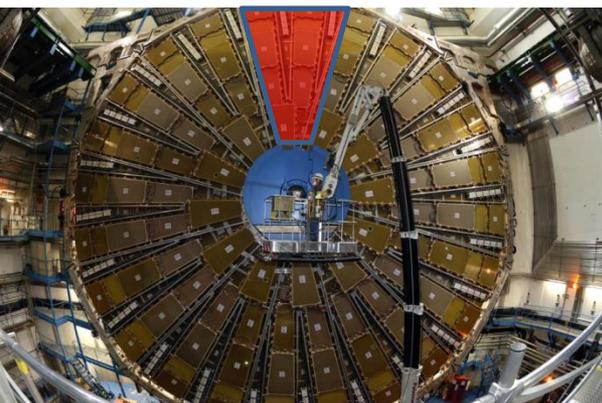
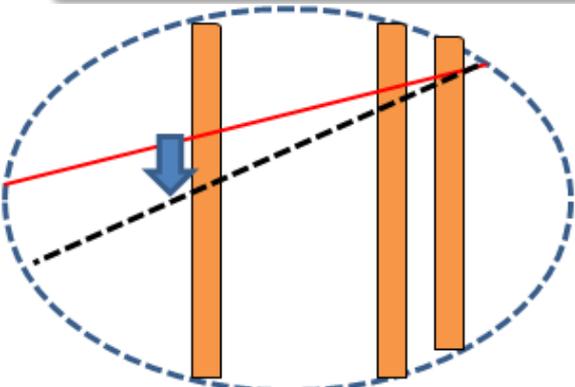


ステーション間のコインシデンスをとることにより
直線飛跡との差分を計算



192 Boards

ミュー粒子トリガーのための技術

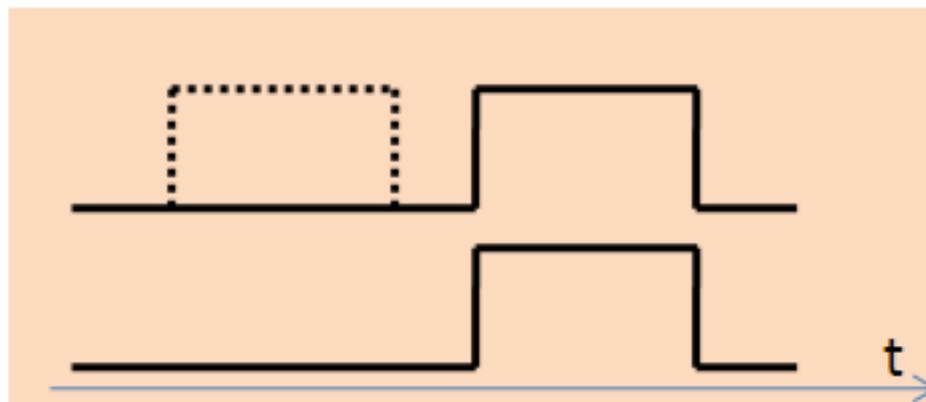
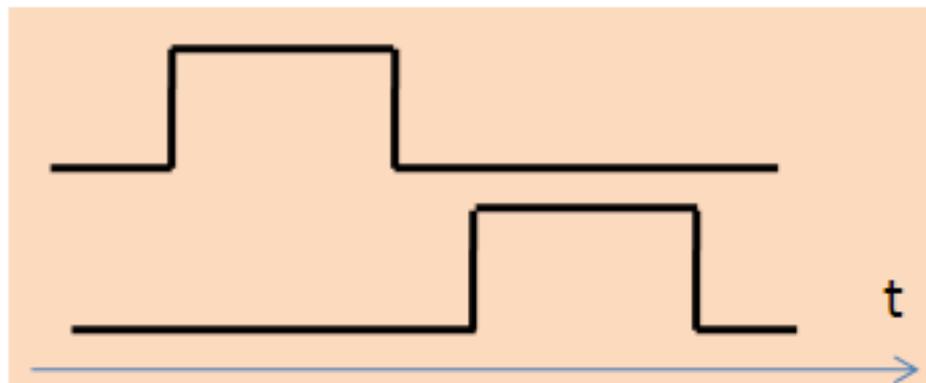


72 Boards

- ***Coincidence Trigger Electronics***

- 三段階の論理で32万チャンネルのCoincidenceを実現
- 運動量を概算し、トリガー信号を発行する

コインシデンスを達成するために

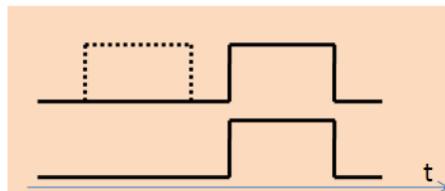
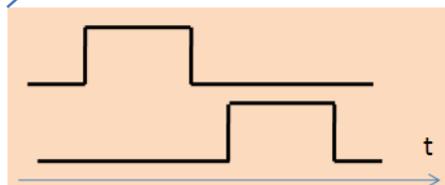
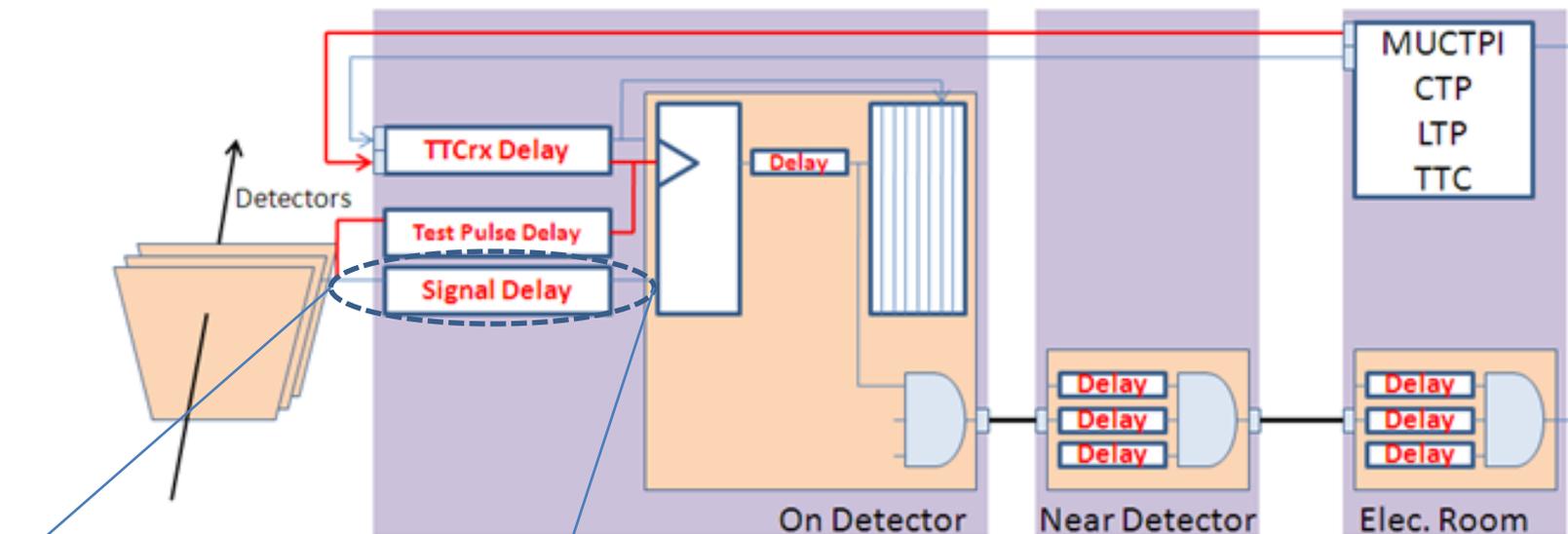


- コインシデンス論理

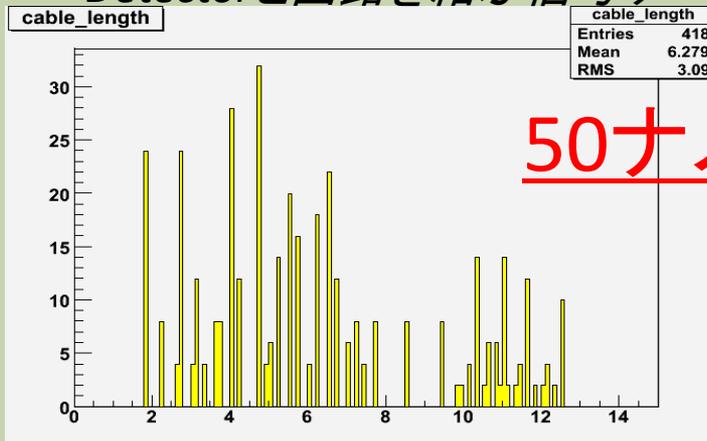
入力のタイミングを全て揃えることが必要不可欠

コインシデンスを達成するために

各コインシデンス回路の入力に実装された可変ディレイ

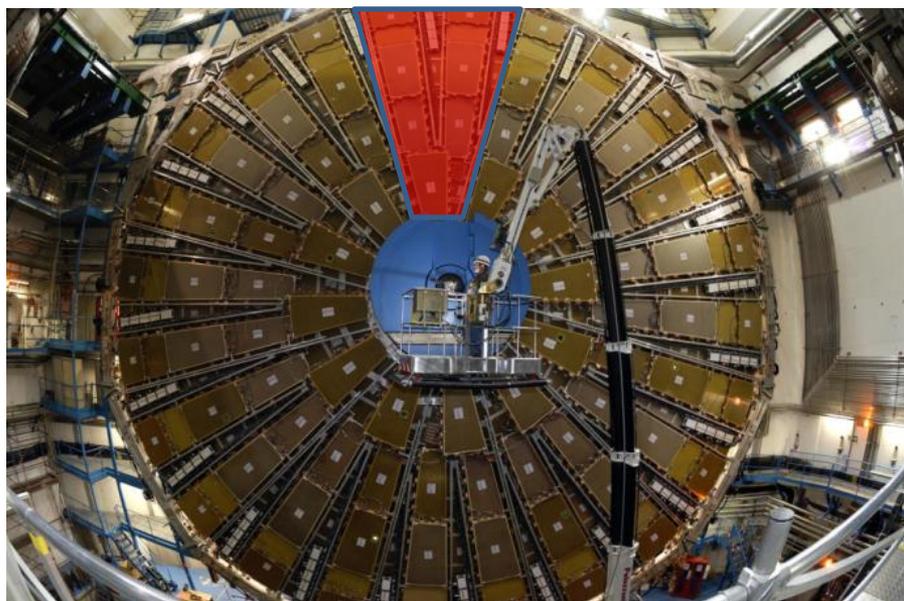
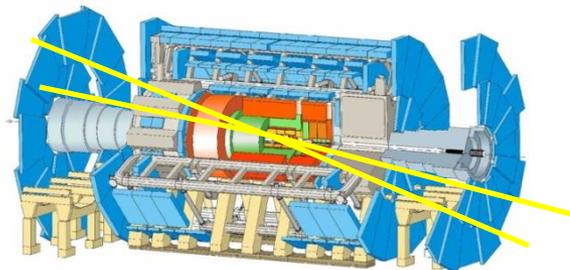


Detectorと回路を結ぶ信号ケーブル長

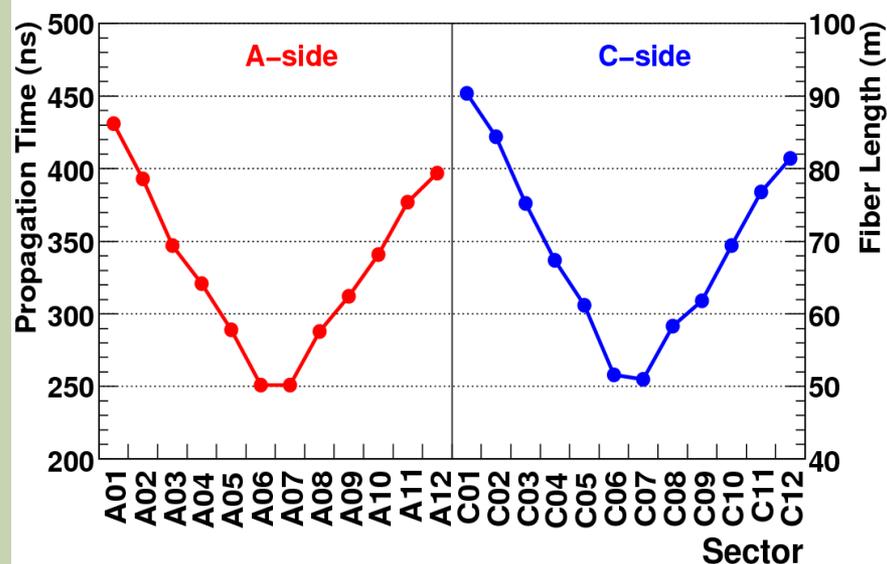


50ナノ秒の差

コインシデンスを達成するために



電気回路室と、実験室を結ぶ光ファイバー長



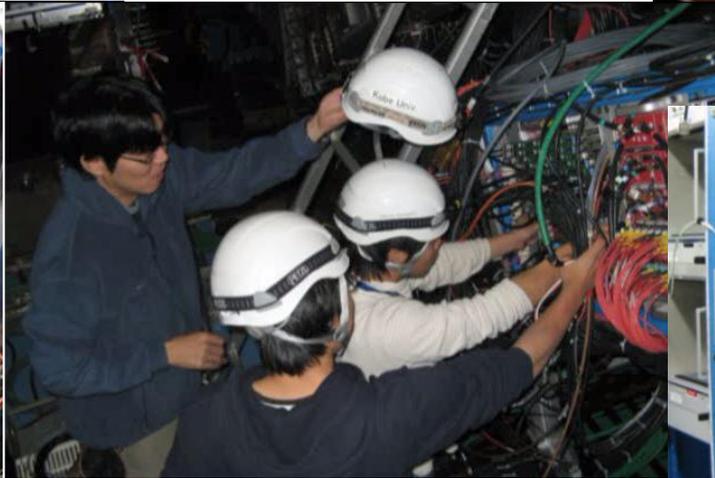
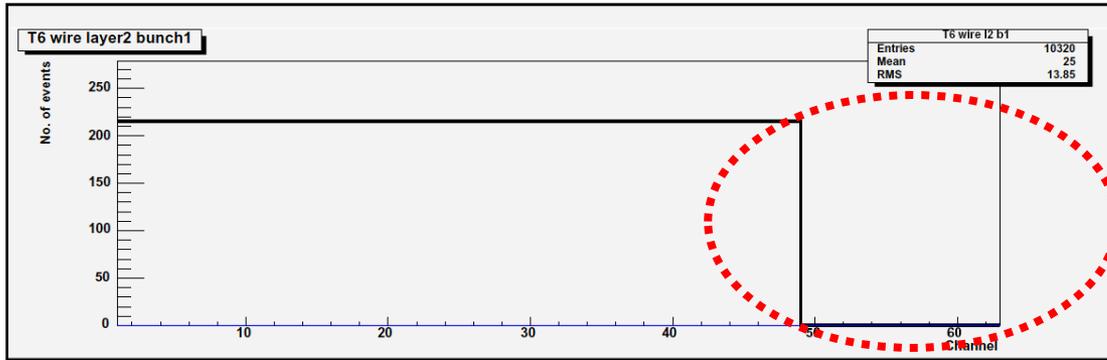
200ナノ秒の差

ミュオン粒子トリガー最高精度での稼働のためには、信号伝搬遅延時間の実験ホールでの精密な測定が**必要不可欠**！

ミュー粒子トリガーシステムへの要請

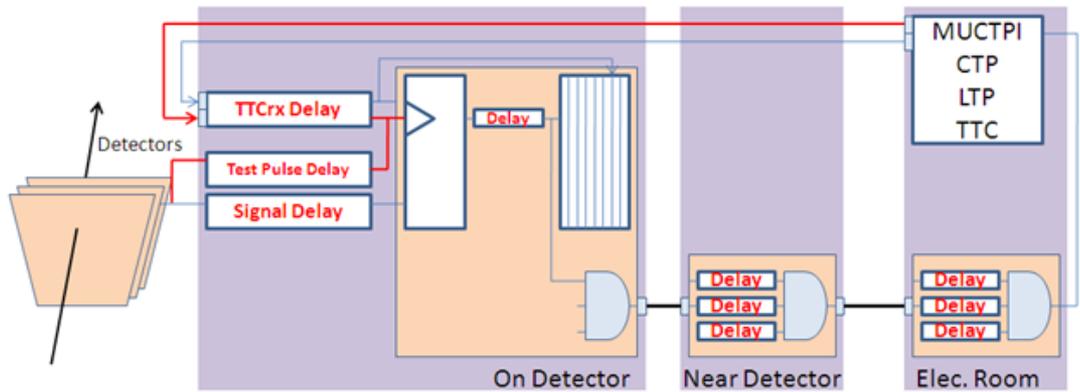
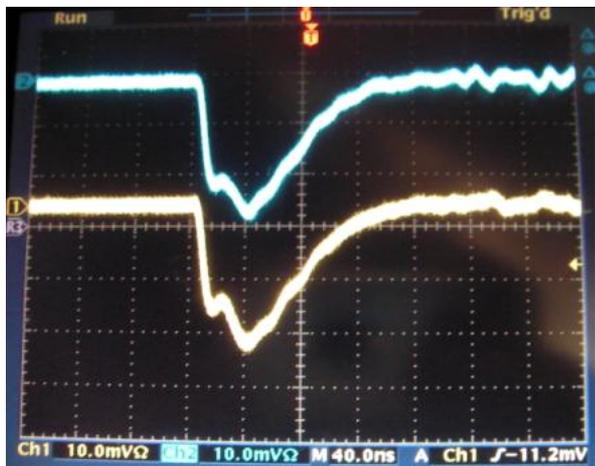
- 全ての立体角において穴なく運転できていること、トリガー信号が出力されること。
 - ハードウェアの設置、検査
 - コインシデンス入力での信号時間調整
- 全ての領域からのトリガー信号がそろろうこと。
 - トリガー信号伝搬時間(光ファイバー長)の調整
- 正しく運動量を判定してトリガー信号を出力していること。

ハードウェアの設置・検査



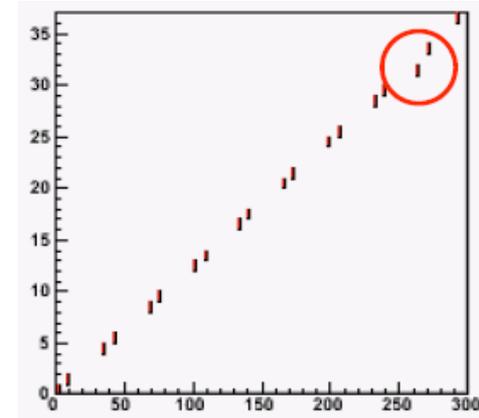
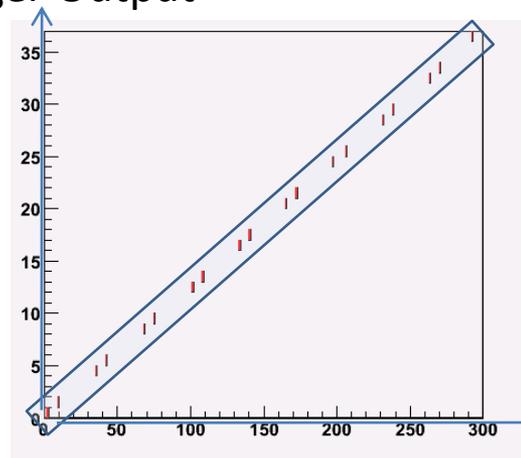
- 期限までに全てのハードウェアの設置を終えた (~2008/5)
- 全検出器、信号ケーブル/ファイバー、モジュールを検査

信号のタイミング調整



Trigger Output

Trigger Output



Input Pattern

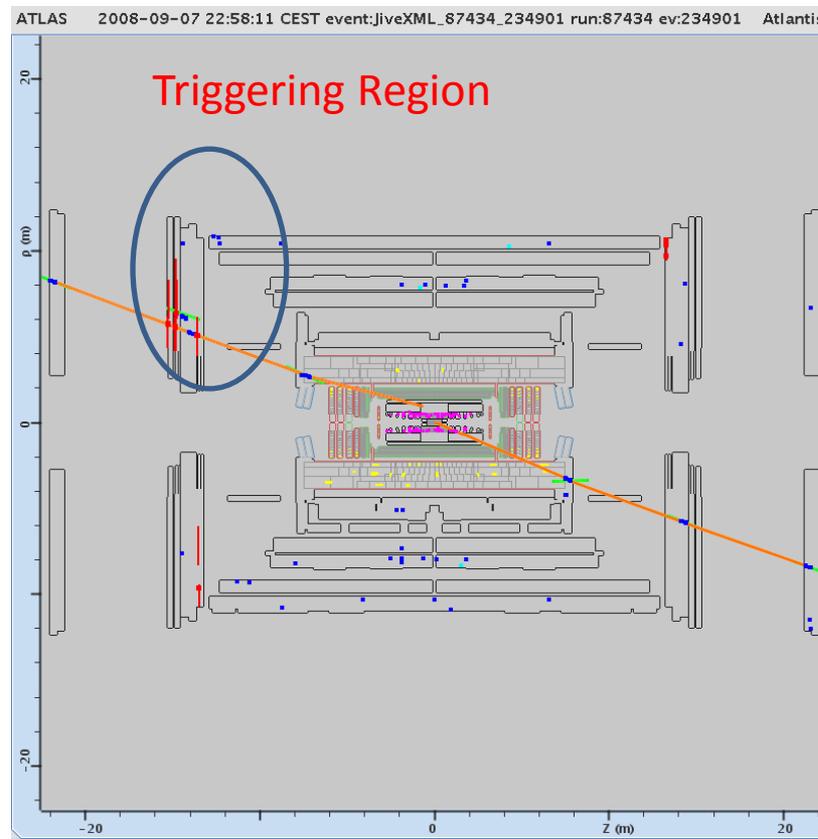
Input Pattern

- 地下実験ホールで、**精密に信号伝搬時間**を測定
 - 全可変遅延パラメータを決定
- 2100のテストパルスによるトラックパターンで確認

Cosmic Commissioning

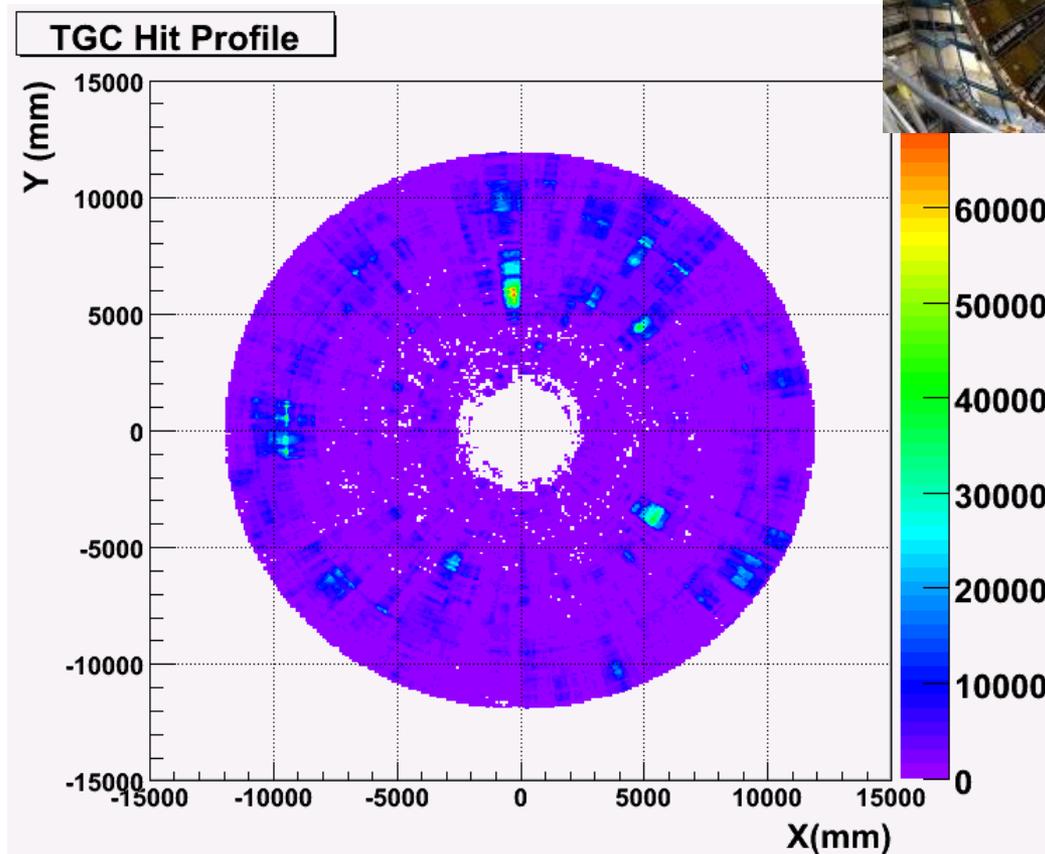
- TGCTトリガーイベント

- 高横運動量ミュオン粒子に相当する宇宙線ミュオン粒子に対してトリガー信号を出力



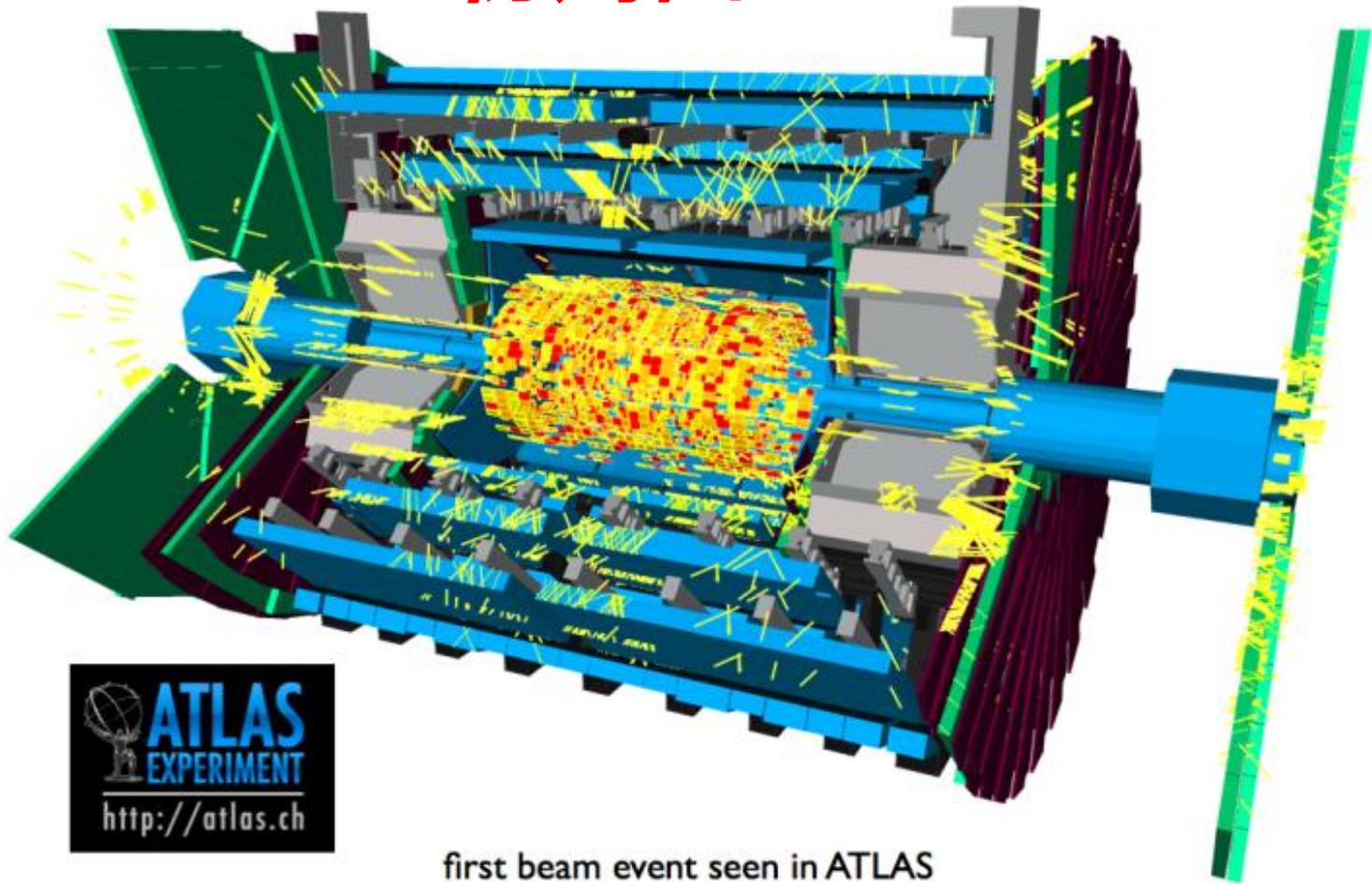
Cosmic Commissioning

- 全検出領域でトリガー信号を出力



Beam Commissioning

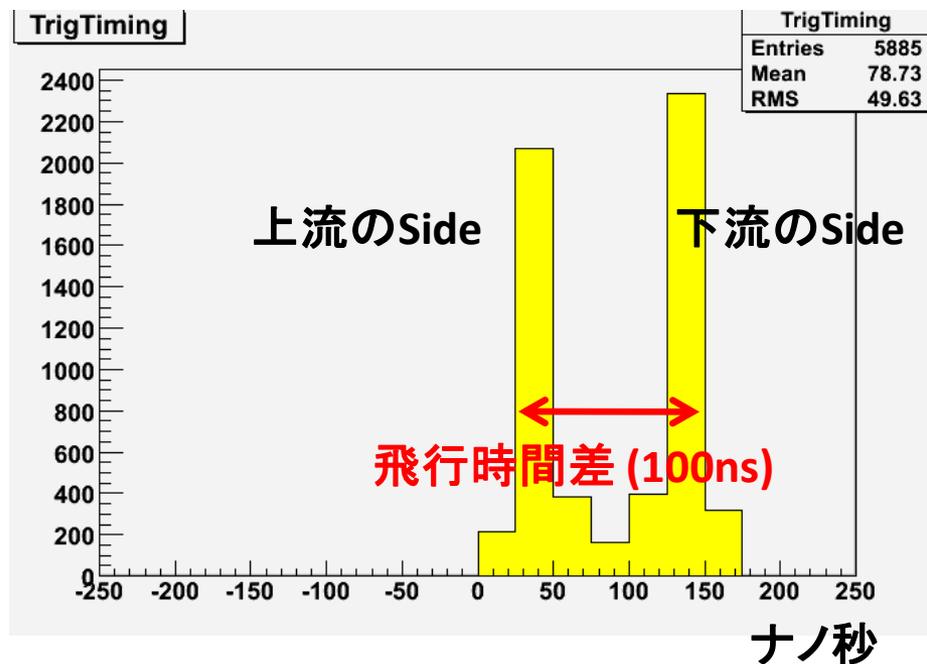
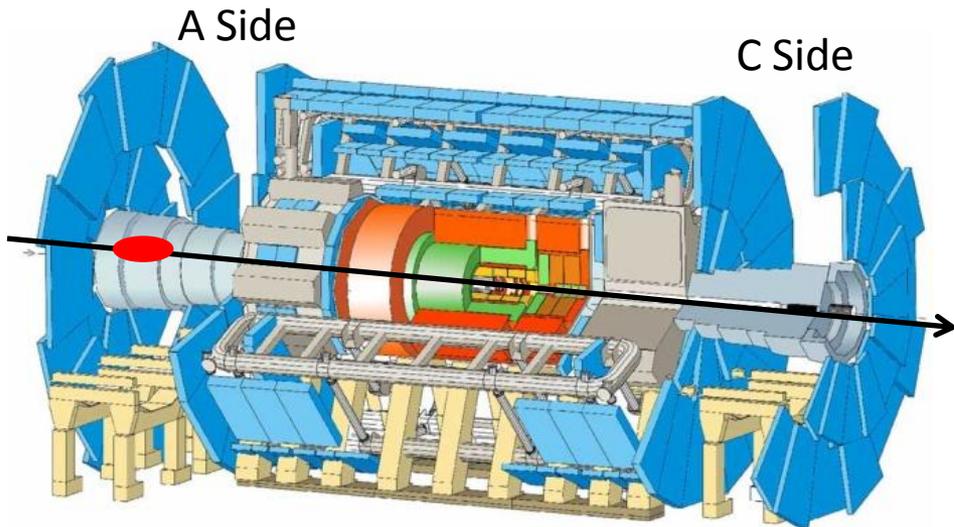
9/10 LHC Beam 初周回 !



first beam event seen in ATLAS

Beam Commissioning

- ミュー粒子トリガーのビームハロに対する応答



「25ナノ秒の時間同定」の正常動作を実証

まとめ

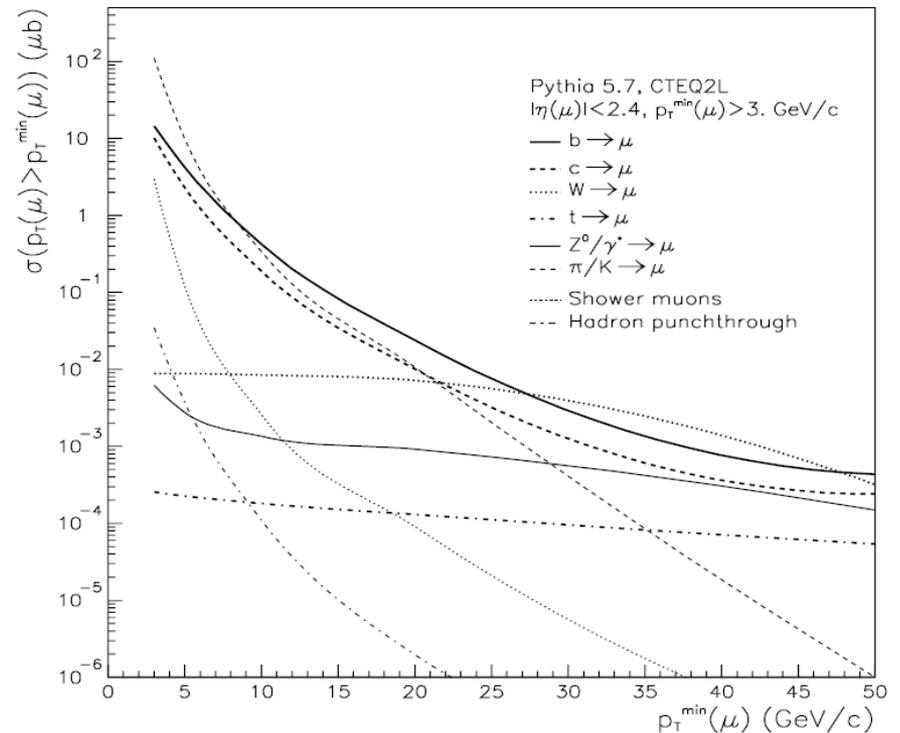
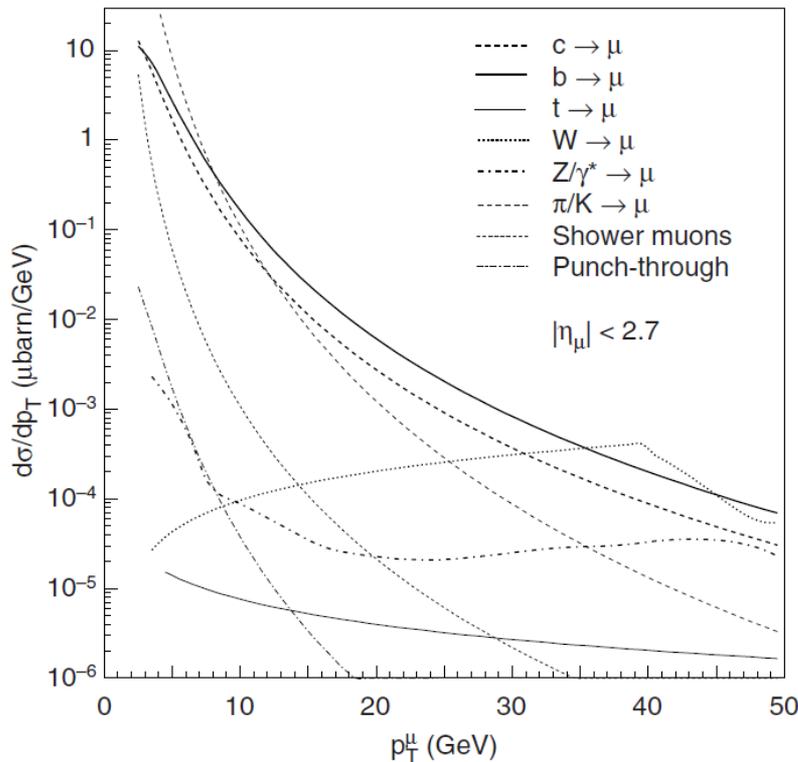
- ミュー粒子トリガーシステムを立ち上げ、その正常動作を実証した。
 - 全ての立体角からトリガー信号を出力するまでにシステムを育て上げた。
 - 全領域からのトリガー信号は25ナノ秒の時間同定を行うに十分に揃えてある。
- ビーム衝突が始まった後には、
 - ビーム衝突による粒子を用いた、最終調整。
 - トリガーが与える運動量の精度の確認
- これからが本番！
- ミュー粒子トリガーを用いたヒッグス粒子探索、もうすぐ！

ADDITIONAL SLIDES

補足資料

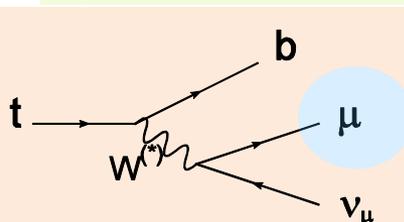
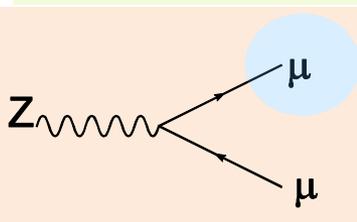
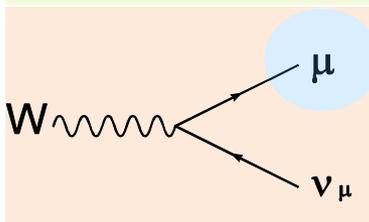
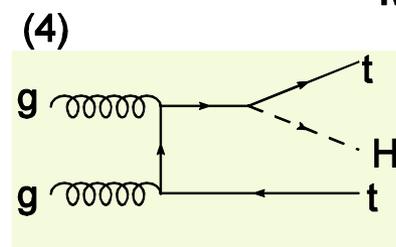
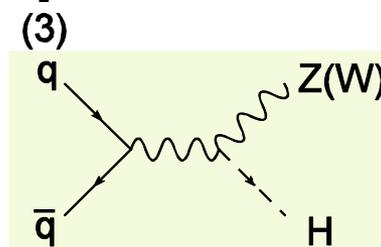
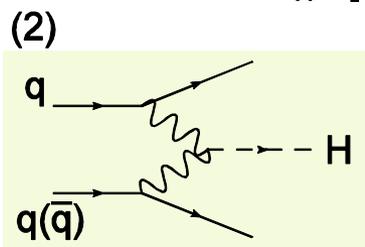
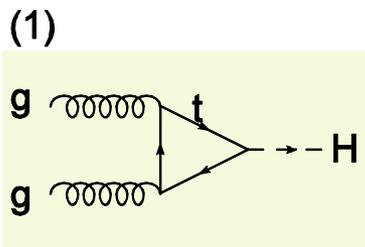
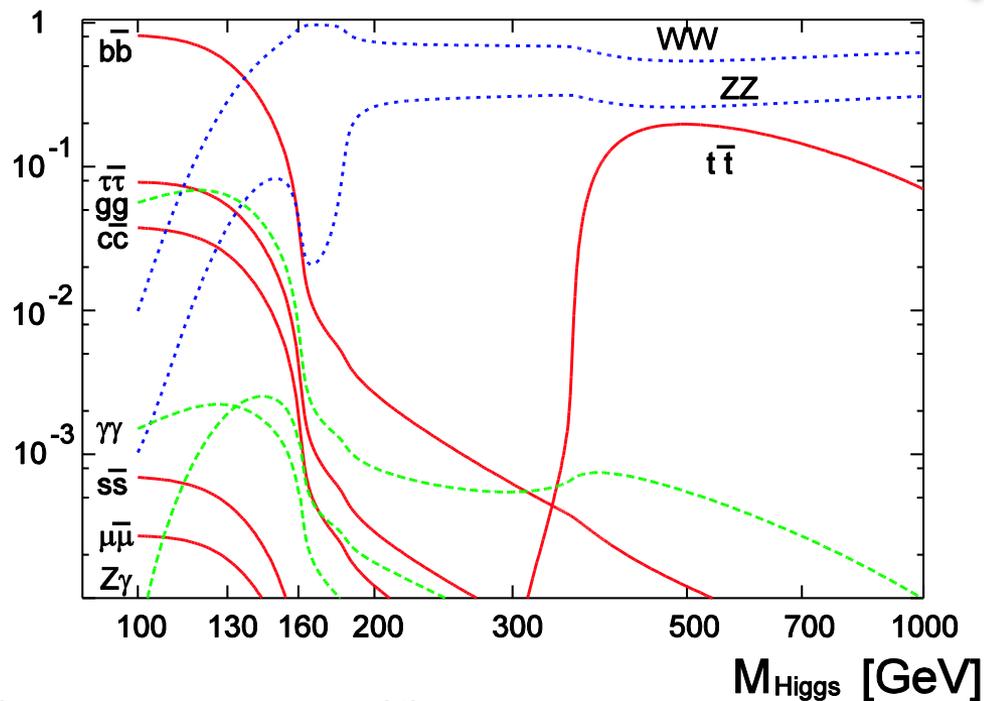
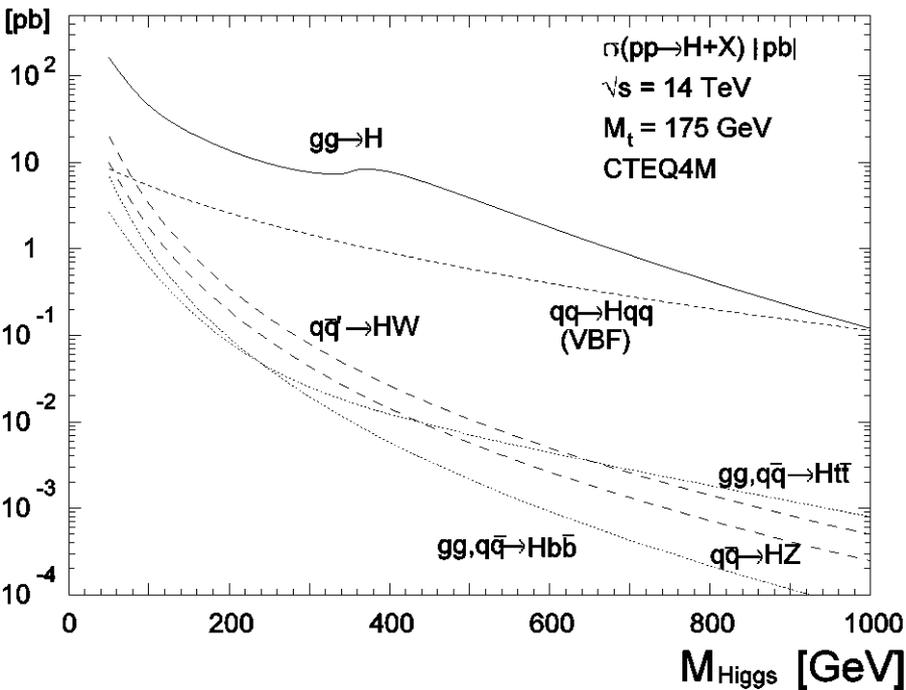
ミュー粒子の生成とトリガーレート

- ミュー粒子横運動量のThresholdとそのもととなる粒子。

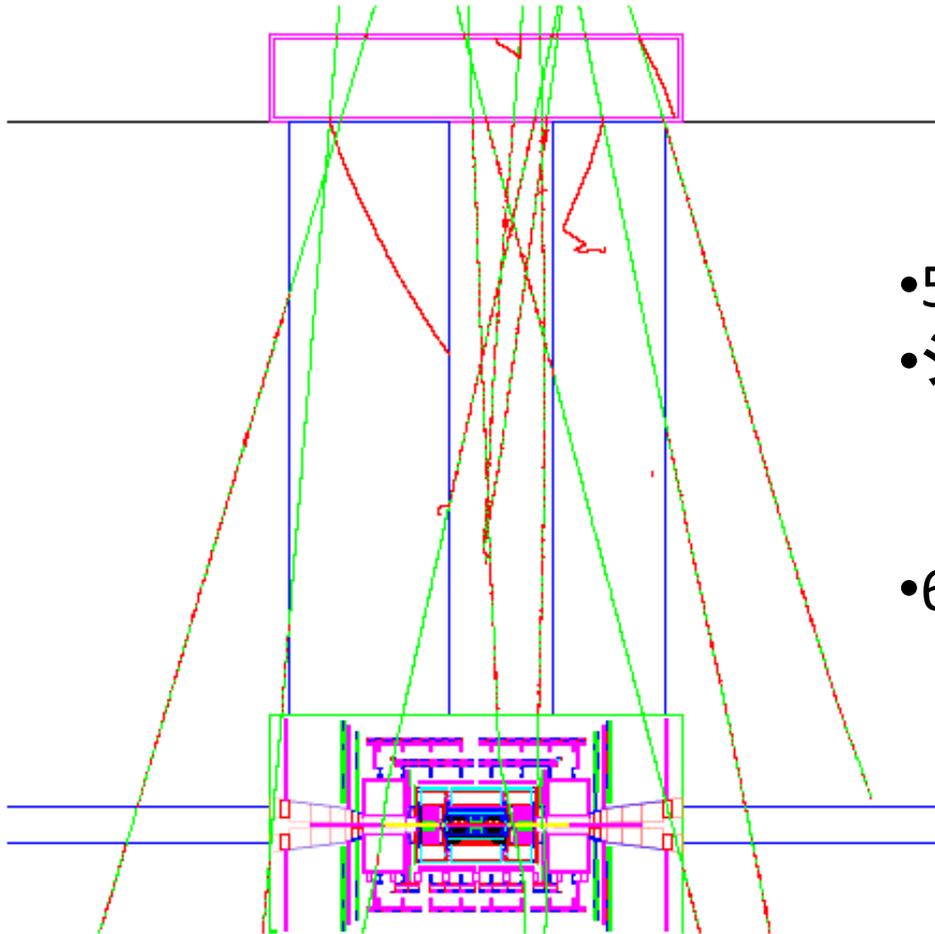


ルミノシティ $1034 / \text{cm}^2/\text{s} = 104 / \mu\text{b}/\text{s} = 10$

Higgs崩壊と、ミュー粒子



Cosmic at ATLAS



- 50 GeV以上のミュー粒子
- シャフトを抜けてきたミュー粒子

• $6.3 \times 10^{-3} = (/cm^2/s)$

Beam Halo at ATLAS

