

## LHC/ATLAS 報告

2013 年のノーベル物理学賞は、F. Englert と P. W. Higgs が受賞した。その受賞理由は"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider (LHC)" であり、ATLAS と CMS の実験によるヒッグス粒子の発見が大きく貢献した。LHC は 2010-2012 年の 3 年間順調に稼働し、ATLAS 検出器で取得された  $25\text{fb}^{-1}$  のデータ(重心系エネルギー $7\text{-}8\text{TeV}$ )ではヒッグス粒子の発見やその精密測定をはじめとした極めて重要な結果を出してきた。全データを使ったヒッグスの解析では、 $\gamma\gamma$ 、 $WW$ 、 $ZZ$  崩壊モードの最終結果と、スピンパリティ解析を 7 月 4 日に Physics Letters B に投稿し、最新号に掲載された (Phys. Lett. B 726 (2013), pp. 88-119 と pp.120-144)。

現在 LHC は長期シャットダウンに入り、2015 年から  $13\text{-}14\text{TeV}$  のランが始まる。今回の報告では、2015 年からの運転及び将来の高輝度 LHC に向けての準備状況を紹介します。

### 1. ミューオン検出器

ATLAS のミューオン検出器は、バレル部に Resistive Plate Chamber (RPC)、エンドキャップ部に Thin Gap Chamber (TGC)と、ミューオンを高速でトリガーするためのチェンバーが設置されており、さらに Monitored Drift Tube (MDT)がバレルとエンドキャップ部に、Cathode Strip Chamber (CSC)が

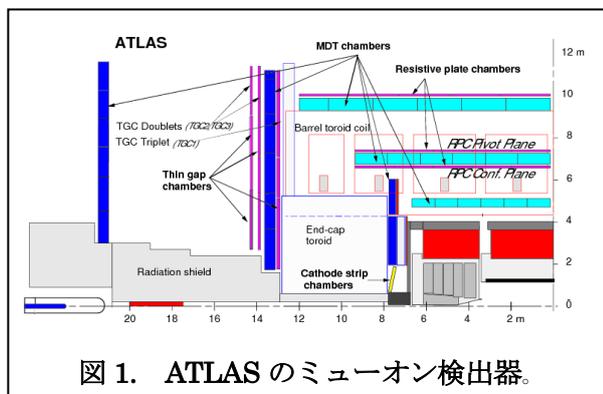
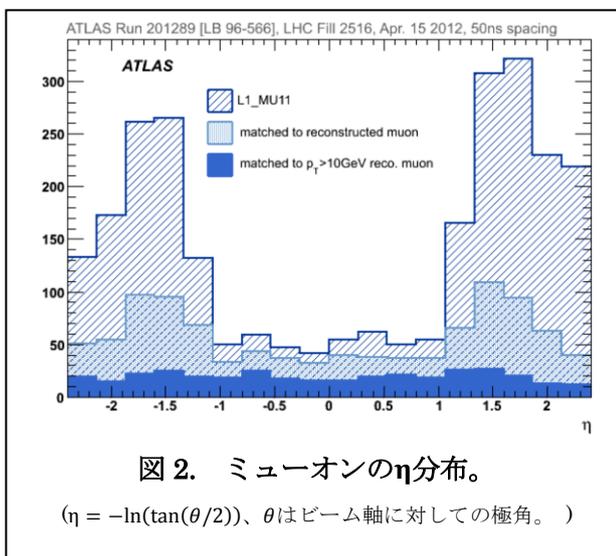


図 1. ATLAS のミューオン検出器。

フォワード部に高精度運動量測定のため設置されている(図 1 参照)。ATLAS では LHC のデザインである  $40\text{MHz}$  という高頻度でのビーム交差からの生じる興味ある事象を効率良く記録する為、3 段階のトリガーシステムを採用している。そのレートは、実際に ATLAS の主な解析で使用されるシングルミューオントリガーのチェーンを一つ例にとると、2012 年 8 月に記録された最高瞬間ルミのシティー $7.7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 時で、ハードウェアを使った初段トリガー(Level-1 Trigger)で  $8\text{kHz}$ 、Level-1 のトリガー判定があった特定領域のみではあるが全検出器の情報を使ったソフトウェアによる判定(Level-2 Trigger)で  $340\text{Hz}$ 、そして全検出器の全情報を用いての最後の判定(Event Filter)で  $63\text{Hz}$  であった。このチェーンのトリガー効率は横方向運動量  $25\text{GeV}/c$  以上のミューオンに対して、バレル部で約  $70\%$ 、エンドキャップ部で約  $85\%$ であった。

2015 年以降に予定されている LHC Run II 実験では、陽子陽子衝突の重心系エネルギーが今までの 8TeV から 13TeV へ上がり、瞬間ルミのシティーも  $10\sim 20\times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  と増える。その環境下では現行トリガーシステムのレートをコントロールすることできないため、2013~2014 年のシャットダウン中に様々なアップグレードが行われている。ミュオンのトリガーシステムに関しては、主にバックグラウンドを減らしてのレートコントロールをする。図 2 には ATLAS Run I で実際に取得されたミュオンのデータの  $\eta$  分布を示してある。ここでは L1\_MU11 という横方向運動量閾値が 10 GeV/c の Level-1 Trigger で取得されたすべてのミュオン、それらの中が衝突点由来であると確認されたミュオン、さらにオフラインで横方向運動量閾値が 10 GeV/c を満たすミュオンが示されている。ここから衝突点由来でない荷電粒子によるトリガー発行の寄与が  $|\eta| > 1$  のエンドキャップ部で非常に多いことがわかる。これを改善するため、エンドキャップ・トロイド磁石より衝突点側にある検出器(Small Wheel)にも飛跡を要求し、飛来してきた荷電粒子が衝突点由来であることを保証させる。これにより約 30% レートを下げることができる。ただし、Run II では既存の検出器を使ってこれを行うため、Small Wheel が無い  $|\eta| > 2$  の領域ではこの手法をとることはできない。2018 年以降の Run III では新しい検出器(New Small Wheel)で入れ替え、この衝突点由来の保証を十分な領域で、さらにそれを高精度で行う。



## 2. 高輝度 LHC ATLAS 実験用、シリコン内部飛跡検出器の開発

LHC 加速器は、2015 年より加速器を増強し、重心系エネルギー 13-14TeV で の運転を行う。また 2020 年ごろより、さらに輝度を増強した高輝度 LHC が計画されている。

高輝度 LHC の主な目標はヒッグス粒子の特性測定、稀崩壊の探索、自己結合の存在確認、さらには標準理論を超える物理の探索があり、これらを達成するためにタウ粒子やボトムクォークジェットの同定が非常に重要となる。特に、内部飛跡検出器の性能に強く依存するため、高分解能、高い放射線耐性が要求される。高輝度 LHC で予想される 1 バンチ衝突あたりの陽子衝突数は約 150 と多く、2012 年のデータから外挿したボトムクォークジェットの誤同定率の悪化は約 25% であり、背景事象の種類にもよるが解析感度はさほど悪化しない。逆に言えば、高い放射線耐性を持つ検出器の設計・製造が重要である。

現行の内部飛跡検出器は、衝突点に近いほうから二種類の半導体検出器(Pixel および

SCT)とガス検出器(TRT)から構成されているが、高輝度 LHC 用のアップグレードですべての内部飛跡検出器を半導体検出器に交換する予定である。 ATLAS 日本グループでは、ピクセル型およびストリップ型のシリコン検出器の開発を行っている。

### ・ ピクセル検出器の開発

日本グループは放射線耐性に優れたピクセル検出器として、p 型センサーの開発を進めている。 n 型センサーは、放射線損傷を受けると p 型に型変換するため、損傷後も安定に信号を読み出すためには両面プロセスが必要であるが、p 型センサーは片面プロセスでよいため安価である。放射線耐性の検査のため、開発中のサンプルは東北大サイリックの陽子ビームを用いて照射試験を行っている。またその前後には CERN または DESY にてビーム試験を行い放射線損傷の評価をしている。最近では、7月に照射試験、8月にビーム試験を行い、以下のような新しい試みもテストした。

1. 照射試験において、センサー交換時の被爆を避けるために導入された可動式の照射装置(図3)は、最大 15 枚の被照射物を設置可能で、一枚ずつの照射が可能となった。特に大きな問題はなく稼働し、10月の照射に向けて細かい点を修正中である。
2. 現在のテストサンプルは、いくつかの改善すべき問題がある。その中で最も重要なものはピクセル間にビームが入射した際、検出効率が低い部分があることである。図4(上)に、昨年行われたビーム試験で照射後ピクセルセンサーの検出効率マップを示す。青点線がピクセルの区切りを示す。検出効率が低い領域は、図4(中)に示すピクセル検出器の構造と比較すると茶色で示すセンサー単体試験用のバイアスレールと呼ばれる構造の下に分布することがわかってきた。そこで、このバイアスレールをピクセル電極内部に通す図4(下)のような新しいデザインを浜松ホトニクス社と共同で開発した。新しいデザインのピクセル検出器は今年8月に行われた DESY での照射前ビーム試験でテストされ、データ取得に問題がないことが確認された。

10月には再び照射試験を行い、その後ビーム試験を行う予定である。

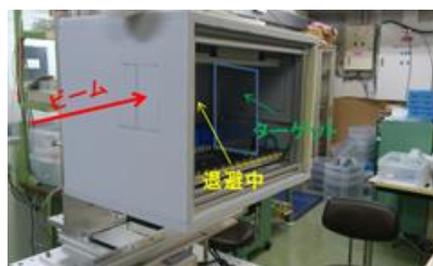


図 3 可動式照射装置

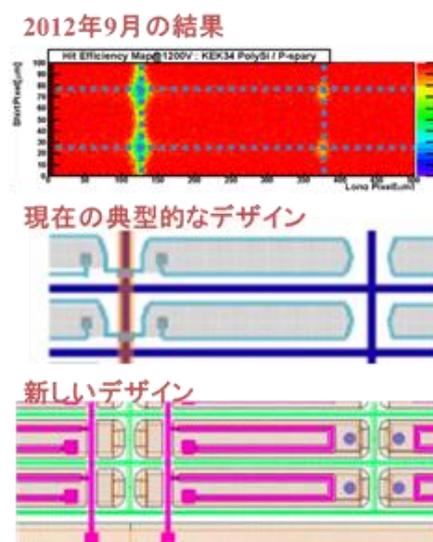


図 4 ピクセル検出器のデザイン

### ・ ストリップ型検出器の開発

ストリップ型検出器はピクセル検出器より外層に設置されるので、数量が多く量産に時間がかかるため、開発研究は先行して行われている。現在では、テストモジュールの組み立て作業が行われていて、8枚の両面モジュールからなるスーパーモジュールと呼ばれる単位を作成、読み出しテストが行われている。

スーパーモジュールは SEABAS と呼ばれる読み出しシステムで行っている。4月試験時には、中央領域のモジュールが読み出せないという問題があったが、8月試験時にはチップにリセット信号を送ることで解決することがわかった。今後、残っているいくつかの問題の解決と並行して、新しい読み出しチップ(ABC130)を用いたスーパーモジュールの開発および検査を行い、来年夏をめどに完成を目指す。



図 5 スーパーモジュールの検査