

LHCは2015年に重心系エネルギー13 TeVで陽子・陽子衝突を開始し（Run2）、2018年12月に4年に渡るRunを無事終えた。2018年のLHCへのビーム入射直後のルミノシティは、設計値の2倍である $2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ を超えて、ATLASの積分ルミノシティは2018年だけで 65fb^{-1} に到達した。Run2全体では、LHCが生成した積分ルミノシティが 158fb^{-1} で、ATLASが記録した積分ルミノシティは 149fb^{-1} となった。

現在、Run2で収集した全データに基づいた物理解析が進行中である。最初の結果として、ダイレプトン終状態を用いた共鳴状態の結果を公表している（図1）。電子陽電子対、ミュオン対終状態を合わせた結果は、バックグラウンドのみの仮説と無矛盾であり、標準模型と同じ結合の強さを仮定した場合、5 TeV以下の共鳴状態の存在を棄却した。

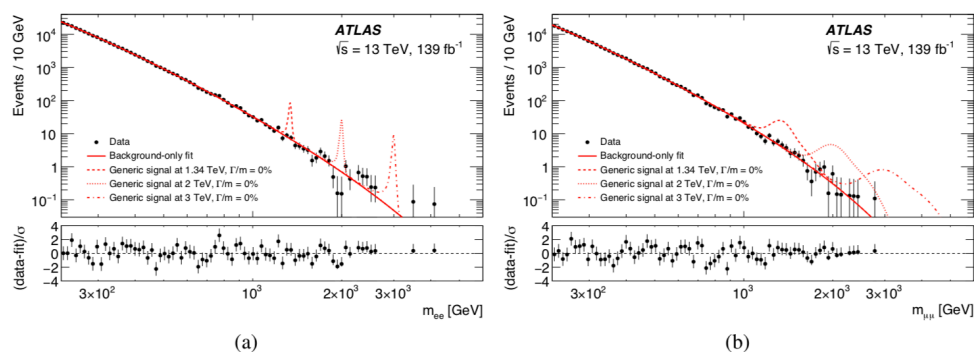


図1: (a) 電子陽電子対, (b) ミュオン対についての不変質量分布。黒点が実験データで、バックグラウンドのみの仮定した赤の実線と無矛盾。

今後、2019年と2020年の2年間、LHC加速器はシャットダウンして、HL-LHCに向けた入射器群の刷新を行う。ATLAS検出器においても、2021年から始まるRun3に向け、ミュオントリガー用検出器の追加とそれに伴うトリガー回路のアップグレード、電磁カロリメータトリガー回路のアップグレード等を行う。これにより、検出効率を維持しつつ、トリガーレートを下げることが可能となり、データ取得の更なる高効率化を目指す。

KEK ATLASグループは、特にミュオントリガーアップグレードを主導しており、トリガー回路の交換作業を開始している（図2）。



図2: CERNでミュオントリガー用の新しいボードをインストールしている様子

2026年から始まる、高輝度 LHC(HL-LHC) に向けた検出器アップグレードでは、開発のフェーズから実機の量産フェーズに移行しつつある。

シリコンアップグレード

HL-LHC では内部飛跡検出器を刷新し、直径 60 cm、長さ 6 m の史上最大のシリコン飛跡検出器に入れ替える。設計値の 7.5 倍の瞬間ルミノシティ、積分ルミノシティ $4,000 \text{ fb}^{-1}$ に耐えるため、ピクセルサイズ、ストリップサイズが小さく、高放射線耐性を備えた新センサの開発が必要となる。KEK ATLAS グループでは、両検出器、共に開発を行っており、ほぼ開発を終え、現在その量産に向けて調整を進めている。また、総面積 300 m^2 のうち 90% を占めるストリップセンサは、その性能の優秀さから、全て日本製（浜松ホトニクス）センサに決定した。

ピクセル検出器については、センサ開発のみならず、読み出し IC、フレキシブルな読み出し基板を貼り付けるモジュール化まで、ピクセル検出器全体の一部を担当する。モジュール組み立ては 2020 年から始まる予定で、現在、量産体制に向け、急ピッチで組み立て手法、検査システムの確立を行なっている。最近では、現行センサを用いた試作機による組み立てを、およそ 30 枚試行し、開発した組み立て手法が基本的にワークすることを確認した。試作機は CERN 側に設置された、検出器構造体のデモンストレーション機に搭載され、複合的なシステムテストに活用される（図 3）。組み立てに関して、我々は、世界的に見て後発グループでありながら、独自に開発した組み立て手法が、時間、コスト面で優れており、共通の組み立て手法のベースラインとして選ばれている。

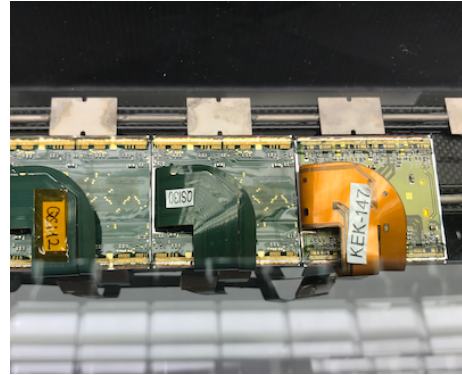


図 3: 検出器構造体のデモンストレーション機に搭載された、試作機

ミューオンアップグレード

ミューオン検出器である、チェンバー群は、HL-LHC においても現行のものを使用するが、高レート環境に対応するため、チェンバー後段の前置増幅器以降の読み出し回路を全て刷新する。その際、検出器群の情報を集約し、パターンマッチングによる飛跡再構成を実装することで、検出効率を向上させる。これにより、HL-LHC 環境下でもトリガー閾値を上げることなくデータ取得が可能となる。

懸念事項として、HL-LHC 環境下では、これら回路系の設置される領域の放射線量も上がることになり、搭載 FPGA のシングルイベントエラーが無視できないものとなる。現在は 2020 年の試作機製作に向け、放射線耐性を考慮した FPGA の評価、選定を行っている

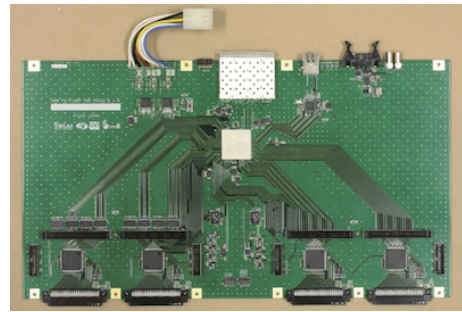


図 4: HL-LHC 向けミューオントリガーアップグレード用前置回路の試作機

(図 4)。