



# A Performance Study on ATLAS Level1 Endcap Muon Trigger using 7TeV/c collision data

早川, 俊

---

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2012-03-25

(Date of Publication)

2012-04-16

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5577

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005577>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



2010年より本格的な稼働を開始した陽子-陽子衝突型円型加速器である LHC (Large Hadron Collider) は、スイスとフランスの国境にある欧州原子核研究機構(CERN)で行われている世界最高エネルギーの素粒子加速器実験である。衝突重心系エネルギーは最高で 14 TeV/c、最大瞬間ルミノシティは  $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  を目指している。2011年終了時点では重心系エネルギーとして 7 TeV/c、瞬間ルミノシティに  $6 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  を達成している。

LHC 加速器には四つの衝突点が設けられており、その一つに建造された汎用検出器、実験プロジェクトが ATLAS (A Toroidal Lhc Apparatus) である。

ATLAS では未発見粒子や新物理現象の発見を目標として掲げており、そのうち最も大きなものの一つとして、標準模型で予言されている素粒子としては唯一未発見であり、質量を物質に与えるヒッグス粒子の発見を挙げている。LHC 加速器によって作られる陽子と陽子の衝突反応は最終的に 1 GHz 以上になると見積もられており、膨大なバックグラウンド事象の中から目的となる事象を探さなくてはならない。このため、ATLAS ではバックグラウンド事象を除き、より興味ある事象を重点的に記録しようと選別を行う三段階のトリガーシステムが設けられており、トリガーが発行された事象のみ記録を行う。ヒッグス粒子は既知の粒子に崩壊することが予想されており、この崩壊のパターンの中にはミュオンが終状態に現れるものが存在する。ミュオンは他の荷電粒子と比べると測定しやすく、バックグラウンドに埋もれにくいことからミュオンに崩壊するチャンネルはヒッグス探索において注目されている。

本論文では、重心系 7 TeV/c の陽子陽子衝突実験における前後方 (エンドキャップ) 部ミュオントリガーの性能評価、検証を行った。

エンドキャップ部ミュオントリガーは、ヒッグス粒子探索をはじめとする ATLAS 実験で検証される様々なミュオンが関わる物理現象に用いられるトリガーであり、その検証は重要なものである。

神戸大学では、ATLAS 測定器エンドキャップ部におけるミュオントリガーシステムに携わっており、特に検出器の作成から、実験用電子回路および実験用ソフトウェアの開発まで携わっている。

本論文では、最初に LHC, ATLAS 実験について述べ、実験の目的とモチベーションを説明した後、ミュオン測定システム全体について触れる。

次にエンドキャップ部ミュオントリガーの詳細について見ていく。エンドキャップ部ミュオントリガーにおける情報処理は電子回路によって行われる。この部分では、特に実験で用いられている測定、情報処理の手法について電子回路として実装することを前提とした視点から注目する。エンドキャップ部ミュオントリガーでは、トリガー判定の際に用いる指標として、ミュオンの横方向運動量に注目している。電子回路では複雑な計算を行う事が出来ないため、横方向運動量の閾値判定によってより高い横方向運動量を

持っているミュオンを選択しトリガーを発行する。トリガー論理、測定器から読み出された信号の流れの説明を行い、実際にどのような仕組みで実現しているかを紹介する。

さらに、神戸大学が専門として開発を行ってきた電子回路である Sector Logic について詳細に触れる。Sector Logic は FPGA を用いて情報処理を行い、特に書き換え可能な FPGA を用いるよう設計されている。これは実験の状況や測定器の状態にあわせて柔軟に問題対処を行い、実験上必要となる様々な要求に応えられるようにするために考えられた設計である。実際に Sector Logic はコミッショニング時から実験状況に合わせて、より高いパフォーマンスを発揮できるよう、不測の事態に対応できるようアップデートを重ねてきた。ここでは現時点における Sector Logic が持つ機能、特徴について詳細な解説を行う。また、電子回路として必要不可欠な安定動作に関する検証も、ここで行われる。

次にエンドキャップ部ミュオントリガーのパフォーマンスに関する研究について述べる。電子回路として動作の保証を確認した上でエンドキャップ部ミュオントリガーに求められる性能は、横方向運動量の閾値判定、位置決定情報、トリガータイミングの正確さである。エンドキャップ部ミュオントリガーにおける性能の評価方法、手法について説明し、エンドキャップミュオントリガーの基礎性能について評価を行う。また、どのようにして電子回路に組み込まれる横方向運動量の閾値判定の論理が作られているのか、エンドキャップ部ミュオントリガーがより高い性能を発揮出来るように、どのような改造が施されてきたのか、また今後はどのような性能が求められるのかを述べる。

最後に、エンドキャップ部ミュオントリガーの現在における性能についてまとめ、2010年、2011年と順調にデータを溜めてきた ATLAS 実験の成果にあわせて、エンドキャップ部ミュオントリガーの実験に対し貢献した事について述べる。

氏名	早川 俊		
論文 題目	A Performance Study on ATLAS Level1 Endcap Muon Trigger using 7TeV/c collision Data (ATLAS 実験初段エンドキャップ・ミュオン・トリガーの、7TeV/c における陽子衝突実験の結果に基づく性能に関する研究)		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	藏重 久弥
	副 査	教授	藤 秀樹
	副 査	准教授	山崎 祐司
	副 査		印
副 査		印	
要 旨			
<p>本論文は、LHC 加速器における陽子・陽子衝突実験の一つである ATLAS 実験における 初段エンドキャップ・ミュオン・トリガー・システムについて、実際の陽子・陽子衝突実験のデータを用いて、その性能評価の方法及びその結果に関する考察をまとめたものである。特に、著者が開発・運用にたずさわったセクター・ロジックについて詳しく論じている。</p> <p>第2章では、LHC 加速器について述べられている。LHC 加速器は、2009 年に実験開始したビーム・エネルギー3.5TeV の世界最高エネルギー陽子・陽子衝突型加速器である。</p> <p>第3章では、ATLAS 実験の最大の目的であるヒッグス粒子について、その理論的背景及びその発見の可能性について議論されている。素粒子の標準模型は、現在観測されているほとんど全ての実験結果についての理論的根拠を与える事に成功している。しかし、標準理論の最も重要なキーとなるヒッグス機構については、理論的に存在が予言されているヒッグス粒子が未発見である。</p> <p>第4.5章では、ATLAS 測定器および本論文での対象となるミュオン・スペクトロメータについて述べられている。ATLAS 測定器は、陽子・陽子衝突反応を観測するための汎用測定器である。ATLAS 測定器は、位置分解能にすぐれた内部飛跡検出器、高いエネルギー分解能を持つカロリメータを備えるが、一番の特徴は最外部に設置された空心トロイド磁石を用いたミュオン・スペクトロメータである。位置の精密測定用検出器として Monitored Drift Tube (MDT)が、ミュオン・トリガー・チェンバーとしてはバレル部に Resistive Plate Chamber (RPC)が、エンドキャップ部には Thin Gap Chamber (TGC)が用いられている。</p> <p>第6章は、本論文での主題となる初段エンドキャップ・ミュオン・トリガーの機構について詳述している。バックグラウンド・イベントの多い陽子・陽子衝突反応において、ミュオンは粒子同定が確実であり、またヒッグス粒子・超対称性粒子生成イベントの識別・再構成において重要な役割を果たす。</p> <p>第7章は、著者が開発・運用にたずさわったセクター・ロジックについて、ミュオンを捉えるためのトリガーのロジック、及びそのハードウェア構造およびファームウェアを詳しく論じている。また、実際のデータを使用し、回路の動作には問題が無いことも示した。</p> <p>第8章は、本研究の中心をなす課題であり、初段エンドキャップ・ミュオン・トリガー・システムにおけるトリガー効率について、ダイミュオン過程を用いるトリガー効率の評価に関する考察をまとめたものである。最初に、2011 年の実験で用いられたトリガーの設定について説明している。次に、評価に使用した Z 粒子の崩壊において 2 ミュオンを最終状態を含む事象を用いたタグ・アンド・プローブ法の説明および、トリガー効率の測定結果が示されている。測定結果は、シミュレーションと比較され、初段エンドキャップ・ミュオン・トリガーが期待される性能を満たしていることが示されている。また、最後に現状のトリガーの問題点が議論され、問題解決への提案がなされている。</p>			

氏名	早川 俊
<p>以上のように、本研究は ATLAS 実験初段エンドキャップ・ミュオン・トリガー・システムの性能について、2011 年の実験データを用いてその評価を行い、期待される性能を満たしていることが示されている。これは、著者がセクター・ロジックの開発に際して、実験上必要となる様々な要求に応えられるようにするため設計を行い、実際にコミッショニング時から実験状況に合わせて、より高いパフォーマンスを発揮できるよう、不測の事態に対応できるようにアップデートを重ねてきたことの結果である。これによって、陽子・陽子衝突実験においてミュオンを用いた物理解析を可能にする重要な貢献をもたらした。本研究は、ATLAS 実験におけるミュオン・トリガー・システムの開発・運用に大きな貢献をするとともに、その性能について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。</p> <p>よって、学位申請者の早川 俊は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。</p>	