

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800146

研究課題名(和文) ヒッグスとフェルミオンの結合定数測定による新現象探索とそのためのトリガーの研究

研究課題名(英文) Study on trigger schemes for searches of new physics with measurements of the coupling constants of the Higgs boson

研究代表者

隅田 土詞 (Sumida, Toshi)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80624543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ヒッグス粒子がゲージボソンを伴って生成し、さらにヒッグスがb-クォーク対にゲージボソンがミュオンを含んだ崩壊をする事象について、LHCが輝度を大きく向上させた状況においてもトリガー効率を高く保ち、新物理に対する感度を改善するための研究を行った。衝突点からのミュオンが存在しないにも関わらずトリガーが発行されてしまう背景事象についての理解を進め、これを大きく削減することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We have been doing studies on the muon trigger in the endcap region of the ATLAS detector in LHC, in order to keep or even improve the trigger efficiency for the muons in the case the luminosity of LHC is greatly improved, e.g. 2×10^{34} , for the events with a Higgs and one gauge-boson are produced in accompaniment, then the gauge boson decays in the leptonic modes.

We have introduced a new trigger logic to reduce a background event that was observed in the first period of the LHC experiment, and obtained the reduction successfully.

研究分野：高エネルギー素粒子実験物理学

キーワード：LHC ヒッグス ミュオン トリガー b-クォーク 湯川結合定数

1. 研究開始当初の背景

LHC 加速器の ATLAS と CMS の両実験は、素粒子標準模型で予言されながら 40 年以上未発見であったヒッグス粒子と考えられる新しい粒子を、共に約 6 の有意さで発見し、2012 年 7 月にこれを発表した。

研究開始当初の緊急の課題は、この粒子が標準模型で予言されるヒッグス粒子そのものなのか、または超対称性などの標準模型を超えた物理による多数のボソンの一つなのかを突き止めることであった。当時ヒッグス粒子と考えられる粒子が発見されたのは、ヒッグス粒子が 2 個の光子かウィークボソンに崩壊するモードにおいてのみであったが、これらは全て、スピンの 1 のゲージボソンに崩壊するモードであり、ヒッグス粒子がフェルミオンに崩壊するモードは、その分岐比の小ささ、測定の大困難さから有意な信号が得られていなかった。これらのうち特に現実的に測定が可能な質量の大きいボトムクォーク対やタウレプトン対に崩壊するモードを早期に発見し、ヒッグス粒子のフェルミオンとの湯川結合定数を測定する事が素粒子物理のこれからの展開を決める上で急務であった。

2. 研究の目的

ヒッグス粒子のレプトンへの崩壊への発見にはタウがミュオンに崩壊する下位モードの測定が非常に重要である。また、この粒子が物理モデルを問わず「ヒッグス粒子である」と言うためには、そのスピンの 0 である事を確認する必要があるのだが、このスピン測定のためには、ヒッグスが 2 つのウィークボソンに崩壊しさらに 4 つのレプトンに崩壊するモードを用いて各粒子の角度相関を測定する必要がある。さらに、ヒッグス粒子がボトムクォークに崩壊する事象を捉えるためには、ヒッグス粒子がウィークボソンを伴って生成し、そのボソンがレプトンを含んだ崩壊をする事象を高い効率で捉える必要がある。

これらの研究を平成 26 年度以降確実に進めるため、ミュオントリガーの改良を行うことを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

ヒッグスのスピン測定のために重要な $H \rightarrow Z\gamma$ や、レプトンへの崩壊を測定するために重要な $H \rightarrow \tau\tau$ といった崩壊モードの測定のためには、特に高い横方向運動量 (p_T) のミュオンを含むイベントを選択するトリガーが必要である。平成 24 年の時点では、LHC の瞬間輝度が $7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、重心系エネルギー 8 TeV での衝突において、 p_T 閾値が 20 GeV のレベル 1 ミュオントリガー (L1_MU20) のレートは約 7 kHz であった。平成 25 年からの長期シャットダウンの後、平成 27 年に LHC

が運転再開した際には LHC はエネルギーを 13TeV に上げ 25ns のバンチ間隔で運転を行った。これらの改良により、今後ミノシテュー最大で $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ まで上昇する可能性がある。このとき L1_MU20 のトリガーレートは 40 kHz 程度まで増加することが見込まれているが、レベル 1 ミュオントリガーレートはシステム全体としての制限から 20 kHz 以下に抑える必要がある。すなわちトリガーレートを数 10% も落とすようなトリガーを完成させる必要があった。これを満たさないと、閾値を上げてミュオンに対するトリガー効率を悪化させるか、トリガーをブリスケールすることを強いられ、いずれにしても加速器増強のメリットが活かせなくなってしまう。

ところで過去の研究から、ミュオントリガーの分布は、本来は平坦な分布であるはずが、 $|\eta| > 1$ に不自然に大きな寄与があることがわかっていた。データで確認すると、それらのイベントのうち 24% しかミュオンを再構成することができなかった。つまり残りのイベントでは衝突点からミュオンが飛んできていないのにトリガーが発行されていることになる。 $|\eta| > 1$ での L1_MU20 トリガーは、それが衝突点から来たミュオンであることを仮定して磁場の後ろの検出器で測定した角度に基いて発行されている。しかし調べてみるとビームパイプで散乱された陽子が磁場で曲げられ、たまたま高い p_T のミュオンと同じ角度で検出器に飛び込み、トリガーを発行してしまうということがわかった。

これに対して、現在既に設置されている磁場の前の検出器を利用して、このヒット情報をトリガーロジックに組み込み、コインシデンスを取ることでトリガーレートを下げを試みた。シミュレーションを用いて新しいロジックを構築し、現行のトリガー用モジュールのファームウェアの改良を行った。

4. 研究成果

磁場よりも内側の検出器をロジックに組み込む際に、位置の整合性を取るための手法について研究を進め、この実装を完了させた。衝突点からのミュオンが存在しないにも関わらずトリガーが発行されてしまう背景事象についての理解を進め、実際に磁場の内外に同時に信号が来ることを要求することで、この背景事象を約 25% も削減することに成功した。

これにより、重要な物理事象への検出効率は保ったまま、余分なトリガーを減らすことが可能となった。結果としてヒッグス粒子の発見やその後のヒッグス粒子の精密測定に大きく貢献した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](2012 - 2015 に発行された査読論文誌に掲載されたもののみ: 計 256 件、以下には主要なもののみ挙げる)

- (1) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Measurement of the cross-section for W boson production in association with b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector," *JHEP*, **1306**, (2013) 084
doi:10.1007/JHEP06(2013)084
- (2) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Search for a light charged Higgs boson in the decay channel $H^+ \rightarrow cs$ in tt events using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector," *Eur. Phys. J. C* **73** (2013) no.6, 2465
doi:10.1140/epjc/s10052-013-2465-z
- (3) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "A particle consistent with the Higgs Boson observed with the ATLAS Detector at the Large Hadron Collider," *Science* **338** (2012) 1576.
doi:10.1126/science.1232005
- (4) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Measurements of Higgs boson production and couplings in diboson final states with the ATLAS detector at the LHC," *Phys. Lett. B* **726** (2013) 88
doi:10.1016/j.physletb.2014.05.011
- (5) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data," *Phys. Lett. B* **726** (2013) 120
doi:10.1016/j.physletb.2013.08.026
- (6) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Search for a multi-Higgs-boson cascade in W^*W^*bb events with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV," *Phys. Rev. D* **89** (2014) no.3, 032002
doi:10.1103/PhysRevD.89.032002
- (7) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Search for Higgs boson decays to a photon and a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS detector," *Phys. Lett. B* **732** (2014) 8
doi:10.1016/j.physletb.2014.03.015
- (8) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Search for Invisible Decays of a Higgs Boson Produced in Association with a Z Boson in ATLAS," *Phys. Rev. Lett.* **112** (2014) 201802
doi:10.1103/PhysRevLett.112.201802
- (9) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Measurement of the Higgs boson mass from the $H \rightarrow ZZ^* 4l$ channels with the ATLAS detector using 25 fb^{-1} of pp collision data," *Phys. Rev. D* **90** (2014) no.5, 052004
doi:10.1103/PhysRevD.90.052004
- (10) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Search For Higgs Boson Pair Production in the bb Final State using pp Collision Data at $\sqrt{s} = 8$ TeV from the ATLAS Detector," *Phys. Rev. Lett.* **114** (2015) no.8, 081802
doi:10.1103/PhysRevLett.114.081802
- (11) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Search for the Standard Model Higgs boson decay to $\mu^+\mu^-$ with the ATLAS detector," *Phys. Lett. B* **738** (2014) 68
doi:10.1016/j.physletb.2014.09.008
- (12) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Measurements of fiducial and differential cross sections for Higgs boson production in the diphoton decay channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV with ATLAS," *JHEP* **1409** (2014) 112
doi:10.1007/JHEP09(2014)112
- (13) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Fiducial and differential cross sections of Higgs boson production measured in the four-lepton decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector," *Phys. Lett. B* **738** (2014) 234
doi:10.1016/j.physletb.2014.09.054
- (14) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Measurements of Higgs boson production and couplings in the four-lepton channel in pp collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector," *Phys. Rev. D* **91** (2015) no.1, 012006
doi:10.1103/PhysRevD.91.012006
- (15) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), "Measurement of Higgs boson production in the diphoton decay

channel in pp collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **90** (2014) no.11, 112015

doi:10.1103/PhysRevD.90.112015

(16) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Search for H produced in association with top quarks and constraints on the Yukawa coupling between the top quark and the Higgs boson using data taken at 7 TeV and 8 TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **740** (2015) 222

doi:10.1016/j.physletb.2014.11.049

(17) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Search for neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1411** (2014) 056

doi:10.1007/JHEP11(2014)056

(18) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Search for the bb decay of the Standard Model Higgs boson in associated (W/Z)H production with the ATLAS detector,” JHEP **1501** (2015) 069

doi:10.1007/JHEP01(2015)069

(19) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Search for anomalous production of prompt same-sign lepton pairs and pair-produced doubly charged Higgs bosons with $\sqrt{s}=8$ TeV pp collisions using the ATLAS detector,” JHEP **1503** (2015) 041

doi:10.1007/JHEP03(2015)041

(20) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Observation and measurement of Higgs boson decays to WW^* with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **92** (2015) no.1, 012006

doi:10.1103/PhysRevD.92.012006

(21) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Search for charged Higgs bosons decaying via H^\pm in fully hadronic final states using pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1503** (2015) 088

doi:10.1007/JHEP03(2015)088

(22) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Search for Higgs and Z Boson Decays to J/ψ and $\Upsilon(nS)$ with the ATLAS Detector,” Phys. Rev. Lett. **114** (2015) no.12, 121801

doi:10.1103/PhysRevLett.114.121801

(23) G. Aad, T. Sumida et al. (ATLAS collaboration), “Evidence for the Higgs-boson Yukawa coupling to tau leptons with the ATLAS detector,” JHEP **1504** (2015) 117

doi:10.1007/JHEP04(2015)117

〔学会発表〕(計3件)

(1) 隅田 土詞、”Run 1 legacy performance: Jet/ETMiss/Tau”、Physics at LHC and beyond、2014.08.11、ICISE(ベトナム)

(2) 隅田 土詞、「L1 ミューオン全体像と現状」、新学術領域研究会テラスケール 2014、2014.11.27、大阪大学

(3) 隅田 土詞、「ミューオン現状」、新学術領域研究会テラスケール 2015、2015.12.22、東京工業大学

6 . 研究組織

(1)研究代表者

隅田 土詞 (SUMIDA, Toshi)
京都大学・理学研究科・助教
研究者番号: 80624543