

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22346

研究課題名（和文）高輝度LHCにおける高精度ヒッグス粒子測定に向けたシリコン飛跡検出器開発

研究課題名（英文）Development of the large-scale silicon tracker for precision measurement of Higgs boson properties at HL-LHC

研究代表者

廣瀬 茂輝（Hirose, Shigeki）

筑波大学・数理解析系・助教

研究者番号：40875473

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：LHC ATLAS実験は順調にデータを蓄積し、その大統計なデータから、ヒッグス粒子の性質を詳細に解明できるフェーズに入りつつある。本研究では、高輝度LHCにおけるヒッグス粒子研究に不可欠なシリコンストリップ検出器用センサー量産時の特性監視に必要なシステムを構築、2021年から始まった量産期間中も安定して測定を継続し、センサーの良好な性能を確認した。さらに、ATLAS Run 2期間に収集したデータを用いてH-tau結合を7.5%の精度で測定、その結果から、高輝度LHCにおいてシリコン検出器性能を最大限に活用し、タウレプトン再構成性能を向上させることが、さらなる精度向上の鍵となることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高輝度LHCにおける新型シリコンストリップ検出器の安定稼働は、そこでの大統計を最大限に利用したヒッグス粒子研究に不可欠である。本研究において、量産期間中に一様で安定したストリップセンサーの特性を確認できたことは、確実に安定運用可能なシリコン検出器システムを構築する上で重要となる。また、ここで得られたデータは大量のシリコンセンサーの特性を長期にわたって系統的に測定したものであり、高輝度LHCに限らず、大型シリコン検出を用いたプロジェクトに広く有用である。それに加え、本研究ではH-tau結合を高精度で測定、高輝度LHCにおける0(1%)の測定に道筋をつけた。

研究成果の概要（英文）：The ATLAS experiment is accumulating data provided by the LHC accelerator, and we are entering the stage of precisely determining properties of the Higgs boson using the abundant data. In this research project, a performance evaluation system for silicon strip sensors, which will be essential for precision studies of the Higgs boson at the HL-LHC, was constructed, and during the sensor production period that started in 2021, excellent performance of the silicon sensors have been confirmed. Furthermore, the Higgs-tau coupling was measured at the precision of 7.5% using the ATLAS Run 2 full dataset. From this result, it was demonstrated that more sophisticated tau lepton reconstruction algorithms with fully exploiting potential of the new silicon detector will be the key to further reduce systematic uncertainties and improve the precision at HL-LHC.

研究分野：素粒子実験

キーワード：素粒子実験 シリコン検出器 LHC タウレプトン ヒッグス粒子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の素粒子標準模型は 1970 年代に完成した理論であり、世界最高衝突エネルギーを誇る陽子陽子衝突型加速器 LHC におけるヒッグス粒子発見により、一通りの実験的検証がなされた。一方で、バリオン生成やダークマターの存在など、標準模型の背後に未知の物理法則（新物理）が存在していることを示す観測的事実が多数ある。これらに関連する、標準模型には含まれない未知相互作用や未知粒子の探索が様々な実験で続けられているが、現在のところ新物理の証拠は見つかっていない。

ヒッグス粒子（ヒッグス場）は、標準模型の中で他の素粒子の質量起源に関わるなど、特別な役割を担う。したがって、ヒッグス粒子の性質の徹底的な実験的研究によりヒッグス場への理解を深めることで、新物理の手掛かりを得られる可能性が高い。特にヒッグス粒子とタウレプトンとの湯川結合は、近年複数の実験から報告されている、B 中間子のタウオニク崩壊における 3σ 程度の標準模型予想からのずれをつくる、未知の効果を含む可能性があった。

LHC は、現在稼働中の世界で唯一のヒッグス粒子ファクトリーであり、ATLAS 実験では Run 2 運転期間（2015-18）の間に 140 fb^{-1} のデータを蓄積した。これはヒッグス粒子約 700 万個に相当し、いよいよヒッグス粒子の精密測定時代に入ったといえる。さらに 2029 年からは、瞬間輝度を現在の約 3 倍に引き上げた高輝度 LHC が始まる。ここで蓄積される、現在に比べて 20 倍以上の大統計データを使えば、ヒッグス結合の測定精度を劇的に向上させられるはずである。ただしそのためには、高輝度 LHC の非常に厳しい実験環境に耐え、長期間にわたって安定して稼働しうる大型検出器の製作が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、 τ レプトンを含む終状態を用いたヒッグス粒子の精密測定を目指し、まず高輝度 LHC に向けた ATLAS 実験用シリコン飛跡検出器（Inner Tracker; ITk）の製作のための開発を行った。ATLAS 検出器において、 τ レプトンは 1 本または 3 本の荷電粒子を含む崩壊から同定されるため、より正確な荷電粒子の検出という観点から、特にシリコン検出器の外側 5 層に位置するストリップ部の分解能が重要となる。すなわち、この部分を覆う約 20,000 枚におよぶシリコンストリップセンサーを、性能の偏りなく一様に製作することが、高輝度 LHC における確実な τ レプトン同定の鍵となる。さらに、Run 2 運転期間に収集されたデータを用いて最高精度でのヒッグス- τ レプトン結合定数を測定しつつ、そこから得られた知見および ITk 検出器の性能を積極的に活かした τ レプトン再構成手法の構築を目指した。

3. 研究の方法

本研究を、以下のような戦略で遂行した。

- (1) ITk 検出器用ストリップセンサー量産時の検査装置を完成させる。日本グループは、全体の約 3 分の 1 に相当する 6,350 枚分を担当するが、これらのセンサーの基本特性を迅速かつ測定条件を変えず系統的に測定し、ITk 検出器に使用可能なものだけを選別できるシステムとする。さらに、量産されたセンサーからランダムにサンプルを抽出し、約 6 か月ごとに東北大学・サイクロトロンラジオアイソトープセンター（CYRIC）において 70 MeV 陽子線を照射することで、高輝度 LHC において予見されるような放射線損傷を与え、その時の性能の変化を測定する。以上のようなセンサー検査フローを、測定手順も含めて厳密に確定し、ストリップセンサー量産中に特性に問題が見つければ、すぐに製造元にフィードバックして改善する。
- (2) Run 2 運転期間に収集されたデータを用いた $H \rightarrow \tau\tau$ 崩壊の精密測定を行う。ここでは、機械学習を利用して、統計誤差だけでなく背景事象由来の系統誤差も抑制する手法を開発する。さらに、この測定結果をもとに高輝度 LHC に向けた τ レプトン再構成手法の改良方法を検討する。
- (3) 高輝度 LHC において ITk 検出器を安定運用し、ヒッグス粒子の精密な理解を推し進めるには、現在稼働中のシリコンストリップ検出器（SCT）から得られる知見も重要となる。SCT は、ITk 検出器と比べると一回り小さく、また晒される放射線量も ITk 検出器の約 10 分の 1 程度ではあるものの、放射線損傷を受けながら実際に稼働中の巨大シリコン検出器システムである。これまでに取得した大量のデータを利用し、SCT の性能やその放射線損傷による変化を詳細に解析することで、ITk 検出器運用時に指標となり得る結果を得る。

4 . 研究成果

4 - 1 . ITk 検出器用ストリップセンサーの量産時性能評価

まず、2019年度末に試験的に製造された最終仕様ストリップセンサーのサンプルを用い、2020年10月に東北大学CYRICにて70 MeV陽子を最大 1.6×10^{15} n_{eq}/cm^2 照射して、放射線損傷後の振舞いを調査した。ここでは、ストリップセンサーと同じウェハー上に形成された2種類の試験専用構造体を利用し、ポリシリコン製バイアス抵抗値やストリップ間の電気的特性、電荷収集効率など、シリ

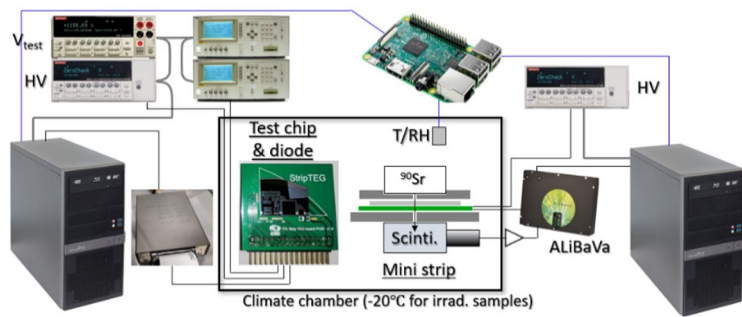


図 1: 放射線照射後のストリップセンサー特性測定装置の概略図。

コンセンサーの基礎的な特性8項目を調べた。照射後の特性を迅速かつ系統的に測定するため、図1に示すような測定装置を構築し、8項目の測定をほぼ自動化した。この装置を用いて、2020年度に照射した合計41枚の最終仕様センサーの特性が、すべてITk検出器での使用に耐えうるということを確認した。さらに、量産ストリップセンサー全数に対して行う形状測定のためのシステムについても、2019年度に既に試験設置されていた、オートフォーカスを利用した非接触形状測定装置を改良、1日で最大50枚のセンサーを測定可能とした。

以上のような開発を2020年度に行い、そこで得られた良好な結果を踏まえて、2021年度から実機用ストリップセンサーの量産を開始した。2022年度までの約2年間で3,856枚のセンサー量産を完了し、例えば9.8 cm角のセンサー全体にわたるたわみがほぼ100 μm 以下に収まっていることなど、製造時期に依存することなく一様な特性を確認できた。この量産中、定期的に専用構造体に放射線損傷を与えてその特性をモニタリングすることにしたが、2022年2月に実施予定だった陽子照射試験が、照射サンプルを格納するための冷却ボックスの不具合により実施できなくなってしまった。そこで、当初2021年度までであった研究期間を2022年度まで延長し、2022年度初めに冷却ボックスを再製作、動作確認の上、2022年度に2回の照射試験を追加実施した。この時に照射した合計84枚のセンサーから、たとえば、荷電粒子検出効率に直結する電荷収集量については、 1.6×10^{15} n_{eq}/cm^2 の照射を受けた後でも12,000 e^- 程度を維持(要求は6,350 e^- 以上) そのばらつきも製造時期によらず5%程度と良好であった。また、大量のセンサーを系統的に測定することでわかってきたこともある。その一例として、バイアス抵抗値のわずかな温度依存性がある。これについて、海外の研究機関とも協力しながら、照射量や放射線の種類(陽子、中性子、ガンマ線など)を様々に変えながらこの特性を測定し、照射条件にかかわらず同様な温度依存性を示すことを確認した。このようなわずかな特性の変化はITk検出器の飛跡検出性能には影響しないと考えられるものの、高輝度LHCでのITk検出器運用中にストリップ検出器の応答に変化が生じた際、その背後にある素過程を理解する上で大変重要な情報となる。

4 - 2 . Run 2 データを用いた $H \rightarrow \tau\tau$ の測定と高輝度 LHC にむけた τ レプトン再構成手法の改良

Run 2 データ (140 fb^{-1}) を用いた $H \rightarrow \tau\tau$ 測定では、機械学習の応用により高精度な測定を実現した。 $H \rightarrow \tau\tau$ 測定は、 36.1 fb^{-1} を使った解析の段階で既に系統誤差が支配的になっており、単純な機械学習の利用により統計精度を向上させても、大きな精度改善は見込めなかった。そこで、この解析で主要な背景事象である $Z \rightarrow \tau\tau$ 事象を狙って Boosted Decision Tree (BDT) を訓練した後、BDT スコアが低い領域 ($Z \rightarrow \tau\tau$ が支配的な領域) とスコアが高い領域 (信号の割合が高い領域) に分割、最終フィットは $\tau\tau$ 不変質量分布に対して行うことにした。これにより系統誤差のコントロールが容易になり、さらに $Z \rightarrow \tau\tau$ が事象との分離が改善されたことで、背景事象由来の系統誤差まで抑制することに成功した。また、 Z ボソンの崩壊分岐比は高精度で測定されていることを利用し、 $Z \rightarrow \tau\tau$ がよりも高純度で容易にサンプルを得られる $Z \rightarrow \mu\mu$ 事象から $Z \rightarrow \tau\tau$ が背景事象数を推定する手法を導入した。このような改善の結果、7.5%と

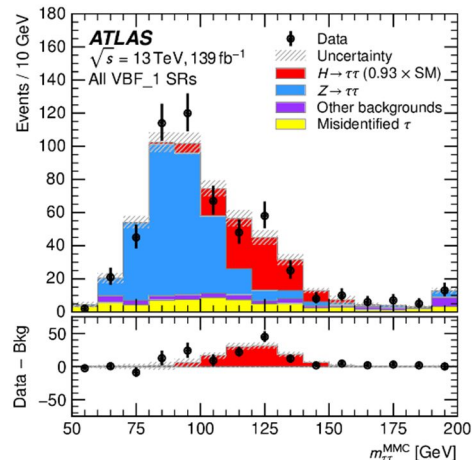


図 2: 信号純度が最も高い領域での $\tau\tau$ 不変質量分布。赤が $H \rightarrow \tau\tau$ 信号、水色が $Z \rightarrow \tau\tau$ 背景事象成分を示す。

いう高精度でのヒッグス- τ 結合測定を達成した。本解析の約 4 分の 1 の統計量を利用した前回解析では 14%であったため、劇的な精度改善である。図 2 は特に信号純度の高い領域での $\tau\tau$ 不変質量分布であるが、目視でも明らかに信号の存在がわかるものとなっている。また、Simplified Template Cross Section のフレームワークにもとづいた微分断面積測定を行い、例えば横運動量 300 GeV 以上の高運動量領域において、約 50%の精度で断面積を測定した。すべての結果は、標準模型による予想と無矛盾なものであった。

この測定結果をもとに、高輝度 LHC において蓄積される 4000 fb⁻¹ のデータを用いたときの感度予測を立てた。この中では、統計量増加に伴う統計誤差の低減だけでなく、理論的および実験的な系統誤差も一定の削減が見込めるとの仮定を置いている。この見積もりから予想される、高輝度 LHC におけるヒッグス- τ 結合定数の測定精度は約 2%であったり、高輝度 LHC では特にハドロンジェットや欠損運動量、タウレプトンの再構成に伴う実験的系統誤差を減らすことが重要であることがわかった。残念ながら、本研究期間内において高輝度 LHC で利用可能な新しい τ レプトン再構成手法の確立には至らなかったが、より高効率だけでなく、より精度よくキャリブレーション可能な再構成手法が、系統誤差抑制という観点でも重要になるということを示せた。

4 - 3 . 現行シリコンストリップ検出器の放射線損傷による影響の評価

SCT は、これまで約 10 年間の運用期間で、最大 5.6×10^{13} n_{eq}/cm² の放射線を受け、徐々に性能が劣化している。例えば、SCT センサーの漏れ電流は、Run 2 運転期間の 4 年間だけで 10 倍程度に増加した。本研究では、まず Run 2 期間中およびその後のシャットダウン期間中に収集したデータを詳細に解析し、SCT の現在の性能を明らかにした。一例として、完全空乏化電圧の漏れ電流-バイアス電圧の関係(IV カurve)から見積もった結果は約 50 V であり、ハンブルクモデルにもとづいた予想値とよく一致していた。

一方で、IV カurveから見積もった完全空乏化電圧約 50 V を SCT に印加しても、荷電粒子検出効率 20%から 30%程度にとどまることもわかった。これは、SCT のような n 型半導体をバルクとするシリコンセンサーの場合、約 2×10^{13} n_{eq}/cm² の照射を受けたところで”型反転”を起こし、実質的に p 型バルクとなった後はストリップ側表面まで十分に空乏化しないと、電荷を収集しきれなくなることによる。この時、印加電圧と空乏化の状態の関係を、TCAD シミュレーションを用いて見積もった。2次元の TCAD 構造モデルを構築し、放射線損傷による実効的なキャリア密度の変化を、SCT の様々な実測データを用いてチューニングした。その結果、図 3 に示すように空乏層が広がるため、バルク部が全般的に空乏化した後もストリップ直下が完全に空乏化するまで、50 V 程度余分に必要であるということが定量的に理解された。このモデルを用いて、Run 3 運転期間(2022-2024)の終了時に、95%以上の十分な検出効率を得られる電圧を見積もり、SCT センサーに対する上限印加電圧(500 V)以内に収まるということを確認できた。

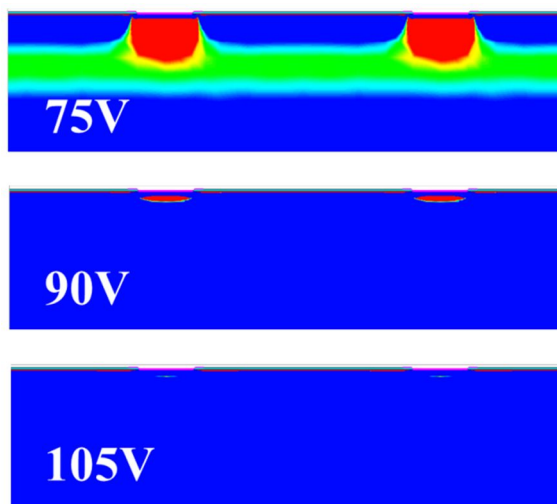


図 3: 印加電圧を 75 V→90 V→105 V と増加させていったときの、空乏層の変化。青色の領域が、空乏化した部分に相当する。75 V の時点では表面が空乏化しておらず、90 V 印加してもストリップ直下に空乏化していない領域が残る様子が見える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 A. Georges, S. Hirose et al. (ATLAS Collaboration)	4. 巻 17
2. 論文標題 Operation and performance of the ATLAS semiconductor tracker in LHC Run?2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P01013 ~ P01013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/17/01/P01013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 G. Aad, S. Hirose et al. (ATLAS Collaboration)	4. 巻 2022
2. 論文標題 Measurements of Higgs boson production cross-sections in the H + decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2022)175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Shigeki Hirose (on behalf of the ATLAS Collaboration)	4. 巻 8
2. 論文標題 Measurements and searches of Higgs boson production involving fermion couplings with the ATLAS detector	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SciPost Physics Proceedings	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21468/SciPostPhysProc.8.006	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 The ATLAS Collaboration	4. 巻 607
2. 論文標題 A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 52 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-04893-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 P. Allport, E. Bach, S. Hirose et al.	4. 巻 17
2. 論文標題 Pre-production results from ATLAS ITk Strip Sensors Quality Assurance Testchip	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C11002 ~ C11002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/17/11/C11002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 D. Rouso, S. Hirose et al.	4. 巻 1045
2. 論文標題 Test and extraction methods for the QC parameters of silicon strip sensors for ATLAS upgrade tracker	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 167608 ~ 167608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.167608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Unno, S. Hirose et al.	4. 巻 18
2. 論文標題 Specifications and pre-production of n ⁺ -in-p large-format strip sensors fabricated in 6-inch silicon wafers, ATLAS18, for the Inner Tracker of the ATLAS Detector for High-Luminosity Large Hadron Collider	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 T03008 ~ T03008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/18/03/T03008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 S. Hirose, on behalf of the ATLAS Collaboration
2. 発表標題 Measurements and searches of Higgs boson production involving fermion couplings with the ATLAS detector
3. 学会等名 XXVIII International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣瀬茂輝, 音野瑛俊, 近藤敬比古, 陣内修, 永井康一, 南條創, 望月一也, 森永真央, 山口尚輝, 若狭玲那, 和田冴 他 ATLAS SCTグループ
2. 発表標題 LHC ATLAS実験Run 1およびRun 2運転を通じたシリコンストリップ検出器の性能評価とRun 3運転への展望
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田冴, 音野瑛俊, 近藤敬比古, 永井康一, 中村浩二, 原和彦, 廣瀬茂輝 他 ATLAS SCTグループ
2. 発表標題 ATLAS実験シリコンストリップ検出器のTCADシミュレーションによる放射線損傷の評価
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井達也, 原和彦, 廣瀬茂輝, 中村浩二, 倉持花梨, 斉藤功太, 花垣和則, 外川学, 他ATLAS日本シリコングループ
2. 発表標題 高輝度LHC ATLAS実験シリコンストリップセンサーの実機量産中における性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 斉藤功太, 原和彦, 廣瀬茂輝, 中村浩二, 石井達也, 花垣和則, 外川学
2. 発表標題 HL-LHC ATLASで用いるストリップ型シリコンセンサー品質保証システムの構築
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井達也, 原和彦, 廣瀬茂輝, 中村浩二, 斉藤功太, 花垣和則, 外川学
2. 発表標題 HL-LHC ATLAS 実験用シリコンストリップセンサーの試験量産中の品質保証測定の結果
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩田和志, 南條創, 廣瀬穰, 音野瑛俊, 廣瀬茂輝, 山内大輝
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験シリコンストリップ検出器の性能モニタツールの開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金岡基成, 調翔平, 陣内修, 廣瀬茂輝, 織田勤, 音野瑛俊, 永井康一
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験Run-3におけるシリコンストリップ検出器のデータ品質基準の決定と飛跡再構成能力の研究
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤紘貴, 織田勤, 音野瑛俊, 近藤敬比古, 永井康一, 長野邦浩, 廣瀬茂輝, 森永真央, 寄田浩平
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験Run-3における放射線損傷を考慮したシリコンストリップ検出器の運用と飛跡再構成への影響
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山際美由希, 江成祐二, 奥村恭幸, 津野総司, 廣瀬茂輝, 増淵達也, 寄田浩平, 孔信
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験における2本の飛跡で再構成されたタウ粒子の物理解析への応用
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井達也, 原和彦, 廣瀬茂輝, 中村浩二, 佐藤構二, 花垣和則, 外川学, 他ATLAS日本シリコングループ
2. 発表標題 高輝度LHC ATLAS実験シリコンストリップセンサーの実機量産中の品質評価
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木尚紀, 音野瑛俊, 近藤敬比古, 永井康一, 原和彦, 廣瀬茂輝, 和田冴
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験におけるシリコンストリップ検出器のTCADシミュレーションによる放射線損傷の見積もり
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山大也, Bruce Gallop, Per Johansson, 音野瑛俊, 近藤敬比古, 永井康一, 廣瀬茂輝, 寄田浩平, 他アトラスSCTグループ
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験におけるシリコンストリップ検出器のゲインおよびノイズ測定を用いた性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Hirose, on behalf of the ATLAS ITk Strip Sensor Community
2. 発表標題 ATLAS ITk strip sensor quality assurance tests and results of ATLAS18 pre-production sensors
3. 学会等名 The 31st International Workshop on Vertex Detectors (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Hirose, on behalf of the ATLAS Collaboration
2. 発表標題 Measurements of the mass, width and coupling CP structure of the Higgs boson with the ATLAS detector
3. 学会等名 The XXIX International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣瀬茂輝
2. 発表標題 LHC Run 2全データを用いた ヒッグス粒子解析結果と Run 3準備状況
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣瀬茂輝
2. 発表標題 Exotic Higgs探索 と Bアノマリー
3. 学会等名 新テラスケール研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	バーミンガム大学	オクスフォード大学	ケンブリッジ大学	他2機関
米国	カリフォルニア州立大学サンタクルーズ校	イエール大学		
カナダ	トロント大学	カールトン大学	モントリオール大学	
チェコ	チェコ科学アカデミー			
スペイン	スペイン高等科学研究院	バルセロナ大学		
英国	バーミンガム大学	オクスフォード大学	ケンブリッジ大学	他2機関
スイス	CERN			