

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 8 月 6 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02092

研究課題名(和文) 高ルミノシティLHCに向けたATLASミュオン検出器システムの高度化

研究課題名(英文) Sophistication of the ATLAS muon detector system toward HL-LHC

研究代表者

越智 敦彦(Ochi, Atsuhiko)

神戸大学・理学研究科・准教授

研究者番号：40335419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：本課題研究は、LHC実験の今後の高輝度化へ向けて、ミュオン飛跡検出とトリガ能力を格段に向上させるために導入される新たな検出器を開発・生産・完成させ、物理成果への展開を目指すものである。本研究では、ATLAS実験アップグレードの中で、2020年に導入予定のマイクロメガス検出器の開発を中心にを行った。この中で特に検出器の心臓部分となる陽極の高抵抗ストリップ薄膜の開発から量産・品質管理までを行った。また、検出器の長期動作試験や、ミュオントリガシステムの構築、さらに将来計画されているさらなるアップグレードへ向けた新検出器開発まで行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界最高エネルギーの陽子・陽子衝突加速器であるLHCは、2012年までの7～8TeVの実験データによりヒッグス粒子発見を始めとする重要な成果をあげてきた。今後研究を更に発展させるためにはより多くのデータが必要である。このために、高ルミノシティ化に向けたLHC加速器及びATLAS検出器の段階的なアップグレードが計画されており、2020年には高ルミノシティ環境下でミュオン飛跡検出とトリガの能力を格段に向上する新しいミュオン検出器を設置する予定である。本研究によりその中心である新しい検出器「マイクロメガス」を完成させ、この信号を用いたミュオントリガシステムを構築することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：This project aims to develop, produce, and complete a new detector that will be introduced to significantly improve the detection and triggering capability of muon tracks, and to develop it into physical results for the future upgrading of LHC experiments. In this study, we focused on the development of a micromegas detector, which will be installed in 2020, in the ATLAS experimental upgrade. Among them, the anode resistive strip foil, which is the most important part of the detector, was developed. The mass production and quality control are also carried out. We also tested long-term aging of the detector, developed a muon triggering system, and developed new detectors for further upgrades planned in the future.

研究分野：素粒子実験

キーワード：素粒子実験 粒子測定技術 LHC実験 ATLAS実験 MPGD ガス放射線検出器

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界最高エネルギーの陽子・陽子衝突加速器である LHC は、2012 年までの 7~8TeV の実験データによりヒッグス粒子発見を始めとする重要な成果をあげてきた。LHC によるこれまでのヒッグス粒子の発見とその性質の確認は、50 年間の厳しい検証に耐えてきた標準理論の完成を意味すると同時に、より深い理解への研究の始まりを定義した。標準理論には限界があることもわかっている。例えば、ダークマターの正体、ニュートリノが小さい質量をもつことの意味、何らかの未知の機構がなければヒッグス場の相互作用により真空が不安定で現在の宇宙が存在しそうにないことなど。これらを解決する標準理論を超える物理が必要である。その手がかりになる新粒子や新現象は TeV (10^{12} 電子ボルト) スケールに潜んでいると期待され、LHC はこのエネルギー領域を直接研究できる世界で唯一の加速器である。

それゆえ LHC のルミノシティを当初の設計 ($1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) より大幅に上げて LHC で到達可能な物理を拡張する計画が検討されている。段階的にアップグレードを行い、2019 年 (Phase-1, 当初予定: その後 2020 年に変更) の改良では $3 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ にし、3 年で積分ルミノシティ 300fb^{-1} を収集する。2023 年頃 (Phase-2, 当初予定: その後 2025 年に変更) では更に $5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ に上げ約 10 年間で当初の 10 倍、 3000fb^{-1} のデータを目指す。これにより、 300fb^{-1} では困難で希な現象、ヒッグス粒子のミューオン対への崩壊の測定や、ヒッグス対への崩壊を用いてヒッグス自己結合の測定も可能になる。また、新粒子の探索範囲も大幅に広がる。

本課題研究の研究代表者・分担者らは、ATLAS 実験建設段階からミューオン検出器とトリガシステムの建設と運転に関わってきた。そして LHC アップグレードにおけるミューオン検出器とトリガの改良の重要性に着目し、それに向けた研究をおこなってきた。現在のミューオン検出器が高ルミノシティで直面する問題は、非常に高い放射線バックグラウンドに起因する検出効率・分解能の悪化と、バックグラウンド増加に伴うトリガレートの増大である。この問題は右図 1 に示す最内層の Small Wheel で最も顕著である。これらを一挙に解決するために、Phase-1 アップグレードの一環として、Small Wheel を新しい検出器 (New Small Wheel: NSW) で置き換える計画が考えられた。目的とする性能を満たす新たな検出器としては、マイクロパターンガス検出器 (MPGD) の一種であるマイクロメガスが選ばれた。これは非常に高いバックグラウンド下でも安定に動作し、高い位置分解能を実現できるガス検出器である。この技術を直径約 10m の NSW に応用するため、数々の技術開発をおこなった。特に次の二点が決定的である。(i) $\sim 1 \times 2 \text{m}^2$ のサイズを実現すること、(ii) 放電を抑制すること (主に中性子バックグラウンドによる)。

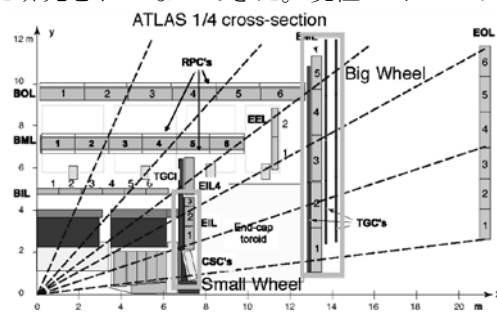


図 1 : ATLAS 検出器 1/4 断面図

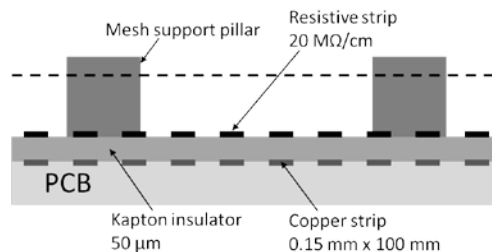


図 2 : マイクロメガス検出器断面図

ATLAS のマイクロメガスのガス増幅部分は右図 2 の構造をしている。厚さ $128 \mu\text{m}$ のガス増幅ギャップは高抵抗のストリップを陽極とし、その下に配置した電極に誘導される信号を読み出す (ピッチは約 $500 \mu\text{m}$)。これにより放電が起こる条件 (イオン密度) でも放電に至らないように制御できる。

大強度のハドロンバックグラウンドでも動作させるために、高抵抗電極を有する MPGD については、これまで越智が研究代表を務める研究 [1] で基礎的な開発が行われ、様々な電極素材や製造方法の確立など、大きな進展があった。この中で、高性能なスパッタリング法と低コストなスクリーン印刷法のいずれかが ATLAS マイクロメガスへ適応可能な技術として有力であることが提示された。

2. 研究の目的

本研究の具体的な目標として、以下の 5 項目を掲げた。

- (1) 高品質のマイクロメガス陽極基板を約 2000 枚量産する技術の確立。
- (2) 長期に渡る大強度放射線環境下での検出器動作テストに基づく安定な運用条件の導出。
- (3) 高抵抗ストリップ薄膜量産品の品質検査手法と設備の確立。
- (4) 検出器から得られる信号からトリガ発行するための飛跡情報を高速生成する方法の開発。
- (5) ATLAS 検出器への設置・立ち上げと LHC 高ルミノシティ運転下の検出器性能の評価。

なお、本課題研究実施中に、ATLAS Phase-I アップグレードの予定が伸びたため、アップグ

レード後の ATLAS 稼働を前提とした項目(e)については研究予定期間中に実施できなくなった。一方で更なるルミノシティアップグレードによる検出器に対する必要性能が明らかになってきたこともあり、5 番目の目標を、
(6) 将来(Phase-II アップグレード等) に向けた耐高頻度粒子線検出器の開発と置き換えることとした。

3. 研究の方法

研究の方法について、先の節で挙げた各項目ごとに述べる。

(1) 高品質のマイクロメガス陽極基板を約 2000 枚量産する技術の確立。

LHC アップグレードで用いられるマイクロメガスは、ATLAS 環境下で生じるガス中の HIP (Highly Ionizing Particle) を起源とする放電を抑制するために、陽極に高抵抗ストリップによる電極を用いる。製法として、スクリーンプリントが安価に量産を期待できるが、精度の高い電極構造の形成や安定な抵抗特性を実現させるなど、量産に向けた開発要素は大きい。もう一つの製法として炭素スパッタリングとリフトオフを組み合わせた手法が独自に越智により開発されており[1,2]、量産までの技術的課題もほぼ克服されている。これら双方の手法について量産に向けた開発及び試験を行って、最終的に量産に用いるべき技術を決定する。

(2) 長期に渡る大強度放射線環境下での検出器動作テストに基づく安定な運用条件の導出。

試験用小型検出器を用い、大強度の中性子やガンマ線環境下での検出器の動作試験を行う。特に LHC アップグレード後の ATLAS 実験環境に相当する放射線を当て、動作の可否や性能の劣化状況を検査する。この試験場所としては、神戸大海事科学部タンデム加速器、CERN GIF++ (ガンマ線照射施設) などを用いる。

(3) 高抵抗ストリップ薄膜量産品の品質検査手法と設備の確立。

高抵抗ストリップ薄膜の品質は、マイクロメガス検出器の要であり、徹底した品質管理が要求される。このため、高抵抗薄膜ストリップパターンの品質、抵抗値の均一性を管理するため、抵抗値の自動測定や画像処理を用いた検査システムを開発し、実際に全薄膜の検査を行う。また検査結果を後の本実験にフィードバックするためのデータベース構築も行う。

(4) 検出器から得られる信号からトリガ発行するための飛跡情報を高速生成する方法の開発。

マイクロメガスは優れた位置・時間分解能を実現する飛跡検出器であると同時に、トリガ検出器としても重要な役割を果たす。1 mrad 以下の分解能でミューオンの角度を測定するため、NSW 中の sTGC と組み合わせた精度の高い飛跡情報を再構成により大幅にバックグラウンドを抑制しトリガレートを落とす。更に内部飛跡検出器の位置・運動量情報も使い、より正確なトリガ信号生成を実現する。

(6) 将来(Phase-II アップグレード等) に向けた耐高頻度粒子線検出器の開発

将来の計画として、NSW 設置位置付近で、さらに小角の散乱ミューオンを捉えるための新たな検出器を設置する案が検討されているため、これを実現できる検出器の開発・試験などの R&D を行い、ATLAS 実験に対して装置の提案を行う。

4. 研究成果

研究成果について、先に挙げた項目(1)～(4)、(6) について項目ごとに述べる。

(1) 高品質のマイクロメガス陽極基板を約 2000 枚量産する技術の確立。

本課題研究の初期段階では、ATLAS 実験で用いられるマイクロメガス検出器の心臓部品となる陽極ストリップの生産にあたって、炭素スパッタ(DLC)によるストリップ形成法とスクリーン印刷により抵抗ペーストを印刷する方法の両手法の比較検討を行った。図3に DLC 法によるものの試作フォイルの写真を示す。この結果、いずれも大型検出器を実現するのに十分な性能を持つことが導かれ、いずれを用いた大型のテストチェンバー(約 1m²の検出器面積を持つ)も十分な性能・安定性を示した。この結果最終的には、生産コストに優れているスクリーン印刷を採用することが決定した[3]。課題研究2年目よりスクリーン印刷による陽極ストリップの量産、及びその検査体制を整え、これを実施した。この結果、2017年には当初予定2000枚すべての生産を行うことができた。



図3 : 試作したマイクロメガス用高抵抗陽極フォイル

(2) 長期に渡る大強度放射線環境下での検出器動作テストに基づく安定な運用条件の導出。

研究初年度から翌年度にかけて、小型のマイクロメガス検出器(10cm×10cm)を複数台試作し、神戸大学タンデム加速器を用いた高速中性子照射試験、及び CERN GIF++を用いたガンマ線照射試験を行い、大強度放射線環境下での検出器の動作テストを行った。このうち、中

性子照射試験では、ATLAS 実験でマイクロメガスが置かれる場所で想定される数倍の中性子強度環境下での動作試験を行ったが、動作上はほぼ問題ないことが確認された。また、ガンマ線照射試験では、ATLAS 実験換算で最大 40 年分に相当する線量を検出器の動作状態で照射し、検出器性能劣化状況などを測定した。この結果、10 年分相当の照射量では性能に問題が無いことが確認されたが、40 年分の照射では、ガス増幅率が約半分になるなど性能劣化が生じることが観測された。さらにこの性能劣化の原因究明のため、検出器表面を二次電子分光法で調べたところ、図 4 に示す通り電極付近の材料にほとんど含まれていないはずのシリコンが表面に付着していることがわかった。そこで、2017 年度には、検出器周りのガスシールやガスチューブにシリコンを使用していない物質を使用した新たな試作検出器により同様のガンマ線照射試験を行い、ATLAS 40 年分の照射線量においても性能劣化が見られないことを確認した。この結果から、長期安定動作のためには、検出器周りの素材から可能な限りシリコンを含む素材を除くべきであることが導かれた。

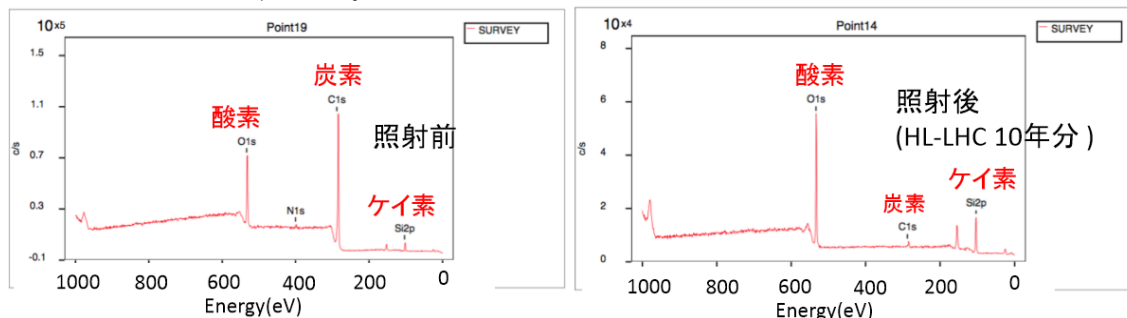


図 4 : 二次電子分光法により測定した、ガンマ線照射前後の検出器表面の物質分布

(3) 高抵抗ストリップ薄膜量産品の品質検査手法と設備の確立。

2016 年より、(1)の研究成果に基づきスクリーン印刷によるマイクロメガスの抵抗ストリップ薄膜の量産が始まったため、大型クリーンルームを神戸大学に用意し、スキャナーによる印刷パターンのチェック、及び表面抵抗値のマップ取得を行い、薄膜の全数検査を行った。

2017 年前半までには、当初予定していた 2000 枚のフォイルの生産・検査を終了することができた(Stage 1)ものの、ヨーロッパが担当している後段の読み出しボードの生産・検出器のアセンブリで予想以上に悪い歩留まりであったため、量産 Stage 1 で作製した 20%のスペアでは足りないことがわかり、約 600 枚の高抵抗ストリップ薄膜の追加量産(Stage 2)をする必要ができた。そのため、2018 年中は抵抗電極原材料のカーボンペーストの残りをを用いて約 200 枚の追加量産、品質検査を行った。図 5 は量産 Stage 2 で生産した薄膜の抵抗値の一枚あたりの平均値と最低値を表している。また、不足していた原料のカーボンペーストの入手先変更に伴い、量産前にテスト印刷を行い、抵抗値がスペックの範囲内にあり、印刷後の強度をクロスカット試験で、中に含まれる物質エネルギー分散型 X 線分析など検査し、品質を確認して印刷再開を行った。最終的には 2019 年度に必要な数の追加量産・品質検査を完了することができた。

これに加え、2019 年度には抵抗ストリップ薄膜製造後の後処理による抵抗値制御の研究もおこなわれ、高抵抗率薄膜表面の研磨や、高温で均等にプレスするなどの手法を開発した。

これら Stage 1, Stage 2 いずれの抵抗フォイルについても、印刷パターンのチェックと抵抗値マップについて、検出器の組み立て時、及び将来的に検出器が ATLAS 実験に組み込まれた後であっても参照できるよう、データベース化した。

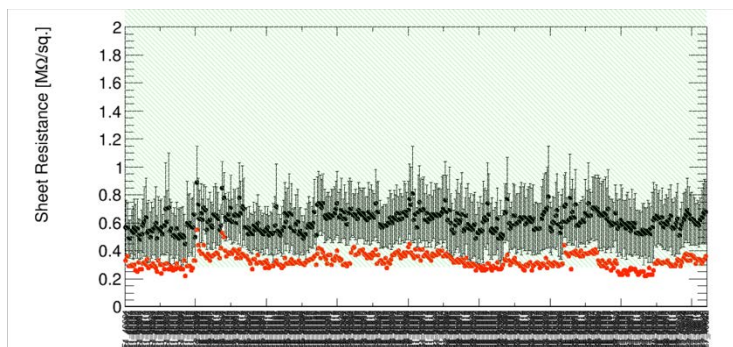


図 5 品質検査で測定した抵抗値の平均(黒)と最低値(赤)。それぞれの点が一枚のフォイルを表している。

(4) 検出器から得られる信号からトリガ発行するための飛跡情報を高速生成する方法の開発。

マイクロメガスの信号出力は、通過ミュオンによるトリガ及び位置計測のいずれにも使用できるが、本課題研究では特にトリガ発行のための研究を 3 年目以降行った。2017 年はマイクロメガスの信号を初段トリガとして使うための NSW トリガプロセッサに搭載するアルゴリズムの開発を進めた。トリガシステムに実装可能なアルゴリズムを完成させ、詳細な性能評価を行い、要求性能を満たすことを示した。また NSW トリガプロセッサボードと後段の初段ミュオントリガ判定ボードとの接続試験を行い、本番と同じ 6.4Gbps のデータ転送速度でエラー頻度を測定した。その結果、エラー頻度は十分低いことを確認し、質の高いデータ転送が可能であることを示した。

2018 年は、NSW 信号を受信して処理するトリガー判定ボードのアルゴリズムの核の部分の実装と試験を行い、実験本番に向けて最終的なシステムに仕上げた。特に実験中のデータ取得を阻害する通信エラーを抑制するために、エラーの原因となる通信時間のふらつきを制御する機構を開発した。そしてボード間のデータ通信試験を複数回行うことにより、通信プロトコルの最終調整を行った。これらは実験本番のトリガーシステム構築に向けた大きな進捗といえる。

2019 年は、NSW 信号を受信して処理するトリガー判定ボードの ATLAS システムへの設置とコミショニングを遂行した。72 台のトリガー判定ボードの設置作業を行い、実験に必要なハードウェアの設置作業を全て完了した。入力・出力用の 1000 本を超える光ファイバー・イーサネットケーブルの接続も完了し、正しく接続されていることを確認した。またこのボードと NSW トリガー処理ボードとの通信試験を複数回を行い、本番用の通信規格でデータの受信に成功した。さらに FPGA 間の通信に必要な時間を実測し、通信時間のふらつきが通信エラーに発展しない程度に抑制できる機能が働いていることを実証した。この機能により実験本番で通信エラーによるデータ損失を防ぐことができ重要な成果である。2021 年から開始する実験に向けての準備をおおいに進めることができた。

(6) 将来(Phase-II アップグレード等)に向けた耐高頻度粒子線検出器の開発

将来の HL-LHC を想定した High rate 環境下の検出器動作に関する基礎研究として、これまでのマイクロメガス開発でも問題となっている放電破壊現象を回避するために、放電で破壊されない素材を用いた検出器と、放電現象のエネルギーを抑制する方向(抵抗電極を用いた検出器)の二方面における検出器基礎開発を行った。本研究では、入射粒子許容量の大きな μ -PIC 型の検出器をベースとして開発を行った。

まず、放電で破壊されない素材を用いた検出器として、LTCC(低温焼結セラミックス)を基材とした μ -PIC を新たに開発した。これは、検出器の製法としては、これまでのポリイミドベースのものとは全く異なるものであるが、GEM(Gas Electron Multiplier)による先行研究で放電破壊抑制が良く示されているから、 μ -PIC のデザインにも応用した試作機を製作し、動作試験を行った。結果としては、従来型の μ -PIC よりは放電破壊耐性が見られることがわかったが、これまでの製作精度では、十分なガス増幅率を得ることが難しく、本課題研究の後にも継続した研究が必要であるものと思われる。

一方、抵抗電極を用いたものとしては、DLC を高抵抗陰極として用いた Micro Pixel Chamber (μ -PIC) の開発を行った。DLC は、マイクロメガス開発の初期にも抵抗電極として試作開発を行ったものであるが、 μ -PIC ではリフトオフに金属パターンを用いるなどの改良を行い、精度よく ($1\mu\text{m}$ 以下のパターン精度) 電極パターンを配置した試作機の開発に成功した(図 6)。さらに 2 次元の読出しに全て容量性の結合を検出器に内在する形で与えるデザインとしたことなどで、読出しに必要な回路素子を大幅に削除することに成功し、例えば大面積

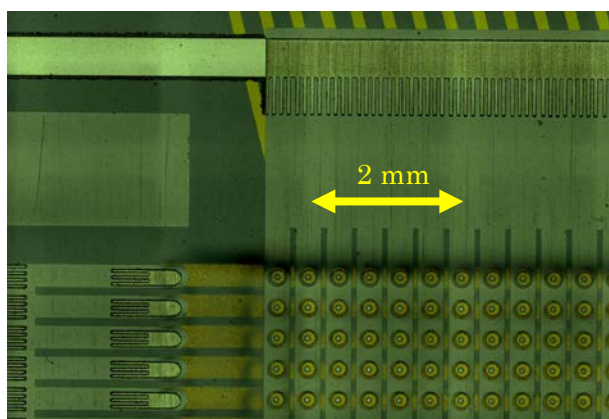


図 6: 高抵抗陰極 μ -PIC 表面の顕微鏡写真

の検出面積の実現では、検出器をタイルの様に並べるようなデザインが可能であるというような提案ができるようになった。この高抵抗陰極 μ -PIC については、神戸大学タンデム加速器を用いた中性子環境での放電レート試験や、CERN SPS H4 ビームライン(140GeV ミューオンビームライン)でのビームテストなどにより、優れた放電抑制や位置分解能を持つことが示された[4]。この高抵抗陰極 μ -PIC は、ATLAS Phase-2 アップグレードで導入が検討されている High eta tagger の検出器候補として ATLAS Phase-2 muon TDR に記載された[5]。今後、状況が許せば継続的に開発研究を進め、ATLAS 検出器での採用を目指したい。

参考文献

- [1] 科学研究費 基盤研究(B) 2011-2014 課題番号: 23340072
- [2] A.Ochi et al., "Carbon Sputtering Technology for MPGD Detectors", Proc. of Sci. (TIPP2014) 351 (2014)
- [3] A.Ochi, on behalf of the ATLAS muon collaboration, "Development of large area resistive electrodes for ATLAS NSW Micromegas", EPJ Web of Conf. 174, 03001 (2018), <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817403001>
- [4] F.Yamane et al., "Development of the Micro Pixel Chamber with DLC Cathodes", NIM A 951 (2020) 162938, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.162938>
- [5] The ATLAS Collaboration, "Technical Design Report for the Phase-II Upgrade of the ATLAS Muon Spectrometer", CERN-LHCC-2017-017, ATLAS-TDR-026 (2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Ochi A, Yamane F, Ishitobi Y, Setsuda H	4. 巻 1498
2. 論文標題 Development and performance tests of μ -PIC with DLC electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012001 ~ 012001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1498/1/012001	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 -
1. 著者名 Bencivenni G., Felici G., Gatta M., Giovannetti M., Morello G., Poli Lener M., de Oliveira R., Ochi A., Tskhadadze E.	4. 巻 1498
2. 論文標題 High space resolution μ -RWELL for high rate applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012003 ~ 012003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1498/1/012003	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 Yamane Fumiya, Ochi Atsuhiko, Matayoshi Kohei, Ogawa Keisuke, Ishitobi Yusuke	4. 巻 951
2. 論文標題 Development of the Micro Pixel Chamber with DLC cathodes	5. 発行年 2020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 162938 ~ 162938
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.162938	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 -
1. 著者名 T. Saito et al., The ATLAS Collaboration	4. 巻 101
2. 論文標題 Searches for electroweak production of supersymmetric particles with compressed mass spectra in $s=13\text{TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1 - 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.052005	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 T. Saito et al., The ATLAS Collaboration	4. 巻 97
2. 論文標題 Search for electroweak production of supersymmetric states in scenarios with compressed mass spectra at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ with the ATLAS detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1 - 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.052010	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 T. Saito et al., The ATLAS Collaboration	4. 巻 2018
2. 論文標題 Search for top-squark pair production in final states with one lepton, jets, and missing transverse momentum using 36fb^{-1} of $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ pp collision data with the ATLAS detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1 - 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)108	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 T. Saito et al., The ATLAS Collaboration	4. 巻 97
2. 論文標題 Search for squarks and gluinos in final states with jets and missing transverse momentum using 36fb^{-1} of $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ pp collision data with the ATLAS detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1 - 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.112001	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 Ochi Atsuhiko	4. 巻 174
2. 論文標題 Development of large area resistive electrodes for ATLAS NSW Micromegas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 03001 ~ 03001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1051/epjconf/201817403001	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 T. Masubuchi et al., The ATLAS collaboration	4. 巻 119
2. 論文標題 Search for the Dimuon Decay of the Higgs Boson in pp Collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ with the ATLAS Detector	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 51802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.051802	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 T. Masubuchi et al., The ATLAS collaboration	4. 巻 2017
2. 論文標題 Evidence for the $H \rightarrow b\bar{b}$ decay with the ATLAS detector	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/JHEP12(2017)024	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

[学会発表] 計72件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 34件)

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Resistive foils - last batch and last tests
3. 学会等名 ATLAS Muon Week (CERN, Switzerland) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越智敦彦
2. 発表標題 RD51 コラボレーションに関する報告
3. 学会等名 第16回MPGD研究会 & アクティブ媒質TPC合同研究会 (理研)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 説田暉
2. 発表標題 LTCC μ -PICの放電耐性及びガスゲインの定量的評価
3. 学会等名 第16回MPGD研究会 & アクティブ媒質TPC合同研究会 (理研)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Masubuchi
2. 発表標題 Resistive foil status
3. 学会等名 ATLAS Muon Week (CERN, Switzerland) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Development of Micro Pixel Chamber using Low Temperature Co-fired Ceramics
3. 学会等名 2019 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (Manchester, UK) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 説田暉
2. 発表標題 LTCC μ -PIC の基本性能測定
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 Dark Matter Search at ATLAS
3. 学会等名 KUBEC International Workshop on Dark Matter Searches 2019 (Brussel, Belgium) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 MPGD R&D at Kobe
3. 学会等名 KUBEC International Workshop on Dark Matter Searches 2019 (Brussel, Belgium) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Industrialization of the DLC deposition process
3. 学会等名 Workshop on Resitive Coatings for Gaseous Detectors (RCGD2019) (Bari, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Micro-patterning techniques for DLC layers in MicroMegas and uPic detectors
3. 学会等名 Workshop on Resitive Coatings for Gaseous Detectors (RCGD2019) (Bari, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Past Experience with DLC and Workshop Goals
3. 学会等名 Workshop on Resitive Coartings for Gasous Detectors (RCGD2019) (Bari, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Development and performance tests of mu-PIC with DLC electrodes
3. 学会等名 6th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors (MPGD2019) (La Rochell, France) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越智敦彦
2. 発表標題 LHCアップグレードにおけるMPGDのTPC読出し
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会 (神戸大学) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 説田暉
2. 発表標題 LTCC μ -PICの開発に向けた研究
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会 (九州大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 LHC-ATLAS Run2 data analysis
3. 学会等名 Joint Kavli IPMU - ICEPP Workshop on Future Directions for HEP 2019 (東京大学) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 説田暉
2. 発表標題 LTCC μ -PICの開発に向けた性能シミュレーション
3. 学会等名 第15回MPGD研究会 (京都大学)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Intoroduction to Resistive DLC Collaboration
3. 学会等名 RD51 Mini workshop (CERN Switzerland) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Testbeam for μ -PIC (results)
3. 学会等名 RD51 Collaboration meeting (CERN, Switzerland) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石飛由介
2. 発表標題 CERN H4 ビームラインを用いたDLC μ -PICの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会 (信州大学)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Testbeam for μ -PIC
3. 学会等名 RD51 Collaboration meeting and the MPGD Stability workshop (TMU, Germany) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 SUSY strong production in leptonic final state with ATLAS
3. 学会等名 5th Conference on Large Hadron Collider Physics (LHCP) 2017, Shanghai, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koki Maekawa
2. 発表標題 Simulation of the ATLAS New Small Wheel System
3. 学会等名 International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP), Beijing, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Japan MPGD community
3. 学会等名 5th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors (MPGD2017) (Philadelphia, USA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増淵達也
2. 発表標題 LHCでのヒッグス研究の最新結果
3. 学会等名 京都大学基研研究会 素粒子物理学の進展 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 Simulation of the ATLAS New Small Wheel Trigger
3. 学会等名 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP), Santa Cluz, United States of America (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増淵達也
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験におけるVH->bb事象を用いたヒッグス粒子探索
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会 (宇都宮大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 又吉康平
2. 発表標題 高放射線環境におけるMicromegas検出器の動作試験
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会 (宇都宮大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前川光貴
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験Run-3に向けたMicromegas検出器を用いたトリガーアルゴリズムの開発と評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会 (宇都宮大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 MPGD Overview
3. 学会等名 International Workshop on High Energy Circular Electron Positron Collider (北京、中国) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 又吉康平
2. 発表標題 CERN GIF++ におけるMicromegasの 線 aging 試験
3. 学会等名 第14回MPGD研究会 (岩手大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日比宏明
2. 発表標題 ATLAS実験アップグレードに向けたMMとsTGCを組み合わせたレベル1トリガの開発と性能評価
3. 学会等名 ICEPPシンポジウム、白馬
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日比宏明
2. 発表標題 LHC-ATLAS 実験アップグレードに向けた Micromegas と small-strip TGC を組み合わせたレベル1ミューオントリガーの開発と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会（東京理科大学）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 MM Digitization and Trigger Simulation
3. 学会等名 ATLAS MUON WEEK (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuo Kawamoto
2. 発表標題 Status of studies for the high-eta tagger
3. 学会等名 ATLAS MUON WEEK (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 MPGD development in Kobe University
3. 学会等名 Kick Off Symposium for Honolulu Office of Kobe University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 又吉康平
2. 発表標題 MicroMEGASを用いた、抵抗電極による誘起電荷の拡散測定
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 斉藤大起
2. 発表標題 宇宙線を用いたMicroMEGASの位置分解能の抵抗膜構造による依存性の測定
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長坂憲子
2. 発表標題 ATLAS実験アップグレードにおけるマイクロメガス検出器のAging test
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 前川光貴
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験におけるMicromegas検出器を用いたトリガーアルゴリズムの開発と評価
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増淵達也
2. 発表標題 ATLAS実験アップグレードにおけるマイクロメガス検出器のための高抵抗ストリップ薄膜の量産状況
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 MM Simulation and Digitization
3. 学会等名 ATLAS MUON WEEK (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masahiro Yamatani
2. 発表標題 Micromegas Resistive foil Production
3. 学会等名 ATLAS MUON WEEK (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuo Kawamoto
2. 発表標題 Updates on large-eta tagger
3. 学会等名 ATLAS MUON WEEK (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長谷川大晃
2. 発表標題 抵抗電極を有した粒子検出器における電荷伝播
3. 学会等名 第13回 マイクロパターンガス検出器研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長坂憲子
2. 発表標題 ATLAS実験アップグレードにおけるMicroMEGAS検出器
3. 学会等名 第13回 マイクロパターンガス検出器研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 又吉康平
2. 発表標題 抵抗電極を用いた2D-MicroMEGASの特性評価
3. 学会等名 第13回 マイクロパターンガス検出器研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 越智敦彦
2. 発表標題 MPGD開発に関する海外の状況
3. 学会等名 第13回 マイクロパターンガス検出器研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuo Kawamoto
2. 発表標題 Physics prospects for high-luminosity LHC with ATLAS
3. 学会等名 Miami-2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 NSW Trigger
3. 学会等名 Muon Trigger Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 越智敦彦
2. 発表標題 MPGD開発に関する国内外の状況
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第31回)(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Yamatani
2. 発表標題 Micromegas Resistive foil Production
3. 学会等名 ATLAS MUON WEEK (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長坂憲子
2. 発表標題 ATLAS実験アップグレードにおけるMicroMEGAS検出器の開発
3. 学会等名 23rd ICEPP Symposium
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前川光貴
2. 発表標題 ATLAS実験におけるMicromegas検出器を用いたトリガーアルゴリズムの開発と評価
3. 学会等名 23rd ICEPP Symposium
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 越智敦彦
2. 発表標題 ATLAS NSW マイクロメガス用抵抗電極の量産と検査報告
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前川光貴
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験アップグレードに向けたMicromegas検出器を用いたトリガーアルゴリズムの開発と評価
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoyuki Saito
2. 発表標題 New Small Wheel Trigger
3. 学会等名 ATLAS CERN-Tokyo Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Status report on Resistive foil in Japan
3. 学会等名 ATLAS Muon/NSW Week (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Recent status on MPGD developments using carbon sputtering
3. 学会等名 3rd Academy-Industry Matching Event on Photon Detection and RD51 mini-week (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 山根史弥
2. 発表標題 ATLAS-Micromegas 検出器のための高抵抗電極薄膜の開発
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 木村光太郎
2. 発表標題 LHC-ATLAS実験におけるMicromegas検出器を用いたトリガーアルゴリズムの開発
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 山谷昌大
2. 発表標題 LHC-ATLASアップグレードにおけるMicromegas検出器量産に向けた高抵抗薄膜の品質研究
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 山崎友寛
2. 発表標題 LHC-ATLASアップグレードに向けた、Micromegas検出器のバックグラウンド耐性の評価
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Development of large area resistive electrodes for ATLAS NSW Micromegas
3. 学会等名 4th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors (MPGD2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Resistive materials and their patterning methods for MPGDs
3. 学会等名 RD51 mini week (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 長坂憲子
2. 発表標題 ATLAS NSWに向けたMicroMEGASの開発
3. 学会等名 第12回マイクロパターンガス検出器研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 山崎友寛
2. 発表標題 LHC-ATLASアップグレードに向けたMicromegas検出器のAgeing試験
3. 学会等名 第12回マイクロパターンガス検出器研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 越智敦彦
2. 発表標題 Phase-I アップグレードミュオン
3. 学会等名 新学術領域研究会テラスケール2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tomoyuki Saitoh
2. 発表標題 NSW Trigger - segment finding algorithm
3. 学会等名 Muon Trigger Workshop in Kyoto (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Atsuhiko Ochi
2. 発表標題 Micromegas components & procurement: Resitive foils, incl. QA/QC in Kobe
3. 学会等名 ATLAS Muon & NSW Week (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山崎友寛
2. 発表標題 LHC-ATLASアップグレードに向けたMicromegas検出器の性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長坂憲子
2. 発表標題 ATLAS NSWに向けたMicroMEGAS検出器のAging test
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山谷昌大
2. 発表標題 LHC-ATLASアップグレードにおけるMicromegas検出器量産に向けた高抵抗薄膜の品質研究
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Kobe Univ. u-PIC group Home Page http://ppwww.phys.sci.kobe-u.ac.jp/~upic/ Micromegas 検出器の研究開発 http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/kawamoto/MM.html</p>
--

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
研究分担者	増淵 達也 (Masubuchi Tatsuya) (20512148)	東京大学・素粒子物理国際研究センター・助教 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋藤 智之 (Saito Tomoyuki) (50749629)	東京大学・素粒子物理国際研究センター・助教 (12601)	
研究分担者	片岡 洋介 (Kataoka Yosuke) (20508379)	東京大学・学内共同利用施設等・その他 (12601)	
研究分担者	川本 辰男 (Kawamoto Tatsuo) (80153021)	東京大学・素粒子物理国際研究センター・准教授 (12601)	