

ISSN 2189-7557

年次研究報告

ANNUAL REPORT OF DIVISION OF PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TSUKUBA

2016 (平成28) 年度

筑波大学数理物質系物理学域

II. 素粒子実験グループ

教授	金 信弘, 受川 史彦
准教授	原 和彦, 武内 勇司
講師	佐藤 構二
助教	大川 英希
研究員	武政 健一
教授	Soo-Bong KIM (海外教育研究ユニット招致)
教授	吉田 拓生 (クロスアポイントメント教員)
准教授	池上 陽一 (クロスアポイントメント教員)
大学院生	15名
学群4年次生	1名

素粒子実験グループは高エネルギー粒子衝突型加速器を用いた国際共同実験 CDF および ATLAS に参加し、エネルギー・フロンティアでの素粒子実験研究を遂行している。CDF は 2011 年度に運転終了、ATLAS は 2009 年秋より衝突実験を開始した。本年度もそれぞれにおいて様々な研究活動が行われた。また、宇宙背景ニュートリノの崩壊探索実験 COBAND とそのための高分解能光検出器 STJ の開発、SOI 技術を用いた次世代粒子検出器の開発、および宇宙線ミュオン粒子を用いた大規模構造物の透視を行っている。

当グループの教員は数理物質融合科学センター (CiRfSE) 宇宙史国際研究拠点に所属し、国内外機関との連携を深めて研究を強力に推進するための組織整備を行っている。平成 28 年度には、3 名の研究者を本学教員として招き、より密接な共同研究の体制を構築した。

【1】 陽子・反陽子衝突実験 CDF

CDF 実験は、米国フェルミ国立加速器研究所のテバトロン加速器を用いた陽子・反陽子衝突実験であり、日本をはじめアジア、北米、欧州の計 14ヶ国の研究機関・大学からなる国際協力により行なわれている。2001 年度より Run II 実験が遂行されてきたが、2011 年 9 月 30 日に加速器・検出器ともにその運転が終了した。最終的に CDF 検出器により記録されたデータ量は約 10 fb^{-1} である。この全データを用いた物理解析も多くが終了し、最終結果を論文として公表する段階にある。2016-17 年には 10 篇の原著論文が公表された。以下に成果の主なものを記す。

CDF 実験による 1995 年のトップクォーク発見から 20 年が経過し、Run II 実験においては高統計のトップクォーク事象を用いてその様々な性質が詳細に研究されている。テバトロンでのトップクォーク生成は、クォーク・反クォーク対を始状態とする対生成が主である。

トップクォーク質量の測定は、素粒子標準理論のパラメータの決定として、また、輻射補正を通して関係づけられる W ボソンおよびヒッグス粒子の質量との整合性の検証の点で、極めて重要である。CDF 実験では様々な終状態を用いてトップクォーク質量の測定を行ってきた。2016 年度には、Run-II 実験の全データを用いた結果を $D\bar{0}$ 実験と統合し、 $M_{\text{top}} = 174.30 \pm 0.35 \pm 0.54 \text{ GeV}/c^2$ を得た (図 1 左)。相対精度は 0.37% であり、実験開始当初の予測を大きく上回る高精度を実現した。

トップクォーク対の生成機構の解明と標準理論を超える新物理の探索のため、 $t\bar{t}$ 対の前後

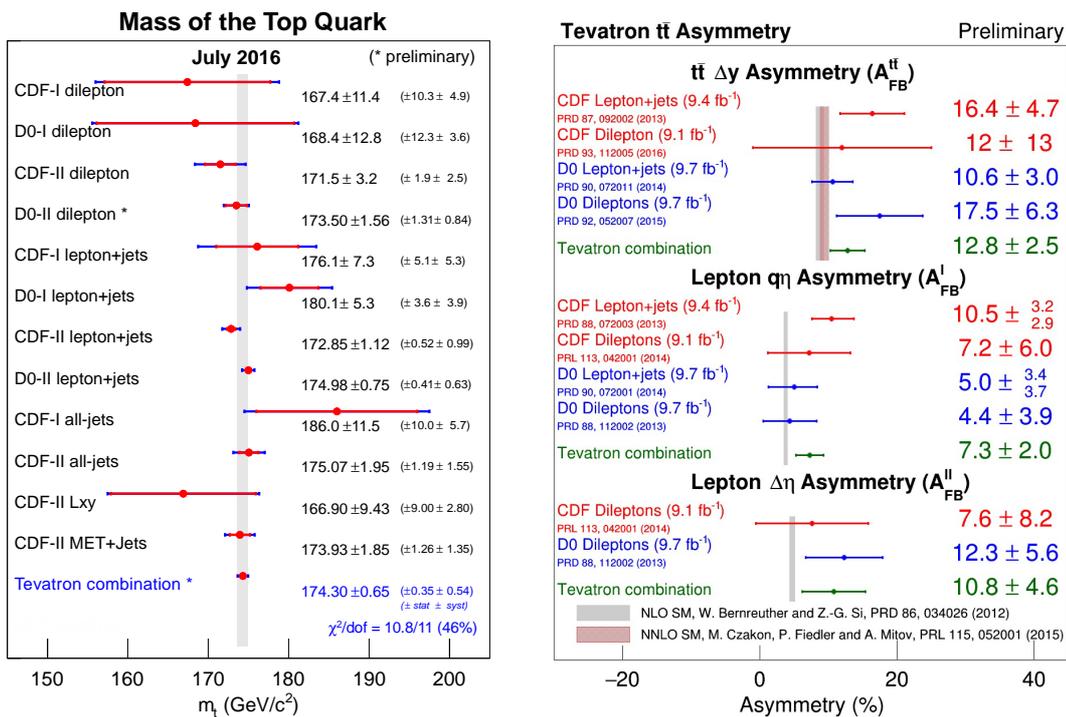


図 1: CDF および D0 実験でのトップクォークの性質の測定。(左) 質量, (右) 対生成の前後方非対称度。

方非対称度に着目し, 2010 年度には 5.1 fb^{-1} 相当のデータを用いて dilepton チャンネルにおける初めての測定を行った。2016 年度には, CDF 実験と D0 実験の結果を総合した最終結果を得た (図 1 右)。非対称度が 0 でないことはパリティの破れを意味する。強い相互作用 (QCD) はパリティを保存するが, 素過程の摂動最低次の項と高次の項との干渉により 6% 程度の非対称度が予言される。実験値はそれを若干上回り, さらなる高精度の検証が求められるが, LHC 実験は陽子陽子衝突であるので非対称度の測定は容易ではない。

[2] LHC ATLAS 実験

欧州 CERN 研究所の Large Hadron Collider (LHC) 加速器は, 2012 年までの Run-1 実験を経て 2013-2014 年度には重心系エネルギーを 13-14 TeV に増強するための改良が行われた。2015 年度からは Run-2 実験が始まった。2015 年度の LHC 運転では, ATLAS 実験は 3.9 fb^{-1} の陽子・陽子衝突データを取得した。続く 2016 年度の運転では, さらに 35.6 fb^{-1} のデータを取得している。Run-1 で 7-8 TeV であった重心系エネルギーが, Run-2 では 13 TeV に上昇したことにより, ヒッグス粒子の生成断面積が増大し, より精度の高い測定が期待できる。同時に, 重い粒子を生成しやすくなるため, 重い新粒子を伴う新しい物理に対しても, 飛躍的に高い感度で探索解析が行える。

LHC は, 当初の設計値を超えた高輝度実験を実現するため, 2026 年ころに HL-LHC 加速器へと増強される予定である。放射線レベルも現在の検出器設計の 10 倍に達するため, それに伴う新しい内部飛跡検出器の開発研究を行っている。

(1) 本学グループの物理解析への取り組み

ヒッグス粒子は発見されたばかりの粒子であり、その性質を精密に測定して理解することは重要である。ヒッグス粒子が標準理論の予想するとおりの性質なのか、標準理論からずれがあるのかをはっきりさせ、標準理論を超える物理の発見へのヒントにつなげる意味で、ヒッグス粒子の精密測定は大変意義がある。また、ヒッグス粒子が標準理論を超える物理現象と結合している可能性を積極的に探すことも大切である。

標準理論は単一のヒッグス粒子を预言しているが、超対称性理論など、多くの有望視されている標準理論を超える素粒子理論では、ヒッグス粒子は複数存在すると考えられている。そこで、すでに見つかっているヒッグス粒子のほかにもヒッグス粒子があるのかどうかをはっきりさせることも、標準理論を超える物理を探る上で大変重要である。

LHC 加速器は、世界最高エネルギーでの素粒子反応を起こす実験であり、重い新粒子を伴う新しい物理現象が直接観測できる可能性も高い。ATLAS 実験では、新しい物理の直接探索も積極的に行っている。

本学グループは、ヒッグス粒子の既知の粒子への結合の測定、ヒッグス粒子の未発見の物理現象との関わりを探る物理解析、第二のヒッグス粒子の探索、新しい物理の積極探索の分野で、さまざまな解析研究を行ってきた。

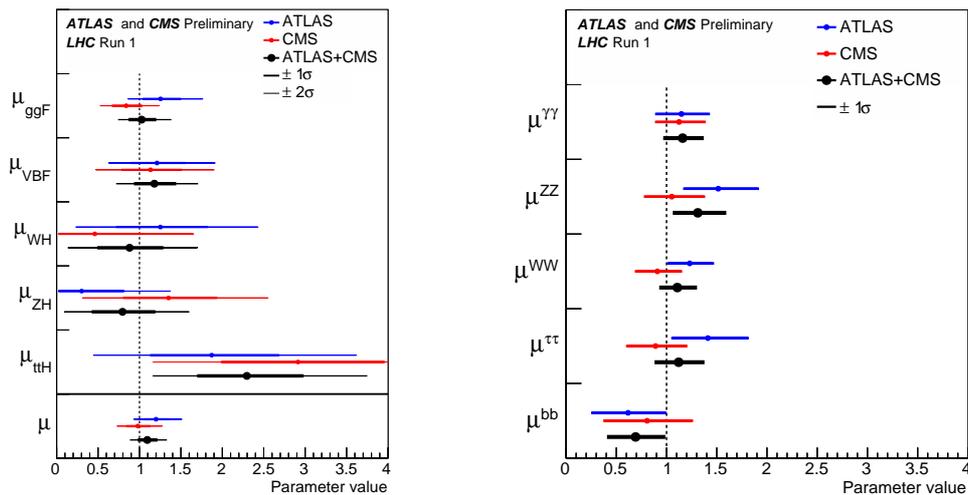


図 2: ATLAS および CMS 実験の Run-1 での測定結果を複合して得られた (左) ヒッグス粒子の様々な生成過程での信号の強さ μ (生成断面積を標準理論の予言値で規格化したもの)。 (右) ヒッグス粒子の様々な崩壊過程での信号の強さ μ (崩壊分岐比を標準理論の予言値で規格化したもの)。

(2) ヒッグス粒子の崩壊と種々の粒子との結合

素粒子の標準理論において質量の起源を担うヒッグス粒子は 2012 年夏に発見された。現在は、その精密測定を通して、標準理論の枠組みどおりヒッグス粒子はすべての素粒子に質量を与えるのか (あるいはそうでないのか)、発見された他にヒッグス粒子はあるのか、などについて研究を進めている。

ヒッグス粒子と他の粒子との結合は質量に比例することが予言されるが、ヒッグス粒子の様々な粒子対への崩壊を観測することにより、その検証が行える。

LHC Run-1 での ATLAS および CMS 両実験で種々の終状態を用いて測定したヒッグス粒子の信号の強さ μ (生成断面積および崩壊分岐比を標準理論の予言値で割ったもの) を図 2 に示す。両実験で個々の測定結果について矛盾は認められず、統合することで測定精度が向上した。

発見に使われた様式 $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow Z^0 Z^{*0}$, $H \rightarrow W^\pm W^{*\mp}$ において予言との一致度はよい。ヒッグス粒子が W/Z 粒子 (ゲージ粒子) と結合することは発見時に確立した。2014 年度には ATLAS 実験で初めてレプトン (τ) とも結合することが高い精度で判明していたが、2015 年度の CMS 実験との統合により $H \rightarrow \tau\tau$ 崩壊の信号の有意度は 5σ に達した。

ヒッグス粒子が W/Z 粒子に質量を与えることはヒッグス機構の定義であり、 τ レプトン対への崩壊が確認されたことで同じヒッグス粒子が湯川結合によりレプトンにも質量を与えることはここまでで確認できたといえる。残った物質粒子 (フェルミ粒子) であるクォークに対して同様に結合しているのか否かは、標準理論の最も重要な検証のひとつである。

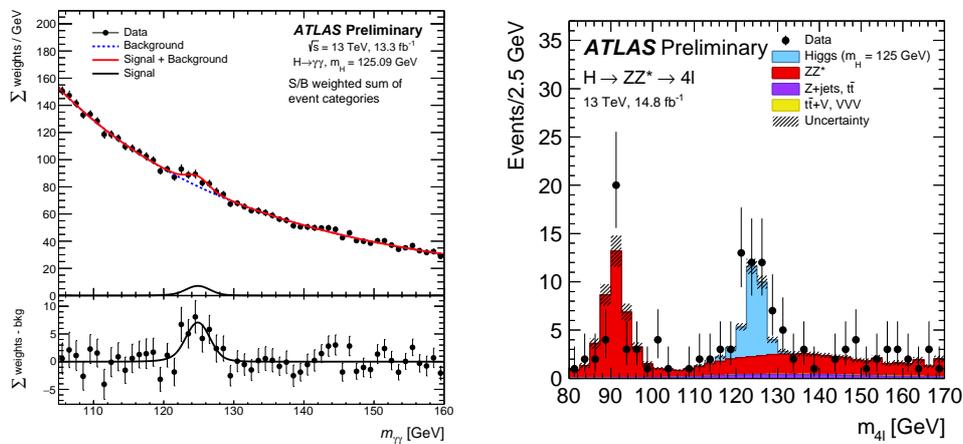


図 3: ATLAS 実験の Run-2 のデータを用いた、(左) 二光子崩壊事象および (右) 4 レプトン崩壊事象におけるヒッグス粒子の「再発見」。

(3) Run-2 における 2 光子および 4 レプトンに崩壊するヒッグス粒子の測定

LHC Run-2 の 2016 年夏までの 13.3 fb^{-1} のデータを用いて、二光子崩壊事象と、4 レプトン崩壊事象の両チャンネルにおいて、ヒッグス粒子を「再発見」した (図 3)。また、二光子崩壊事象においては、ヒッグス粒子の横運動量分布や、ジェット数分布などの微分断面積の測定を行い、摂動 QCD (量子色力学) の精密検証及び、標準理論を超える新物理の兆候を探索した (図 4)。現時点では、各ヒッグス粒子生成過程におけるシグナル強度も含めて、標準理論からの逸脱は見られない (図 4)。

(4) 弱ボソンとの随伴生成によるヒッグス粒子のボトムクォーク対への崩壊の探索

標準理論どおりであれば、ヒッグス粒子は 58% の崩壊分岐比で $H \rightarrow b\bar{b}$ のモードで崩壊する。この崩壊モードは、もっとも崩壊分岐比が大きい。

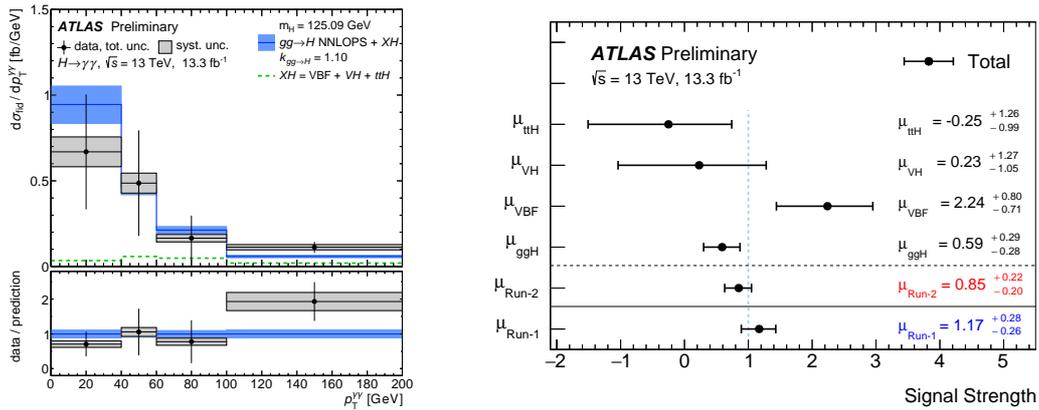


図 4: ATLAS 実験の Run-2 のデータを用いた、二光子崩壊事象におけるヒッグス粒子の横運動量についての微分断面積 (左) と各生成過程についてのシグナル強度の測定。

ATLAS 実験では、ヒッグス粒子が W または Z ボソンと随伴して生成され、それらが $W \rightarrow \ell\nu$ または $Z \rightarrow \ell\ell/\nu\nu$, および $H \rightarrow b\bar{b}$ へと崩壊する事象を探してきた。

Run-1 実験で得られた $\sqrt{s} = 7$ および 8 TeV のデータを用いた 2015 年の解析結果では、測定された信号の強さ (事象の頻度の標準理論による予言値との比) は $\mu = 0.53 \pm 0.32$ (stat) ± 0.24 (syst) であり、信号の統計的有意度は 2.6σ の予想に対して 1.4σ であった。CMS 実験と Run-1 解析を統合した結果では、 3.7σ の予想に対して 2.6σ であった。

ATLAS 実験では、 $\sqrt{s} = 13$ TeV のデータ 13.2 fb^{-1} を解析した結果を 2016 年夏に発表した。Run-1 の解析と同様に、 W または Z ボソンと随伴してヒッグス粒子が生成され、 $W \rightarrow \ell\nu$ または $Z \rightarrow \ell\ell/\nu\nu$, および $H \rightarrow b\bar{b}$ と崩壊する事象を探索した。荷電レプトン (電子またはミュー粒子) が終状態に 0, 1, または 2 個存在し、ヒッグス粒子が崩壊したボトムクォークを起源とする b ジェットを 2 つ以上含む事象を解析した。解析感度をあげるため、2 つの b ジェットの不变質量をはじめとするさまざまな測定量を使って多変数解析により信号・バックグラウンド事象間の分離を最適化した。図 5 に、荷電レプトンを 0, 1, 2 個含む終状態での、多変数解析の出力分布を示す。

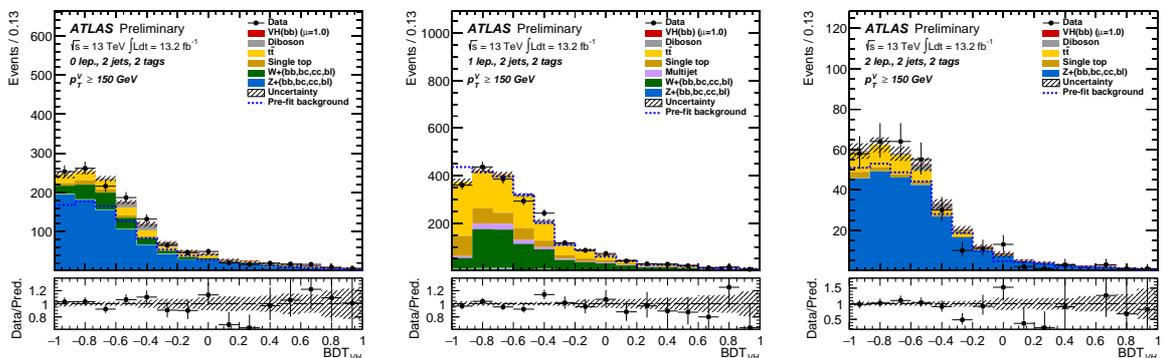


図 5: $(Z/W)H \rightarrow (\nu\nu/\ell\nu/\ell\ell)b\bar{b}$ 事象の探索解析での多変数解析の出力分布。 b タグされたジェットを 2 つ含む事象に対するもの。左からそれぞれ、電子またはミュー粒子を 0, 1, 2 個含む終状態での分布を示す。この出力を、信号・バックグラウンドの識別変数として用いた。

本解析では、ヒッグス粒子の質量 $m_H = 125 \text{ GeV}/c^2$ としたときに、95% の信頼度で、 $pp \rightarrow (W/Z)(H \rightarrow b\bar{b})$ 信号の強さ（生成断面積と崩壊分岐比の積の標準理論の予言値との比）に対して、1.2 の上限値を得た。また、信号の強さを $\mu = 0.21_{-0.35}^{+0.36} (\text{stat}) \pm 0.36 (\text{syst})$ と測定した (図6)。期待された信号の有意度は 1.94σ であったが、観測された有意度は 0.42σ であった。

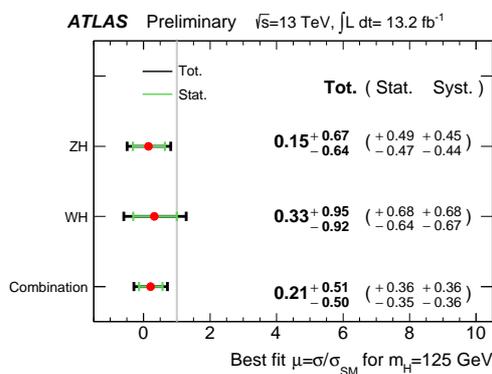


図 6: $(Z/W)H, H \rightarrow b\bar{b}$ 過程の信号の強さ μ （生成断面積と崩壊分岐比の積、標準理論の予言値で規格化したもの）。

(5) トップクォーク対を伴うヒッグス粒子生成過程の探索

トップクォークは質量は $m_t = 173.34 \pm 0.76 \text{ GeV}/c^2$ で、2 番目に重い物質粒子である b クォークと比べても 35 倍ほど重い。湯川結合が物質粒子の質量に比例するため、トップクォークは電弱対称性の破れのなかで特に重要な役割りを担う。クォークの中でもトップクォークがどのようにヒッグス粒子と結合するかは大変興味深く、重要な測定テーマのひとつである。

トップクォークとヒッグス粒子の結合の強さを測るには、ヒッグス粒子がトップクォーク対を伴って生成する $t\bar{t}H$ 事象の生成断面積を測定する。2015 年度には、ATLAS 実験では Run-1 データを解析し、はじめての $t\bar{t}H$ 過程の探索結果を発表した。その結果を CMS 実験と統合した探索結果では、信号の有意度は、 4.4σ に達していた。標準理論通りの場合に予想された 2.0σ よりも高い有意度が結論されたことは大変興味深い。

Run-2 で取得するデータを解析することで、 $t\bar{t}H$ 生成過程の観測を確立し、標準理論通りなのか、あるいはトップクォークが電弱理論の対称性の破れの中で予想されなかった特別な役割を担っているのかをはっきりさせて行く。

ATLAS 実験では、2016 年夏には、Run-2 で得られた $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ でのデータ 13.3 fb^{-1} を用いて、 $t\bar{t}H$ 過程で生成されたヒッグス粒子が、 $b\bar{b}$ 、 $\gamma\gamma$ または、 $WW/ZZ/\tau\tau$ から複数のレプトンに崩壊する過程を探索した。

図 7 に、 $t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$ チャンネルでの探索の様子を示す。この探索チャンネルでは、ヒッグス粒子と一緒に生成されたトップクォーク対が電子またはミュー粒子 1、または 2 個を含む終状態に崩壊した事象を解析した。さらに解析に用いる事象サンプルを、ジェットおよび b タグされたジェットの数によって細分化することで信号に対する解析の向上し、さらには多変数解析を応用することで信号・バックグラウンドの分離を最適化している。

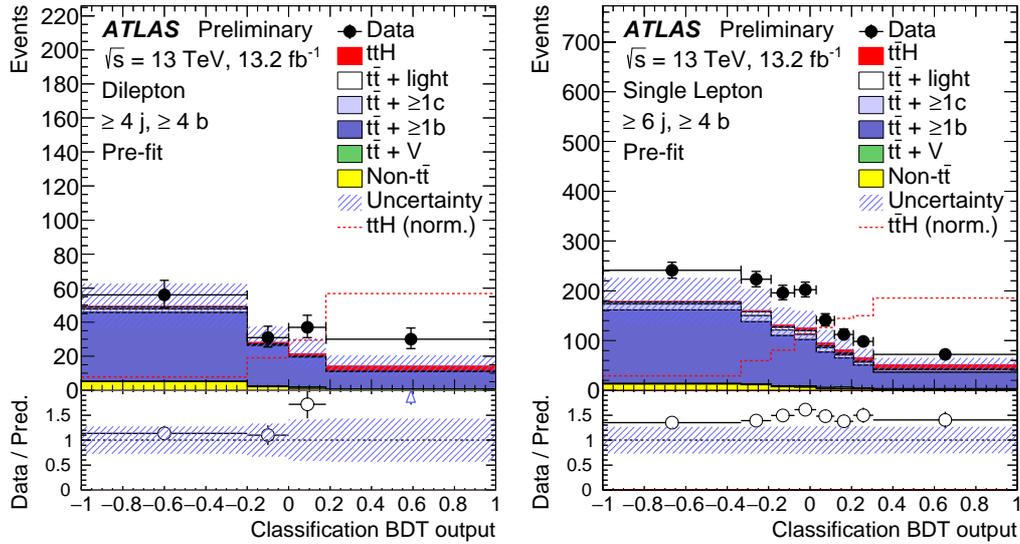


図 7: $t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$ 事象の探索解析における, 多変数解析の出力の分布。(左) 終状態に電子またはミュー粒子が 2 個あり, b タグしたジェットが 4 つ以上ある事象に対する分布。(右) 終状態に電子またはミュー粒子が 1 個, ジェットが 6 個以上, b タグしたジェットが 4 つ以上ある事象に対する分布。

ATLAS 実験の Run-2 での $b\bar{b}$, $\gamma\gamma$, $WW/ZZ/\tau\tau$ 崩壊チャンネルおよびこれらを統合した場合の $t\bar{t}H$ 過程の探索における信号の有意度を表 1 にまとめる。また, それぞれのチャンネルで測定された信号強度 (生成断面積と崩壊分岐比の積の標準理論による予言値との比) を図 8 に示す。

Channel	Significance	
	Observed [σ]	Expected [σ]
$t\bar{t}H, H \rightarrow \gamma\gamma$	-0.2	0.9
$t\bar{t}H, H \rightarrow (WW, \tau\tau, ZZ)$	2.2	1.0
$t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$	2.4	1.2
$t\bar{t}H$ combination	2.8	1.8

表 1: $t\bar{t}H$ 過程の探索解析での観測および予想された, バックグラウンドのみの仮定に対する信号の有意度。

今回の解析結果でも有意度が十分でないため, $t\bar{t}H$ 過程の観測を確立したとはいえない。とはいえ, 観測された有意度がふたたび, 標準理論どおりの信号がある仮定での予想を上回ったことは興味深い。

(6) ヒッグス粒子の稀崩壊の探索

ヒッグス粒子の稀崩壊事象の探索は, 湯川結合と標準理論の検証を行う上で, 極めて重要である。ヒッグス粒子のミューオン粒子対への崩壊は, 第 2 世代粒子との結合を, クリーンなイベントトポロジーで測定することを可能にする。図 9 は, 2015・2016 年の全データを

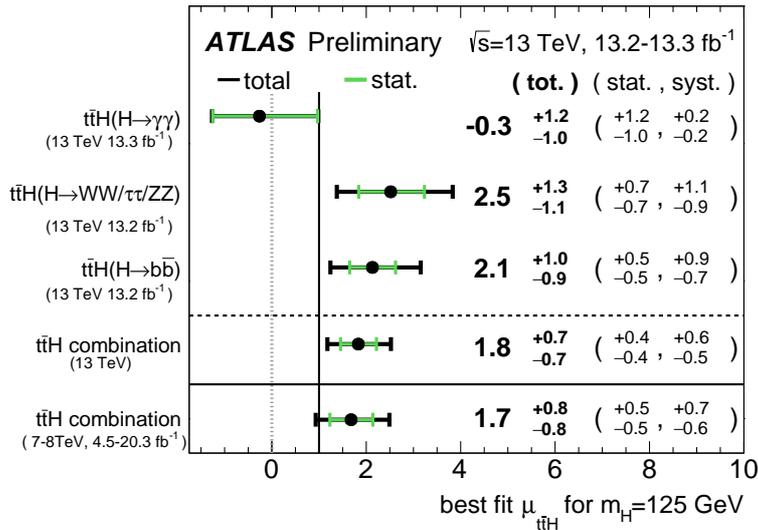


図 8: $t\bar{t}H$ 生成過程の生成断面積の測定結果。

用いた、ベクターボソンフュージョン生成過程における、ミューオン対の不変質量分布である。現時点では、ヒッグス粒子のミューオン粒子対への崩壊は、観測されず、標準理論から予測される生成断面積の 3.0 倍を、95%の信頼度で棄却した。

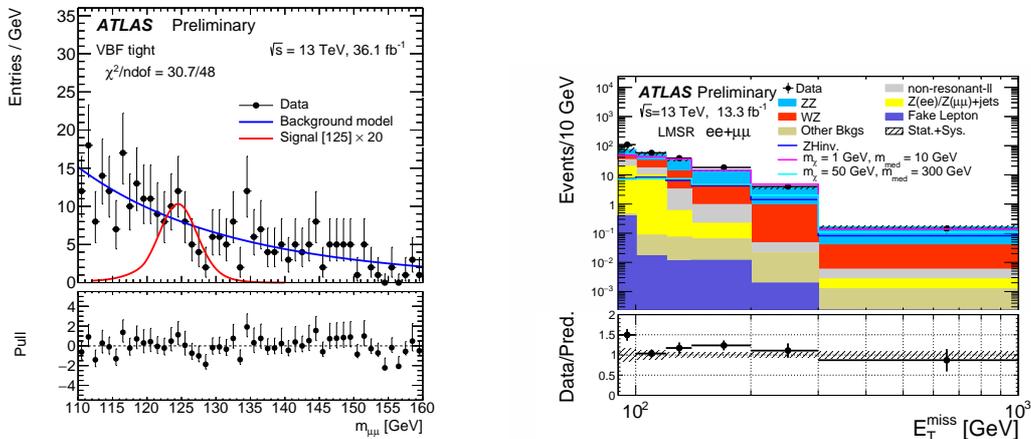


図 9: ATLAS 実験の Run-2 のデータを用いた、ヒッグス粒子の (左) ミューオン対崩壊事象および (右) 非可視崩壊事象の探索。

ヒッグス粒子の非可視崩壊の探索は、暗黒物質とヒッグス粒子の全崩壊幅の観点から非常に重要な研究である。暗黒物質が、ヒッグス粒子のみと相互作用するという、ヒッグスポータルモデルは、数多くある暗黒物質モデルの中でも最有力で、繰り込み可能であり、又、現在の暗黒物質の直接探索実験の結果とも整合する。

Run-2 のデータを用いて、Z ボソン随伴生成過程を用いた探索を行った。ニュートリノや暗黒物質などの、弱い相互作用をする粒子の横運動量の間接測定である、消失横運動量分布

において、標準理論からの有意な逸脱は見られなかった (図 9)。非可視崩壊比への制限は、95%の信頼度で、98% (期待感度 65%) であり、Run-1 からの制限には至らなかった。より高統計での追跡調査が待たれる。

(7) 標準理論を超えたダイボソン共鳴事象の探索

標準理論を超えた物理の多くのモデルにおいて、複数のヒッグス粒子が存在することが示唆されている。その中でも、 ZZ モードへの崩壊は、多くのモデルで予測されるため、探索チャンネルとして重要である。Run-2 のデータを用いて、 ZZ 共鳴事象の探索を行った。その際には、 Z ボソンの崩壊モードに対応して、 $4l$, $ll\nu\nu$, $llqq$, $\nu\nu qq$, $4q$ というように多様なチャンネルについて、探索を行った。現時点では、標準理論からの有意な逸脱は、観測されなかった。 $ll\nu\nu$ チャンネルでは、bulk Randall-Sundrum Graviton について、 $\kappa/M_{\text{Pl}} = 1.0$ の条件下で、1.03 TeV の質量域を、95%の信頼度で棄却した (図 10)。 $llqq$, $\nu\nu qq$ チャンネルからも、同程度の質量域が棄却されている。

$llqq$, $\nu\nu qq$, $4q$ チャンネルは、 ZZ だけでなく、 WW や WZ の共鳴事象にも感度がある。図これらのチャンネルに加えて、 $lvqq$ からも、 W' 粒子の探索が行われ、Heavy Vector Triplet モデルにおいて、ベクターボソンとの結合 g_V が 1 の場合に、2 TeV を超える質量域が棄却された (図 10)。

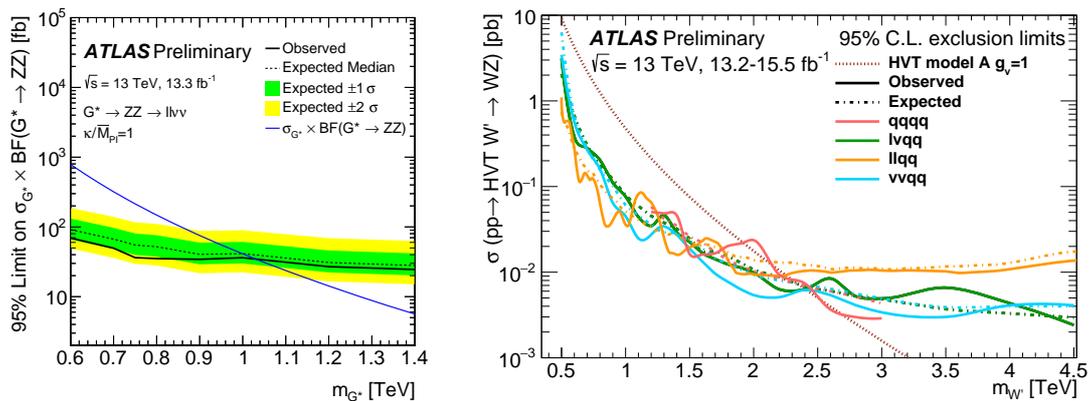


図 10: ATLAS 実験の Run-2 のデータを用いた、(左) $ll\nu\nu$ チャンネルでの ZZ 共鳴事象の探索における、bulk Randall-Sundrum Graviton モデルへの制限と、(右) WZ 共鳴事象に対する W' の質量域への制限。

(8) トップクォークとボトムクォークに崩壊する荷電ヒッグス粒子の探索

標準理論では、単一の中性電荷のヒッグス粒子が予言されていた。一方で、有力視されている超対称性理論をはじめ、標準理論を超えるさまざまな素粒子理論で、複数の種類のヒッグス粒子の存在が提唱されている。荷電を持ったヒッグス粒子の存在も、多くの理論で示唆されている。とくに、200 GeV/ c^2 以上の質量の場合、荷電ヒッグス粒子はトップクォークとボトムクォークへの崩壊分岐比が大きくなると予想されている。

2016 年夏には、トップクォークとボトムクォークに崩壊する荷電ヒッグス粒子を Run-2 データ 13.2 fb⁻¹ を使って探索した。図 11 に、300 および 800 GeV/ c^2 の質量を持つ荷電ヒッ

グス粒子を探索したときの、Boosted Decision Tree 出力の分布を示す。Boosted Decision Tree は、仮定する荷電ヒッグス粒子の質量ごとにトレーニングしなおしている。

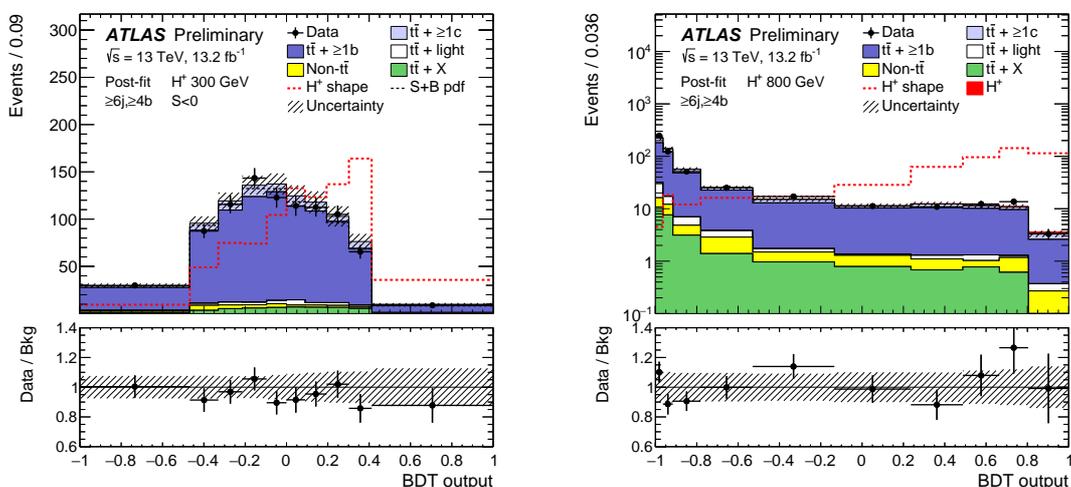


図 11: 質量 300 GeV/c² (左) および 800 GeV/c² (右) の荷電ヒッグス粒子信号のバックグラウンドからの分離を最適化した Boosted Decision Tree 出力の分布。信号とバックグラウンドの大きさは、データへのフィットの結果で規格化してある。信号の形をバックグラウンドと比較するために、赤線で示している。

データがバックグラウンドの予想とよく一致しており、信号事象の有意な超過を観測しなかった。図 12 に、荷電ヒッグス粒子の生成断面積とトップクォークとボトムクォークへの崩壊分岐比の積に対して本研究が与えた上限値、および、本解析が棄却した MSSM の m_h^{mod-} シナリオでのパラメータ領域を示す。

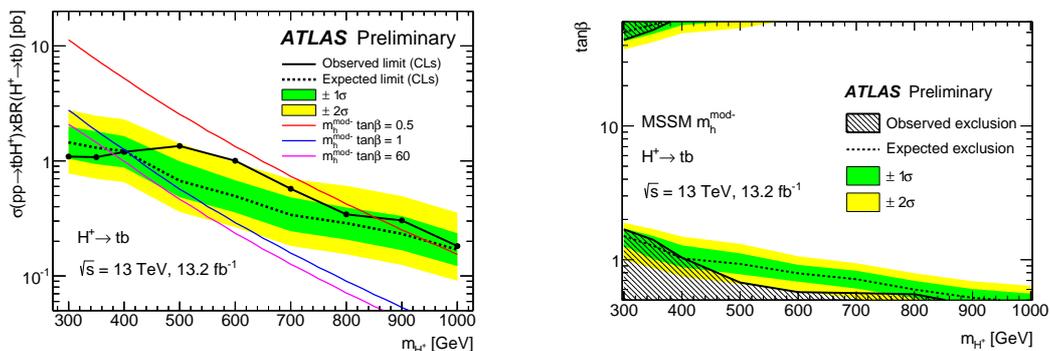


図 12: (左) 荷電ヒッグス粒子の生成断面積とトップクォークとボトムクォークへの崩壊分岐比の積に対して、本研究が与えた上限値。荷電ヒッグス粒子の質量の関数としてプロットしている。(右) 本解析により得られた、MSSM の m_h^{mod-} シナリオに対する制約。

[3] HL-LHC に用いる p 型シリコン検出器の開発

LHC 加速器は、継続して最大限の物理成果を生み出すために、2026 年から当初設計値を超え 3000 fb⁻¹ のデータ量をめざす高輝度 LHC (HL-LHC) 加速器に増強される。放射線レ

ベルも現在の検出器設計を超え、また、粒子数密度も増大する。我々は HL-LHC で使用できる放射線耐性に優れたシリコン半導体検出器を用いた新しい内部飛跡検出器の開発研究を継続して行っている。

ATLAS は 2016-17 年に内部飛跡検出器の技術設計書をまとめ、衝突点に近い最内層には電極サイズが $50\ \mu\text{m} \times 250\ \mu\text{m}$ のピクセル型、外層は $74\ \mu\text{m} \times (2.4\text{ または } 4.8)\ \text{cm}$ のストリップ型のシリコン半導体検出器を配置する。

我々は、HL-LHC でも使用可能な高放射線耐性のセンサーとして n 型電極、p 型基板を用いたセンサー (n^+ -on-p) を提案し、実際に陽子線や中性子を照射し、HL-LHC の高放射線線量でも使用可能な検出器を設計してきた。p 型基板を用いることは高速な電子を収集することで収集電荷量が放射線により影響を受けにくく、また、従来から放射線耐性に優れるとされた n^+ -on-n 型設計に比べ、 n^+ -on-p の設計では片面プロセスが可能であるため製造コストが低減でき、よりも広い領域を半導体検出器で覆う HL-LHC 用には特に有利であることを示してきた。

2016 年度は、エンドキャップ部に用いるストリップ型センサーの設計と試験、ピクセル型センサーモジュールの試作と $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ サイズのピクセル検出器設計評価、さらに内部増幅機能をもつ LGAD 検出器の開発を行った。

(1) エンドキャップ部ストリップ型センサー

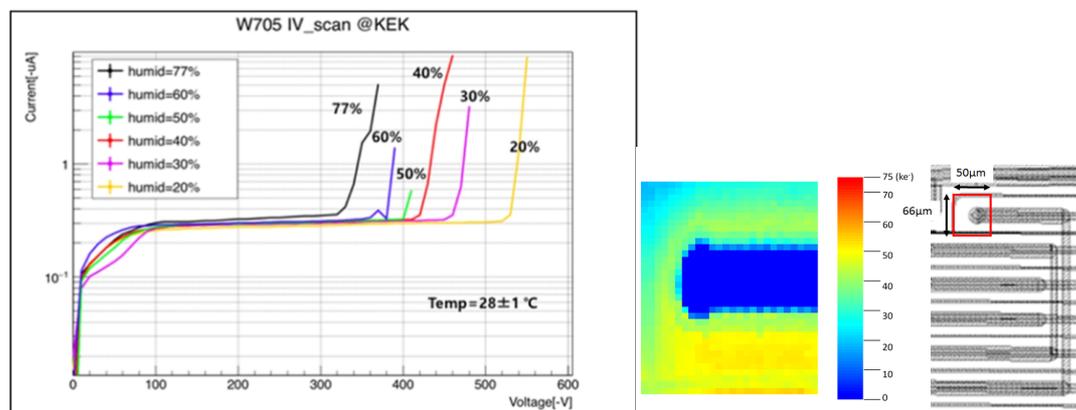


図 13: (左) 実機センサーの電流-バイアス電圧依存性を湿度を変えて測定。(右) ギャングした電極まわりの収集電荷一様性。信号は反対側 (左側) の端から読み出す。

ストリップ型センサーの実機を試作評価したところ、一部に暗電流の不安定性が見られた。この評価はイギリス、ドイツなどのグループとともに協力して進めているが、その原因を系統的に探り、湿度が影響を与えていること、暗電流発生がガードリング外側のポイントにあることを逸早く解明した。図 13 (左) は湿度を変えながら、電圧-電流特性を実機センサーに対して測定したもので、湿度が高いほどブレークダウン電圧が下がることを示す。この結果から、湿度ゼロで稼働させる ATLAS 環境では動作に問題は発生しないが、製造元と協議して被膜製法を最適化する対策を進めている。

エンドキャップ用の最初の実機 (R0) を試作し、東北大学 CYRIC の 70 MeV 陽子ビームによる照射評価を進めている。また、暗電流の湿度依存性も引き続き評価し、以前のサンプルよりも安定性が向上したことを示した。

エンドキャップセンサーの設計によっては、扇型に広がるセンサー形状とステレオ角を持たせるための電極配置の兼ね合いから一部のストリップが読み出し端まで届かない場合が生じ、これらの電極は近傍の電極にギャングさせることで信号を読み出す。1 μm 角に絞った赤外レーザーでこれらの電極周辺を走査し電荷収集一様性の評価を行った。大きな電荷収集の劣化のないことを示した (図 13 (右))。

(2) ピクセル型センサー

ピクセル検出器は読み出しチップである FE-I4 の仕様からピクセルサイズ $50 \times 250 \mu\text{m}$ が基本設計である。2 cm 角の FE-I4 読み出しチップ 4 枚に対し 4 cm 角のピクセルセンサー 1 枚を金属バンプで接合したモジュール (4-chip module, 図 14 左) や 2-chip module を試作した。特に 2016 年度は実機への実装を念頭に、フレックス基板を用い、機械強度等の温度サイクル試験の後に、CYRIC で陽子線の照射をし、CERN の陽子ビームで未照射のサンプルと比較して検出器性能を評価した。昨年度までの試験から、照射後には各ピクセルに配線するバイアス抵抗の経路で検出効率が低下することが判明し、経路をピクセル電極の内側に配置することで照射後も 98%以上の検出効率の目標を達成した。フレックス基板での金属バンプ形成の機械的安定性について評価を重ね、十分に仕様に満たすモジュールが製作できることを確立した。

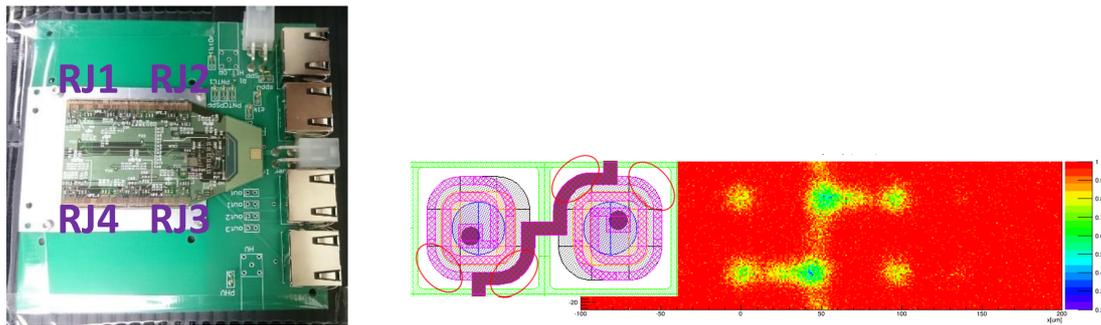


図 14: (左) 4-chip flex module. 中央 4cm 角のセンサーをフレックス基板で読み出す。この形状では信号はさらに 4 つの RJ 端子をもつ基板を介して出力されるが、実機ではこの部分はシリンダー部に実装される。(右) は $3 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ を照射した $50 \times 50 \mu\text{m}$ ピクセルに相当するセンサーのピクセル内位置での検出効率の分布。左には隣接する 2 つのピクセル電極と低抵抗のバイアスライン (濃い実線部) と高抵抗のバイアス抵抗の経路を示す。丸で囲った部分で検出効率が低下し、設計変更により低下が抑えられる見込みが得られた。

2016 年度は、ピクセルサイズの小さなセンサーに移行することを見越して、同じ FE-I4 で対応できる $50 \times 50 \mu\text{m}$ と $50 \times 450 \mu\text{m}$ ピクセルの組み合わせにし、 $50 \times 50 \mu\text{m}$ ピクセルを隣接させることで $50 \mu\text{m}$ 角センサーの検出効率を評価した。ピクセル面積が狭いのでバイアス抵抗の占める面積比が高くなり、図 14 右に示すように照射後の検出効率は目標値を達成できない。しかしこの詳細な検出効率のマップから、バイアス抵抗を細くしピクセル電極の内側に経路を取ることで 98%以上の効率を達成できることが見込めることを初めて示した。

実際に $50 \times 50 \mu\text{m}$ ピクセルにするには読み出しチップも対応させる必要がある。CERN グループにより 65 nm CMOS プロセスによる FE65-p2 チップが使えるようになり、実際に $50 \times 50 \mu\text{m}$ ピクセルモジュールと $25 \times 100 \mu\text{m}$ ピクセルモジュールを試作し、FNAL でテストビーム試験を行った。テストビームでは FE-I4 モジュールを前後に配置し、中央に FE65

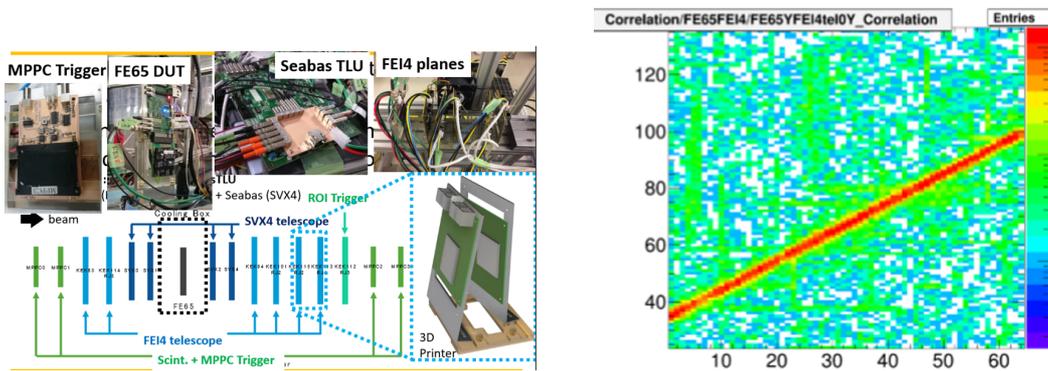


図 15: (左)FNAL でのビーム試験に用いたモジュールと配置。(右)FE-I4 モジュール (縦軸) と FE65 モジュール (横軸) のヒットチャンネルの相関。

モジュールを設置することで 120GeV 陽子を用いて評価した (図 15 左)。解析は進行中であり、図 15 右には、FE65 からのヒットチャンネル番号と FE-I4 のヒットチャンネル番号の相関を示す。FE-I4 はビームに対して意図的に傾けることで位置分解能を向上させているため、 $y = x$ からはやや外れるがビームによる強い相関が確認できる。FE65 チップはさまざまな機能も試作段階の読み出しチップであるが、ピクセルモジュールとして実際に信号を読み出すことに成功した初めてのデータである。

(3) LGAD センサー

LGAD (low-gain avalanche diode) は増幅機能を持たせたシリコン検出器であり、現在 ATLAS 実験に応用するために精力的な開発研究が行われている。読み出しの n^+ 電極の直下に高濃度の p^+ 層を形成することで、アバランシェ増幅を起こさせる。信号量が増えることに加え増幅率が 10 倍程度の低ゲインでは SN 比も向上する。信号形成が薄い pn 接合部で局所的に起きるため時間分解能が飛躍的に向上し、ATLAS では飛行時間測定装置や衝突点からの飛跡を精度よく 4 次元情報をもとに再構成することでルミノシティ測定装置への応用を目指している。従来のシリコン検出器は電荷収集に 10 ns 程度を要するが LGAD では 10 ps の時間分解能が可能であると考えている。

浜松ホトニクスで試験用 LGAD ピクセルを試作し、ガンマ線、中性子線、陽子線を照射し LGAD の機能がどう保たれるかの評価を行った。図 16 左は、増幅機能のない場所とある場所にレーザーを入射した場合にバイアス電圧を変えて得られる電荷量を測定した結果である。増幅機能のない場所では一定の電荷分布を示すのに対して増幅機能のある場所では 100 V を超えると増幅される。図 16 右は陽子線により $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 照射した後の結果である。増幅に必要な電圧は上がるが増幅機能が保持されていることが分かる。さらに元々増幅機能がない場所でも増幅が確認される。これは陽子線照射によりシリコンバルクがより濃い p 型に変わるためであり、あたかも p^+ 層を n^+ 電極直下に形成したのと同様な特性を示すからである。

今後は LGAD 機能の最適化とモジュール化の研究に加えて、時間分解能の研究を進める。

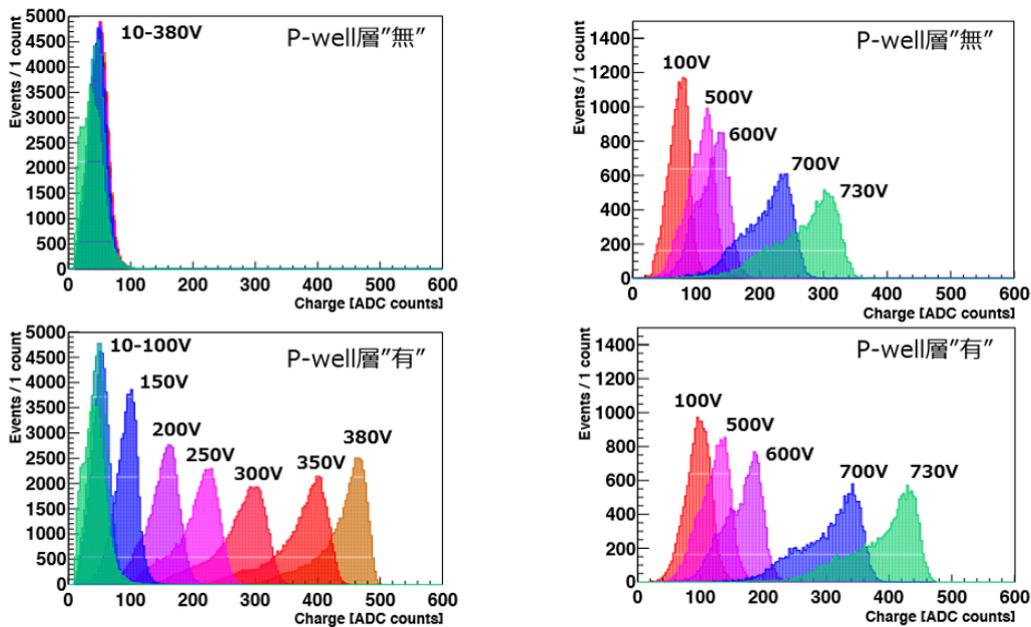


図 16: (左) 増幅機能のない場所 (上) とある場所 (下) に赤外レーザーを入れた場合の得られる電荷分布のバイアス電圧依存性。未照射サンプル。(右) 増幅機能のない場所 (上) とある場所 (下) に赤外レーザーを入れた場合の得られる電荷分布のバイアス電圧依存性。1 × 10¹⁵/cm² 照射サンプル。

【4】 SOI を用いたモノリシック型ピクセル検出器の開発

Silicon-On-Insulator (SOI) は、埋め込み酸化膜 (BOX) 層をシリコン基板中に形成し、表層の薄いシリコン層に電子回路を作製した素子である。BOX 層下のシリコン基板を高抵抗の粒子検出部とした読み出し回路一体型ピクセルセンサーを実現する全く新しいタイプの検出器である。我々は Lapis セミコンダクター社の 0.20 μm SOI プロセスを用いて KEK の先端検出器開発室と共同で、将来の加速器実験に用いることのできるピクセル検出器の開発研究を行っている。

SOI はトランジスタ各素子が酸化膜で覆われているために、漏れ電流が少なく高速応答が期待できるが、一方、正孔を酸化膜に蓄積しやすく、電離性放射線線量 (TID) が増えると蓄積正電荷の影響を受けて近傍のトランジスタ特性が大きく変化することを明らかにしてきた。そこで SOI の素粒子実験への適用を可能にするため、埋め込み酸化膜 2 層からなる 2 層 SOI 基板を世界で初めて製作し、評価を継続している。粒子センサー基板の上に 2 層の埋め込み酸化膜層を形成し、その中間シリコン層 (SOI2) に TID 損傷による劣化に応じて負の電荷を加えることで TID 損傷を補償することを目指している。

昨年度までの放射線損傷の研究の成果を示すために FPIX (fine-pixel detector) を用いて実証研究を進めた。SOI の特長のひとつは金属バンプを用いないためにピクセルサイズを微小にできることである。FPIX はピクセル回路上に増幅用、出力スイッチ用、リセット、保護回路用の FET6 個をのせ、各列の信号を順次外部 ADC に送るピクセル回路であるが、SOI 素子としては最小の 8 μm 角のピクセルを実現している。昨年度までに FPIX2 で、ピクセル部、デコーダー部、IO 部で個別の SOI2 電圧を設定できるものを作製し、500 kGy までの放射線耐性があることを示した。2016 年度はピクセル部とデコーダー部はさらに NMOS と PMOS で個別の設定ができるようにした。また、懸案であった LDD (Lightly doped drain)

の濃度を調整し PMOS に対する放射線耐性をあげた FPIX3 を作製した。コバルト 60 による試験で、最低 1 MGy までの放射線耐性があることを示すことに成功し、1 MGy を超える測定は計画中である。

SOI 素子は当初は数 kGy で全く使い物にならなくなったが、我々の研究により TID に対して通常の CMOS 素子と同等の放射線耐性がある素子が作製できる事を示し、さらに優れた SEE 耐性を考慮すると、SOI は素粒子実験に極めて適した素子であるといえる。

FPIX2 の微小ピクセルの特長を直接検証するために、FNAL の 120 GeV 陽子ビームを用いた試験を行った。ビームテストでは FPIX2 を 4 枚ビームラインに配置し、特定の FPIX2 の位置分解能を評価するために自分以外の 3 枚で直線飛跡を再構成し自分のヒット位置との残差分布を求めた。図 17 は 4 枚の FPIX2 での残差分布を示す。また 1～4 枚目までの相対位置関係も示した。大きく外挿する 4 枚目では広い残差分布になるが内挿できる 2 枚目、3 枚目では残差は小さく、それぞれ位置分解能 0.93, 0.89 μm を達成した。この残差分布は飛跡再構成の不確かさも含まれるために、4 枚の FPIX2 の固有位置分解能が等しいと仮定すると残差分布から飛跡および固有位置分解能が評価できる。4 つの分布からはいずれも 0.75 から 0.78 μm が得られ、半導体検出器としては世界で初めて 1 μm より優れた位置分解能をもつ検出器であることを示すことができた。

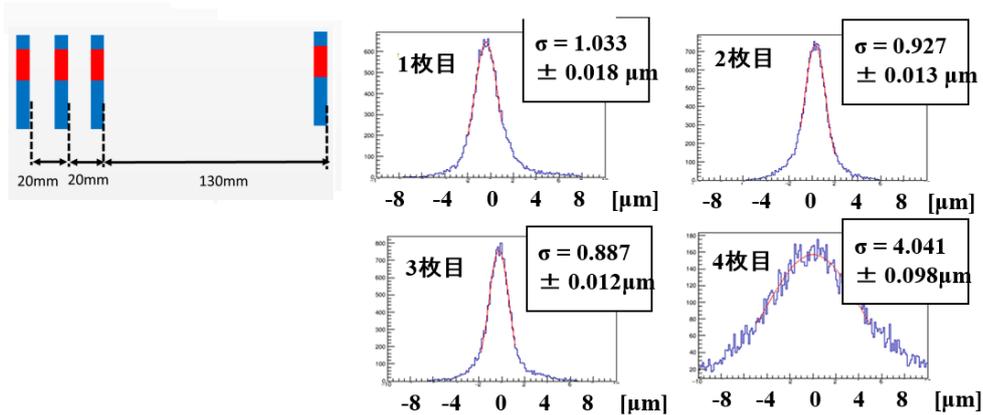


図 17: ビームテストで評価した FPIX2 検出器 4 枚のヒット位置の残差分布。左は 4 枚の相対位置を示す。

我々は、100 kGy の放射線耐性があることを実証した段階で、国際リニア衝突器 ILC に使用できるピクセル素子 SOFIST の開発を KEK らと共同で推進している。FNAL のビーム試験では FPIX2 で飛跡を再構成し、20 μm 角ピクセルの SOFIST で残差を評価したところ 1.7 μm の位置分解能を示した。これは ILC では十分な性能である。SOFIST には試験した素子の機能に加え、ヒット時刻の情報も必要であり、これらの機能も統合して 20 μm 角ピクセルに実現するために 3D 積層する研究を進めている。

【5】 COBAND 実験

COBAND 実験は、宇宙背景ニュートリノ崩壊探索を目的とした、筑波大学素粒子実験室を中心とする国際共同実験である。宇宙初期に生成されたニュートリノの名残とされる宇宙背景ニュートリノは、現在温度 1.9 K、各質量固有状態の世代ごとに数密度 110 個/ cm^3 で

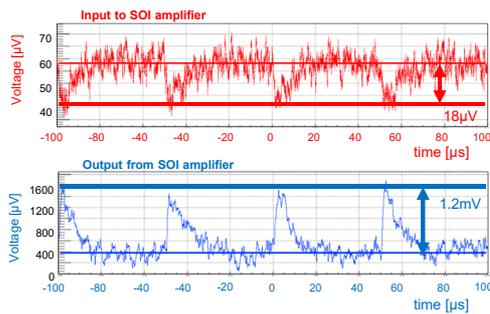


図 18: SOI 極低温アンプによる Nb/Al-STJ 信号の冷凍機内増幅。産総研 CRAVITY 製 $20 \mu\text{m}$ 角 Nb/Al-STJ の可視光パルス (波長 465 nm) に対する応答信号を同じく冷凍機内に配置された SOI 極低温増幅回路によって増幅信号を読み出すことに成功した。

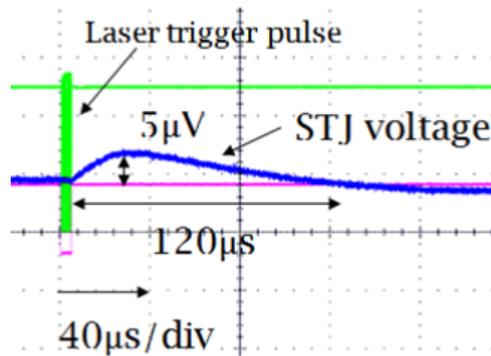


図 19: ハフニウムを用いた超伝導トンネル接合素子によるパルス応答の確認。ハフニウム酸化層の上に薄いアルミニウム層を用い、従来の Hf-STJ よりリーク電流密度を約 $1/16$ に低減に成功。このサンプルで可視光パルス (波長 465 nm) 応答を確認。

宇宙全体にわたって存在していると予言されている。最も重い質量固有状態のニュートリノは、軽い質量固有状態に波長約 $50 \mu\text{m}$ の光子を放出して崩壊することが可能であり、我々 COBAND 実験では、現在観測値として与えられているニュートリノ寿命下限値 10^{12} 年を超える感度で宇宙背景ニュートリノの崩壊に伴う光子を観測する実験を計画中である。実験に使用される光検出器は、波長 $50 \mu\text{m}$ (エネルギー 25 meV) の光子を分解能 2% の精度で一光子ずつ測定可能な性能である。我々のグループでは、観測ロケット実験での使用予定であるニオブ (超伝導ギャップエネルギー $\Delta = 1.55 \text{ meV}$, $T_c = 9.23 \text{ K}$) と準粒子トラップ層としてアルミニウム ($\Delta = 0.172 \text{ meV}$, $T_c = 1.20 \text{ K}$) を用いた Nb/Al-STJ (超伝導トンネル接合素子 STJ, Superconducting Tunnel Junction) や、更に衛星実験での使用を念頭に置いた Δ の小さいハフニウム ($\Delta = 0.020 \text{ meV}$, $T_c = 0.165 \text{ K}$) を超伝導体として用いた Hf-STJ を光検出器の候補として研究開発を続けている。

Nb/Al-STJ 単体では、 25 meV の光子に対して十分なエネルギー分解能は期待できないが一光子検出が実現できれば、格子状に並べた Nb/Al-STJ ピクセルと回折格子の組み合わせによって分解能 2% 以下の一光子分光が可能となる。我々のグループでは産総研との共同研究による漏れ電流の少ない Nb/Al-STJ の開発、並びに STJ 信号極低雑音読み出し系として KEK, JAXA 等との共同研究による FD-SOI (Fully Depleted Silicon On Insulator) プロセスによる極低温増幅器の開発を行っている。産総研の超伝導デバイス作製施設である CRAVITY で作製された Nb/Al-STJ 試料は、遠赤外一光子検出に要求される低漏れ電流性能をほぼ達成した。極低温増幅器の開発については、FD-SOI プロセスによる MOSFET を用いた増幅器の試作および測定を行い、 $300 \sim 400 \text{ mK}$ の極低温での動作を確認している。更に、昨年度においては、この試作増幅器を用い、極低温で動作させた STJ のパルス光応答信号の極低温ステージ上での増幅に成功した (図 18)。STJ のパルス光応答速度および STJ 測定系の静電容量を考慮すると、より低い入力インピーダンスへの改善が必要であることから、低入力インピーダンスの電荷積分型増幅器の試作を行い、現在、極低温における測定を行っている。

Nb/Al-STJ の開発と並行して、KEK 測定器開発室のプログラムの一つとして、KEK, 理研との共同研究によって Hf-STJ の開発を進めてきた。これまで、Hf 成膜、Hf 膜のパターン加工方法を確立し、2010 年度には、Hf-HfO_x-Hf による SIS 構造の作製に成功してジョセフソン電流を確認した。また、2012 年度には Hf-STJ 試作サンプルでの可視域連続光入射に

対する応答（トンネル電流増加）を確認した。実用化に向けた重要なステップとして、漏れ電流の改善、および可視パルス光入射に対するパルス応答の確認が挙げられる。昨年度、絶縁層 HfO_x の上に薄いアルミニウム層 (< 10 μm) を追加することで漏れ電流密度を従来の 1/16 という大幅な改善に成功した。この Hf/Al-STJ サンプルを用い、可視域 (波長 465nm) レーザーパルス光照射試験により、Hf/Al-STJ からのパルス応答を得た (図 19)。

【6】 福島第一原発燃料デブリの宇宙線ミュオンによる観測

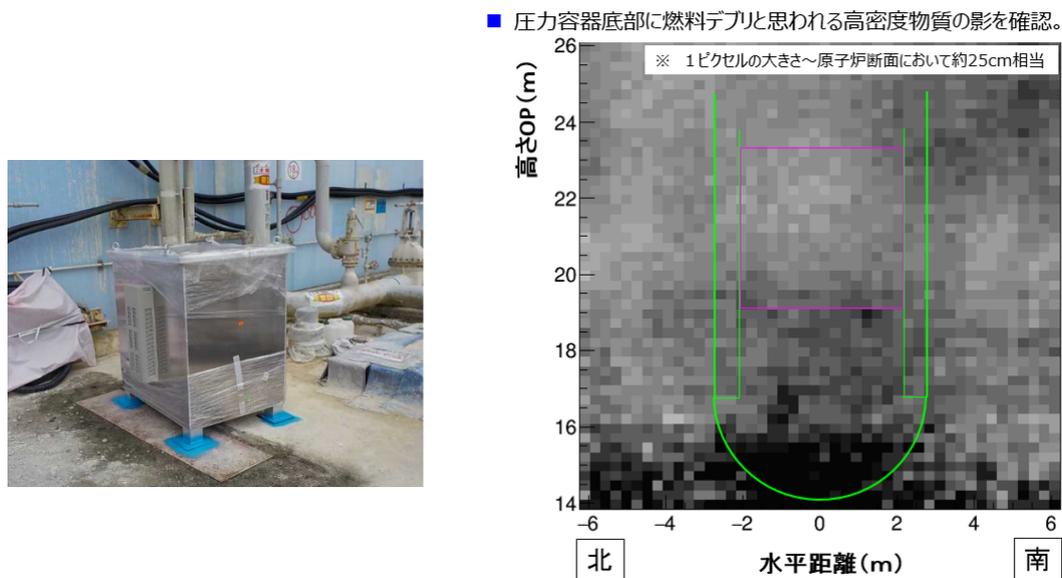


図 20: (左) 福島第一原発 2 号炉の観測に用いられた検出器。高さ約 1 m。(右) 2 号機燃料装荷位置周辺のミュオン計数。

ミュオン粒子が建物などを透過しやすい性質を利用し、宇宙線ミュオン粒子の飛来数分布を大規模構造物の背後で測定することで、構造物内部の様子を透視するミュオンラジオグラフィに取り組んでいる。2011 年夏から福島第一原子炉事故で溶け落ちた燃料デブリの位置を測定することを最終目標にして KEK のグループと共同で技術設計を開始し、2015 年には国際廃炉機構 (IRID) の支援を受けて福島第一原発 1 号機を観測し、2016 年度は東京電力の事業委託を受けた KEK に協力する体制で 2 号機の観測をした。

2 号機の観測用に検出層面のサイズを 1 辺 0.5 m とし、2 組の XY 層を 0.5 m 離す構造にすることで、装置全体をおよそ 1 m 立法に小型化した。これにより建屋直近に設置することが可能となった (図 20 左)。ミュオン粒子の検出は従来通り断面 1 cm × 1 cm のシンチレータバーが基本単位であるが、これを 2 層 0.5 cm ずらして位置座標の測定面にするすることで、小型化しても 1 号機と同性能のミュオン飛来方向の測定精度を確保した。

1 号機の観測では燃料デブリは燃料装荷位置にはほとんどないことが分かったが、測定装置を建屋からやや離れた位置に設置する必要があったため、圧力容器の下部は視野に入らず、デブリの存在に対する情報は得られなかった。

2 号機の観測では測定器を一層建屋に近づけることで図 20 右のような透視画像を得ることに成功した。画像で濃淡は宇宙線ミュオン計数を物質がないときの計数結果で規格化し

たものに相当するが、燃料装荷位置（高さ 19.5 – 23.5 m, 左右 2 m の枠内）は燃料以外の物質による吸収量でほぼ説明でき燃料デブリはほとんどないことが分かる。圧力容器の底部（U 字部）はそれに対して過剰な吸収があり、背景となる原子炉の構造体を定量的に評価した結果、底部に残る燃料デブリ量は溶け落ちる前の燃料集合体とほぼ等しい量になることが判明した。この結果は燃料デブリの存在位置に対する初めての観測結果となった。

2号機での成果を受けて、現在、同じ装置を3号機のタービン建屋内に設置する計画を進めている。

【7】 外部資金

1. 科学研究費 新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」2013 – 2017 年度
計画研究 B02：「宇宙背景ニュートリノの崩壊探索に用いる超伝導赤外線検出器の開発」, 研究代表者：金 信弘, 研究分担者：吉田拓生, 武内勇司
13,910 千円（直接経費 10,700 千円, 間接経費 3,210 千円）（2016 年度）
2. 科学研究費 挑戦的萌芽研究「半導体 SOI 回路と超伝導検出器 STJ の融合による革新的高感度検出器の開発」2016 – 2018 年度, 研究代表者：武内勇司
910 千円（直接経費 700 千円, 間接経費 210 千円）（2016 年度）
3. 科学研究費 新学術領域研究「ヒッグス粒子発見後の素粒子物理学の新展開～LHC による真空と時空構造の解明～」2016 – 2021 年度
計画研究 B01：「ヒッグス粒子で探る真空と世代構造」, 研究分担者：受川史彦
9,750 千円（直接経費 7,500 千円, 間接経費 2,250 千円）（2016 年度）
4. 科学研究費 新学術領域研究「3次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開」2013 – 2017 年度
計画研究 C01：「高輝度加速器実験のための素粒子イメージング」, 研究分担者：原和彦
2,340 千円（直接経費 1,800 千円, 間接経費 540 千円）（2016 年度）
5. KEK 大学等連携支援事業「筑波大 – 加速器科学に関する大学院教育プログラム等の高度化」
共同代表者：守友 浩, 金 信弘
物品費・旅費等：280 千円（宇宙史一貫教育プログラム向け配分額）

【8】 研究発表

(1) 原著論文

1. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of the WW and WZ production cross section using final states with a charged lepton and heavy-flavor jets in the full CDF Run II data set,” *Phys. Rev. D* **94**, 032008 (2016).

2. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of $\sin^2 \theta_{\text{eff}}^{\text{lept}}$ using e^+e^- pairs from γ^*/Z bosons produced in $p\bar{p}$ collisions at a center-of-momentum energy of 1.96 TeV,” *Phys. Rev. D* **93**, 112016 (2016).
3. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of the forward-backward asymmetry of top-quark and antiquark pairs using the full CDF Run II data set,” *Phys. Rev. D* **93**, 112005 (2016).
4. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of the forward-backward asymmetry in low-mass bottom-quark pairs produced in proton-antiproton collisions,” *Phys. Rev. D* **93**, 112003 (2016).
5. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of the B_c^\pm Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,” *Phys. Rev. D* **93**, 052001 (2016).
6. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Search for a Low-Mass Neutral Higgs Boson with Suppressed Couplings to Fermions Using Events with Multiphoton Final States,” *Phys. Rev. D* **93**, 112010 (2016).
7. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of vector boson plus $D^*(2010)^+$ meson production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,” *Phys. Rev. D* **93**, 052012 (2016).
8. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Updated Measurement of the Single Top Quark Production Cross Section and Vtb in the Missing Transverse Energy Plus Jets Topology in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,” *Phys. Rev. D* **93**, 032011 (2016).
9. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of the inclusive leptonic asymmetry in top-quark pairs that decay to two charged leptons at CDF,” *Phys. Rev. Lett.* **113**, 042001 (2014), Erratum: [*Phys. Rev. Lett.* **117**, 199901 (2016)].
10. T. A. Aaltonen, K. Hara, S. H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration], “Measurement of the leptonic asymmetry in $t\bar{t}$ events produced in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,” *Phys. Rev. D* **88**, 072003 (2013), Erratum: [*Phys. Rev. D* **94**, 099901 (2016)].
11. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “A measurement of material in the ATLAS tracker using secondary hadronic interactions in 7 TeV pp collisions,” *JINST* **11**, P11020 (2016).
12. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Luminosity determination in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector at the LHC,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 653 (2016).

13. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of W^+W^- production in association with one jet in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **763**, 114 (2016).
14. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter produced in association with a hadronically decaying vector boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **763**, 251 (2016).
15. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of hard double-parton scattering in four-jet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment,” *JHEP* **1611**, 110 (2016).
16. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Minimal Supersymmetric Standard Model Higgs bosons H/A and for a Z' boson in the $\tau\tau$ final state produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 585 (2016).
17. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Dark matter interpretations of ATLAS searches for the electroweak production of supersymmetric particles in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions,” *JHEP* **1609**, 175 (2016).
18. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $b\bar{b}$ dijet cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 670 (2016).
19. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in different-flavour high-mass dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 541 (2016).
20. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of top quark pair differential cross-sections in the dilepton channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with ATLAS,” *Phys. Rev. D* **94**, 092003 (2016).
21. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the total cross section from elastic scattering in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **761**, 158 (2016).
22. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for squarks and gluinos in events with hadronically

decaying tau leptons, jets and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV recorded with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 683 (2016).

23. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of exclusive $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$ production and search for exclusive Higgs boson production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **94**, 032011 (2016).
24. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for high-mass new phenomena in the dilepton final state using proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **761**, 372 (2016).
25. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Higgs and Z Boson Decays to $\phi\gamma$ with the ATLAS Detector,” *Phys. Rev. Lett.* **117**, 111802 (2016).
26. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in a final state containing two photons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions at the LHC using the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 517 (2016).
27. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet activity in top quark events using the $e\mu$ final state with two b -tagged jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1609**, 074 (2016).
28. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for bottom squark pair production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 547 (2016).
29. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Higgs boson produced in association with a W boson and decaying to four b -quarks via two spin-zero particles in pp collisions at 13 TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 605 (2016).
30. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “The performance of the jet trigger for the ATLAS detector during 2011 data taking,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 526 (2016).
31. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy long-lived charged R -hadrons with the ATLAS detector in 3.2 fb^{-1} of proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV,” *Phys. Lett. B* **760**, 647 (2016).

32. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for heavy diboson resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1609**, 173 (2016).
33. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of Higgs bosons in the $b\bar{b}b\bar{b}$ final state using proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **94**, 052002 (2016).
34. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $W^\pm Z$ boson pair-production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector,” Phys. Lett. B **762**, 1 (2016).
35. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new resonances in events with one lepton and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **762**, 334 (2016).
36. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for top squarks in final states with one isolated lepton, jets, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **94**, 052009 (2016).
37. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonances in diphoton events at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1609**, 001 (2016).
38. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section using $e\mu$ events with b -tagged jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **761**, 136 (2016).
39. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Inelastic Proton-Proton Cross Section at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector at the LHC,” Phys. Rev. Lett. **117**, 182002 (2016).
40. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS and CMS Collaborations], “Measurements of the Higgs boson production and decay rates and constraints on its couplings from a combined ATLAS and CMS analysis of the LHC pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV,” JHEP **1608**, 045 (2016).
41. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for TeV-scale gravity signatures in high-mass final states with leptons and jets with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 13$ TeV,” Phys. Lett. B **760**, 520 (2016).

42. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson produced by vector-boson fusion and decaying to bottom quarks in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,” JHEP **1611**, 112 (2016).
43. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark mass in the $t\bar{t} \rightarrow$ dilepton channel from $\sqrt{s} = 8$ TeV ATLAS data,” Phys. Lett. B **761**, 350 (2016).
44. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the photon identification efficiencies with the ATLAS detector using LHC Run-1 data,” Eur. Phys. J. C **76**, 666 (2016).
45. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the double-differential high-mass Drell-Yan cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1608**, 009 (2016).
46. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Charged-particle distributions at low transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp interactions measured with the ATLAS detector at the LHC,” Eur. Phys. J. C **76**, 502 (2016).
47. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the angular coefficients in Z -boson events using electron and muon pairs from data taken at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1608**, 159 (2016).
48. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of gluinos decaying via stop and sbottom in events with b -jets and large missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **94**, 032003 (2016).
49. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the relative width difference of the B^0 - \bar{B}^0 system with the ATLAS detector,” JHEP **1606**, 081 (2016).
50. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Transverse momentum, rapidity, and centrality dependence of inclusive charged-particle production in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV $p + \text{Pb}$ collisions measured by the ATLAS experiment,” Phys. Lett. B **763**, 313 (2016).
51. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS experiment,” New J. Phys. **18**, 093016 (2016).

52. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for gluinos in events with an isolated lepton, jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 565 (2016).
53. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for squarks and gluinos in final states with jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 392 (2016).
54. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1608**, 005 (2016).
55. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in final states with an energetic jet and large missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **94**, 032005 (2016).
56. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the charge asymmetry in top-quark pair production in the dilepton final state at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **94**, 032006 (2016).
57. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of $Z\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 112002 (2016).
58. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for metastable heavy charged particles with large ionization energy loss in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS experiment,” *Phys. Rev. D* **93**, 112015 (2016).
59. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of the rare decays of B_s^0 and B^0 into muon pairs from data collected during the LHC Run 1 with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 513 (2016).
60. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson decaying into $b\bar{b}$ produced in association with top quarks decaying hadronically in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1605**, 160 (2016).
61. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of fiducial differential cross sections of gluon-fusion production of Higgs bosons decaying to $WW^* \rightarrow e\nu\mu\nu$ with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV,” *JHEP* **1608**, 104 (2016).

62. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in events with a photon and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1606**, 059 (2016).
63. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of W^\pm and Z -boson production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **759**, 601 (2016).
64. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charged Higgs bosons produced in association with a top quark and decaying via $H^\pm \rightarrow \tau\nu$ using pp collision data recorded at $\sqrt{s} = 13$ TeV by the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **759**, 555 (2016).
65. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Beam-induced and cosmic-ray backgrounds observed in the ATLAS detector during the LHC 2012 proton-proton running period,” JINST **11**, P05013 (2016).
66. M. Aaboud, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonances in the mass distribution of jet pairs with one or two jets identified as b -jets in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **759**, 229 (2016).
67. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Muon reconstruction performance of the ATLAS detector in proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV,” Eur. Phys. J. C **76**, 292 (2016).
68. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Identification of high transverse momentum top quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” JHEP **1606**, 093 (2016).
69. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Charged-particle distributions in pp interactions at $\sqrt{s} = 8$ TeV measured with the ATLAS detector,” Eur. Phys. J. C **76**, 403 (2016).
70. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of $W^\pm Z$ production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous gauge boson self-couplings,” Phys. Rev. D **93**, 092004 (2016).
71. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of total and differential W^+W^- production cross sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous triple-gauge-boson couplings,” JHEP **1609**, 029 (2016).

72. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry at $\sqrt{s} = 13$ TeV in final states with jets and two same-sign leptons or three leptons with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 259 (2016).
73. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of event-shape observables in $Z \rightarrow \ell^+ \ell^-$ events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 375 (2016).
74. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum with ATLAS using $\sqrt{s} = 13$ TeV proton-proton collisions,” *Phys. Lett. B* **757**, 334 (2016).
75. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for single production of a vector-like quark via a heavy gluon in the $4b$ final state with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV,” *Phys. Lett. B* **758**, 249 (2016).
76. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for single production of vector-like quarks decaying into Wb in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 442 (2016).
77. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Test of CP Invariance in vector-boson fusion production of the Higgs boson using the Optimal Observable method in the ditau decay channel with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 658 (2016).
78. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Charged-particle distributions in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp interactions measured with the ATLAS detector at the LHC,” *Phys. Lett. B* **758**, 67 (2016).
79. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charged-particle multiplicity inside jets from $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 322 (2016).
80. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for top squarks with R-parity-violating decays to all-hadronic final states with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions,” *JHEP* **1606**, 067 (2016).
81. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for an excited muon decaying to a muon and two jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *New J. Phys.* **18**, 073021 (2016).

82. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Probing lepton flavour violation via neutrinoless $\tau \rightarrow 3\mu$ decays with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 232 (2016).
83. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the CP-violating phase ϕ_s and the B_s^0 meson decay width difference with $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ decays in ATLAS,” *JHEP* **1608**, 147 (2016).
84. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charge asymmetry in highly boosted top-quark pair production in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collision data collected by the ATLAS experiment,” *Phys. Lett. B* **756**, 52 (2016).
85. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Reconstruction of hadronic decay products of tau leptons with the ATLAS experiment,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 295 (2016).
86. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena with photon+jet events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1603**, 041 (2016).
87. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the ZZ Production Cross Section in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector,” *Phys. Rev. Lett.* **116**, 101801 (2016).
88. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Combination of searches for WW , WZ , and ZZ resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **755**, 285 (2016).
89. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charged Higgs bosons in the $H^\pm \rightarrow tb$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector,” *JHEP* **1603**, 127 (2016).
90. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the differential cross-sections of prompt and non-prompt production of J/ψ and $\psi(2S)$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 283 (2016).
91. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of $D^{*\pm}$, D^\pm and D_s^\pm meson production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,” *Nucl. Phys. B* **907**, 717 (2016).

92. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for strong gravity in multijet final states produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector at the LHC,” *JHEP* **1603**, 026 (2016).
93. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the transverse momentum and ϕ_{η}^* distributions of Drell-Yan lepton pairs in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 291 (2016).
94. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in dijet mass and angular distributions from pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **754**, 302 (2016).
95. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of b -Jet Identification in the ATLAS Experiment,” *JINST* **11**, P04008 (2016).
96. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the dependence of transverse energy production at large pseudorapidity on the hard-scattering kinematics of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV with ATLAS,” *Phys. Lett. B* **756**, 10 (2016).
97. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson produced in association with a vector boson and decaying into a tau pair in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 092005 (2016).
98. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for single top-quark production in the s -channel in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector using the Matrix Element Method,” *Phys. Lett. B* **756**, 228 (2016).
99. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for prompt lepton-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1602**, 062 (2016).
100. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of top-quark pair differential cross-sections in the lepton+jets channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 538 (2016).
101. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Dijet production in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with large rapidity gaps at the ATLAS experiment,” *Phys. Lett. B* **754**, 214 (2016).

102. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the correlations between the polar angles of leptons from top quark decays in the helicity basis at $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$ using the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 012002 (2016).
103. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter produced in association with a Higgs boson decaying to two bottom quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 072007 (2016).
104. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Identification of boosted, hadronically decaying W bosons and comparisons with ATLAS data taken at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 154 (2016).
105. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of pile-up mitigation techniques for jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ using the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 581 (2016).
106. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the differential cross-section of highly boosted top quarks as a function of their transverse momentum in $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ proton-proton collisions using the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 032009 (2016).
107. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for anomalous couplings in the Wtb vertex from the measurement of double differential angular decay rates of single top quarks produced in the t -channel with the ATLAS detector,” *JHEP* **1604**, 023 (2016).
108. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross-section of a single top quark in association with a W boson at 8 TeV with the ATLAS experiment,” *JHEP* **1601**, 064 (2016).
109. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the production of single vector-like and excited quarks in the Wt final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ with the ATLAS detector,” *JHEP* **1602**, 110 (2016).
110. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for magnetic monopoles and stable particles with high electric charges in 8 TeV pp collisions with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 052009 (2016).
111. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of four-lepton production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **753**, 552 (2016).

112. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the electroweak production of supersymmetric particles in $\sqrt{s}=8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 052002 (2016).
113. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet charge in dijet events from $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **93**, 052003 (2016).
114. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in events with at least three photons collected in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 210 (2016).
115. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct top squark pair production in final states with two tau leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 81 (2016).
116. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “A new method to distinguish hadronically decaying boosted Z bosons from W bosons using the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 238 (2016).
117. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of Long-Range Elliptic Azimuthal Anisotropies in $\sqrt{s} = 13$ and 2.76 TeV pp Collisions with the ATLAS Detector,” *Phys. Rev. Lett.* **116**, 172301 (2016).
118. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charge asymmetry in top-quark pair production in the lepton-plus-jets final state in pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 87 (2016).
119. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a high-mass Higgs boson decaying to a W boson pair in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1601**, 032 (2016).
120. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for single top-quark production via flavour-changing neutral currents at 8 TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 55 (2016).
121. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for invisible decays of a Higgs boson using vector-boson fusion in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1601**, 172 (2016).

122. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of fiducial cross-sections for $t\bar{t}$ production with one or two additional b -jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 11 (2016).
123. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for flavour-changing neutral current top-quark decays to qZ in pp collision data collected with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 12 (2016).
124. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 5 (2016).
125. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Constraints on non-Standard Model Higgs boson interactions in an effective Lagrangian using differential cross sections measured in the $H \rightarrow \gamma\gamma$ decay channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **753**, 69 (2016).
126. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the centrality dependence of the charged-particle pseudorapidity distribution in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 199 (2016).
127. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of the $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+$ and $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$ decays with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 4 (2016).
128. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for an additional, heavy Higgs boson in the $H \rightarrow ZZ$ decay channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV in pp collision data with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 45 (2016).
129. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the Higgs boson production and decay rates and coupling strengths using pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV in the ATLAS experiment,” *Eur. Phys. J. C* **76**, 6 (2016).
130. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Centrality, rapidity and transverse momentum dependence of isolated prompt photon production in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV measured with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. C* **93**, 034914 (2016).
131. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “ATLAS Run 1 searches for direct pair production of third-generation squarks at the Large Hadron Collider,” *Eur. Phys. J. C* **75**, 510 (2015), Erratum: [*Eur. Phys. J. C* **76**, 153 (2016)].

132. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of the spin and parity of the Higgs boson in diboson decays with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **75**, 476 (2015), Erratum: [*Eur. Phys. J. C* **76**, 152 (2016)].
133. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for massive supersymmetric particles decaying to many jets using the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV,” *Phys. Rev. D* **91**, 112016 (2015), Erratum: [*Phys. Rev. D* **93**, 039901 (2016)].
134. G. Aad, K. Hara, Y. Ikegami, S. H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section using $e\mu$ events with b -tagged jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **74**, 3109 (2014), Addendum: [*Eur. Phys. J. C* **76**, 642 (2016)].
135. T. Miyoshi, K. Hara, Y. Ikegami *et al.*, “Advanced monolithic pixel sensors using SOI technology”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A824, 438-442 (2016) .
136. S. Ohmura, K. Hara *et al.*, “Reduction of cross-talks between circuit and sensor layer in the Kyoto’s X-ray astronomy SOI pixel sensors with Double-SOI wafer”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 61-64 (2016).
137. Y. Unno, Y. Ikegami, K. Hara, K. Sato *et al.*, “Development of n+-in-p planar pixel sensors for extremely high radiation environments, designed to retain high efficiency after irradiation”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 122-132 (2016).
138. K. Kimura, K. Hara, Y. Ikegami, K. Sato *et al.*, “Test beam evaluation of newly developed n-in-p planar pixel sensors for use in a high radiation environment”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 140-146 (2016).
139. L. B. A. Hommels, Y. Ikegami, K. Hara, K. Sato *et al.*, “Detailed studies of full-size ATLAS12 sensors”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 167-173 (2016).
140. K. Hara, Y. Ikegami, K. Sato *et al.*, “Charge collection and field profile studies of heavily irradiated strip sensors for the ATLAS inner tracker upgrade”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 181-188 (2016).
141. M. Mikesikova, Y. Ikegami, K. Hara, K. Sato *et al.*, “Study of surface properties of ATLAS12 strip sensors and their radiation resistance”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 197-206 (2016).
142. R. Mori, Y. Ikegami, K. Hara *et al.*, “Evaluation of the performance of irradiated silicon strip sensors for the forward detector of the ATLAS Inner Tracker Upgrade”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 207-212 (2016).

143. M. Ullan, Y. Ikegami, K. Hara *et al.*, “Embedded pitch adapters: A high-yield interconnection solution for strip sensors”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 221-228 (2016).
144. K. Todome, Y. Ikegami, K. Hara, K. Sato *et al.*, “Noise evaluation of silicon strip super-module with ABCN250 readout chips for the ATLAS detector upgrade at the High Luminosity LHC”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 229-234 (2016).
145. M. Asano, K. Hara *et al.*, “Characteristics of non-irradiated and irradiated double SOI integration type pixel sensor”,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A831, 315-321 (2016).

(2) 学会・研究会での講演（国内）

1. 原和彦：素粒子実験用細密ピクセル検出器の開発，
新学術研究領域研究「3次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開」
第6回研究会（2016年6月28-29日），北海道大学.
2. 八木俊輔：LDD濃度改良後のSOI-FET極低温環境下で異常特性の改善，
新学術研究領域研究「3次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開」
第6回研究会（2016年6月28-29日），北海道大学.
3. 伊藤史哲：LHC-ATLAS実験Run-2における $WH \rightarrow \ell\nu b\bar{b}$ 崩壊過程を用いたヒッグス粒子の探索－多変量解析による信号感度の向上－，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.
4. 本多俊介：LHC-ATLAS実験Run2におけるヒッグス粒子 $b\bar{b}$ 崩壊モードでの $t\bar{t}H$ 生成過程探索のための信号領域最適化の研究，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.
5. 佐藤和之：HL-LHC実験ATLAS検出器のアップグレードに向けたピクセル検出器の放射線損傷の評価，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.
6. 鈴木淳貴：HL-LHC実験ATLAS検出器のアップグレードに向けたピクセル検出器の磁場中での性能評価，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.
7. 青柳航：2層埋込酸化膜SOI素子におけるTID補償の系統的評価II，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.
8. 関川大介：2層埋込酸化膜構造をもつSOIピクセル検出器の粒子線応答，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.
9. 八木俊輔：ニュートリノ崩壊光探索のためのSOI-STJの研究開発V，
日本物理学会2016年秋季大会（2016年9月21-24日），宮崎大学木花キャンパス.

10. 武政健一：COBAND 実験のための Hf-STJ 研究開発 I,
日本物理学会 2016 年秋季大会 (2016 年 9 月 21-24 日), 宮崎大学木花キャンパス.
11. 武内勇司：宇宙背景ニュートリノ崩壊探索実験 COBAND に向けた SOI-STJ 開発 (招待講演),
超伝導エレクトロニクス研究会 (2016 年 10 月 26-27 日), 東北大学電気通信研究所.
12. 原和彦：宇宙線ミュー粒子を用いた大構造物の透視 (一般講演),
第 2 回 TIA 光・量子計測シンポジウム (2016 年 11 月 10 日), つくば国際会議場.
13. 原和彦：宇宙線ミュー粒子を用いた大構造物の透視 (ポスター発表),
第 2 回 TIA 光・量子計測シンポジウム (2016 年 11 月 10 日), つくば国際会議場.
14. 金信弘：超伝導トンネル接合素子 STJ を用いた光・量子計測 (一般講演),
第 2 回 TIA 光・量子計測シンポジウム (2016 年 11 月 10 日), つくば国際会議場.
15. 武政健一：可視～遠赤外域単一光子検出のための超伝導トンネル接合素子検出器 (STJ) の開発 (ポスター発表),
第 2 回 TIA 光・量子計測シンポジウム (2016 年 11 月 10 日), つくば国際会議場.
16. 若狭玲那：ニュートリノ崩壊光探索に向けた極低温増幅器の開発と現状 (ポスター発表),
新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016 (2016 年 11 月 28-30 日), 石川県加賀市ゆのくに天翔.
17. 武内勇司：Development of Far-infrared Spectrophotometers based on Superconducting Tunnel Junction (STJ) for COBAND Experiment,
新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016 (2016 年 11 月 28-30 日), 石川県加賀市ゆのくに天祥.
18. 武内勇司：超電導検出器によるニュートリノ質量+暗黒物質 (パネルディスカッション),
新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016 (2016 年 11 月 28-30 日), 石川県加賀市ゆのくに天祥.
19. 武政健一：R&D status of Hf-STJ,
新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016 (2016 年 11 月 28-30 日), 石川県加賀市ゆのくに天祥.
20. 八木俊輔：R&D Status of Nb/Al-STJ with SOI cryogenic preamplifier,
新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016 (2016 年 11 月 28-30 日), 石川県加賀市ゆのくに天祥.
21. 武内勇司：冷却エレクトロニクス—S T J 読み出し用 SOI 極低温アンプ—,
TIA かけはし事業「簡単・便利な超伝導計測」ミニ研究会 (2017 年 1 月 4 日), つくば市物質・材料研究機構 (NIMS).
22. 萩原睦人：LHC-ATLAS 実験 Run-2 における $t\bar{t}$ 崩壊する荷電ヒッグス粒子の探索,
日本物理学会第 72 回年次大会 (2017 年 3 月 17-20 日), 大阪大学豊中キャンパス.

23. 大川英希：LHC-ATLAS 実験 Run-2 における Z+Missing ET 終状態を用いたヒッグスセクターでの新物理探索，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
24. 本多俊介：LHC-ATLAS 実験 Run2 における $H \rightarrow b\bar{b}$ 崩壊過程でのヒッグス粒子 $t\bar{t}H$ 生成過程探索のための発見感度向上の研究，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
25. 鈴木淳貴：HL-LHC 実験 ATLAS 検出器のアップグレードに向けた新型 ASIC 搭載 $50 \mu\text{m}$ 角ピクセル検出器のビーム試験，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
26. 佐藤和之：HL-LHC 実験 ATLAS 検出器のアップグレードに向けた $50 \mu\text{m}$ 角ピクセル検出器の開発，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
27. 和田冴：内部増幅機能付き検出器 (LGAD) の放射線耐性の評価，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
28. 青柳航：放射線耐性の向上に向けた SOI ピクセル検出器の開発と評価，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
29. 関川大介：高精細 SOI ピクセル検出器 FPIX2 のビーム試験，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
30. 八木俊輔：COBAND 実験のための SOI-STJ の研究開発 I，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
31. 若狭玲那：COBAND 実験のための SOI-STJ の研究開発 II，
日本物理学会第 72 回年次大会（2017 年 3 月 17-20 日），大阪大学豊中キャンパス.
32. 受川史彦：素粒子構造部門 成果報告，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.
33. 武内勇司：COBAND 実験概要，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.
34. 八木俊輔：COBAND 実験における SOI-STJ 開発 1，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.
35. 若狭玲那：COBAND 実験における SOI-STJ 開発 2，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.
36. 武政健一：Hf-STJ 開発，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.
37. 佐藤構二：ATLAS 実験の概要，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.
38. 大川英希：ATLAS 実験におけるヒッグス・電弱セクターでの新物理探索，
第 3 回 CiRfSE ワークショップ（2017 年 1 月 23-24 日），筑波大学.

39. 永田和樹：ATLAS 実験における重心系衝突エネルギー 8 TeV での陽子-陽子衝突のデータを用いたトップクォークとボトムクォークに崩壊する荷電ヒッグス粒子の探索, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
40. 伊藤史哲：LHC ATLAS 実験における b クォークの湯川結合の測定, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
41. 笠原宏太：CNew physics searches in Z + MET events, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
42. 萩原睦人：Charged Higgs in Run 2, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
43. 池上陽一：HL-LHC 内部飛跡検出器増強 全体像, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
44. 佐藤和之：HL-LHC へ向けたピクセル検出器のビームテスト解析, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
45. 岩渕周平：HL-LHC ATLAS 実験用シリコンストリップセンサーの放射線耐性評価, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
46. 和田冴：Measurements of LGAD, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.
47. 大川英希：HL-LHC に向けた HV-CMOS センサーの開発, 第3回 CiRfSE ワークショップ (2017年1月23-24日), 筑波大学.

(3) 国際会議・研究会での口頭発表

1. Y. Takeuchi, “The COBAND project to search for the cosmic background neutrino decay”, Seminar at Fermilab, Aug. 11, 2016, Fermilab, Illinois, USA.
2. K. Hara, “Long-term stability of ATLAS12 main sensors”, ATLAS ITk Workshop, Sept 12 – 16, 2016, Valencia, Spain. (一般講演)
3. S. B. Kim, “Neutrino Physics”, Tsukuba Global Science Week 2016 (TGSW2016), Sep. 17 – 19, 2016, EPOCHAL Tsukuba, Tsukuba-shi, Japan. (招待講演)
4. H. Okawa, “Searches for Diboson Resonances at the ATLAS Experiment”, Tsukuba Global Science Week 2016 (TGSW2016), Sep. 17 – 19, 2016, EPOCHAL Tsukuba, Tsukuba-shi, Japan. (招待講演)
5. Y. Takeuchi *et al.*, “Development of Far-infrared Spectrophotometers based on Superconducting Tunnel Junction for the Cosmic Background Neutrino Decay (COBAND) Experiment”, Tsukuba Global Science Week 2016 (TGSW2016), Sep. 17 – 19, 2016, EPOCHAL Tsukuba, Tsukuba-shi, Japan. (招待講演)

6. K. Takemasa *et al.*, “Development of Superconducting Tunnel Junction Detector and Cold Amplifier for COBAND experiment”,
International Workshop on Superconducting Sensors & Detectors (IWSSD2016),
Nov. 14 – 16, 2016, AIST Tsukuba Campus, Tsukuba-shi, Japan
7. H. Okawa, “Measurements and BSM Searches in the Higgs Sector at the LHC”,
3rd International Workshop on Higgs as a Probe of New Physics (HPNP2017), March
1 – 5, 2017, University of Toyama, Toyama, Japan. (招待講演)
8. H. Okawa, “Quark-Gluon Tagging at the LHC-ATLAS Experiment”,
Theoretical and Experimental Issues on Jet Structure at Hadron Colliders, January
12 – 13, 2017, Kavli-IPMU, University of Tokyo, Kashiwa, Japan. (招待講演)

(4) 学位論文

博士論文

大学院 数理物質科学研究科 物理学専攻

1. 永田 和樹 : Search for charged Higgs bosons in the $H^\pm \rightarrow tb$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector (ATLAS 実験における重心系衝突エネルギー 8 TeV での陽子-陽子衝突のデータを用いたトップクォークとボトムクォークに崩壊する荷電ヒッグス粒子の探索)
2016 年 12 月
2. 笠原 宏太 : Search for Physics beyond the Standard Model in Events with a Z Boson and Missing Transverse Momentum in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV (重心系エネルギー 13 TeV での陽子陽子衝突における Z ボソンと消失運動量を含む事象を用いた標準模型を超える物理の探索)
2017 年 2 月

修士論文

大学院 数理物質科学研究科 物理学専攻, 2017 年 2 月

1. 青柳 航 : MGy 放射線耐性を持つ 2 層埋込酸化膜構造 SOI ピクセル検出器の開発研究
2. 岩渕 周平 : HL-LHC へ向けたマイクロストリップセンサーの電荷収集効率の評価
3. 佐藤 和之 : HL-LHC 実験に向けた ATLAS 検出器増強用ピクセル検出器のテストビームによる性能評価
4. 関川 大介 : サブミクロンスケールの位置分解能を持つ高精細 SOI ピクセル検出器の開発研究
5. 八木 俊輔 : COBAND 実験のための超伝導トンネル接合素子光検出器及び極低温増幅器の性能評価

6. SUBEDI, Bipin : Basic research on SOI pixel detectors with internal gain based on avalanche multiplication (アバランシュ増幅に基づく内部ゲイン付き SOI ピクセル検出器の基礎研究)

【構成員の異動】

- 2016 年 7 月 : Soo-Bong KIM 教授が着任 (海外教育研究ユニット招致 PI) .
- 2016 年 10 月 : 吉田拓生教授が着任 (クロスアポイントメント教員) .
- 2016 年 12 月 : 池上陽一准教授が着任 (クロスアポイントメント教員) .
- 2017 年 3 月 : 金信弘教授が定年退職.

年次研究報告 筑波大学数理物質系物理学域

2016（平成28）年度

発行 2017年9月

発行者 筑波大学数理物質系物理学域

〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1

TEL 029-853-4033

FAX 029-853-6618

ISSN 2189-7557