

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	木内 健司, 武政 健一
大学院生	19 名
学群 4 年次生	2 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、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を目的とした高分解能光検出器 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。

【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。2015-16 年には 15 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。

トップクォーク対の生成機構の解明のため、 $t\bar{t}$ 対の前後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。2015 年度には、dilepton チャンネルと lepton+jets チャンネルの測定を総合した最終結果を得た (図 1)。

【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 3.4 fb^{-1} の陽子・陽子衝突データを取得した。Run-1 で 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

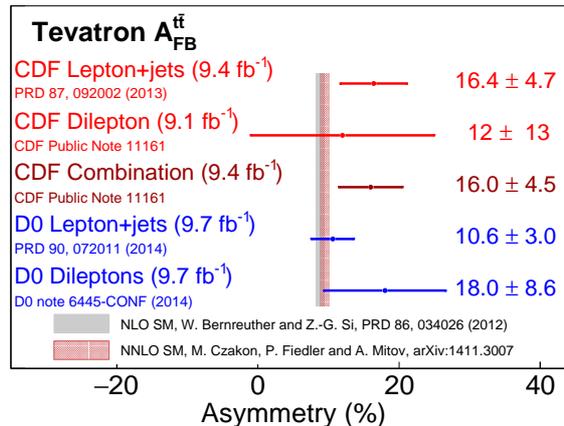


図 1: CDF 実験でのトップクォーク対生成の前後方非対称度。

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、2023 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言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予言しているが、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。

(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

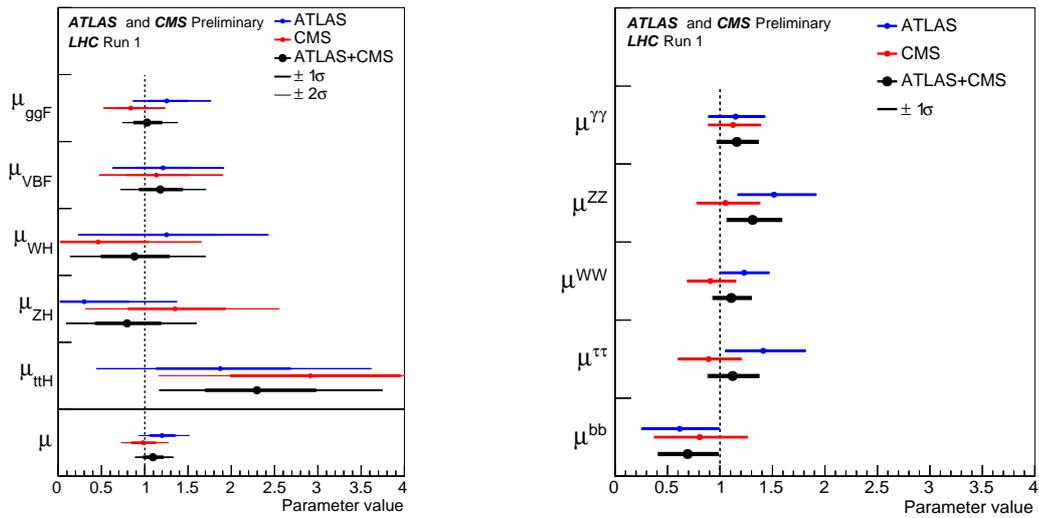


図 2: ATLAS および CMS 実験の測定結果を複合して得られたヒッグス粒子の信号の強さ μ (標準理論の予言値で規格化したもの)。(左) 様々な素過程の生成断面積, および (右) 様々な終状態への崩壊分岐比を示す。

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 両実験により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)の最新結果を図 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。

(3) 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 倍ほども重い。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 実験ではじ

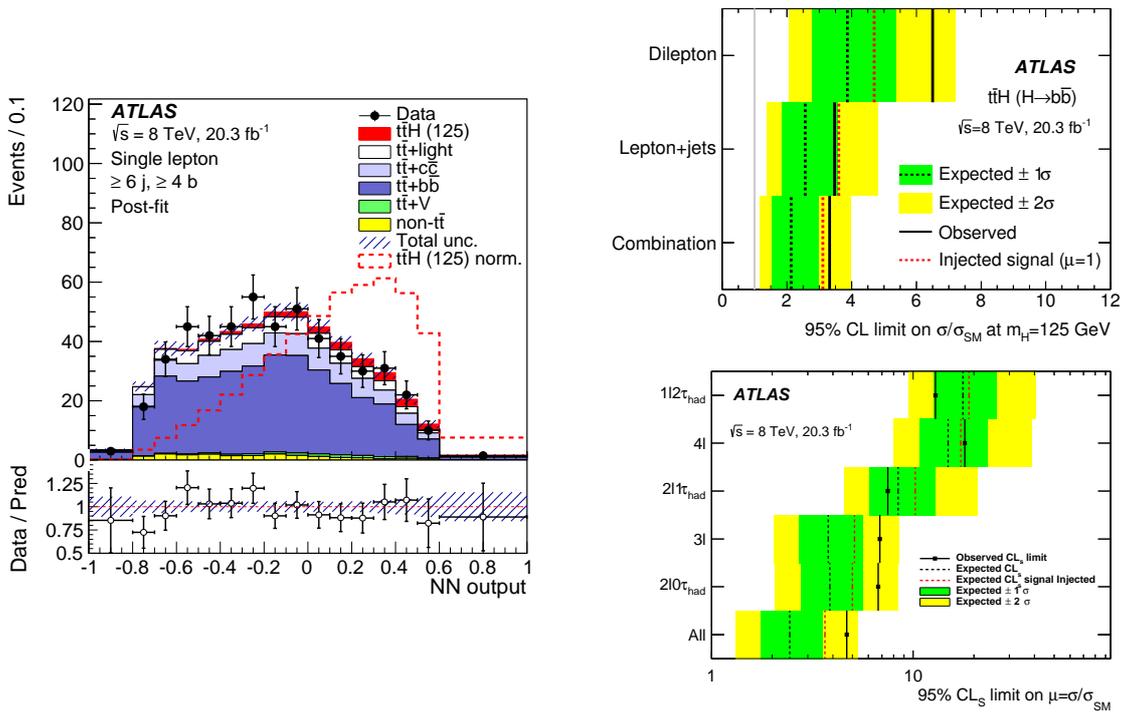


図 3: ATLAS 実験の Run-1 データ内で $t\bar{t}H$ 事象を探索した結果。(左) ヒッグス粒子が $b\bar{b}$ に崩壊し、1 個のレプトンが終状態に含まれるモードでの解析の、ニューラル・ネットワーク出力の分布。データ点はバックグラウンドの総和によく一致している。ヒッグス粒子質量を $125 \text{ GeV}/c^2$ と仮定した場合の $t\bar{t}H$ 信号の分布も同時に示してある。(右上) $t\bar{t}H$ 生成過程に引き続き、ヒッグス粒子が $H \rightarrow b\bar{b}$ 崩壊が起こる事象を探索することで得た、 $t\bar{t}H$ 事象の生成断面積に対する上限。断面積の標準理論の予言値との比で表している。レプトンを 1 または 2 個含む終状態を探索した結果 (それぞれ Lepton+jets, Dilepton)、両終状態を統合した結果を示す。(右下) $t\bar{t}H$ 生成過程に続いて、ヒッグス粒子が W や Z ボソンを介してレプトンに崩壊する事象を探索した結果得られた、 $t\bar{t}H$ 事象の生成断面積に対する上限。断面積の標準理論の予言値との比で表している。終状態のレプトンの種類、数ごとに $1l2\tau_{had}$, $4l$, $2l1\tau_{had}$, $3l$, $2l0\tau_{had}$ の 5 つの独立な解析チャンネルで解析した。

初めての $t\bar{t}H$ 過程の探索結果を発表した。この Run-1 データの解析結果を図 3 に示す。ヒッグス粒子が $t\bar{t}$ 対を伴って生成し、引き続きヒッグス粒子が $b\bar{b}$ または W や Z ボソンを介して複数のレプトンを含む終状態へ崩壊する事象を Run-1 データ中に探索した。それぞれのヒッグス粒子崩壊モードで生成断面積と崩壊分岐比の積に対して得られた 95% 信頼度での上限は、標準理論の予言値の 3.4 倍、4.7 倍である。

なお、図 2 に示した ATLAS 実験による $t\bar{t}H$ 過程の生成断面積測定は、これと同一の結果であり、CMS 実験と統合した探索での信号の有意度は、 4.4σ に達している。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。今後、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。

(4) 13 TeV 衝突でのヒッグス粒子の生成断面積

2015 年度に取得した重心系エネルギー 13 TeV でのデータをもちいたヒッグス粒子の生成断面積の測定も行われた。いまのところ、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ および $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ の 2 崩壊モードでの解析が完了している。測定されたヒッグス粒子の全生成断面積はそれぞれの解析で、

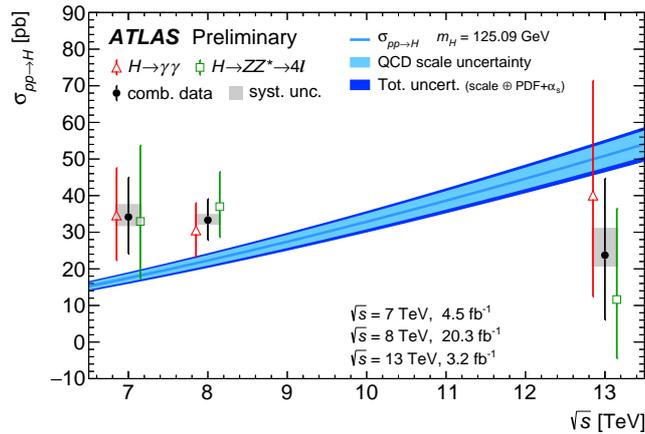


図 4: 陽子・陽子衝突の重心系エネルギーの関数としてのヒッグス粒子の生成断面積。

40_{-28}^{+31} pb, 12_{-16}^{+25} pb, 統合すると 24_{-18}^{+21} pb, であった。これらの結果は誤差が大きいため、2016 年度に新規に取得するデータを合わせて更新して行く必要がある。標準理論の予言値 $50_{-4.4}^{+4.5}$ pb とは、現在の誤差の範囲では一致している。これらの解析モードでの Run-1 および Run-2 での断面積測定の結果を、まとめたのが図 4 である。

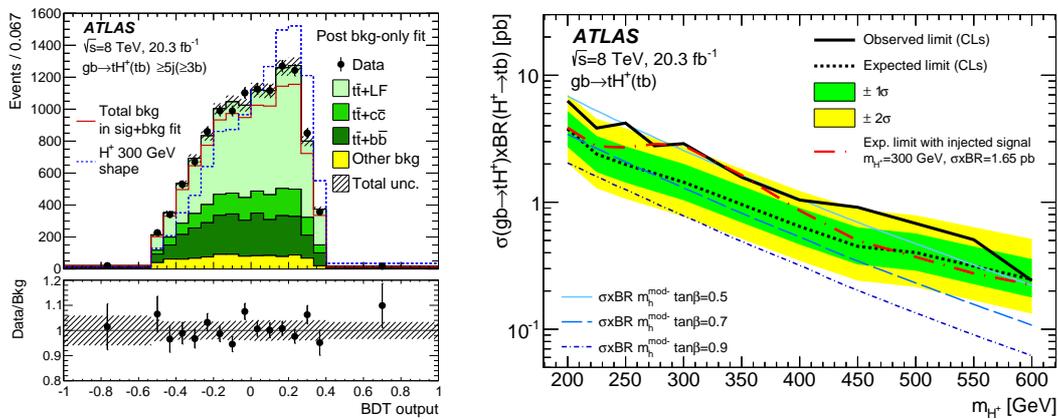


図 5: 荷電ヒッグス粒子の探索結果。(左) 質量 $300 \text{ GeV}/c^2$ の荷電ヒッグス粒子信号のバックグラウンドからの分離を最適化した Boosted Decision Tree 出力の分布。荷電ヒッグス粒子の信号なしのバックグラウンド事象のみを仮定してデータをフィットした結果が色塗りのヒストグラムである。信号の存在も仮定したフィット結果でのバックグラウンドの寄与は、赤線で示している。(右) 荷電ヒッグス粒子の生成断面積とトップクォークとボトムクォークへの崩壊分岐比の積に対して、本研究が与えた上限値。荷電ヒッグス粒子の質量の関数としてプロットしている。

(5) 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、広く有望視され

ている。とくに、多くの理論で $200 \text{ GeV}/c^2$ 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。

2015年度は、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-1 データを使って探索した。図 5 に、 $300 \text{ GeV}/c^2$ 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 出力の分布と、得られた生成断面積に対する上限を示す。本解析では、広い荷電ヒッグス粒子の質量領域で 2σ を超えるバックグラウンドからの超過が見られ、有意度は $m_{H^\pm} = 250 \text{ GeV}/c^2$ での 2.4σ が最大であった。Run-2 データでも引き続き探索を続ける。

(6) ヒッグス粒子の非可視崩壊の探索

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。LHC ATLAS 実験では、vector-boson 随伴生成 (VH) や vector-boson fusion (VBF) 生成過程を用いた探索結果の combination を行い、非可視崩壊比に対して、既存の結果よりも強い、 $\text{BR}(H \rightarrow \text{invisible}) < 0.25$ (95% confidence level) をつけることができた (図 6)。これにより、ヒッグスポータルモデルにおいて、暗黒物質の質量がヒッグス粒子の質量の半分よりも低い領域において、暗黒物質と原子核の散乱断面積に対して非常に強い制限をつけることができた (図 7)。

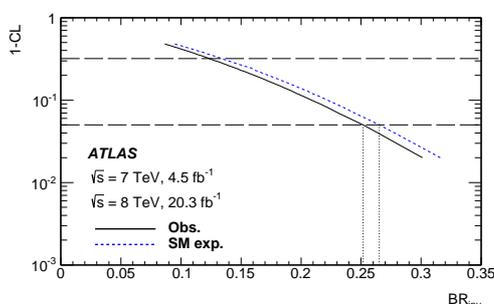


図 6: VH や VBF 生成過程による探索を用いた、ヒッグス粒子の非可視崩壊比への制限。

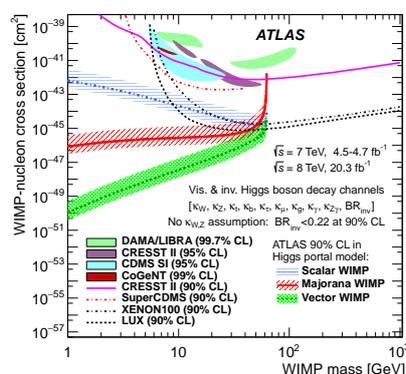


図 7: ヒッグスポータルモデルにおける、暗黒物質と原子核の散乱断面積への制限。青 (暗黒物質がスカラー粒子)、赤 (マヨラナ粒子)、緑 (ベクター粒子) の線が、本研究から得られた制限。LUX など他の実験からの結果も、比較のために載せている。

(7) 標準理論を超えた重いヒッグス粒子の探索

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。2012年までの LHC Run 1 のデータを用いて、gluon-fusion 及び VBF 過程への断面積及び分岐比の積 ($\sigma \times \text{BR}$) への制限を付けた。図 9 に gluon-fusion での生成に対して得られた上限を示す。又、Two Higgs Double Model (2HDM) による解

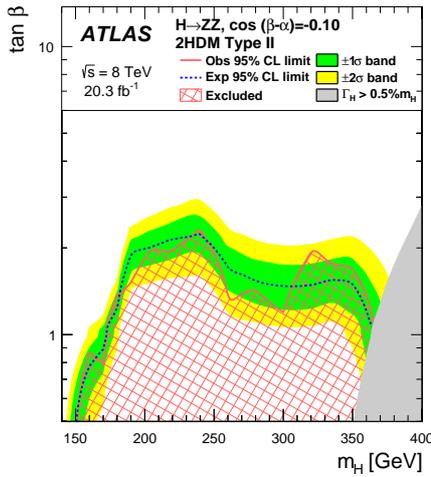


図 8: Type-II の 2HDM において, $\cos(\beta - \alpha) = -0.1$ を仮定した際の, $\tan \beta$ 及び重いヒッグス粒子の質量域への制限。

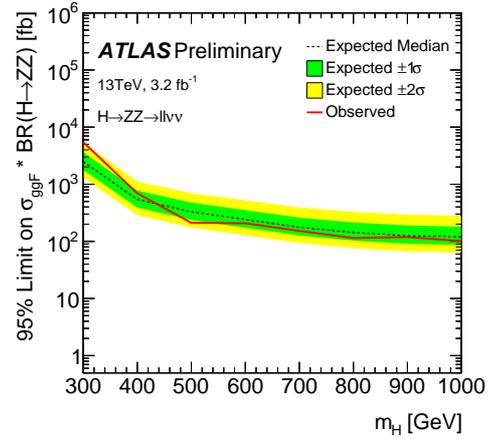


図 9: LHC Run 2 のデータを用いた, gluon-fusion 過程における ZZ モード崩壊に対する $\sigma \times \text{BR}$ への制限。

積を行い, $\tan \beta < 2$ の場合には, 質量 200-350 GeV の重いヒッグス粒子は棄却されることがわかった (図 8)。2015 年から再開した, LHC Run-2 のデータを用いて, 同様の探索を gluon-fusion 過程に対して行った。標準理論からの有意な逸脱は見られなかったが, 既に Run 1 に匹敵するシグナルへの感度を得ており, 来年度以降の進展が待たれる。この探索結果を用いて, Bulk Randall-Sundrum Graviton の存在可能質量域への制限も付けた。

このような重いヒッグス粒子は, すでに発見されている 2 つのヒッグス粒子への崩壊モード ($H \rightarrow hh$ 崩壊) も予想されている。とくに 250 – 350 GeV/ c^2 ほどの質量領域では, 崩壊分岐比が大きくなることがさまざまなモデルで予想されている。ヒッグス粒子対がボトムクォーク対とタウ粒子対, W ボソン対と光子対, ボトムクォーク対と光子対, 両方ともボトムクォーク対に崩壊する 4 つの解析モードで, 重いヒッグス粒子を探索し, 重いヒッグス粒子の生成断面積とヒッグス粒子対への崩壊分岐比の積に対して上限をつけた (図 10 (左))。得られた結果を超対称性理論の hMSSM および low-tb-high の両シナリオのもとに解釈し, それぞれのシナリオに対して制約を与えた。図 10 (右) に hMSSM シナリオのパラメタに対して得られた制約を示す。

(8) Boosted-boson tagging を用いたダイボソン共鳴事象における新粒子の探索

Boosted-boson tagging と呼ばれる手法 (高い運動量を持った W や Z ボソンのハドロン崩壊を, 大きな radius parameter によるジェット (large-R jet) として再構成する方法) を用いた物理解析にも取り組んでいる。LHC Run 2 において, $WV \rightarrow \ell\nu J$ (V : W, Z ボソン, J : large-R jet) 及び $VH \rightarrow \ell\ell/\ell\nu/\nu\nu bb$ チャンネルにおける, Boosted-boson tagging を用いた解析にも取り組み, TeV 領域における新粒子の探索を行った (図 11)。LHC Run 1 において不変質量 2 TeV 付近に観測された, ダイボソン共鳴事象における標準理論からの 3.4 の逸脱は, 現時点での Run 2 のデータを用いた解析では確認できず, $\sigma \times \text{BR}$ への制限を与えた (図 12)。

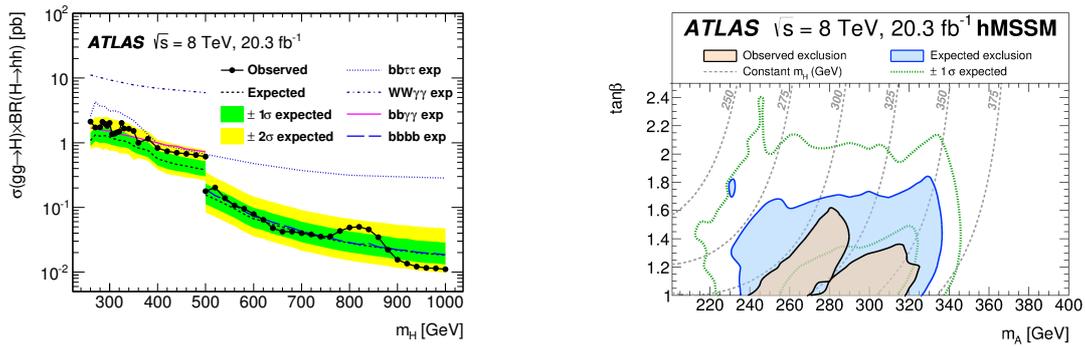


図 10: 重いヒッグス粒子が、既知のヒッグス粒子の対に崩壊する $H \rightarrow hh$ 過程の探索結果。(右) $gg \rightarrow H$ 生成断面積と $H \rightarrow hh$ 崩壊分岐比の積に対してつけた上限。(左) hMSSM シナリオに対して設けた制約。

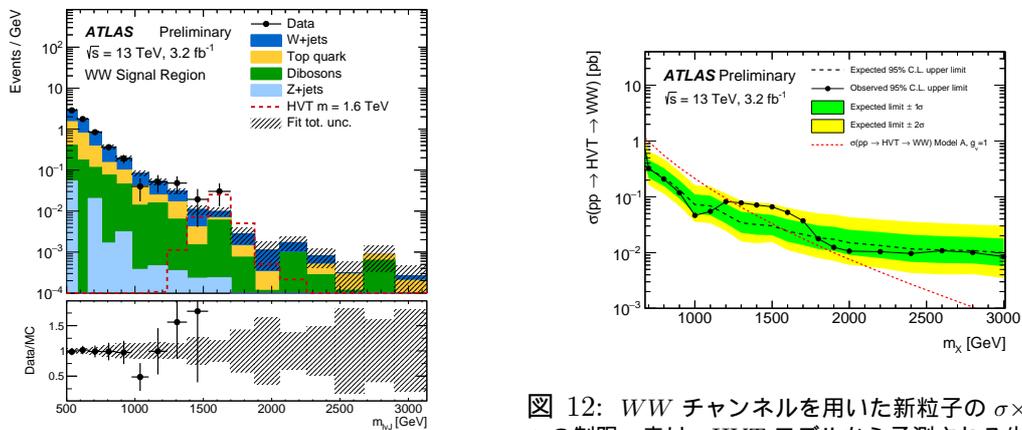


図 11: WW チャンネルのシグナル領域における、再構成したダイボソンの不変質量分布。

図 12: WW チャンネルを用いた新粒子の $\sigma \times BR$ への制限。赤は、HVT モデルから予測される生成断面積と分岐比の積。

【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、2023 年から当初設計値を超え、年間 $200\text{-}250\text{ fb}^{-1}$ の衝突をめざす高輝度 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による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。

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 ($n^+\text{-on-p}$) 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の設計をしている。p 型基板を用いることで高速な電子を収集することで電荷収集が放射線により影響を受けにくい事、また、従来から放射線耐性に優れる $n^+\text{-on-n}$ 型設計に比べ、 $n^+\text{-on-p}$ 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、従来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。

ATLAS の設計では、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し、それぞれ最大 2×10^{16} と 1×10^{15} $1\text{-MeV n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ の放射線を受けても使用可能であること

を目標としている。

図 13 (左) はバイアス電圧 500 V を印加した状態での 320 μm 厚のセンサーから収集できる電荷量の放射線量依存性を測定したもので、我々の測定 (東北大学 CYRIC の 70 MeV 陽子ビームを照射) に加え、各国の ATLAS グループによる測定も比較して示している。陽子よりも中性子による損傷が 10^{15} n/cm^2 の近傍では大きなことが分かるが、検出器のノイズと比較して十分な量の電荷が収集できることが実証された。これはシリコンセンサー設計の最終結果として、国際学会で発表した。バルク基板の損傷に対して表面の損傷は様々な影響を与える。その損傷の詳細についても他のグループと共同で評価し、筑波大の測定結果は主要な項目について最終設計に用いることのできる重要なデータとして国際学会で発表した。

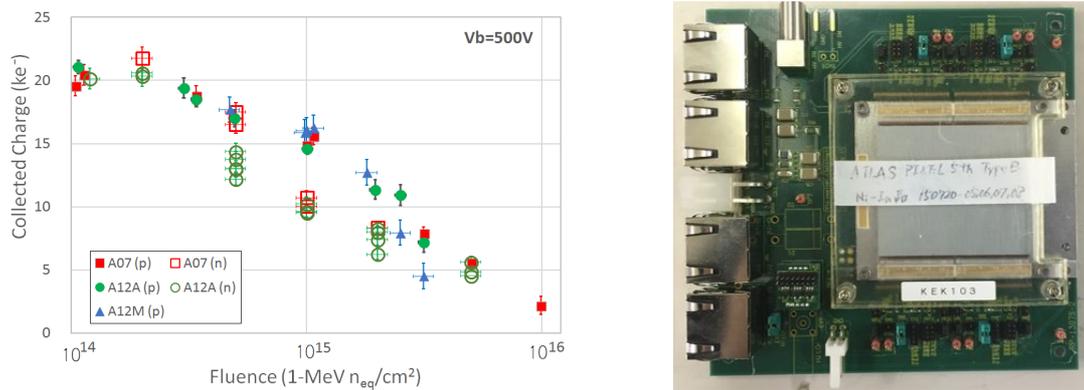


図 13: (左) 通過する線を用いて測定したシリコン検出器からの収集電荷量 (厚さ 320 μm , バイアス電圧 500 V)。横軸はセンサーに与えた照射量で 1 MeV 中性子に換算した粒子数 (n/cm^2)。中性子や様々なエネルギーの陽子線照射の結果をまとめたもの。(右) 4cm 角ピクセルセンサー試験用モジュール (センサーは中央部やや右)。

最も衝突点に近い位置に設置するピクセル型検出器の設計も平行して行っている。ピクセル検出器は読み出し回路である FE-I4 の仕様からピクセルサイズ 50 \times 250 μm が基本設計値である。図 13 (右) に示す様に、2cm 角の FE-I4 読み出しチップ 4 枚に対し 4 cm 角のピクセル型センサーを金属バンプで接合した試験モジュールを試作した。これらは機械強度等の温度試験の後に、CYRIC で照射試験をし、ドイツ DESY 研究所の電子ビームや CERN の陽子ビームで検出器性能を評価した。

さらにピクセルサイズの小さなセンサーを設計することを見越して、同じ FE-I4 で対応できる 25 \times 500 μm のピクセルセンサーも試作した。金属バンプを用いるハイブリッド型では 25 μm の精密さは例を見ない。3 \times 10¹⁵ n/cm^2 の陽子照射をしたのちに DESY で検出効率を測定した結果例を図 14(左) に示す。ビーム範囲にある複数のピクセルの検出効率を重ね合わせてピクセル内の位置の依存性として示すもので、バイアス電圧を各ピクセルに配線する側の境界 (左側) と配線の無い側の境界 (右側) で検出効率が低下することが分かる。この 2 つの領域に分けて検出効率の低下分をバイアス電圧の関数として示したものが図 14(右) である。さらに金属バンプを境界部に配置しない設計 (青で示すデータ) ではさらに検出効率の低下は低減できることが示された。これら構造による検出効率の低下は放射線損傷に起因するものであるが、ATLAS で予想する 2 倍の照射量でも低下分は 0.3% 程度に抑えられ十分に高い検出効率が達成できることを示した。

ハイブリッド型ピクセルでは、金属バンプの不良率を下げるのが重要な開発項目である。我々は Sn/Ag を用いるものと Ni/In を用いるものを平行して比較検討している。現状

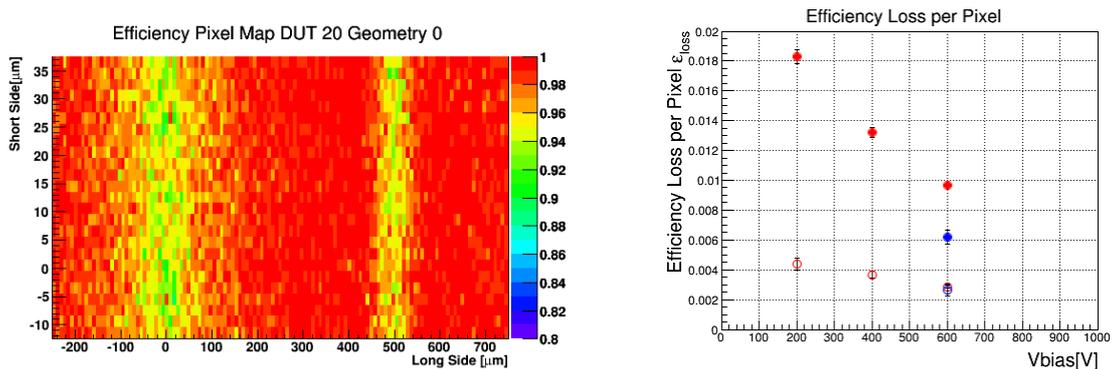


図 14: (左) $3 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ を照射した $25 \times 500 \mu\text{m}$ ピクセルサイズセンサーのピクセル内位置での検出効率の分布。座標 (0,0), (500,25) が 1 ピクセルに相当し、検出効率はいくつかのピクセルに対する値を平均として求めている。(右) 検出効率が劣る部分での検出効率の低下分をバイアス電圧の関数として示した ($3 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ 照射済み)。異なるマークはピクセル電極の設計の違いを表す。

では Ni/In の方がボンド用フラックスを必要とせずまた小さな不良率で接続できる。ただし、In はやらかいため、またセンサーと読み出し FE-I4 間を一定間隔に保つ必要性のために Ni の量を増やす必要がある。そのため、センサーモジュールを ATLAS の 2 T の磁場中に設置しても機械強度が十分であるかの試験を行った。ATLAS 環境下でのモジュールへのストレスは磁場の不均一性により強磁性体である Ni に加わる力の不均一性によるもの、磁場の上げ下げに伴うストレスによるものが想定できる。

強度評価には KEK 低温センターの 1.5T ソレノイド磁場を借用し、磁場中へのモジュール出し入れを繰り返すことで ATLAS 実験で受けるストレスを超える耐性試験を行った。4 つのモジュールに対して 3300 回の磁場への出し入れ試験した結果、バンプの機械強度は十分であることが示された。

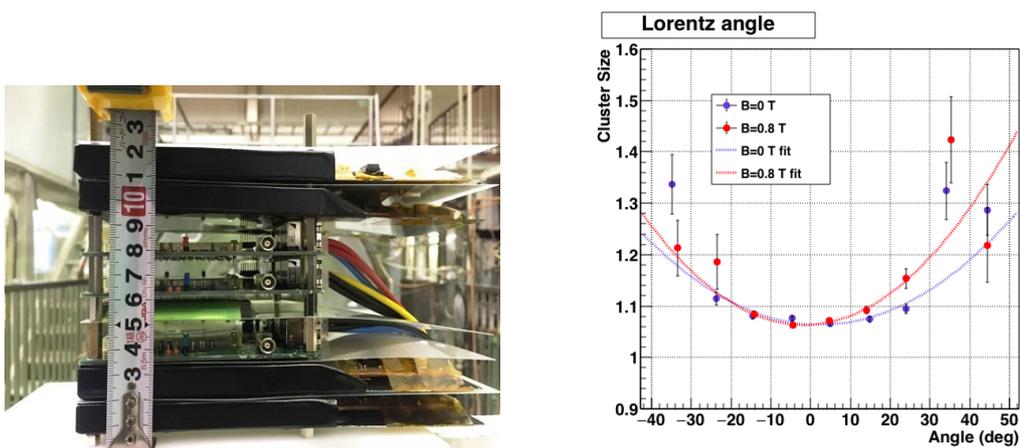


図 15: (左) ローレンツ角測定に用いたシステム。3 台のピクセルモジュールをシンチレータではさみ宇宙線のトリガー信号とした。(右) 磁場中に設置したピクセルモジュールのクラスターサイズの天頂角依存性。データは磁場 0 と 0.8 T で取得した。シリコンの厚さ = $150 \mu\text{m}$, バイアス電圧 = 200 V。

磁場中にモジュールを設置する機会を利用し、シリコン内でのキャリア移動にともなう

ローレンツ角の評価を行った。磁場がなければ電場に従いキャリアは移動し、 $50\mu\text{m}$ 間隔の電極で測定する電荷分布は最小のヒット電極数（クラスターサイズ）で計測できる。宇宙線の天頂角分布に従い、クラスターサイズは影響を受けるが、磁場を印加することでクラスターサイズ最小の天頂角は移動する。図 15（左）の示す 3 台のモジュールを磁場中に設置した。図 15（右）には磁場が無い場合と 0.8T を加えた場合の平均クラスターサイズを飛跡の天頂角の関数として示す。磁場の印加により系統的に天頂角依存性が移動することが分かる。最小クラスターサイズの天頂角の変化分は、シミュレーションの予想値 $3.9\pm 0.8^\circ$ に対して $4.0\pm 1.5^\circ$ と矛盾しない結果を得た。ただし、統計不確かさが大きく、今後さらに計測を繰り返すことで測定精度を向上させる。

【4】 SOI を用いたモノリシック型ピクセル検出器の開発

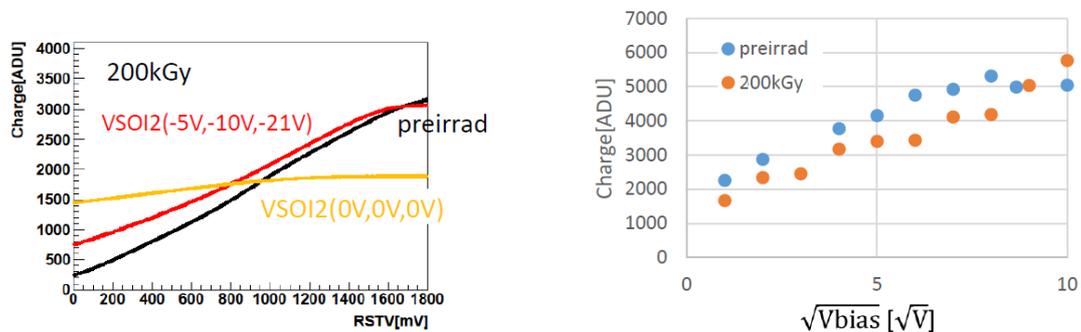


図 16: 200kGy 照射した FPIX2 の (左) 回路部分のリセット電圧に対する出力値。照射前 (黒色) と照射後 (オレンジ) VSOI2 に電圧を加えない場合と (赤) 適正な電圧を加えた場合。(右) 赤外レーザーに対する応答の照射前後での比較をバイス電圧の平方根の関数として示す。

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 $0.20\mu\text{m}$ 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。

2 層 SOI 素子の総合評価として、電荷積分型のピクセル素子 (INTPIXh2) を主に使用してきた。その結果、100kGy までの照射に対して未照射とほぼ同等の信号が得られることを示した。これは 2 層構造を持たないセンサーでの収集電荷量は放射線量とともに劣化し、数

kGy で完全に信号を得られなくなることと比較して大幅な放射線耐性を実現できた。信号収集速度、クロストークなど総合的な評価も完了して国際学会で発表した。

INTPIXh2 は 200kGy を照射すると出力が安定しなくなった。様々な種類の MOSFET が用いられているが、ゲート酸化膜の厚さの違いや PMOS/NMOS で TID 補償に最適な電圧 VSOI2 が違うことが主因と考えられる。そこで新たに FPIX2 を設計した。FPIX は 8 μ m 角のピクセルサイズで SOI としては最も微細な位置測定が可能な素子であるが、ピクセル部分、入出力 (IO) 部分、アドレスデコーダ部分それぞれで VSOI2 が調整できるように設計した。図 16 には 200kGy 照射後の読み出し回路部分の応答 (左) と赤外レーザーを用いて総合的なセンサー応答 (右) を測定したものである。回路応答は、照射後に VSOI2 を与えないと全く応答を示さない。しかし適正な VSOI2 (ピクセル部=-5V, デコーダ部=-10V, IO 部=-21V) を加えると未照射の場合に近い応答が示された。その条件で赤外レーザーに対する応答を見ると、バイアス電圧に依存し空乏層が広がり電荷を収集できることが示され、未照射時と変わらない応答が得られた。500kGy 照射された FPIX2 でも応答を観測できたが、未照射時と比べると信号量の劣化は明らかであり完全な補償が可能でない事が分かった。

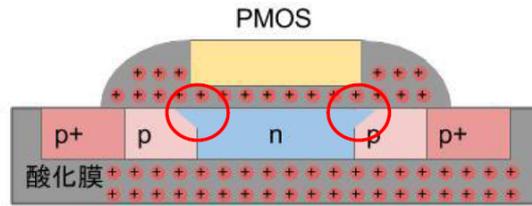


図 17: 薄い LDD 濃度は酸化膜へのホール蓄積効果により実効的にチャンネル長を長くしトランスコンダクタンスを劣化させる効果がある。

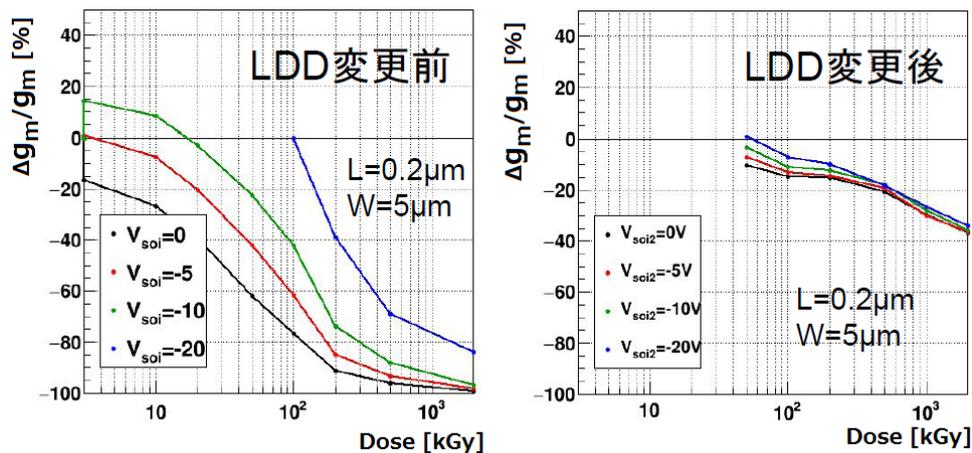


図 18: トランスコンダクタンスの照射による変動割合を照射量の関数としていくつかの VSOI2 電圧に対して示す。(左) 従来の LDD 濃度、(右) 従来より LDD 濃度を 10 倍にあげたもの

IO 部 FET と他の部分の FET ではゲート酸化膜の厚みが異なり、FPIX2 ではその効果を考慮した SOI2 の分割を行ったものである。実際に図 16(左) に示したように IO 部には他よ

り高い VSOI2 が必要であった。

従来行ってきた FET 単体での照射試験 (TrTEG を用いた測定) によるとトランスコンダクタンスの高照射量での劣化が PMOS で顕著であることが分かっていた。詳細なデータ解析を行い、LDD (lightly doped drain) の濃度が放射線耐性としては最適でない可能性があらかになってきた。放射線によりホールが蓄積されると LDD との界面で PMOS のチャンネルが形成されにくくなり結果としてトランスコンダクタンスが劣化する。

この推定をもとに LDD 濃度を従来品の 10 倍にした PMOS-FET の放射線による特性変化を評価した。図 18 には標準 LDD と 10 倍濃度の LDD の FET のトランスコンダクタンスの変動を示す。従来品では 1 MGy では殆んどゼロとなるが、LDD 変更後は 10 MGy でも劣化分は 30–40% に抑えられる。従来は顕著であった VSOI2 による補償があまり有効でなくなった理由は現在検討中である。閾値の劣化についても有意に改善が得られた。従来では 1 MGy を超える環境では SOI 素子は使用できないと考えていたが、この LDD の最適化によりさらに放射線耐性に優れた素子が実現できる可能性が得られた。

我々は、100kGy 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の開発を KEK らと共同で推進している。

【5】 超伝導体遠赤外線検出器の開発

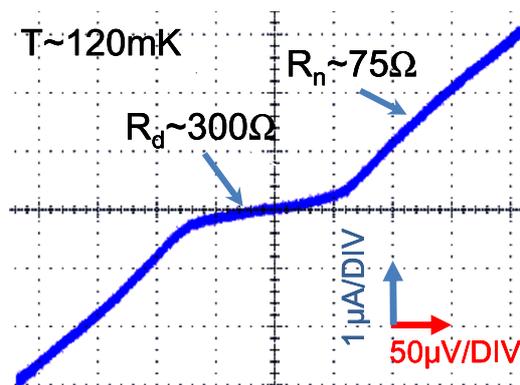


図 19: Hf-STJ において絶縁層 HfO_x の上に Al を少量 ($\sim 10\text{nm}$) 成膜した $100\ \mu\text{m}$ 角試料の I-V 特性。測定温度は、約 120mK。従来の Hf/HfO_x/Hf に比べて R_d/R_n の値が 1 から 4 へ改善した。但し磁場無印加時における直流ジョセフソン電流が確認できない。

過去二十年間に超伝導トンネル接合素子 STJ (Superconducting Tunnel Junction) を用いた光検出器の開発研究が世界でひろく行われ、実用化されてきた。これは超伝導体が半導体と比較して非常に小さいギャップエネルギーを有し、半導体を基礎とした既存の光検出器に比べて、原理的に著しく高いエネルギー分解能を持つ光検出器を実現可能であるが強い動機となっている。このことから、半導体を超える分解能をもつ X 線検出器や赤外線検出器の開発が進められてきた。

本開発研究ではニュートリノ崩壊探索実験への応用を目標として、従来から用いられてきた Nb (超伝導ギャップエネルギー $\Delta=1.55\text{meV}$, $T_c = 9.23\ \text{K}$) を用いた Nb/Al-STJ やさらに Δ の小さい Hf ($\Delta=0.020\ \text{meV}$, $T_c = 0.165\ \text{K}$) を超伝導体として用い、遠赤外線領域

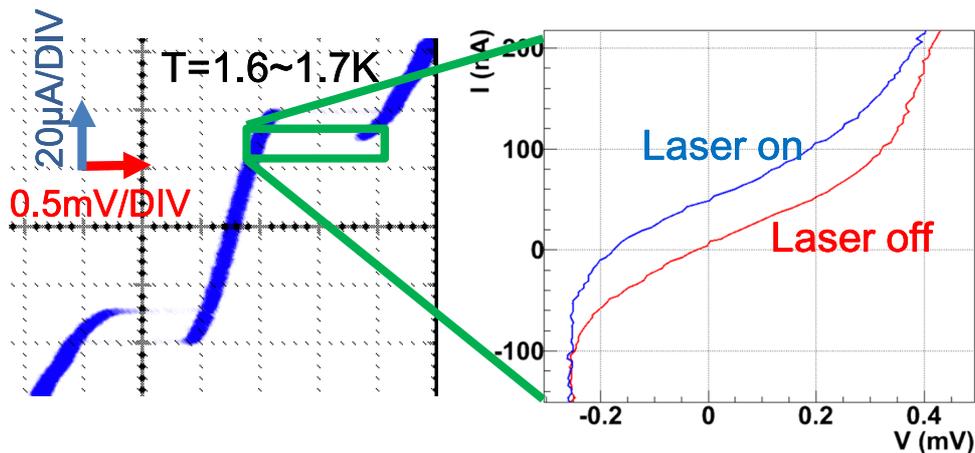


図 20: 産総研 CRAVITY で作製した 200 μm 角 Nb/Al-STJ への遠赤外線レーザー (波長 57.2 μm) 照射時の I-V 特性。レーザーは、チョッパーにより $f=200$ Hz でオン・オフされており、左の拡大図 (差動アンプ出力によりオフセットは移動している) において、レーザーオン時・オフ時の I-V 特性の変化が確認された。

($E_\gamma \sim$ 数 10 meV) の一光子ごとのエネルギーを数%の精度で測定する性能をもつ STJ の開発を行っている。

我々のグループでは、2007 年より 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ハフニウムを超伝導体とする STJ (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。実用化に向けた課題として要となるものは、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。昨年度において、絶縁層 HfO_x の上に Hf と異なる金属層 (Al \sim 10nm 厚) を成膜し絶縁層の上下層の馴染みが悪くなることで漏れ電流の改善が期待される Hf-STJ 試料を作製し I-V 特性を 120mK で測定した (図 19)。その結果、漏れ電流の大幅な改善が確認できた。但し磁場無印加時における直流ジョセフソン電流が確認できない、すなわち信号となるトンネル電流も抑制されるという問題が新たに発生しており、更なる検証が必要である。

Hf-STJ 開発と並行して、既に作成方法の確立している Nb/Al-STJ を用いた一光子分光器の開発も行っている。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、アレイ状に並べた Nb/Al-STJ ピクセルと回折格子の組み合わせによって一光子分光が可能となる。Nb/Al-STJ では、常温増幅器を用いた読み出しにおいて可視光 \sim 近赤外までの一光子検出・分光の報告例がある。我々のグループでは STJ による遠赤外一光子検出を目指して、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 SOI (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ており、我々のグループではこの試料の供給を受け、漏れ電流、静電容量、光応答の時定数などの基礎特性の測定を行っている。特に昨年度においては、福井大遠赤センターの遠赤外分子レーザー装置を用いて CRAVITY 製 Nb/Al-STJ の遠赤外光応答の試験を行った。図 20 は、200 μm 角 Nb/Al-STJ

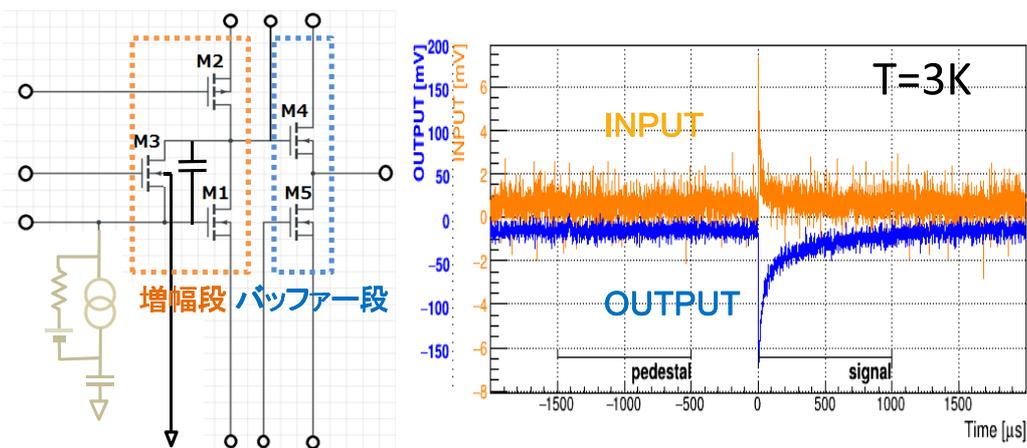


図 21: SOI 技術を用いて試作された STJ 信号読み出し用の極低温増幅器の回路図 (左), および $T=3\text{K}$ での $C=1\text{nF}$ を用いたテストパルス入力の様子 (右). 入力信号の信号雑音比が増幅後の出力では向上している.

への遠赤外線レーザー (波長 $57.2\ \mu\text{m}$) 照射時の I-V 特性を示している. レーザーは, チョップパーにより周波数 $200\ \text{Hz}$ でオン・オフされており, レーザーオン時・オフ時の I-V 特性の変化が確認され, 遠赤外線レーザーの照射パワーと STJ の応答から, 現段階での遠赤外光子に対する STJ の検出効率が $0.5\ \%$ 程度と見積もられた. STJ 表面に反射防止コーティングやアンテナを使用して STJ と遠赤外光子との結合を向上させることが今後の課題となる.

SOI プロセスによる MOSFET が STJ の動作温度においてトランジスタとして機能することは既に確立している. 我々のグループでは, 昨年度においてより現実的に動作する SOI 読み出し回路の試作および測定を行った. 図 21 は, SOI プロセスによって作製された STJ 信号読み出し用の極低温増幅器の極低温 ($T=3\text{K}$) におけるテスト信号入力の様子を示している. 極低温での増幅器としての動作, および増幅器への入力の信号雑音比が増幅後の出力では向上しているのが確認された. 入力波形の時定数から増幅器の入力インピーダンスが数十キロオームであることが分かるが, STJ の光応答速度および STJ 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. 現在, 低入力インピーダンスの電荷積分型増幅器の設計, 並びに極低温における回路シミュレーションのための SOI MOSFET の特性の測定を行っている.

【6】 ミューオンラジオグラフィーによる大規模構造物の透視

ミュー粒子が建物などを透過しやすい性質を利用し, 宇宙線ミュー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ーオンラジオグラフィーに取り組んでいる. 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, 2012 年には実際の原子炉透視に成功することで技術設計の実証を行った. その後国際廃炉機構 (IRID) の計画として放射線遮蔽の設計を施した図 22 (左) に示すような検出器を 2 台建設した. 全体を $10\ \text{cm}$ の鉄で遮蔽し, さらにバックグラウンド放射線を排除できるように 3 ユニットの XY 測定面から構成されている. 2015 年 2 月から 1 号炉の観測を開始した結果, 燃料装荷位置には核燃料の溶け残りは殆どないことが判明し (図 22 (右)), IRID により観測結果は

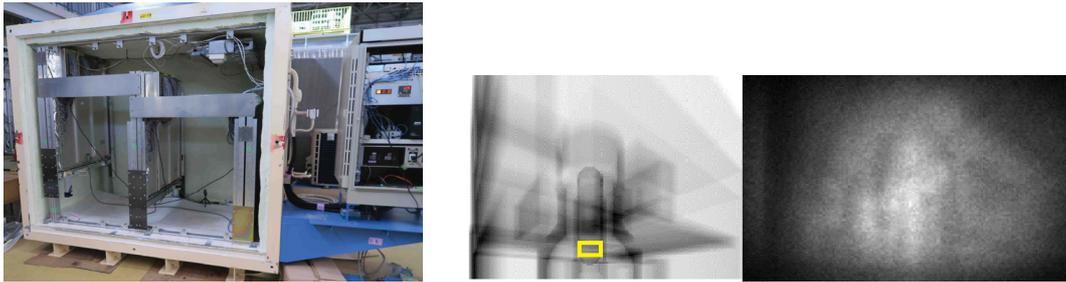


図 22: (左)福島第一原発 1 号炉の観測に用いられた検出器。シンチレータバーで構成される 1 m 角の位置検出器を 3 セット組み合わせてミュ粒子数分布を観測する。全体は放射線遮蔽のための鉄で覆われている。(右) IRID で公表された資料。構造物の配置図 (黄色の枠は燃料装荷位置) と観測結果を比較し、燃料装荷位置での飛来数の減少は少なく、燃料は殆どないことが判明した。

公表された。

溶け落ちた燃料デブリがどこにあるかを観測するには、検出器からの仰角が低いため宇宙線ミュ粒子の飛来数が少なすぎるという問題がある。そのため、1 号炉の観測と並行して、(1) 地下に検出器を設置しても地上の構造物が観測できるか、(2) 低角度宇宙線ミュ粒子の飛来数や運動量分布はどうなっているか、の 2 つの課題に取り組んだ。

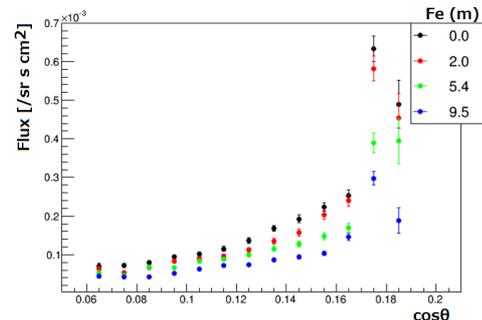


図 23: (左) KEK に設置された水平ミュ粒子の飛来数を計測するシステム。(右) ミュ粒子の飛来数を天頂角の θ の関数として計測した。異なるマークは通過する鉄ブロックの厚さで、最小運動量が対応できる。

(1) については 2014 年から KEK 施設を用いて地下から、地上に置いた 2 m 立方の鉄ブロックが観測できることを実証し、その結果は 2015 年の国際会議で発表した。

(2) については、KEK に鉄ブロックを最長 9 m まで設置し、鉄での吸収からミュ粒子の運動量分布を決定する方法で低角度の飛来数分布の計測を行っている。図 23 (左) は KEK に設置したシステムで、前方に福島で用いた検出器ユニットと同じものを 2 ユニット、鉄ブロックを挟んで手間に 1 ユニットの設置して計測している様子である。図 23 (右) は鉄の厚さを変えたときのミュ粒子飛来数 ($/\text{sr}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^2$) を天頂角 θ の関数として示したものである。水平ミュ粒子の飛来数の測定は $\theta = 75^\circ$ の近辺で 1 例が報告されているが、今回の測定結果はその結果とよく一致している。さらに水平領域および大角度領域をカバーできるデータを現在取得中である。

1 号炉での観測の成果を受けて、2016 年 3 月からは東京電力の事業委託を受けた KEK に協力する形態で 2 号炉を観測している。1 号炉の場合に比べ、より近くに検出器を設置する

ことができ、現在までに燃料装荷位置にはほとんど燃料がなさそうであり、それに加え圧力容器の底の様子も観測できていることが分かってきた。

【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: 武内勇司
19,240 千円 (直接経費 14,800 千円, 間接経費 4,440 千円) (2015 年度)
2. 科学研究費 基盤研究 (C) 「ハドロン衝突における重いクォーク生成の物理」 2013 – 2015 年度, 研究代表者: 受川 史彦
910 千円 (直接経費 700 千円, 間接経費 210 千円) (2015 年度)
3. 科学研究費 基盤研究 (C) 「アトラス実験でのヒッグス湯川結合の測定」 2013 – 2015 年度, 研究代表者: 原 和彦
1,560 千円 (直接経費 1,200 千円, 間接経費 360 千円) (2015 年度)
4. 科学研究費 新学術領域研究 「先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素粒子物理学 ~ 真空と時空への新たな挑戦」 2011 – 2015 年度
計画研究 A01 : 「ヒッグス粒子の発見による素粒子の質量起源の解明」, 研究分担者: 受川 史彦
9,100 千円 (直接経費: 7,000 千円, 間接経費: 2,100 千円) (2015 年度)
5. 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
5,850 千円 (直接経費 4,500 千円, 間接経費 1,350 千円) (2015 年度)
6. KEK 大学等連携支援事業 「筑波大 – KEK 連携を核としたつくば教育研究拠点の構築に向けて」
共同代表者: 守友 浩, 金 信弘, 末木啓介
物件費: 200 千円 (STJ プロジェクト向け配分額)
物件費: 100 千円 (SOI プロジェクト向け配分額)

【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],
“Study of the energy dependence of the underlying event in proton-antiproton collisions,”
Phys. Rev. D **92**, 092009 (2015)
2. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the Production and Differential Cross Sections of W^+W^- Bosons

- in Association with Jets in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
Phys. Rev. D **91**, 111101 (2015) Addendum: [Phys. Rev. D **92**, no. 3, 039901 (2015)]
3. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the top-quark mass in the $t\bar{t}$ dilepton channel using the full CDF Run II data set,”
Phys. Rev. D **92**, 032003 (2015)
 4. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“First measurement of the forward-backward asymmetry in bottom-quark pair production at high mass,”
Phys. Rev. D **92**, 032006 (2015)
 5. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for Resonances Decaying to Top and Bottom Quarks with the CDF Experiment,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 061801 (2015)
 6. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF and D0 Collaborations],
“Tevatron Combination of Single-Top-Quark Cross Sections and Determination of the Magnitude of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix Element V_{tb} ,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 152003 (2015)
 7. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of central exclusive $\pi^+\pi^-$ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 1.96 TeV at CDF,”
Phys. Rev. D **91**, 091101 (2015)
 8. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF and D0 Collaborations],
“Tevatron Constraints on Models of the Higgs Boson with Exotic Spin and Parity Using Decays to Bottom-Antibottom Quark Pairs,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 151802 (2015)
 9. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Constraints on Models of the Higgs Boson with Exotic Spin and Parity using Decays to Bottom-Antibottom Quarks in the Full CDF Data Set,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 141802 (2015)
 10. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],

- “Search for production of an $\Upsilon(1S)$ meson in association with a W or Z boson using the full 1.96 TeV $p\bar{p}$ collision data set at CDF,”
Phys. Rev. D **91**, 052011 (2015)
11. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of differential production cross section for Z/γ^* bosons in association with jets in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
Phys. Rev. D **91**, 012002 (2015)
 12. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Studies of high-transverse momentum jet substructure and top quarks produced in 1.96 TeV proton-antiproton collisions,”
Phys. Rev. D **91**, 032006 (2015)
 13. 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)
 14. 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 $\bar{p}p$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
Phys. Rev. D **93**, 052012 (2016)
 15. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the Single Top Quark Production Cross Section and $|V_{tb}|$ in 1.96 TeV $p\bar{p}$ Collisions with Missing Transverse Energy and Jets and Final CDF combination,”
Phys. Rev. D **93**, 032011 (2016)
 16. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of four-jet differential cross sections in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector,”
JHEP **1512**, 105 (2015)
 17. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for flavour-changing neutral current top quark decays $t \rightarrow Hq$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1512**, 061 (2015)

18. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the $t\bar{t}W$ and $t\bar{t}Z$ production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
 JHEP **1511**, 172 (2015)
19. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Searches for Higgs boson pair production in the $hh \rightarrow bb\tau\tau, \gamma\gamma WW^*, \gamma\gamma bb, bbbb$ channels with the ATLAS detector,”
 Phys. Rev. D **92**, 092004 (2015)
20. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for pair production of a new heavy quark that decays into a W boson and a light quark in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
 Phys. Rev. D **92**, 112007 (2015)
21. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Constraints on new phenomena via Higgs boson couplings and invisible decays with the ATLAS detector,”
 JHEP **1511**, 206 (2015)
22. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Summary of the ATLAS experiment’s sensitivity to supersymmetry after LHC Run 1 - interpreted in the phenomenological MSSM,”
 JHEP **1510**, 134 (2015)
23. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for lepton-flavour-violating $H \rightarrow \mu\tau$ decays of the Higgs boson with the ATLAS detector,”
 JHEP **1511**, 211 (2015)
24. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of transverse energy-energy correlations in multi-jet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector and determination of the strong coupling constant $\alpha_s(m_Z)$,”
 Phys. Lett. B **750**, 427 (2015)
25. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Determination of the ratio of b -quark fragmentation fractions f_s/f_d in pp collisions

at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 262001 (2015)

26. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the branching ratio $\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0)/\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0)$ with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **751**, 63 (2015)
27. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Z boson production in p +Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV measured with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. C **92**, 044915 (2015)
28. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Summary of the searches for squarks and gluinos using $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS experiment at the LHC,”
JHEP **1510**, 054 (2015)
29. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for photonic signatures of gauge-mediated supersymmetry in 8 TeV pp collisions with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **92**, 072001 (2015)
30. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Determination of the top-quark pole mass using $t\bar{t} + 1$ -jet events collected with the ATLAS experiment in 7 TeV pp collisions,”
JHEP **1510**, 121 (2015)
31. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the production of neighbouring jets in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **751**, 376 (2015)
32. G. Aad, K. Hara, 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)]
33. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of exclusive $\gamma\gamma \rightarrow \ell^+\ell^-$ production in proton-proton collisions at

$\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **749**, 242 (2015)

34. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Study of (W/Z)H production and Higgs boson couplings using $H \rightarrow WW^*$ decays with the ATLAS detector,”
JHEP **1508**, 137 (2015)
35. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for heavy Majorana neutrinos with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV,”
JHEP **1507**, 162 (2015)
36. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for the associated production of the Higgs boson with a top quark pair in multilepton final states with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **749**, 519 (2015)
37. G. Aad, K. Hara, 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)]
38. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of colour flow with the jet pull angle in $t\bar{t}$ events using the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV,”
Phys. Lett. B **750**, 475 (2015)
39. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Modelling $Z \rightarrow \tau\tau$ processes in ATLAS with τ -embedded $Z \rightarrow \mu\mu$ data,”
JINST **10**, P09018 (2015)
40. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for metastable heavy charged particles with large ionisation energy loss in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS experiment,”
Eur. Phys. J. C **75**, 407 (2015)
41. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of the top quark branching ratios into channels with leptons and

- quarks with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **92**, 072005 (2015)
42. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for type-III Seesaw heavy leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. D **92**, 032001 (2015)
43. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for heavy lepton resonances decaying to a Z boson and a lepton in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1509**, 108 (2015)
44. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for Dark Matter in Events with Missing Transverse Momentum and a Higgs Boson Decaying to Two Photons in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 131801 (2015)
45. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for high-mass diboson resonances with boson-tagged jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1512**, 055 (2015)
46. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for Higgs boson pair production in the $b\bar{b}b\bar{b}$ final state from pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 412 (2015)
47. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of differential J/ψ production cross sections and forward-backward ratios in p + Pb collisions with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. C **92**, 034904 (2015)
48. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for new light gauge bosons in Higgs boson decays to four-lepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector at the LHC,”
Phys. Rev. D **92**, 092001 (2015)
49. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],

“A search for $t\bar{t}$ resonances using lepton-plus-jets events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1508**, 148 (2015)

50. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for production of vector-like quark pairs and of four top quarks in the lepton-plus-jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1508**, 105 (2015)
51. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for Higgs bosons decaying to aa in the $\mu\mu\tau\tau$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS experiment,”
Phys. Rev. D **92**, 052002 (2015)
52. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of the Total and Differential Higgs Boson Production Cross Sections Combining the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ Decay Channels at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 091801 (2015)
53. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for high-mass diphoton resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **92**, 032004 (2015)
54. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for massive, long-lived particles using multitrack displaced vertices or displaced lepton pairs in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **92**, 072004 (2015)
55. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Analysis of events with b -jets and a pair of leptons of the same charge in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1510**, 150 (2015)
56. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of charged-particle spectra in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_r mNN} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector at the LHC,”
JHEP **1509**, 050 (2015)

57. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for invisible decays of the Higgs boson produced in association with a hadronically decaying vector boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 337 (2015)
58. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the top pair production cross section in 8 TeV proton-proton collisions using kinematic information in the lepton+jets final state with ATLAS,”
Phys. Rev. D **91**, 112013 (2015)
59. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for heavy long-lived multi-charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 362 (2015)
60. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for long-lived, weakly interacting particles that decay to displaced hadronic jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **92**, 012010 (2015)
61. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the correlation between flow harmonics of different order in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. C **92**, 034903 (2015)
62. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for New Phenomena in Dijet Angular Distributions in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV Measured with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 221802 (2015)
63. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for low-scale gravity signatures in multi-jet final states with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV,”
JHEP **1507**, 032 (2015)
64. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for a new resonance decaying to a W or Z boson and a Higgs boson in the

$l\bar{l}/l\nu/\nu\nu + b\bar{b}$ final states with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 263 (2015)

65. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS and CMS Collaborations],
“Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 191803 (2015)
66. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the top quark mass in the $t\bar{t} \rightarrow$ lepton+jets and $t\bar{t} \rightarrow$ dilepton channels using $\sqrt{s} = 7$ TeV ATLAS data,”
Eur. Phys. J. C **75**, 330 (2015)
67. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for vector-like B quarks in events with one isolated lepton, missing transverse momentum and jets at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **91**, 112011 (2015)
68. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for the Standard Model Higgs boson produced in association with top quarks and decaying into $b\bar{b}$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 349 (2015)
69. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for production of WW/WZ resonances decaying to a lepton, neutrino and jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 209 (2015) Erratum: [Eur. Phys. J. C **75**, 370 (2015)]
70. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for a Heavy Neutral Particle Decaying to $e\mu$, $e\tau$, or $\mu\tau$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 031801 (2015)
71. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for a Charged Higgs Boson Produced in the Vector-Boson Fusion Mode with Decay $H^\pm \rightarrow W^\pm Z$ using pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Experiment,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 231801 (2015)
72. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the forward-backward asymmetry of electron and muon pair-production

in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1509**, 049 (2015)

73. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Determination of spin and parity of the Higgs boson in the $WW^* \rightarrow e\nu\mu\nu$ decay channel with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 231 (2015)
74. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for supersymmetry in events containing a same-flavour opposite-sign dilepton pair, jets, and large missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 318 (2015) Erratum: [Eur. Phys. J. C **75**, 463 (2015)]
75. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Evidence of $W\gamma\gamma$ Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV and Limits on Anomalous Quartic Gauge Couplings with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **115**, 031802 (2015)
76. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Constraints on the off-shell Higgs boson signal strength in the high-mass ZZ and WW final states with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 335 (2015)
77. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Two-particle Bose-Einstein correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV measured with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 466 (2015)
78. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“A search for high-mass resonances decaying to $\tau^+\tau^-$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1507**, 157 (2015)
79. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Differential top-antitop cross-section measurements as a function of observables constructed from final-state particles using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in the ATLAS detector,”
JHEP **1506**, 100 (2015)
80. G. Aad, K. Hara, 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)]
81. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for a CP-odd Higgs boson decaying to Zh in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **744**, 163 (2015)
82. G. Aad, K. Hara, 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 $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 299 (2015) Erratum: [Eur. Phys. J. C **75**, 408 (2015)]
83. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Observation of top-quark pair production in association with a photon and measurement of the $t\bar{t}\gamma$ production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **91**, 072007 (2015)
84. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the charge asymmetry in dileptonic decays of top quark pairs in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
JHEP **05**, 061 (2015)
85. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for direct pair production of a chargino and a neutralino decaying to the 125 GeV Higgs boson in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 208 (2015)
86. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Evidence for the Higgs-boson Yukawa coupling to tau leptons with the ATLAS detector,”
JHEP **1504**, 117 (2015)
87. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for pair-produced long-lived neutral particles decaying in the ATLAS hadronic calorimeter in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV,”
Phys. Lett. B **743**, 15 (2015)
88. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],

- “Search for squarks and gluinos in events with isolated leptons, jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1504**, 116 (2015)
89. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for Higgs and Z Boson Decays to $J/\psi\gamma$ and $\Upsilon(nS)\gamma$ with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 121801 (2015)
90. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for Scalar Charm Quark Pair Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 161801 (2015)
91. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Identification and energy calibration of hadronically decaying tau leptons with the ATLAS experiment in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV,”
Eur. Phys. J. C **75**, 303 (2015)
92. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for charged Higgs bosons decaying via $H^\pm \rightarrow \tau^\pm\nu$ in fully hadronic final states using pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1503**, 088 (2015)
93. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Observation and measurements of the production of prompt and non-prompt J/ψ mesons in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 229 (2015)
94. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of Spin Correlation in Top-Antitop Quark Events and Search for Top Squark Pair Production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV Using the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 142001 (2015)
95. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Centrality and rapidity dependence of inclusive jet production in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV proton-lead collisions with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **748**, 392 (2015)
96. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],

- “Observation and measurement of Higgs boson decays to WW^* with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **92**, 012006 (2015)
97. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the transverse polarization of Λ and $\bar{\Lambda}$ hyperons produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **91**, 032004 (2015)
98. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for anomalous production of prompt same-sign lepton pairs and pair-produced doubly charged Higgs bosons with $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions using the ATLAS detector,”
JHEP **1503**, 041 (2015)
99. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Searches for heavy long-lived charged particles with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV,”
JHEP **1501**, 068 (2015)
100. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, K. Sato, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for new phenomena in events with three or more charged leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1508**, 138 (2015)
101. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of the Nuclear Modification Factor for Jets in Pb+Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **114**, 072302 (2015)
102. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of three-jet production cross-sections in pp collisions at 7 TeV centre-of-mass energy using the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 228 (2015)
103. G. Aad, K. Hara, 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 $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **91**, 012008 (2015) Erratum: [Phys. Rev. D **92**, 059903 (2015)]
104. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the inclusive jet cross-section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using 4.5 fb^{-1} of data with the ATLAS detector,”
JHEP **1502**, 153 (2015) Erratum: [JHEP **1509**, 141 (2015)]

105. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the $WW + WZ$ cross section and limits on anomalous triple gauge couplings using final states with one lepton, missing transverse momentum, and two jets with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
JHEP **1501**, 049 (2015)
106. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for invisible particles produced in association with single-top-quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 79 (2015)
107. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for the X_b and other hidden-beauty states in the $\pi^+\pi^-\Upsilon(1S)$ channel at ATLAS,”
Phys. Lett. B **740**, 199 (2015)
108. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for $W' \rightarrow t\bar{b}$ in the lepton plus jets final state in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **743**, 235 (2015)
109. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for dark matter in events with heavy quarks and missing transverse momentum in pp collisions with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 92 (2015)
110. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for s -channel single top-quark production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **740**, 118 (2015)
111. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of the W production cross sections in association with jets with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 82 (2015)
112. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for the $b\bar{b}$ decay of the Standard Model Higgs boson in associated $(W/Z)H$ production with the ATLAS detector,”
JHEP **1501**, 069 (2015)
113. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for resonant diboson production in the $\ell\ell q\bar{q}$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 69 (2015)
114. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for $H \rightarrow \gamma\gamma$ produced in association with top quarks and constraints on the

- Yukawa coupling between the top quark and the Higgs boson using data taken at 7 TeV and 8 TeV with the ATLAS detector,”
 Phys. Lett. B **740**, 222 (2015)
115. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the top-quark mass in the fully hadronic decay channel from ATLAS data at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
 Eur. Phys. J. C **75**, 158 (2015)
116. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurements of Higgs boson production and couplings in the four-lepton channel in pp collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector,”
 Phys. Rev. D **91**, 012006 (2015)
117. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the production and lepton charge asymmetry of W bosons in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector,”
 Eur. Phys. J. C **75**, 23 (2015)
118. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Performance of the ATLAS muon trigger in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV,”
 Eur. Phys. J. C **75**, 120 (2015)
119. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for $W' \rightarrow tb \rightarrow qqbb$ decays in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
 Eur. Phys. J. C **75**, 165 (2015)
120. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for new phenomena in the dijet mass distribution using $p - p$ collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
 Phys. Rev. D **91**, 052007 (2015)
121. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section as a function of jet multiplicity and jet transverse momentum in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector,”
 JHEP **1501**, 020 (2015)
122. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Simultaneous measurements of the $t\bar{t}$, W^+W^- , and $Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ production cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
 Phys. Rev. D **91**, 052005 (2015)
123. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search For Higgs Boson Pair Production in the $\gamma\gamma b\bar{b}$ Final State using pp Collision Data at $\sqrt{s} = 8$ TeV from the ATLAS Detector,”
 Phys. Rev. Lett. **114**, 081802 (2015)

124. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Jet energy measurement and its systematic uncertainty in proton-proton collisions
at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **75**, 17 (2015)
125. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, H. Okawa, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of $W\gamma$ and $Z\gamma$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the
ATLAS detector at the LHC,”
Phys. Rev. D **87**, 112003 (2013) Erratum: [Phys. Rev. D **91**, 119901 (2015)]
126. K. Nakamura, K. Hara *et al.*, “Irradiation and testbeam of KEK/HPK planar p-type
pixle modules for HL-LHC”,
JINST 10 C06008 (2015).
127. I. Kurachi, K. Hara *et al.*, “Analysis of Effective Gate Length Modulation by X-Ray
Irradiation for Fully Depleted SOI p-MOSFETs”,
IEEE Trans Electron Devices 62-8 (2015) 2371-2376.

(2) 学会・研究会での講演（国内）

1. 八木俊輔：ニュートリノ崩壊光探索のための超伝導検出器開発，
第5回高エネルギー春の学校 2015（2015年6月10-12日），天津市びわこクラブ．
2. 武内勇司：可視～遠赤外域単一光子検出のための半導体・超伝導複合型検出器 (SOI-STJ) の開発（ポスター発表），
第一回光・量子計測シンポジウム（2015年9月9日），茨城県つくば市エポカルつくば．
3. 大川英希：LHC-ATLAS 実験 Run-2 における Missing E_T の再構成，
日本物理学会 2015 年秋季大会（2015 年 9 月 25-28 日），大阪市立大学．
4. 萩原睦人：アトラス実験の Run2 におけるシリコンストリップ検出器 (SCT) の全空
乏化電圧の経年変化，
日本物理学会 2015 年秋季大会（2015 年 9 月 25-28 日），大阪市立大学．
5. 関川大介：2 層埋込酸化膜構造をもつ SOI ピクセル検出器のクロストーク特性評価，
日本物理学会 2015 年秋季大会（2015 年 9 月 25-28 日），大阪市立大学．
6. 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，
日本物理学会 2015 年秋季大会（2015 年 9 月 25-28 日），大阪市立大学．
7. 佐藤和之：ミューオン透過法による大規模構造体内部撮像に用いるシンチレーター検
出器 (III)，
日本物理学会 2015 年秋季大会（大阪市大，2015 年 9 月 25 日）．
8. 木内健司：Development of Superconducting-Tunnel-Junction Single-Photon-Detectors
Integrated with FD-SOI MOSFET Amplifiers，
新学術領域研究「ニュートリノフロンティア」研究会 2015（2015 年 12 月 1-3 日），静
岡県熱海市ニューウェルシティ湯河原．

9. 森内航也：Performance evaluation of Nb/Al-STJ fabricated at CRAVITY, 新学術領域研究「ニュートリノフロンティア」研究会 2015 (2015年12月1-3日), 静岡県熱海市ニューウェルシティ湯河原.
10. 原和彦: 2層 SOI センサーの放射線耐性の評価, 第5回新学術領域研究会 (静岡大学, 2015年12月2日). (招待講演)
11. 受川史彦: 素粒子構造部門 成果報告, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
12. 武内勇司: ニュートリノ崩壊探索概要, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
13. 武政健一: Hf-STJ 開発, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
14. 木内健司: SOI 極低温アンプ設計, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
15. 先崎蓮: SOI-STJ4 評価, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
16. 森内航也: CRAVITY 製 Nb/Al-STJ 評価, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
17. 佐藤構二: ATLAS 実験の概要, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
18. 大川英希: AATLAS 実験におけるダイボゾン共鳴状態の探索, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
19. 永田和樹: ATLAS 実験における荷電ヒッグス粒子の探索, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
20. 淵 遼亮: ATLAS 実験におけるヒッグス粒子対生成の探索, 第2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
21. 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2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
22. 岩淵周平: 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2回 CiRfSE ワークショップ (2016年1月18-19日), 筑波大学.
23. 武内勇司: 超伝導検出器と SOI 極低温アンプ, 第1回光量子計測器ワークショップ (2016年3月2日) 筑波大学.
24. 永田和樹: LHC-ATLAS 実験 Run1 における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, 日本物理学会第71回年次大会 (2016年3月19-22日), 東北学院大学.

25. 伊藤史哲: LHC-ATLAS 実験 Run2 における $WH \rightarrow \ell\nu b\bar{b}$ 崩壊過程でのトップクォーク対背景事象除去の改善,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
26. 笠原宏太: LLHC-ATLAS 実験における $Z + \text{Missing } E_T$ チャンネルを用いた標準模型を超える物理の探索,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
27. 佐藤和之: HL-LHC 実験 ATLAS 検出器のアップグレードに向けた精密ピクセル検出器の開発,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
28. 岩淵周平: HL-LHC アトラス実験に用いるシリコンストリップ検出器の放射線損傷および長期アニーリング特性の評価,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
29. 関川大介: 高エネルギー実験にむけた 2 層埋込酸化膜構造をもつ SOI ピクセル 検出器の放射線耐性評価,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
30. 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,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
31. 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,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
32. 武政健一: ニュートリノ崩壊光探索のための Hf-STJ の研究開発,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
33. 森内航也: ニュートリノ崩壊光探索のための Nb/Al-STJ の研究開発,
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
34. 武内勇司: 超伝導遠赤外センサーの開発 (シンポジウム「光センサー: 単一光子検出の最前線」),
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.
35. 高橋和希: シンチレーター検出器を用いた水平方向から飛来した宇宙線ミュオン測定
日本物理学会第 71 回年次大会 (2016 年 3 月 19-22 日), 東北学院大学.

(3) 国際会議・研究会での口頭発表

1. Y. Takeuchi *et al.*, “Development of Superconducting Tunnel Junction Detectors as a Far Infrared Photon-By-Photon Spectrometer for Neutrino Decay Search”,
2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), May 11 – 14, 2015, Pisa, Italy

2. S. Honda, K. Hara *et al.*, ‘Evaluations of TID-Effect Compensation and Sensor-Circuit Cross-Talk Suppression in Double-SOI Devices’,
International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015), June 3 – 6, 2015, Sendai, Japan.
3. K. Kiuchi *et al.*, “Development FD-SOI MOSFET amplifiers for integrated read-out circuit of superconducting-tunnel-junction single-photon-detectors”,
International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015), June 3 – 6, 2015, Sendai, Japan.
4. H. Okawa, “Higgs Boson & Flavors at the ATLAS & CMS Experiments,” SUSY 2015, Aug. 23 – 29, 2015, Lake Tahoe, USA.
5. K. Hara, K. Sato *et al.*, “Charge collection and field profile studies of heavily irradiated strip sensors for the ATLAS inner tracker upgrade”, 10th International Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking detectors (HSTD10) , Sept. 25 – 29, 2015, Xi’an, China.
6. H. Okawa, “Searches for diboson resonances at the LHC-ATLAS experiment”,
Tsukuba Global Science Week 2015 (TGSW2015), Sept. 28 – 30, 2015, EPOCHAL Tsukuba, Tsukuba-shi, Japan
7. Y. Takeuchi *et al.*, “Development of far-infrared single-photon spectrometers based on superconducting tunnel junction for search for the cosmic background neutrino decay”,
Tsukuba Global Science Week 2015 (TGSW2015), Sept. 28 – 30, 2015, EPOCHAL Tsukuba, Tsukuba-shi, Japan
8. K. Kiuchi *et al.*, “Development of Superconducting-Tunnel-Junction Single-Photon-Detectors Integrated with FD-SOI MOSFET Amplifiers”,
2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), Oct. 31 – Nov. 7, 2015, San Diego, USA.
9. K. Hara *et al.*, “Development of Fine Pixel Detector for HEP Experiments Based on Innovative Double SOI Technology”,
2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), Oct. 31 – Nov. 7, 2015, San Diego, USA.

(4) 国際会議・研究会でのポスター発表

1. M. Asano, K. Hara *et al.*, “Characteristics of non-irradiated and irradiated double SOI integration type sensor”,
International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015), June 3 – 6, 2015, Sendai, Japan.
2. N. Tobita, K. Hara *et al.*, “Bias Dependence of TID Effect Compensation in Double SOI”,

International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015), June 3 – 6, 2015, Sendai, Japan.

3. R. Senzaki *et al.*, “R&D status of FD-SOI Cold Amplifier”, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents (IWP) 2015, Sept. 4, 2015, Univ. of Tsukuba, Japan
4. K. Takemasa *et al.*, “Development of Superconducting Tunnel Junction Detector using Hafnium (Hf-STJ)”, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents (IWP) 2015, Sept. 4, 2015, Univ. of Tsukuba, Japan
5. K. Moriuchi *et al.*, “Development of Superconducting Tunnel Junction photon detector using Niobium and Aluminum (Nb/Al-STJ)”, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents (IWP) 2015, Sept. 4, 2015, Univ. of Tsukuba, Japan
6. M. Asano, K. Hara *et al.*, “Characteristics of non-irradiated and irradiated double SOI integration type pixel sensors”, 10th International Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking detectors (HSTD10), Sept. 25 – 29, 2015, Xi’an China.
7. K. Sato, K. Hara, S. H. Kim *et al.*, “Detection of On-Surface Objects using an Underground Muon Radiography Detector System”, IEEE Nuclear Science Symposium, Oct. 31 – Nov. 7, 2015, San Diego, USA.

(5) 会議・研究会報告書

1. Y. Takeuchi *et al.*, “Development of Superconducting Tunnel Junction detectors as a far-infrared photon-by-photon spectrometer for neutrino decay search”, Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2015 IEEE International, 551 - 555 (2015), DOI: 10.1109/I2MTC.2015.7151327
2. K. Kiuchi *et al.*, “Development FD-SOI MOSFET amplifiers for integrated read-out circuit of superconducting-tunnel-junction single-photon-detectors”, Proceedings of International Workshop on SOI Pixel Detector, FERMILAB-CONF-15-355-E-TD (2015), arXiv:1507.07424

(6) 学位論文

博士論文

筑波大学大学院数理物質科学研究科物理学専攻，2016年2月

1. 淵 遼亮：Search for Higgs boson pair production in the $hh \rightarrow b\bar{b}\tau^+\tau^-$ channel with the ATLAS detector (アトラス検出器におけるボトムクォーク及びタウレプトン対に崩壊するヒッグス粒子対生成の探索)

修士論文

筑波大学大学院数理物質科学研究科物理学専攻，2016年2月

1. 浅野麻莉：高エネルギー実験のための2層埋込酸化膜構造を持つSOIピクセル検出器の開発研究
2. 先崎 蓮：ニュートリノ崩壊光探索のための超伝導トンネル接合光検出器及び極低温増幅器の開発研究
3. 高橋和希：大規模構造体内部透視に用いる低角度ミュー粒子飛来数及び運動量分布の測定
4. 飛田尚志：二層埋込酸化膜構造を持つSOIピクセル検出器回路の放射線損傷の補償
5. 森内航也：ニュートリノ崩壊光探索実験のためのニオブとアルミニウムを用いた超伝導トンネル接合光検出器の性能評価

【構成員の異動】

2015年4月に木内健司が研究員として着任。

2016年3月に木内健司が理化学研究所に転出。