

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
講師	武内 勇司, 佐藤 構二
研究科特別研究員	武政 健一
大学院生	14 名

素粒子実験グループは高エネルギー粒子加速器を用いた素粒子物理学実験 CDF, ATLAS, および ILC に参加している。CDF は 2011 年度に運転終了, ATLAS は 2009 年秋より衝突実験を開始, ILC は設計中の実験である。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, ニュートリノ崩壊の探索を目的とした高分解能光検出器 STJ の開発, 宇宙線ミュー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。1996 年の物理実験 Run I の終了後 CDF 検出器およびテバトロン加速器の増強を経て, 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ほぼ終了し, 最終結果を論文として公表する段階にある。以下には, 2013 年度の成果について主なものを記す。

CDF 実験による 1995 年のトップクォーク発見後 20 年近くが経過し, 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。

その質量は多くの終状態を用いて測定されている。トップクォーク対が 1 つの荷電レプトンと 4 つのジェットを含む終状態に崩壊するチャンネル (lepton+jets チャンネル) は, 崩壊分岐比および信号対雑音比がともに高く, 精度の良い測定が可能である。積分輝度 8.7 fb^{-1} から 9.3 fb^{-1} 相当のデータを用いて, $m_{\text{top}} = 173.16 \pm 0.57 \pm 0.74 \text{ GeV}/c^2$ という最終結果を得た (図 1)。相対的な精度は 0.54% であり, 実験前の予測を大きく上回る。

また, トップクォーク対の生成機構の研究を継続して行った。 $t\bar{t}$ 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。2013 年度には, 論文発表に向け, 全データを用いた dilepton チャンネルの解析を継続した。

【2】 LHC ATLAS 実験

欧州セルレン研究所の LHC 加速器 (Large Hadron Collider) は, 2011 年は重心系エネルギー 7 TeV, 2012 年は 8 TeV での陽子陽子衝突を行い, 現在は 2015 年 4 月からの設計エネルギー

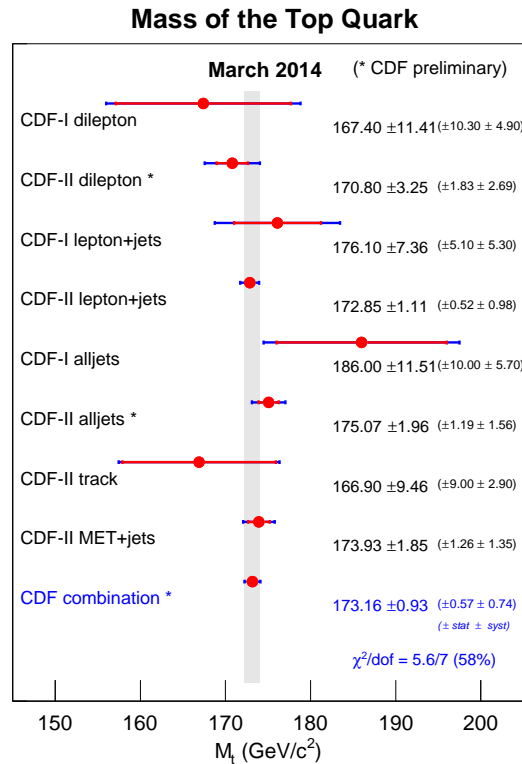


図 1: CDF 実験によるトップクォークの質量の測定。

(13–14 TeV) での衝突実験のために加速器を増強中である。ATLAS 実験グループはヒッグス粒子を発見後、ヒッグス粒子を様々な崩壊モードで測定することにより、標準模型ヒッグスと矛盾しないかの検証を続けるとともに 2015 年からの LHC 衝突のために検出器を増強している。また、2023 年以降は、LHC は設計値を超えた高輝度実験、HL-LHC 加速器に増強する予定である。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も継続している。

(1) ヒッグス粒子の崩壊と結合定数

質量の起源とされるヒッグス粒子は、素粒子の標準模型では唯一未確認であり、ATLAS 実験はその発見を最大の目標としてきたが、2012 年末には新たに発見した粒子がヒッグス粒子と矛盾しないことを示した。この”発見”の段階では、ヒッグス粒子が 2 つの光子、2 つの Z ボソン、2 つの W ボソンに崩壊するモードが主であり、ヒッグス粒子がゲージボソンに質量を与えると明確に示した。標準模型ではヒッグス粒子はフェルミ粒子にも質量を与えているが、その検証の重要性は極めて高く、昨年度と比較し τ 対に崩壊する解析に重要な進展が得られた。

τ 粒子にはハドロン終状態 (τ_h) とレプトン終状態 (τ_ℓ , $\ell=e, \mu$) に崩壊するモードがある。レプトン終状態にはニュートリノが含まれるので τ の再構成精度が限定的でありハドロン終状態では背景事象となるジェット除去が課題となるなど崩壊モード毎の詳細な事象の理解が重要である。最も大きな背景事象である $Z \rightarrow \tau\tau$ とは質量の違いを用いて区別するため、背景事象の除去と質量再構成精度が共に必要となる。

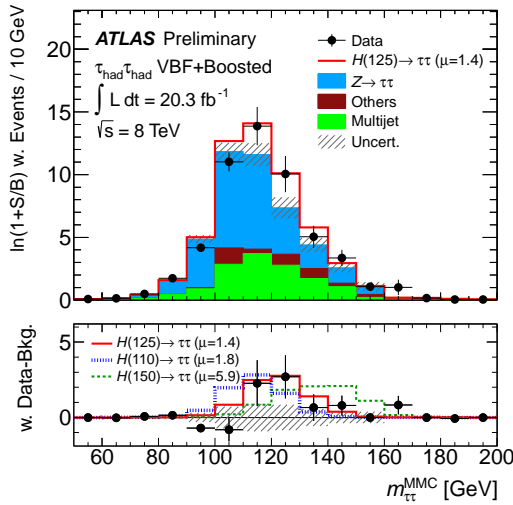


図 2: $\tau\tau$ 終状態の候補事象で再構成した不変質量分布。データの分布を標準模型より 1.4 倍多いヒッグスの生成と背景事象の和と比較。(下) 背景事象からの超過分をヒッグスの質量をいくつか変えてフィットした結果。

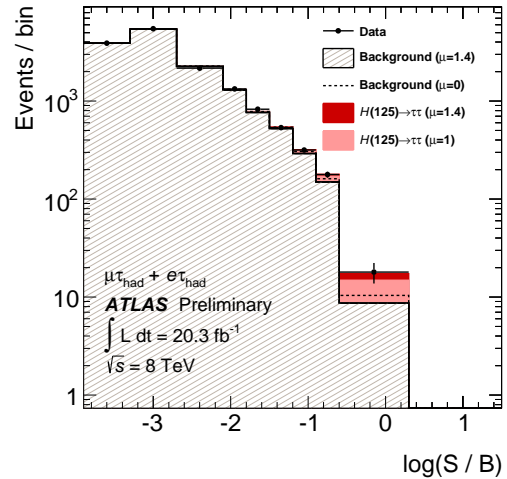


図 3: τ_h と τ_ℓ 候補を最終状態にもつ事象に対してヒッグスらしさ (S), 背景事象らしさ (B) の比 S/B の対数を横軸にした事象数分布。ヒッグスからの崩壊と考えられる事象の超過が見られる。

図 2 は終状態に 2 つの τ 候補を含む事象の質量分布を示す。事象の多くは、 $Z \rightarrow \tau\tau$ であるが、 $125 \text{ GeV}/c^2$ の標準模型ヒッグスと矛盾しない超過が得られた。この解析では背景事象をより精密に理解し BDT (= Boosted Decision Tree) などの統計手法を駆使している。終状態に τ_h と τ_ℓ 候補を含む事象のヒッグスらしさと背景事象らしさの比 (S/B) で区別した事象数分布を図 3 に示す。S/B が 1 に近いヒッグス観測に感度のあるデータ点は背景事象数から明らかな超過を示し、生成量は標準模型の場合よりやや多い $\mu = 1.4$ が最確値である。

他の τ 崩壊モードも総合的に評価し、また昨年度までに測定済みのヒッグスの他の崩壊チャンネルと併せて、標準模型が予言する生成に対して観測された事象数の比 (μ) を図 4 に示す。 $\tau\tau$ に関しては、ATLAS 単独で約 3σ の有意度で観測できた。CMS の結果と合わせるとレプトンへ質量を与えることもほぼ確定した。これは標準模型でのヒッグスモデルの重要な検証結果である。

図 5 は、各崩壊モード毎ではなくボソンとの結合およびフェルミオンとの結合、または両者の比など、モデルを仮定して全データをフィットして得られた結合定数の標準模型との比を表す。多くは標準模型の値 (= 1) の結果が得られ、標準模型との一致度 (P_{SM}) は 9% 以上となった。

図 4 が示すように、いくつかのチャンネルで標準模型 ($\mu = 1$) と測定値にずれがあるが、統計的に十分に有為であるとはいえない。また、ボトムクォーク対への崩壊は感度がない。現在、解析方法を最適化することで、ボトムクォーク対への崩壊を観測しクォークの質量もヒッグスが与えるかの検証の最終段階にある。引き続き 2014 年からの物理ランでは、統計精度や系統誤差をより小さくし、より精密に標準模型の検証を行う。

ヒッグスのスピン-パリティ J^P の測定は、 ZZ 終状態が最も感度があるが、他の主な発見モードである $\gamma\gamma$ および WW 終状態も加えいくつかの J^P の仮定に対するデータの一致度を評価した。

図 6 は、 ZZ 終状態を用いてヒッグス粒子のスピン-パリティ 0^+ と対照のために 0^- に対す

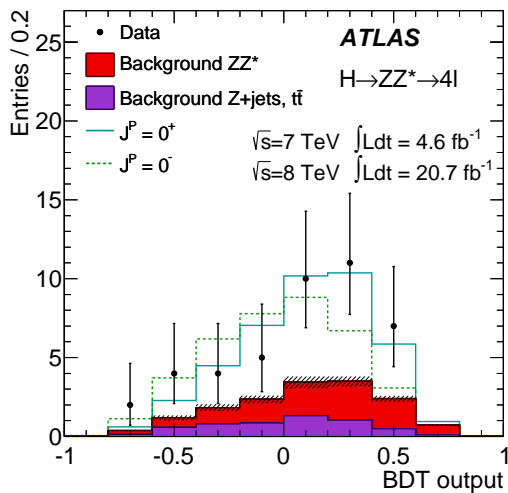


図 6: ZZ 終状態で 0^+ と 0^- に対する BDT 値の分布。BDT に用いた運動学量の内、特に感度の高いのは、最も横運動量の高い崩壊レプトンの崩壊角と軽い方 (off-shell) の Z 粒子質量分布。

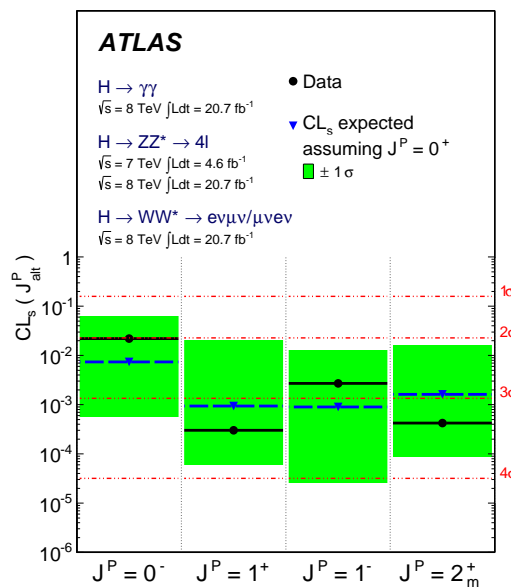


図 7: Z, WW, $\gamma\gamma$ 終状態での、いくつかのスピ
ン-パリティ仮定での一致度の比較。データ (実
線) およびヒッグスが 0^+ であるとした場合の
実験の感度予想 (破線) がほぼ一致している。

超対称性 (SUSY) は階層性の問題を解決するために最も注目され、対応する SUSY 粒子が 1 TeV の質量領域に存在することが期待されている。また、最も軽い中性 SUSY 粒子は暗黒物質の候補に成り得るので宇宙論にも重要な探索とみなされる。SUSY の様々なモデルに従い探索を行い昨年度報告からいくつかの探索領域の進展が見られるが、8 TeV における兆候は見られない。

余剰次元は理論モデルおよび設定パラメータによりまた探索モードにより最大 $6.2 \text{ TeV}/c^2$ までの質量を棄却した。

その他、新しいゲージボソン、新しいクォーク、レプトクォーク、クォーク励起状態など、様々な探索を行ったが、標準模型を超える粒子は観測されていない。

重いこれらの粒子は、重心系エネルギーが高いほど生成されやすく、衝突エネルギーが 13 ~ 14 TeV に増強され来年から始まるデータ収集ランでの探索が期待されている。

(3) HL-LHC に用いる p 型シリコン検出器の開発

LHC は当初の設計エネルギー (14 TeV) と設計衝突輝度 ($10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) を 2015 年以降に達成する計画である。その後も継続して統計精度を向上させるために、2023 年からは、LHC の設計値を超えた高輝度 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ため、それに伴う新しい内部飛跡検出器の開発研究も行っている。

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⁺-on-p) を開発している。この開発は 8 年間継続し、昨年度までの研究で、FZ 法による高抵抗の p 型シリコン基板を用い P-STOP を電極分離の構造としたセンサーを試作

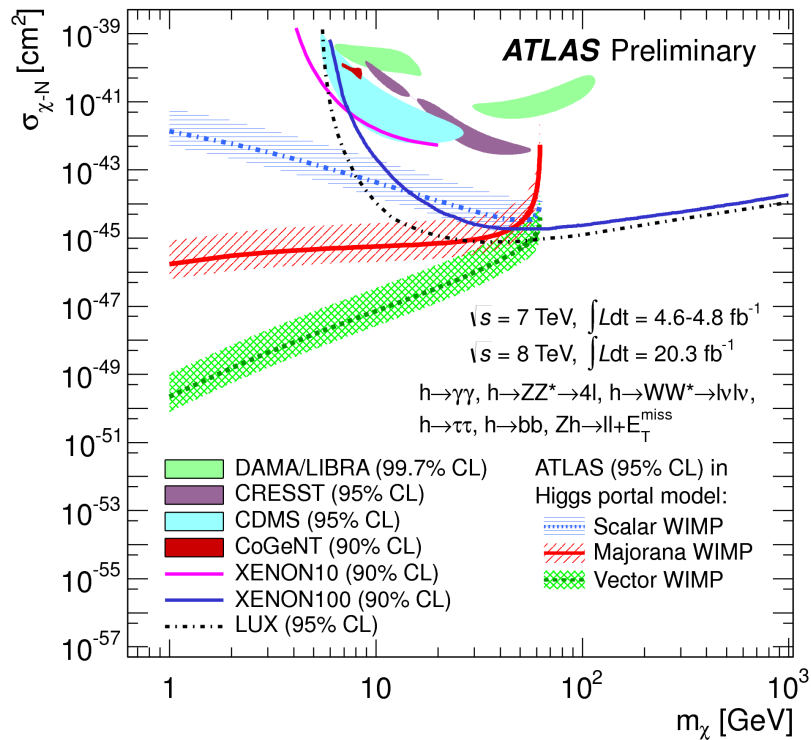


図 8: ヒッグス粒子の未知の粒子への崩壊分岐比の上限値から得られた WIMP-核子の反応断面積の上限 (95%CL)。3本の曲線は仮定した3つの WIMP タイプについての上限值で斜線部は核子の形状因子の不定性に対応する。

し、陽子線と中性子線を実際に照射し、HL-LHCの高放射線線量（ストリップ型で 1×10^{15} 1-MeV $n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ ）を受けても使用可能な設計を確立した。

現行のストリップ型シリコン検出器は電極長が 12 cm であるが、HL-LHC では粒子数の増大に耐えるため、衝突点に近い領域では 2.4 cm、外側では 4.8 cm が採用される。そのようなセンサー（ATLAS12M）を 6 インチウェハーで作製した。また放射線耐性の評価用に 1 cm 角のミニセンサーを同時に作製した。

図 9 は東北大学 CYRIC の 70 MeV 陽子ビームをサンプルに照射して通過する β 線に対して収集できる電荷量を評価したものである。未照射に比べて収集電荷量は照射とともに減少するが、電圧を上げることで増加し、HL-LHC で予想される $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ を超える照射量で十分な電荷を収集できる。

また、図 10 は照射したサンプルの暗電流を -30°C で測定したものである。センサーのエッジ部分は高電圧に耐えられるように従来は 910 μm の距離を確保 (STD) していたが、450 μm に短くしたサンプル (SLIM) においてもブレイクダウンしないことを示した。

p 型シリコンを用いたピクセル型センサーは製造コストが低く抑えられ、従来から使用されている放射線耐性に優れた n 電極読み出し n 基板 ($n^+ \text{-in-n}$) に匹敵する放射線耐性が期待できる。実際に $10^{16}/\text{cm}^2$ に及ぶ照射量を与え、ピクセルセンサーの応答をテストビームで評価している。図 11 は 1 ピクセル (50 $\mu\text{m} \times 250 \mu\text{m}$) の領域に渡って検出効率を評価した

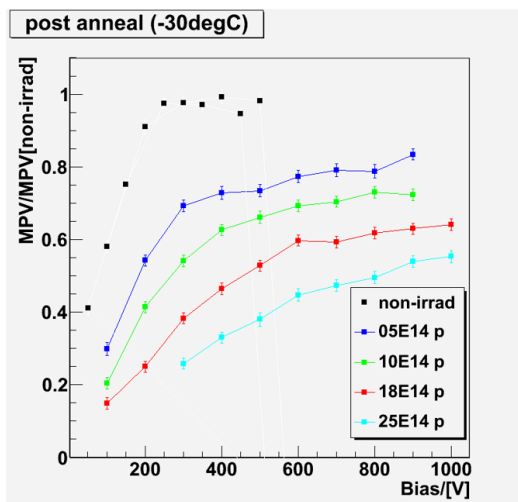


図 9: 通過する β 線で評価した収集電荷量 (未照射との比) の電圧依存性。サンプルは ATLAS12M。異なるデータは陽子照射量の違いで、数値は 1 MeV 中性子に換算した 1 cm^2 あたりの粒子数 ($1\text{-MeV } n_{eq}/\text{cm}^2$)。

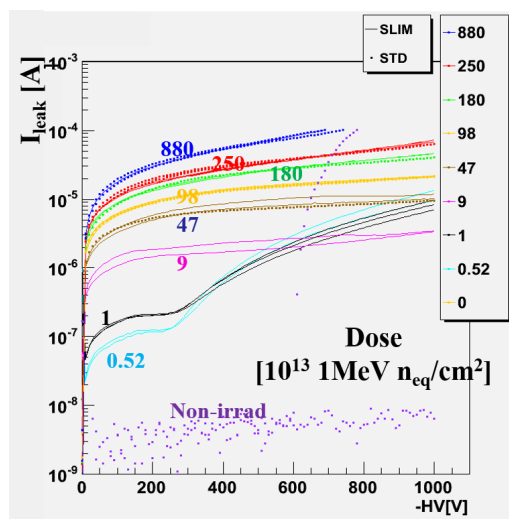


図 10: 照射したミニセンサー暗電流のバイアス電圧依存性。照射量は中性子数換算で $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ を単位として与えられている。STD と SLIM に差はない。

もので、ビームが垂直入射の場合、実際に近い 15° 傾けた場合について、3 種類の電極構造について評価したものである。照射済みのセンサーについても同様な試験を継続している。

(4) Silicon-On-Insulator 技術を用いた読み出し一体型ピクセル検出器

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 2005 年以來 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開発研究を行っている。

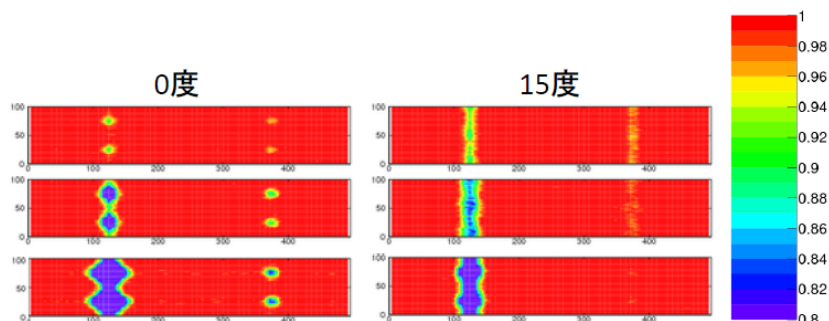


図 11: 未照射の p 型 PIXEL センサーの検出効率。効率がやや劣化する領域が隣接ピクセルとの境界に相当する。ビームの入射角度、電極設計の違いにより劣化領域が異なる。

dashed line : preirrad, VSOI2=0V

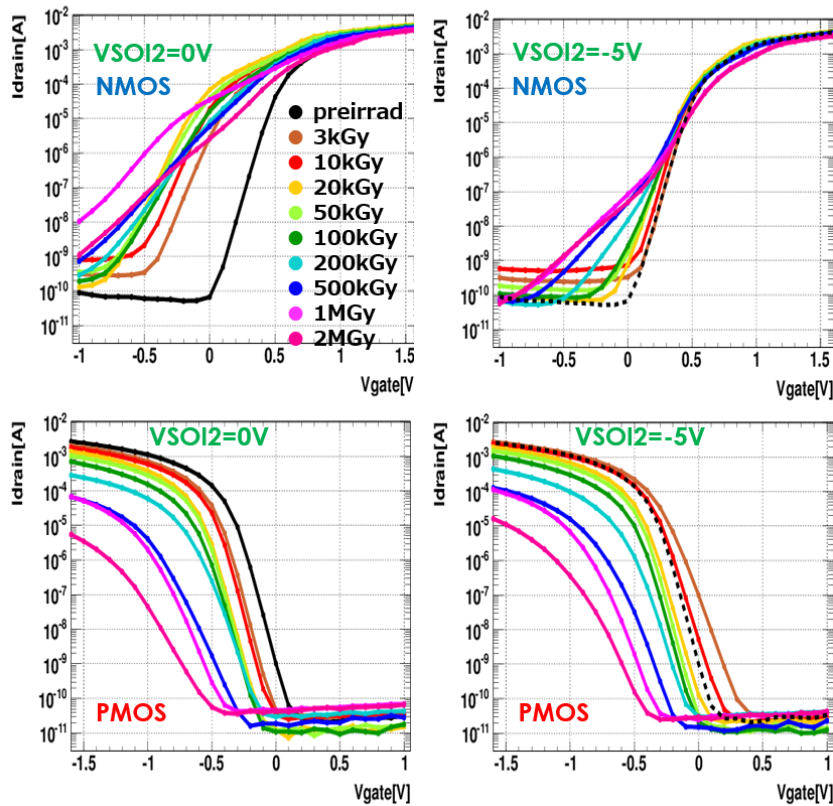


図 12: 新たに開発した 2 重 SOI 素子トランジスタの I-V 曲線。NMOS, PMOS ともに照射線量につれ I-V 曲線がバイアス電圧の負側にシフトする。中間シリコン層に負電圧を加えることにより未照射曲線に近づく。

昨年度までの研究開発で、高速な電荷収集が可能な全空乏化型ピクセル検出器を試作し、素粒子実験での衝突点近傍に設置するピクセル検出器として必要な多重散乱を抑えるために物質量を減らす薄型化の実現を行った。実際に荷電粒子の検出能力をテストビームで実証してきた。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、Lapis の FD-SOI プロセスでは、高速応答、広範囲の温度領域でも使用できる特質があるため、さまざまな分野での応用が期待できる。しかし酸化膜は、一方、正孔を蓄積し、電離性放射線線量が増えると蓄積電荷の影響を受けて近傍にあるトランジスタの特性を変化させることが分かっていた。高輝度のハドロン実験に適用するためには、この課題の解決が不可欠である。

そこで埋め込み酸化膜 2 層からなる 2 重 SOI 基板を世界で初めて製作し、最下部の粒子センサー基板の上に中間 SOI シリコン層をはさんで 2 重の埋め込み酸化膜 (BOX と BOX2) を形成した。BOX2 の直上にあるトランジスタの性能は BOX2 の帯電により影響を受けるが、中間シリコン層に電圧を加えることでその変化を補償できる。

実際に補償可能であることを確かめるために、いくつかのタイプのトランジスタに Co γ 線を照射して、トランジスタ特性の線量依存性を測定した。図 12 は NMOS トランジスタのしきい値電圧の変化を線量ごとに示したものであるが、線量とともにしきい値電圧は減少す

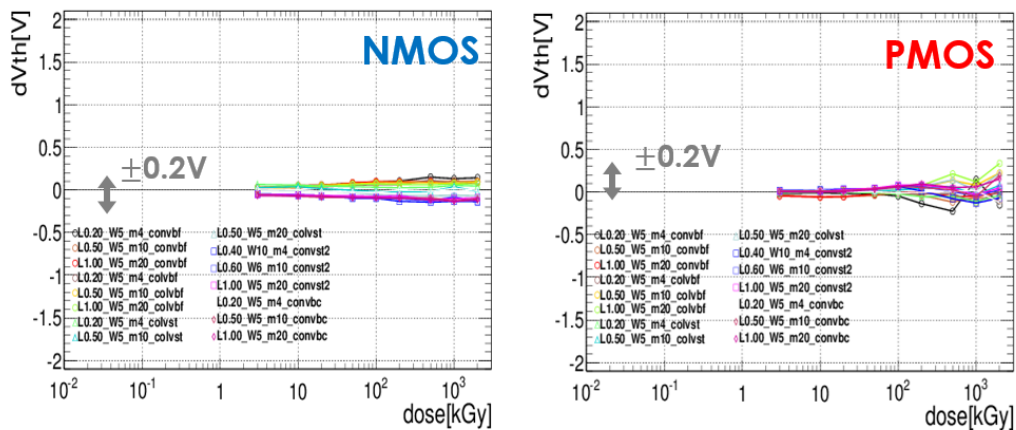


図 13: 2重 SOI 基板上に形成した FET のしきい値電圧の線量依存性。中間シリコン層の電圧が 0 V のままでは NMOS のしきい値電圧は下がり負になるが、適切な電圧を加えることで補償可能で、どの線量でも初期のしきい値電圧に戻ることを示した。

る。右図は -5 V を中間シリコン層に加えた場合で、特に NMOS では未照射の特性にほぼ回復できることを示している。PMOS は線量に依存性が大きいですが、トランジスタの種類に依らず、線量のみ依存する補償電圧を設定することでトランジスタの閾値電圧の値は未照射の値に近づけられる。図 13 はそのように補正した場合で、2 MGy までの全ての線量領域で 0.2 V の範囲内で未照射と一致する結果を表す。これより高い精度での補償を要求する場合は、トランジスタの種類によりさらに調整電圧を設定する必要があるが、原理的に SOI センサーが 1 MGy を越えて作動できることが初めて示された。

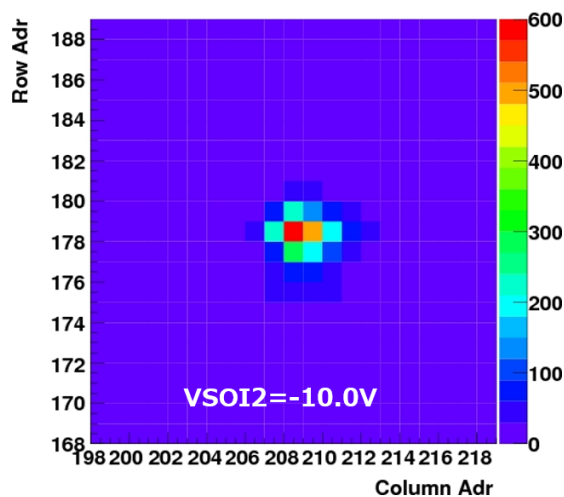


図 14: 100 kGy 照射後のピクセル検出器のレーザー光に対する応答。補償電圧を加えないと全く応答はみられないが -10 V を加えることで未照射と同等の応答を示した。

実際にピクセルセンサーを 100 kGy まで照射し光応答が得られるかの測定を行った。試

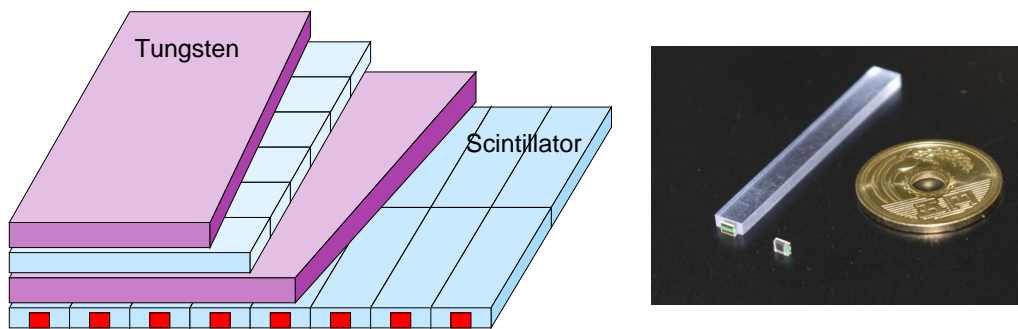


図 15: ILC(ILD) 検出器の電磁カロリメータ候補の一つ。カロリメータは、吸収体とシンチレータ層をもつサンプリングカロリメータとなっており、シンチレータ層は、シンチレータストリップ (43.5mm × 5mm × 2mm) を横方向と縦方向を交差させ並べた構造になっている。

験したセンサーでは NMOS, PMOS にかかわらず共通の補償電圧を加えられる設計である。100 kGy 照射後のピクセル検出器は補償電圧を加えないとレーザー光に対して全く応答しないが、 -10 V を加えることで未照射と同等の応答を示した。

今までのセンサーは数 kGy の放射線で応答が著しく劣化したが、2重 SOI の採用で動作する放射線線量領域が大きく広がった。また 100 kGy を超える領域では NMOS, PMOS 個別の補償電圧を加えられることが必要であるとの知見も得られた。

将来の加速器実験における放射線量として、国際リニアコライダー (ILC) ではピクセル領域では年間 1 kGy が予想されているので、2重 SOI 構造の採用により十分使用できるセンサーを設計できる目処があった。高輝度 LHC (HL-LHC) では年間 1 MGy なので、現在までの試験結果では不十分である。回路に用いられるトランジスター個別についてどの様に補償するかを検討を行う。

【3】 ILC 実験

次世代のエネルギーフロンティアにおける素粒子実験を遂行するため、重心系エネルギー 500 GeV の電子・陽電子衝突型線形加速器を建設する計画が提案されている。素粒子である電子を衝突に用いるので、加速したエネルギーを効率良く衝突に使用することができ、またバックグラウンドの少ない環境での精密測定や新粒子探索が可能となる。国際協力により進められているこの計画は ILC 計画と名付けられ、参加各国の大学や研究機関で精力的に加速器や測定器の研究・開発が行われている。ここ 2 年程度の間には、LHC 実験によるヒッグス粒子の発見を経て ILC 初期での物理の対象が明らかとなったことに加え、2012 年 12 月の「国際リニアコライダー (ILC) 計画」の技術設計書の最終稿の完成と 2013 年 6 月の公開、および、2013 年 9 月の国内サイト最終候補地の選定などを経て、ILC 計画は大きな進展を迎えた。計画では、その第一期において、重心系エネルギー 250 GeV からスタートし、500 GeV まで増強する。そして、第二期において重心系エネルギー 1 TeV までの加速器増強が想定されている。

ILC 実験では、ゲージボソンやトップクォーク、ヒッグス粒子などの崩壊により発生する多数のジェットのエネ

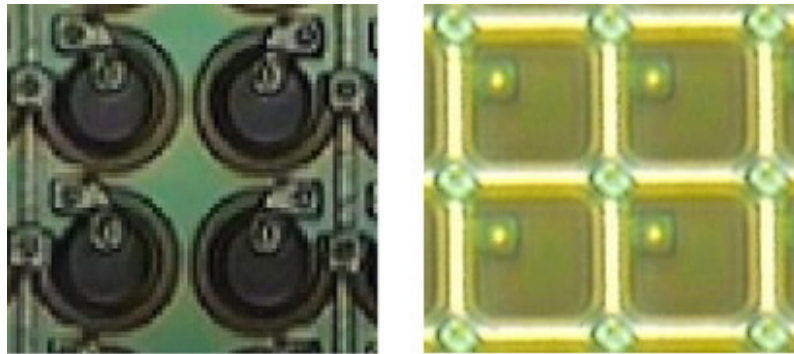


図 16: 旧型 (左) と新型 (右) の MPPC のピクセル写真。

エネルギー分解能は、 $\sigma(E)/E = 0.3/\sqrt{E(\text{GeV})}$ が要求されており、この要求値を実現するため、Particle Flow Algorithm と呼ばれるジェット再構成/エネルギー測定方法が提唱されている。この方法を用いるには、カロリメータは単一の入射粒子に対する優れたエネルギー分解能に加え、非常に細かいセルに分割された構造を有することが要求される。

現在筑波大学グループでは、KEK、九州大、信州大、新潟大等と共同で、ILC 実験において検討される検出器候補のひとつ ILD 検出器のうち、電磁カロリメータ (ECal) の研究開発を行なっている。ILD の電磁カロリメータでは、候補の一つとしてシンチレータとタングステン板を積層構造にしたサンプリング型のものが考えられている (図 15)。

シンチレータは非常に細かいセル構造が要求されるため、読み出しのために膨大な数の光センサーが必要となる上、磁場中で使用されることもあり、非常にコンパクト且つ低コストで磁場の影響を受けないという特徴を持つ、新しいタイプの半導体光検出器 MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) が、現状では光センサーのほぼ唯一解である。

カロリメータの性能としてエネルギー分解能が重要であるが、それを決める要因に光センサーの検出効率と線形応答性がある。我々は、これまで、様々な仕様の MPPC サンプルを用い、MPPC 単体、および実機に近づけた形として、シンチレータのストリップと MPPC を組み合わせたモジュールでの応答特性の試験を行ってきた。

2013 年度には、浜松ホトニクスにより開発された新型の MPPC の性能を評価した。この新型 MPPC では、クエンチング抵抗をポリシリコンから金属に変更することによってより微細な加工が可能となり、不感領域の減少とピクセル数の増加 (最大 10,000 ピクセル) を実現している (図 16)。これらは、検出効率と応答線形性の向上につながる。実際に測定を行い評価した。その一例として新型の 1,600 ピクセルと 10,000 ピクセルの MPPC の線形応答性を図 17 に示す。他にも、ノイズおよびアフターパルスが大幅に減少していることが確認された。さらに、MPPC の基礎特性として、その時間分解能を測定した。単一光電子および少数光電子に対して数百 ps の時間分解能が得られ、カロリメータに使用された場合、十分な性能を発揮することが確認された。

今後は、これらの基礎データをもとにしてシンチレータストリップの形状、MPPC の仕様の最適化を図るとともに、カロリメータの現実的なシミュレーションを行い、最終的に Particle Flow Algorithm を用いた際の諸性能の評価を行う。

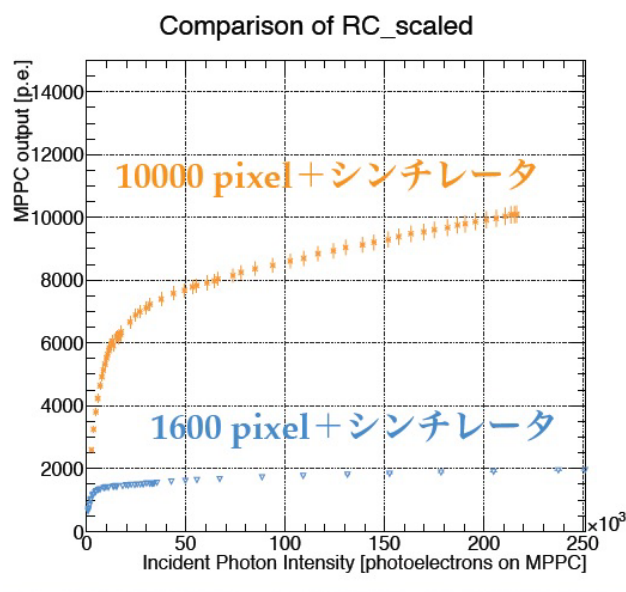


図 17: 新型の MPPC の出力応答の入射光量依存性。10,000 ピクセルでは線形性が大きく向上している。

【4】 超伝導体赤外線検出器の開発

過去 10 数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てきた。これは超伝導体が半導体と比較してはるかに小さいエネルギーバンドギャップを有することを利用して、半導体検出器などの既存の光検出器に比べてエネルギー分解能はるかに高い光検出器を原理的に実現できることが強い動機となっている。このことから、高エネルギー分解能の X 線検出器や赤外線検出器への応用を目指して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に用いることを目標として従来用いられている 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 ($\Delta=0.020\text{ meV}$, $T_c = 0.165\text{ K}$) を超伝導素材として用い、遠赤外線領域 ($E_\gamma \sim$ 数 10 meV) の一光子ごとのエネルギーを数%の精度で測定するための超伝導体検出器 (STJ) の開発を目指している。

ニュートリノは、三つの異なった質量固有状態が存在し、重いニュートリノ (ν_3) から軽いニュートリノ (ν_2, ν_1) と光子に崩壊し得るが、この過程は、標準模型の枠内では、非常に強く抑制され、寿命は約 10^{43} 年と極めて長い。しかし未発見の右巻き結合の weak boson W_R が存在し、左巻き結合の W_L と混合しているモデルにおいては、現在の W_R の質量下限および W_L との混合角の上限を用いるとこの過程の確率は最大 10^{26} の増幅が得られ、ニュートリノの寿命は 10^{17} 年程度まで短くなる可能性がある。いずれにせよ、このような長寿命のニュートリノの崩壊を観測するには、非常に多くのニュートリノが必要となるため、世代あたり $110/\text{cm}^3$ 程度存在すると予測されている宇宙背景ニュートリノを用いる。

ニュートリノの二体崩壊で生成する光子のエネルギーを $\sim 25\text{ meV}$ とすると背景雑音となる赤外線背景輻射の光子のエネルギースペクトルに対し、ニュートリノ崩壊の信号はそのエネルギーを上限として低エネルギー側のみに裾を引くスペクトル分布として観測される。

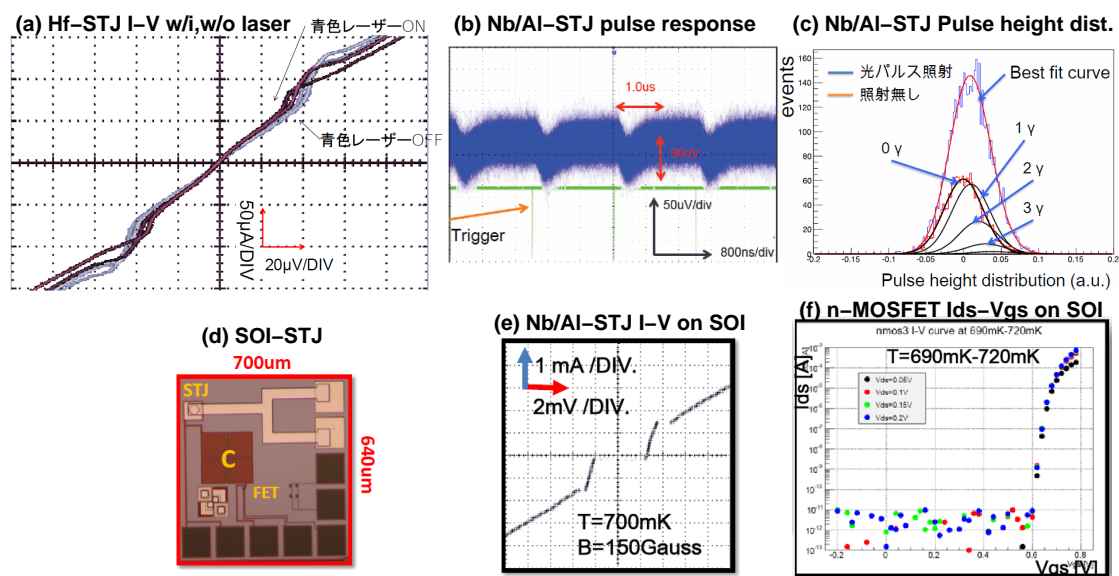


図 18: (a) Hf-STJ 試作サンプルでの可視光入射に対する I-V カーブの応答。可視光入射時にトンネル電流増加を確認。(b) Junction size $4 \mu m^2$ の Nb/Al-STJ へ可視光 (波長 465 nm) のレーザ光パルス照射したときの STJ 両端電圧の変化。温度は、約 1.8 K。STJ での検出光子数は、約 0.45/光パルス相当。(c) Nb/Al-STJ ($4 \mu m^2$) へレーザ光パルス (波長 465 nm) を 2 パルス照射した時の STJ 応答パルスを時間積分した量の分布。平均検出光子数 $N_\gamma = 0.93_{-0.14}^{+0.19}$ を得た。(d) SOI 上に形成された $50 \times 50 \mu m^2$ Nb/Al-STJ。(e) SOI 上に形成された Nb/Al-STJ の I-V curve。リーク電流は、6 nA 程度であり、シリコン基板上のものと同程度である。(f) SOI 上に Nb/Al-STJ を形成したチップの n-MOSFET の極低温下における $I_{ds}-V_{gs}$ 特性。極低温下においても FET が動作しており、STJ プロセスの際の FET のダメージも見られない。

このような信号に対し感度を持つ検出器として、宇宙背景ニュートリノの輻射崩壊のシミュレーションの結果から 25 meV の光子一つ一つに対して 2% のエネルギー分解能を有する光検出器を提案した。

我々は、2007 年 1 月より KEK 測定器開発室のプログラムの一つとして筑波大学、KEK、理研の共同研究によって、Hf-STJ 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の確立を行い、2010 年度には、Hf-HfO_x-Hf による SIS 構造の作成に成功し、ジョセフソン電流を確認した。リーク電流が大きいため目標とする検出器として動作させるには、更に改善の必要があるが、可視光に対する光応答のテストを開始し、2012 年度に 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 (図 18 (a))。現在は、Hf-STJ 試作サンプルでのパルス状可視光入射に対するパルス応答の確認を目指している。

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検出器の開発も行っている。Nb のギャップエネルギーを考慮すると、我々が目標としている 25 meV の光子に対して Nb/Al-STJ 単体では、十分なエネルギー分解能を得られない。そこで、分光は回折格子を用い Nb/Al-STJ のピクセルをアレイ状に並べ、各 Nb/Al-STJ ピクセルは、一光子計数のみを行わせることによってエネルギースペクトラム測定を行う。

したがって、Nb/Al-STJ に対する要求は、25 meV (波長 50 μm) の一光子を検出することであるが、現在は読み出し系のテストとして、目標よりもエネルギーの高い、可視域、近赤外域の微弱光一光子検出を目指している (図 18 (b)(c))。

Nb/Al-STJ 極低ノイズ読み出し系として、極低温で動作する SOI (Silicon On Insulator) プロセスによるアンプおよび、SOI 上に直接 STJ を形成する SOI-STJ の開発も行っている。2013 年度は、Nb/Al-STJ を形成した SOI 基板を極低温まで冷却し、SOI 上の FET、および STJ がそれぞれ動作することを確認した (図 18 (d)(e)(f))。

一光子レベルの可視域微弱パルス光に対する Nb/Al-STJ 応答は確認できたが、現在は読み出し系のノイズが支配的である。STJ・極低温アンプ一体型モジュールとして開発中の SOI-STJ により、読み出し系のノイズが軽減すれば可視光一光子、近赤外光一光子が高い S/N での検出が期待される。

【5】 ミューオンラジオグラフィによる大規模構造体の内部構造透視

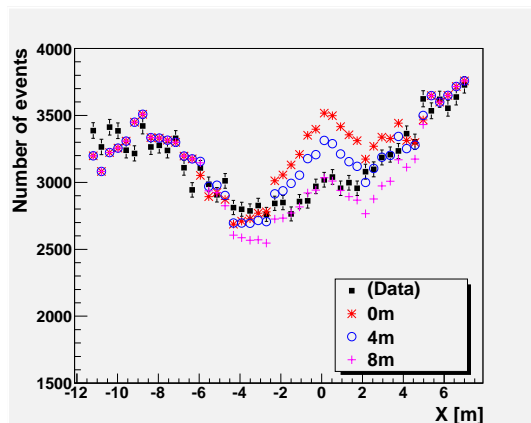


図 19: 燃料格納プール周辺の μ 粒子事象数分布のシミュレーションとの比較。シミュレーションでは燃料集合体の厚さを 0, 4, 8 m の 3 段階で示しているが、幅 6 m に渡り約 6 m から 8 m の厚さで分布していると推算される。

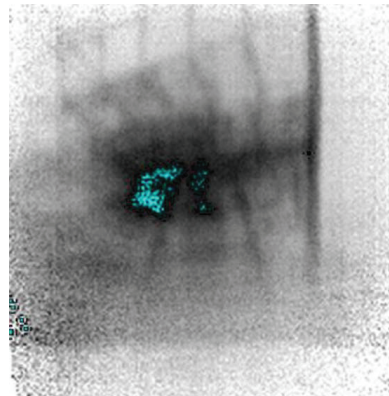


図 20: 観測された原子炉建屋内部のイメージ図全体。濃い領域は物質が多いために μ 粒子が吸収あるいは散乱され通過 μ 粒子数が少ないことを示す。青緑の部分は μ 粒子の減衰が特に大きい高密度な場所を示す。

宇宙線 μ 粒子を使って、原子炉などの大規模構造体内部構造の透視の研究を行った。これは福島原子炉事故を受けて、高エネルギー加速器研究機構らと協力して、2011 年秋から準備を始めたものである。2012 年 3 月には 1 m \times 1 m の有感面積をもつシンチレータ面 (1 cm 幅のシンチレータバーを縦横に 100 本ずつ並べたもの) 4 セットからなる検出器を実際の原子炉に設置して実証実験を開始した。シンチレータ光を波長変換ファイバーで取り出し MPPC で読み出す方式は、本研究室が開発してきた技術であり、FPGA による読み出し回路の構成など高エネルギー実験の技術を応用している。

炉心から 64 m 離れた位置で測定を行い、2012 年 7 月末までは核燃料が装填される位置に、2012 年 11 月末までは燃料プールの位置に焦点をあてて 2 地点で μ 粒子の分布を計数し

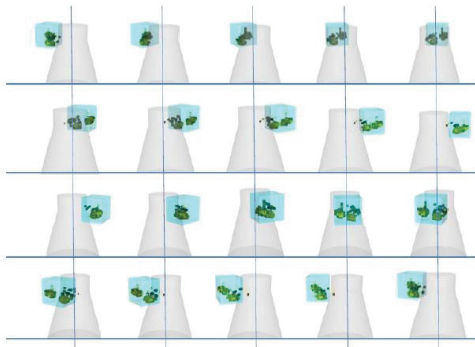


図 21: 3つの地点での観測結果を再構成した核燃料と想定される重い物質、使用済み燃料プール、および格納容器。位置と大きさの特定された使用済み燃料プール（水色）の場所と核燃料（濃い緑色）および原子炉格納容器の外形形状（ねずみ色）を18度ごとの異った視点で再構成した。

た。原子炉構造を再現する GEANT4 シミュレーションとの比較を通じて、測定全期間において、核燃料は装填されていないことを確認し、燃料格納プールに置かれた核燃料集合体の分布 (図 19) を推算した。

さらに 2013 年 7 月から 2013 年 12 月までの後半期においては、もう一台の検出器セットを炉心を中心に約 90 度回転した位置に設置して、これまでの 2 地点での測定に加えることによって、3 方向からのステレオ視での計測を行った。核燃料は、核燃料を保管するコンクリートでできた構造物や格納容器や水などと較べて高い原子番号と比重を持ち、その実効比重も 3 ぐらいで比較的大きく、 μ 粒子の減衰（物体によって吸収あるいは散乱される減少）量が大きくなること、ブロック状に固まって存在することなどから、宇宙線 μ 粒子の減衰が特定の場所で観測されるといった利点を考慮してデータ解析を行った結果、それぞれの観測地点で、原子炉建屋内部について、図 20 に示すようなイメージが得られた。さらに、3 つの地点で観測したデータを用い、位置と大きさの特定された使用済み燃料プールの場所と、核燃料、および原子炉格納容器の外形形状を 18 度ごとの異なった視点で再構成した結果、図 21 に示す通り、核燃料と考えられる重い物質、使用済み燃料プール及び格納容器に対応するイメージを得た。

この前半期の結果については PTEP 論文 (2013 年 7 月) で報告し、さらに 2014 年 1 月に全データ解析の結果を公表するプレスリリースを行い、新聞各紙 (朝日、毎日、日経等) で報道された。

【6】 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
17,290 千円（直接経費 13,300 千円，間接経費 3,990 千円）（2013 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研究」 2013 – 2015 年度，研究代表者：受川 史彦
2,080 千円（直接経費 1,600 千円，間接経費 480 千円）（2013 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
1,950 千円（直接経費 1,500 千円，間接経費 450 千円）（2013 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，
10,000 千円（直接経費：10,000 千円，間接経費：3,000 千円）（2013 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
5,980 千円（直接経費 4,600 千円，間接経費 1,380 千円）（2013 年度）
6. 日米科学技術協力事業「ニュートリノ崩壊探索」
共同研究（日本側参加機関：筑波大物理，宇宙航空研究開発機構，高エネルギー加速器研究機構，岡山大理，理化学研究所，福井大工，近畿大理工
日本側研究代表者：金 信弘）
物件費：4,000 千円，旅費：3,500 千円
7. 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：2,800 千円（素粒子実験グループ向け配分額）

【7】 研究発表

(1) 原著論文

1. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for a dijet resonance in events with jets and missing transverse energy in $p\bar{p}$

- collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
 Phys. Rev. D **88**, 092004 (2013).
2. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Search for the production of ZW and ZZ boson pairs decaying into charged leptons and jets in proton-antiproton collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
 Phys. Rev. D **88**, 092002 (2013).
 3. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Observation of D^0 - \bar{D}^0 Mixing using the CDF II Detector,”
 Phys. Rev. Lett. **111**, 231802 (2013)..
 4. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “A Direct Measurement of the Total Decay Width of the Top Quark,”
 Phys. Rev. Lett. **111**, 202001 (2013)..
 5. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Production of K_S^0 , $K^{*\pm}(892)$ and $\phi^0(1020)$ in minimum bias events and K_S^0 and Λ^0 in jets in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
 Phys. Rev. D **88**, 092005 (2013)..
 6. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Evidence for a bottom baryon resonance Λ_b^* in CDF data,”
 Phys. Rev. D **88**, 071101 (2013).
 7. 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).
 8. T. A. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF and D0 Collaborations],
 “Combination of CDF and D0 W -Boson Mass Measurements,”
 Phys. Rev. D **88**, 052018 (2013).
 9. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Indirect measurement of $\sin^2 \theta_W (M_W)$ using e^+e^- pairs in the Z -boson region with $p\bar{p}$ collisions at a center-of-momentum energy of 1.96 TeV,”
 Phys. Rev. D **88**, 072002 (2013). [Erratum-ibid. D **88**, 079905 (2013).]

10. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Signature-based search for delayed photons in exclusive photon plus missing transverse energy events from $p\bar{p}$ collisions with $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
 Phys. Rev. D **88**, 031103 (2013).
11. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Measurement of the Differential Cross Section $d\sigma/d(\cos\theta_t)$ for Top-Quark Pair Production in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
 Phys. Rev. Lett. **111**, 182002 (2013).
12. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Searches for the Higgs boson decaying to $W^+W^- \rightarrow \ell^+\nu\ell^-\bar{\nu}$ with the CDF II detector,”
 Phys. Rev. D **88**, 052012 (2013).
13. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Top-quark mass measurement in events with jets and missing transverse energy using the full CDF data set,”
 Phys. Rev. D **88**, 011101 (2013).
14. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Measurement of the top-quark pair production cross-section in events with two leptons and bottom-quark jets using the full CDF data set,”
 Phys. Rev. D **88**, 091103 (2013).
15. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Exclusion of exotic top-like quarks with $-4/3$ electric charge using jet-charge tagging in single-lepton $t\bar{t}$ events at CDF,”
 Phys. Rev. D **88**, 032003 (2013).
16. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF and D0 Collaborations],
 “Higgs Boson Studies at the Tevatron,”
 Phys. Rev. D **88**, 052014 (2013).
17. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
 “Measurement of $R = B(t \rightarrow Wb)/B(t \rightarrow Wq)$ in top-quark-pair decays using lepton+jets events and the full CDF run II dataset,”
 Phys. Rev. D **87**, 111101 (2013).

18. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the cross section for direct-photon production in association with a heavy quark in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
Phys. Rev. Lett. **111**, 042003 (2013).
19. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for Pair Production of Strongly Interacting Particles Decaying to Pairs of Jets in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
Phys. Rev. Lett. **111**, 031802 (2013).
20. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for Supersymmetry with Like-Sign Lepton-Tau Events at CDF,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 201802 (2013).
21. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B_d \rightarrow \mu^+\mu^-$ decays with the full CDF Run II data set,”
Phys. Rev. D **87**, 072003 (2013).
22. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Combination of searches for the Higgs boson using the full CDF data set,”
Phys. Rev. D **88**, 052013 (2013).
23. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Updated search for the standard model Higgs boson in events with jets and missing transverse energy using the full CDF data set,”
Phys. Rev. D **87**, 052008 (2013).
24. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the cross section for prompt isolated diphoton production using the full CDF Run II data sample,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 101801 (2013).
25. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for a two-Higgs-boson doublet using a simplified model in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 121801 (2013).
26. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],

- “Search for Resonant Top-Antitop Production in the Lepton Plus Jets Decay Mode Using the Full CDF Data Set,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 121802 (2013).
27. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of W -Boson Polarization in Top-quark Decay using the Full CDF Run II Data Set,”
Phys. Rev. D **87**, 031104 (2013).
28. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the top quark forward-backward production asymmetry and its dependence on event kinematic properties,”
Phys. Rev. D **87**, 092002 (2013).
29. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the mass difference between top and antitop quarks,”
Phys. Rev. D **87**, 052013 (2013).
30. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Measurement of the B_c^- meson lifetime in the decay $B_c^- \rightarrow J/\psi \pi^-$,”
Phys. Rev. D **87**, 011101 (2013).
31. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Observation of the Production of a W Boson in Association with a Single Charm Quark,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 071801 (2013).
32. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“Search for the Higgs boson in the all-hadronic final state using the full CDF data set,”
JHEP **1302**, 004 (2013).
33. T. Aaltonen, K. Hara, S.H. Kim, K. Sato, Y. Takeuchi, F. Ukegawa *et al.* [CDF Collaboration],
“ W boson polarization measurement in the $t\bar{t}$ dilepton channel using the CDF II Detector,”
Phys. Lett. B **722**, 48 (2013).
34. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for long-lived stopped R-hadrons decaying out-of-time with pp collisions using the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **88**, 112003 (2013).

35. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for charginos nearly mass-degenerate with the lightest neutralino based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **88**, 112006 (2013).
36. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for microscopic black holes in a like-sign dimuon final state using large track multiplicity with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **88**, 072001 (2013).
37. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for direct third-generation squark pair production in final states with missing transverse momentum and two b -jets in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,”
JHEP **1310**, 189 (2013).
38. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS experiment,”
JHEP **1310**, 130 (2013).
39. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for excited electrons and muons in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector,”
New J. Phys. **15**, 093011 (2013).
40. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Dynamics of isolated-photon plus jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Nucl. Phys. B **875**, 483 (2013).
41. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of top quark polarization in top-antitop events from proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
Phys. Rev. Lett. **111**, 232002 (2013).
42. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of jet shapes in top-quark pair events at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2676 (2013).
43. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the top quark charge in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1311**, 031 (2013).

44. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data,”
Phys. Lett. B **726**, 120 (2013).
45. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of Higgs boson production and couplings in diboson final states with
the ATLAS detector at the LHC,”
Phys. Lett. B **726**, 88 (2013).
46. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the differential cross-section of B^+ meson production in pp collisions
at $\sqrt{s} = 7$ TeV at ATLAS,”
JHEP **1310**, 042 (2013).
47. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the Azimuthal Angle Dependence of Inclusive Jet Yields in Pb+Pb
Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. Lett. **111**, 152301 (2013).
48. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Performance of jet substructure techniques for large- R jets in proton-proton collisions
at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
JHEP **1309**, 076 (2013).
49. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the high-mass Drell–Yan differential cross-section in pp collisions
at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **725**, 223 (2013).
50. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the distributions of event-by-event flow harmonics in lead-lead
collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector at the LHC,”
JHEP **1311**, 183 (2013).
51. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for $t\bar{t}$ resonances in the lepton plus jets final state with ATLAS using 4.7 fb^{-1}
of pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Phys. Rev. D **88**, 012004 (2013).
52. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Triggers for displaced decays of long-lived neutral particles in the ATLAS detector,”
JINST **8**, P07015 (2013).
53. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for resonant diboson production in the $WW/WZ \rightarrow \ell\nu jj$ decay channels
with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Phys. Rev. D **87**, 112006 (2013).

54. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the production cross section of jets in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
 JHEP **1307**, 032 (2013).
55. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for nonpointing photons in the diphoton and E_T^{miss} final state in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector,”
 Phys. Rev. D **88**, 012001 (2013).
56. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the inclusive jet cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV and comparison to the inclusive jet cross section at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
 Eur. Phys. J. C **73**, 2509 (2013).
57. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement with the ATLAS detector of multi-particle azimuthal correlations in p +Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV,”
 Phys. Lett. B **725**, 60 (2013).
58. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for third generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
 JHEP **1306**, 033 (2013).
59. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Characterisation and mitigation of beam-induced backgrounds observed in the ATLAS detector during the 2011 proton-proton run,”
 JINST **8**, P07004 (2013).
60. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for WH production with a light Higgs boson decaying to prompt electron-jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
 New J. Phys. **15**, 043009 (2013).
61. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Improved luminosity determination in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector at the LHC,”
 Eur. Phys. J. C **73**, 2518 (2013).
62. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Search for a light charged Higgs boson in the decay channel $H^+ \rightarrow c\bar{s}$ in $t\bar{t}$ events using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
 Eur. Phys. J. C **73**, 2465 (2013).
63. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
 “Measurement of the cross-section for W boson production in association with b -jets

in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1306**, 084 (2013).

64. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of k_T splitting scales in $W \rightarrow \ell\nu$ events at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2432 (2013).
65. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, 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).
66. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of hard double-parton interactions in $W(\rightarrow l\nu)+ 2$ jet events at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
New J. Phys. **15**, 033038 (2013).
67. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for long-lived, multi-charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **722**, 305 (2013).
68. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for single b^* -quark production with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Phys. Lett. B **721**, 171 (2013).
69. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Multi-channel search for squarks and gluinos in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2362 (2013).
70. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“A search for prompt lepton-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **719**, 299 (2013).
71. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Observation of Associated Near-side and Away-side Long-range Correlations in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV Proton-lead Collisions with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 182302 (2013).
72. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for charged Higgs bosons through the violation of lepton universality in $t\bar{t}$ events using pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment,”
JHEP **1303**, 076 (2013).

73. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for a heavy narrow resonance decaying to $e\mu$, $e\tau$, or $\mu\tau$ with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC,”
Phys. Lett. B **723**, 15 (2013).
74. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of Upsilon production in 7 TeV pp collisions at ATLAS,”
Phys. Rev. D **87**, 052004 (2013).
75. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in the tau+jets channel using the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2328 (2013).
76. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for the neutral Higgs bosons of the Minimal Supersymmetric Standard Model in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1302**, 095 (2013).
77. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of angular correlations in Drell-Yan lepton pairs to probe Z/γ^* boson transverse momentum at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **720**, 32 (2013).
78. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for new phenomena in events with three charged leptons at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **87**, 052002 (2013).
79. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of ZZ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV and limits on anomalous ZZZ and $ZZ\gamma$ couplings with the ATLAS detector,”
JHEP **1303**, 128 (2013).
80. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for resonances decaying into top-quark pairs using fully hadronic decays in pp collisions with ATLAS at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
JHEP **1301**, 116 (2013).
81. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of isolated-photon pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1301**, 086 (2013).
82. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Searches for heavy long-lived sleptons and R-Hadrons with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Phys. Lett. B **720**, 277 (2013).

83. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for supersymmetry in events with photons, bottom quarks, and missing transverse momentum in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **719**, 261 (2013).
84. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for contact interactions and large extra dimensions in dilepton events from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **87**, 015010 (2013).
85. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for Extra Dimensions in diphoton events using proton-proton collisions recorded at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC,”
New J. Phys. **15**, 043007 (2013).
86. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for long-lived, heavy particles in final states with a muon and multi-track displaced vertex in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **719**, 280 (2013).
87. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“A search for high-mass resonances decaying to $\tau^+\tau^-$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **719**, 242 (2013).
88. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of Z boson Production in Pb+Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS Detector,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 022301 (2013).
89. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Jet energy resolution in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV recorded in 2010 with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2306 (2013).
90. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for pair production of heavy top-like quarks decaying to a high- p_T W boson and a b quark in the lepton plus jets final state at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **718**, 1284 (2013).
91. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for pair-produced massive coloured scalars in four-jet final states with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2263 (2013).

92. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for dark matter candidates and large extra dimensions in events with a jet and missing transverse momentum with the ATLAS detector,”
JHEP **1304**, 075 (2013).
93. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of W^+W^- production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous WWZ and $WW\gamma$ couplings,”
Phys. Rev. D **87**, 112001 (2013). [Erratum-ibid. D **88**, 079906 (2013).]
94. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for direct chargino production in anomaly-mediated supersymmetry breaking models based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
JHEP **1301**, 131 (2013).
95. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“ATLAS search for new phenomena in dijet mass and angular distributions using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
JHEP **1301**, 029 (2013).
96. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the flavour composition of dijet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2301 (2013).
97. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for displaced muonic lepton jets from light Higgs boson decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **721**, 32 (2013).
98. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for dark matter candidates and large extra dimensions in events with a photon and missing transverse momentum in pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. Lett. **110**, 011802 (2013).
99. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for light top squark pair production in final states with leptons and b -jets with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions,”
Phys. Lett. B **720**, 13 (2013).
100. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for direct production of charginos and neutralinos in events with three leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **718**, 841 (2013).

101. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for direct slepton and gaugino production in final states with two leptons and missing transverse momentum with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Phys. Lett. B **718**, 879 (2013).
102. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for new phenomena in the $WW \rightarrow \ell\nu\ell'\nu'$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **718**, 860 (2013).
103. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the jet radius and transverse momentum dependence of inclusive jet suppression in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector,”
Phys. Lett. B **719**, 220 (2013).
104. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collision data,”
Phys. Rev. D **87**, 012008 (2013).
105. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of charged-particle event shape variables in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton interactions with the ATLAS detector,”
Phys. Rev. D **88**, 032004 (2013).
106. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurements of top quark pair relative differential cross-sections with ATLAS in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2261 (2013).
107. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Measurement of the Λ_b lifetime and mass in the ATLAS experiment,”
Phys. Rev. D **87**, 032002 (2013).
108. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Single hadron response measurement and calorimeter jet energy scale uncertainty with the ATLAS detector at the LHC,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2305 (2013).
109. G. Aad, K. Hara, S.H. Kim, F. Ukegawa *et al.* [ATLAS Collaboration],
“Jet energy measurement with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV,”
Eur. Phys. J. C **73**, 2304 (2013).
110. S. Gonzalez-Sevilla, K. Hara *et al.*,
“A double-sided silicon micro-strip Super-Module for the ATLAS Inner Detector

upgrade in the High-Luminosity LHC”,
JINST 9 P02003 (2014).

111. G. Barbier, K. Hara *et al.*,
“Mechanical studies towards a silicon micro-strip super module for the ATLAS inner detector upgrade at the high luminosity LHC”,
JINST 9 P04018 (2014).
112. T. Miyoshi, K. Hara *et al.*,
“Monolithic pixel detectors with 0.2 um FD-SOI pixel process technology”,
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A732, 540-534 (2013).
113. T. Kubota, K. Hara *et al.*,
“Beam test of novel n-in-p strip sensors for high radiation environment”,
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A731, 247-251 (2013) .
114. Y. Unno, K. Hara *et al.*,
“Evaluation of test structures for the novel n-in-p pixel and strip sensors for very high radiation environments”,
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A731, 183-188 (2013) .
115. K. Hara and Y. Ikegami,
“Silicon strip detectors for ATLAS at the HL-LHC upgrade”,
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A731 242-246, (2013).
116. H. Fujii, K. Hara, S.H. Kim *et al.*,
“Performance of a remotely located muon radiography system to identify the inner structure of a nuclear plant”,
Prog. Theor. Exp. Phys. 073C01 (2013).

(2) 学会・研究会での講演（国内）

1. 金信弘：宇宙背景ニュートリノ崩壊探索，
研究会「ニュートリノフロンティアの融合と進化」（2013年4月21日），東京大学理学部1号館小柴ホール。
2. 佐藤構二：CDF 実験でのヒッグス粒子の研究
日本物理学会 2013 年会秋季大会（2013 年 9 月 20 日-23 日），高知大学朝倉キャンパス。
3. 木内健司：LHC-ATLAS 実験における $ZH \rightarrow \nu\nu bb$ 過程を用いた標準模型ヒッグス粒子の探索
日本物理学会 2013 年会秋季大会（2013 年 9 月 20 日-23 日），高知大学朝倉キャンパス。
4. 萩原睦人：n-in-p 型 Pixel 検出器のビーム試験による性能評価
日本物理学会 2013 年会秋季大会（2013 年 9 月 20 日-23 日），高知大学朝倉キャンパス。
5. 本多俊介：2 層埋込酸化膜構造をもつ SOI ピクセル検出器の TID 放射線耐性の評価 (II)
日本物理学会 2013 年会秋季大会（2013 年 9 月 20 日-23 日），高知大学朝倉キャンパス。

6. 奥平琢也：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 2013 年秋季大会（2013 年 9 月 20 日–23 日），高知大学朝倉キャンパス.
7. 笠原宏太：ニュートリノ崩壊からの遠赤外光探索のための SOI-STJ の研究開発，
日本物理学会 2013 年秋季大会（2013 年 9 月 20 日–23 日），高知大学朝倉キャンパス.
8. 武内勇司：宇宙背景ニュートリノ崩壊探索ロケット実験設計と検出器開発，
新学術領域研究「ニュートリノフロンティア」研究会（2013 年 12 月 7–8 日），東京都府中市クロス・ウェーブ府中.
9. 笠原宏太：SOI-STJ 検出器開発，
新学術領域研究「ニュートリノフロンティア」研究会（2013 年 12 月 7–8 日），東京都府中市クロス・ウェーブ府中.
10. 奥平琢也：Nb/Al-STJ、Hf-STJ 検出器開発，
新学術領域研究「ニュートリノフロンティア」研究会（2013 年 12 月 7–8 日），東京都府中市クロス・ウェーブ府中.
11. 萩原睦人：シリコンマイクロストリップセンサーの放射線影響の評価
日本物理学会第 69 回年次大会（2014 年 3 月 27 日–30 日），東海大学湘南キャンパス.
12. 本多俊介：2 層埋込酸化膜構造をもつ SOI ピクセル検出器の TID 放射線耐性の評価
(III)
日本物理学会第 69 回年次大会（2014 年 3 月 27 日–30 日），東海大学湘南キャンパス.
13. 奥平琢也：ニュートリノ崩壊光探索のための Nb/Al-STJ の研究開発 IV，
日本物理学会第 69 回年次大会（2014 年 3 月 27 日–30 日），東海大学湘南キャンパス.
14. 笠原宏太：ニュートリノ崩壊からの遠赤外光探索のための SOI-STJ 検出器の研究開発
II，
日本物理学会第 69 回年次大会（2014 年 3 月 27 日–30 日），東海大学湘南キャンパス.
15. 受川史彦：筑波大学朝永記念室の現状
日本物理学会第 69 回年次大会（2014 年 3 月 27 日–30 日），東海大学湘南キャンパス.

(3) 国際会議・研究会での口頭発表

1. K. Hara *et al.*, “Development of SOI cryogenic far-infrared photon detector (Nb/Al-STJ) for neutrino mass measurement”,
SOI Collaboration Workshop, May 6, 2013, Krakow, Poland.
2. K. Sato, “Studies of the Higgs boson at the Tevatron,”
25th Recontres de Blois, Particle Physics and Cosmology, May 26 - 31, 2013, Blois, France.
3. K. Sato, “Higgs boson physics at the Tevatron,”
Recontres du Vietnam, Windows on the Universe, August 11 - 17, 2013, Quy Nhon, Vietnam.

4. K. Hara *et al.*, “Total Ionization Effects in Double SOI Sensor”,
IEEE NS Symposium, Oct 31, 2013, Seoul, Korea.
5. S. Kim: “Search for Cosmic Background Neutrino Decay”,
12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12), July 14–19, 2013, Chiba, Japan.
6. Y. Takeuchi: “Search for Cosmic Background Neutrino Decay with STJ detectors”,
Microwave Kinetic Inductance Detectors and Cosmology, August 26–27, 2013, Fer-
milab, Batavia, IL, USA

(4) 国際会議・研究会でのポスター発表

1. M. Konuma, K. Kanaya, F. Ukegawa *et al.*, “The Legacy of Hideki Yukawa, Sin-itiro
Tomonaga, and Shoichi Sakata: Some Aspects from their Archives”,
12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12), July 14–19, 2013, Chiba, Japan.
2. Y. Takaiwa, K. Kanaya, F. Ukegawa *et al.*, “Memorial Archival Libraries of Yukawa,
Tomonaga, and Sakata”,
12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12), July 14–19, 2013, Chiba, Japan.
3. Y. Takeuchi: “Search for Cosmic Background Neutrino Decay”,
International Conference on Cosmic Microwave Background (CMB2013), June 10–
14, 2013, Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University (OIST),
Okinawa, Japan.
4. K. Kasahara: “Development of Superconducting Tunnel Junction Photon Detector
on SOI Preamplifier Board to Search for Radiative Decays of Cosmic Background
Neutrino”,
International Conference on Cosmic Microwave Background (CMB2013), June 10–
14, 2013, Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University (OIST),
Okinawa, Japan.
5. T. Okudaira: “Development of Nb/Al superconducting tunnel junction detector of
a single infrared photon to search for radiative decay of the cosmic background
neutrinos”,
International Conference on Cosmic Microwave Background (CMB2013), June 10–
14, 2013, Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University (OIST),
Okinawa, Japan.
6. S. Kim: “Search for Cosmic Background Neutrino Decay with STJ detectors”,
SPICA International Conference 2013, June 18–21, 2013, University of Tokyo, Tokyo,
Japan.

(5) 会議・研究会報告書

1. S. Honda, K. Hara *et al.*, “Total Ionization Effects in Double SOI Sensor”,
IEEE Nucl. Sci. Symp., Oct 31, 2013, Seoul, Korea.

2. S. Kim *et al.* : "Search for Cosmic Background Neutrino Decay",
JPS Conf. Proc. 1, 013127 (2014), Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics
Conference (APPC12), July 14–19, 2013, Chiba, Japan.
3. M. Konuma, K. Kanaya, F. Ukegawa *et al.*, "The Legacy of Hideki Yukawa, Sin-itiro
Tomonaga, and Shoichi Sakata: Some Aspects from their Archives",
JPS Conf. Proc. 1, 013009 (2014), Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics
Conference (APPC12), July 14–19, 2013, Chiba, Japan.
4. Y. Takaiwa, K. Kanaya, F. Ukegawa *et al.*, "Memorial Archival Libraries of Yukawa,
Tomonaga, and Sakata",
JPS Conf. Proc. 1, 019005 (2014), Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics
Conference (APPC12), July 14–19, 2013, Chiba, Japan.

(6) 学位論文

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, 2014年2月。

1. 伊藤史哲：ミューオン・ラジオグラフィック・システムを用いた原子炉内部構造測定
2. 笠原宏太：ニュートリノ崩壊からの遠赤外光探索のための SOI-STJ 一体型検出器の開発研究

【構成員の異動】

2014年2月に武政健一が研究員として着任。