



平成29年度（2017年度）
活動報告書

九州大学先端素粒子物理研究センター
Research Center for Advanced Particle Physics, Kyushu University

平成31年3月7日

目次

第1章	はじめに	2
第2章	構成員リスト	4
2.1	テラスケール物理実験部門	4
2.2	次世代加速器実験推進部門	4
2.3	テラスケール物理理論部門	5
2.4	先端素粒子物理研究センター委員会委員名簿	5
2.5	研究支援スタッフ	5
第3章	活動報告	6
3.1	LHC-ATLAS 実験	6
3.1.1	シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良	6
3.1.2	ヒッグス粒子の性質の研究	7
3.1.3	新粒子の探索	7
3.1.4	検出器アップグレード計画	7
3.1.5	研究業績	8
3.2	ILC 計画	22
3.2.1	シリコン電磁カロリメータ読み出し ASIC の性能評価およびプロトタイプ開発	22
3.2.2	高時間分解能、高空間分解能のシリコン検出器の開発研究	23
3.2.3	ILC における 2 フェルミオン終状態の精密測定を用いた新物理探索感度の研究	24
3.2.4	研究業績	26
3.3	その他の活動	29
3.3.1	J-PARC での素粒子実験	29
3.3.2	アウトリーチ活動	35
3.4	競争的資金獲得状況	37

第1章 はじめに

九州大学先端素粒子物理研究センターは、ビッグサイエンスとしての素粒子物理学を推進するため、学内共同教育研究施設として2012年10月に設立されました。本センター第1期の時限は2018年3月までとなっており、本報告書は、その最終年度の活動記録をまとめたものです。ここでは、本センターに関する現在の状況を簡単に報告いたします。

まずは、本センターの更新設置が2018年度から5年間の時限で認められましたことを報告します。エネルギーフロンティアの素粒子実験に関する2部門を継続し、その上でJ-PARCにおける素粒子物理・物質生命科学のための部門を新設、さらに理論部門の名称を更新しております。その結果、4部門の構成となり、各部門の役割は以下の通りです。

1. テラスケール物理実験部門：LHC 加速器でのアトラス実験に参加し、測定器の運転・データ収集と物理解析、および HL-LHC 計画のためのアトラス測定器アップグレードを行う。
2. 次世代加速器実験推進部門：次世代加速器 ILC で行う実験のための物理研究と測定器の開発設計を行い、国際共同実験の中核を担う研究拠点の形成を推進する。
3. 先端素粒子物理理論部門：素粒子物理の理論的研究。実験部門と協力して標準理論を超える新しい理論・モデルの構築等を行う。
4. 大強度量子ビーム実験部門：J-PARC 実験施設で行う大強度量子ビームを用いた素粒子物理と物質生命科学の実験的研究を推進する。J-PARC の九州大学分室の運営を担当する。

以下に、各部門の簡単な説明を加えます。

1. のテラスケール物理実験部門が推進する CERN 研究所 LHC 加速器でのアトラス実験は、2015 年から 2018 年までの 4 年間、重心系エネルギー 13 TeV での衝突実験 (Run 2) を行いました。本部門の二人の助教が実験現場の CERN に常駐して重要測定器の運転の先頭に立ち、物理解析でも大きな貢献を行いました。博士課程大学院生 1 名も常駐し、近々博士論文を完成させる予定です。アトラス実験は、ヒッグス粒子測定の精度向上と新たなチャンネルの開拓、新粒子探索の種類や質量領域の拡張など、最先端の成果を続々と生み出し、年間 100 本程度の学術論文を発表しています。研究分析ツール SciVal のデータによると 2015 年

から2018年の出版論文について、論文数、引用数において九州大学の上位4名を本センター教員(川越、音野、織田、東城)が占めており、そのほとんどはアトラス実験の成果です。また、九州大学からの論文全体に対するアトラス実験論文の割合は、論文数において2.2%、引用数において10%となっております。大学の評価を高める上で、十分な貢献をしていると自負しております。LHC加速器は、2021年からエネルギーを14 TeVで運転を行います(Run 3)。その後の計画として、衝突輝度を現在の約10倍に高める高輝度LHC(HL-LHC)計画が承認されており、2030年台後半まで運転される予定です。今後もアトラス実験はエネルギーフロンティアの素粒子実験として世界的な注目を集め続けるでしょう。その中で本センターは、測定器の運転、物理解析、測定器アップグレードにおいて貢献を続けていきます。

2.の次世代加速器実験推進部門が推進する国際リニアコライダー(ILC)計画は、文部科学省に設置された「ILCに関する有識者会議」での検討がまとめられ、2018年7月に公表されました。それを受けて日本学術会議で課題別委員会による検討が行われ、その所見が2018年12月に公表されました。この委員会で「標準模型を超える新物理」追究というILC計画の学術的意義が評価された一方で、ILC計画の日本誘致実現に向けて、特に国際プロジェクトとしての経費分担や国際的推進体制についての課題も指摘されました。それらの問題を解決するためにも、ILC計画の実現に向けて、日本政府が前向きな意思表示(Letter of Interest)を行うことに期待しています。それによって、国際プロジェクトとしてILCを進めるための公式な政府間協議が始められます(この段階では、まだ建設決定ではありません)。本センターは、ILC計画の実現に向けて、そしてILCの物理と測定器の国際研究拠点を目指して、さらに活発な活動を行なっていきます。なお、2018年5月に福岡国際会議場で開催された国際会議Asian Linear Collider Workshop 2018(ALCW2018)を主催したことを申し添えます。

3.の理論部門は、従来の「テラスケール物理理論部門」から「先端素粒子物理理論部門」に名称変更しました。これは、既存の実験2部門だけでなく、次に述べる新設実験部門にも対応していくためのものです。実験と理論の連携をさらに強化して行きたいと存じます。

4.の大強度量子ビーム実験部門が新設部門になります。九州大学の研究者は、素粒子原子核物理だけでなく、物質生命科学の分野においても、東海村J-PARCの最先端加速器を用いた多彩な研究教育活動を行っています。これらの研究教育活動をさらに発展させていくため、その拠点となる九州大学の分室をJ-PARCに設置することとなり、2018年3月に久保千春九州大学総長と山内正則高エネルギー加速器研究機構長による分室設置の調印式が執り行われました。現在、九州大学の研究者・大学院生等に広くご利用いただくため、分室の整備を行っている段階です。

引き続き、みなさまのご支援ご協力、よろしくお願いいたします。

2019年1月

先端素粒子物理研究センター長 川越清以

第2章 構成員リスト

2.1 テラスケール物理実験部門

東城 順治	准教授	理学研究院 物理学部門	複担
織田 勸	助教	理学研究院 物理学部門	複担
音野 瑛俊	助教	先端素粒子物理研究センター	専任

2.2 次世代加速器実験推進部門

川越 清以 (センター長)	教授	理学研究院 物理学部門	複担
清水 洋	教授	理学研究院 附属地震火山観測研究センター	協力
塚原 健一	教授	工学研究院 附属アジア防災研究センター	複担
三谷 泰浩	教授	工学研究院 附属アジア防災研究センター	複担
渡邊 公一郎	教授	工学研究院 地球資源システム工学部門	協力
藤光 康宏	教授	工学研究院 地球資源システム工学部門	協力
高田 仁	教授	経済学研究院 産業マネジメント部門	複担
大枝 良直	准教授	工学研究院 環境社会部門	協力
外井 哲志	准教授	工学研究院 環境社会部門	協力
樋口 明彦	准教授	工学研究院 環境社会部門	協力
広城 吉成	准教授	工学研究院 環境社会部門	協力
吉岡 瑞樹	准教授	先端素粒子物理研究センター	専任
末原 大幹	助教	理学研究院 物理学部門	複担
山中 隆志	特任助教	先端素粒子物理研究センター	専任
杉山 晃	客員教授	佐賀大学 理工学部 物理科学科	

2.3 テラスケール物理理論部門

鈴木 博	教授	理学研究院	物理学部門	複担
原田 恒司	教授	基幹教育院	教育実践部	複担
大河内 豊	准教授	基幹教育院	教育実践部	複担
奥村 健一	助教	理学研究院	物理学部門	複担

2.4 先端素粒子物理研究センター委員会委員名簿

川越 清以 (センター長)	教授	理学研究院	物理学部門	複担
高田 仁	教授	経済学研究院	産業マネジメント部門	複担
鈴木 博	教授	理学研究院	物理学部門	複担
塚原 健一	教授	工学研究院	附属アジア防災研究センター	複担
三谷 泰浩	教授	工学研究院	附属アジア防災研究センター	複担
原田 恒司	教授	基幹教育院	教育実践部	複担
吉岡 瑞樹	准教授	先端素粒子物理研究センター		専任
東城 順治	准教授	理学研究院	物理学部門	複担
大河内 豊	准教授	基幹教育院	教育実践部	複担
野呂 哲夫	教授	理学研究院	物理学部門	
石橋 健二	教授	工学研究院		
黒岩 由美	事務長	理学部等事務部		

2.5 研究支援スタッフ

重松 さおり

第3章 活動報告

3.1 LHC-ATLAS 実験

スイス・ジュネーブ郊外にある欧州合同原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) において、国際共同研究 ATLAS 実験を推進している。LHC 加速器では、2015 年から設計値に近い重心系エネルギー 13 TeV での運転を再開し、実験を継続している。今年度は、シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良、ヒッグス粒子の性質の研究、新粒子の探索、検出器アップグレード計画を遂行した。

3.1.1 シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良

ビーム衝突点から発生する多数の荷電粒子の検出において、ATLAS 検出器最内層に配置した内部飛跡検出器が重要な役割を果たす。我々のグループは、内部飛跡検出器の 1 つであるシリコン半導体飛跡検出器 (SemiConductor Tracker : SCT) の運転に精力的に取り組んできた。SCT 検出器の運転に参加する国内研究機関の中で、九州大学は唯一スタッフが CERN に常駐する大学である。2013 年までは東城が国内研究機関が連携して研究を進める上での中心となり、それ以降は音野がその役割を引き継いでいる。音野は、2013 年 11 月より SCT data quality coordinator を務め、2015 年の LHC の運転開始以降、CERN に常駐をしている博士 3 年の調と共に、ビーム衝突時における SCT 検出器の性能評価を行い、順調なデータ取得を実現した。2016 年 2 月から、織田が SCT 検出器の offline software coordinator を務め、検出器ソフトウェア全般において責任を持っている。音野は 2016 年 6 月から SCT 検出器の副運転責任者、2017 年 1 月から 10 月まで運転責任者を務めた。2017 年、LHC の単位時間あたりの陽子同士の同時衝突数 (瞬間輝度) は $20.6 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ に到達し、設計値を $10 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ を大きく超えて 1 年間で 50.4 fb^{-1} と過去最高のデータを供給した。検出器にとっては厳しい環境の中、SCT が原因で取得できなかったデータの割合は 0.1% 以下、取得データのうち SCT の問題で物理解析に使用できなかった割合も 0.1% 以下に留めることができた。ATLAS 実験全体としてのこれらの割合は、6.6% 及び 6.4% であることから SCT が優れた性能を発揮できていることがわかる。我々のグループは、今後も引き続き SCT 検出器に高い性能を発揮させるべく、その運転に大きく貢献してゆく予定である。

3.1.2 ヒッグス粒子の性質の研究

我々のグループは、ヒッグス粒子が Z 粒子対に崩壊し、各 Z 粒子がレプトン (ℓ , 電子またはミューオン) 対に崩壊する、4レプトンチャンネル ($H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$) の解析を 2012 年から行っている。このチャンネルには背景事象が少なく、ヒッグス粒子を完全に再構成できるという利点がある。織田は DAOD と呼ばれる解析用データの作成を担当した。2016 年 10 月までに取得した積分ルミノシティ 36.1 fb^{-1} の重心系エネルギー 13 TeV のデータを用いた解析結果を 2017 年 5 月から 2018 年 3 月にかけて公表した。ヒッグス粒子の生成断面積は $68_{-10}^{+11} \text{ pb}$ であり、素粒子の標準模型に基づく理論計算の結果 $55.6 \pm 2.5 \text{ pb}$ とおおむね一致している。生成過程ごとの生成断面積などのヒッグス粒子の性質は 2σ の不定性の範囲内で標準模型の予測と一致した。質量は $124.88 \pm 0.37(\pm 0.37(\text{stat}) \pm 0.05(\text{syst})) \text{ GeV}$ と求まり、ヒッグス粒子が光子対に崩壊するチャンネルでの測定結果 $125.11 \pm 0.42(\pm 0.21(\text{stat}) \pm 0.36(\text{syst})) \text{ GeV}$ より、系統誤差 (syst) が小さいために、合計の誤差としても小さい結果が得られた。2017 年 11 月までに積分ルミノシティ約 86 fb^{-1} のデータを取得し、その解析を進めた。

3.1.3 新粒子の探索

ヒッグス粒子の発見によって素粒子標準模型から未発見粒子は無くなったが、謎は依然として多く残されている。一例として、ダークマターは天体観測から存在が示唆されているが候補となる粒子は素粒子標準模型に無い。LHC ではダークマターを直接生成できる可能性があるため、ATLAS 実験はこれまでも精力的に探索を行ってきた。ただし、ATLAS 実験の標準的な物理解析はヒッグス粒子のようにビーム衝突点で生成後に即座に崩壊する粒子をターゲットとしている。そこで、我々のグループでは SCT の一層目のある 300 mm までを飛程とするような長寿命の新粒子の探索に 2014 年から取り組んでいる。音野は標準模型の枠組みにある粒子の超対称性パートナーが長寿命粒子となる可能性に着目した。Run1 の取得データを用いて探索したが新粒子発見の兆候は残念ながら得られなかった。並行して、長寿命粒子を生む新たなシナリオを理論研究者らと考案し、2015 年に論文誌に受理されている。2016 年はこれらのシナリオについて実際に Run2 の取得データを用いて探索を進め、完了させた。発見には至らなかったが、2017 年 3 月の国際学会で結果を公表し、論文は 2018 年 3 月に Physics Review D 誌より出版している。

3.1.4 検出器アップグレード計画

現行の LHC 加速器は、2023 年まで運転して積分ルミノシティ 300 fb^{-1} を実験に提供する予定である。その後は、加速器改良により瞬間ルミノシティを $(5-7) \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に増強し、2026 年から高ルミノシティ LHC (HL-LHC) として再稼働させ、エネルギーフロ

ンティア物理をさらに推進する計画である。HL-LHC 計画に対応し、ATLAS 実験では検出器をアップグレードする計画を進めている。我々のグループは、内部飛跡検出器全体を高放射線耐性シリコン検出器にアップグレードする計画に参画しており、特に新型のシリコンピクセル検出器の開発・製作を担当している。今年度は、シリコンピクセル検出器の量産化に向けた組立手法に重点を置き、試作機の開発を行った。シリコンピクセル検出器は、シリコンセンサーと読み出しチップを bumps bonding で接合したセンサーモジュール、読み出し・制御用のフレキシブル基板で構成される。センサーモジュールとフレキシブル基板を絶縁性接着剤で接着し、25 μm アルミ線ワイヤーを用いたワイヤーボンディングで接合する。アルミ線ワイヤーは、保護のために樹脂で封止する。開発要素として、部材の放射線耐性、高位置精度の接着、品質管理のための検出器読み出し手法がある。センサーモジュール・接着剤・封止剤の部材については、東北大学 CYRIC 加速器施設で陽子ビーム照射を行い、耐放射線性の研究を行った。特に、接着剤については実機に使用することができる候補を選定することができた。接着手法にはステンシル法を用いる。ステンシル法は、レーザー加工でステンレスシートにパターンを形成し、そのシートを用いて塗布を行う手法であり、量産に向いている。ステンシル法を用いて、最小量の物質・接着剤の厚み・一様性・気泡排除等の要求を満たすことを実証した。高位置精度の組立では、治具の開発が鍵である。高精度機械加工による治具試作機を製作し、繰り返し位置精度の要求値である 50 μm 以内を達成することに成功した。今後、読み出し試験の手法・環境を整備し、検出器開発をさらに進展させる予定である。

3.1.5 研究業績

原著論文

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for electroweak production of supersymmetric states in scenarios with compressed mass spectra at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **97**, 052010 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy resonances decaying into a W or Z boson and a Higgs boson in final states with leptons and b -jets in 36 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, *JHEP* **1803**, 174 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Higgs boson coupling properties in the $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay channel at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS

- detector”, JHEP **1803**, 095 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of differential cross-sections of a single top quark produced in association with a W boson at $\sqrt{s} = 13$ TeV with ATLAS”, Eur. Phys. J. C **78**, 186 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter and other new phenomena in events with an energetic jet and large missing transverse momentum using the ATLAS detector”, JHEP **1801**, 126 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter produced in association with bottom or top quarks in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 18 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for doubly charged Higgs boson production in multi-lepton final states with the ATLAS detector using proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, Eur. Phys. J. C **78**, 199 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of differential cross sections of isolated-photon plus heavy-flavour jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **776**, 295 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for WW/WZ resonance production in $\ell\nu qq$ final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1803**, 042 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for pair-produced resonances in four-jet final states at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 250 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for B-L R -parity-violating top squarks in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS experiment”, Phys. Rev. D

97, 032003 (2018).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for long-lived, massive particles in events with displaced vertices and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **97**, 052012 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy resonances decaying into WW in the $e\nu\mu\nu$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 24 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in high-mass final states with a photon and a jet from pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 102 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “ $ZZ \rightarrow \ell^+\ell^-\ell'^+\ell'^-$ cross-section measurements and search for anomalous triple gauge couplings in 13 TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **97**, 032005 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for additional heavy neutral Higgs and gauge bosons in the ditau final state produced in 36 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1801**, 055 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Direct top-quark decay width measurement in the $t\bar{t}$ lepton+jets channel at $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS experiment”, Eur. Phys. J. C **78**, 129 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of τ polarisation in $Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ decays in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 163 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of quarkonium production in proton-lead and proton-proton collisions at 5.02 TeV with the ATLAS detector”,

- Eur. Phys. J. C **78**, 171 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of longitudinal flow decorrelations in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76$ and 5.02 TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 142 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for heavy ZZ and ZW resonances in the $\ell\ell qq$ and $\nu\nu qq$ final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1803**, 009 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for an invisibly decaying Higgs boson or dark matter candidates produced in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **776** 318 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the direct production of charginos and neutralinos in final states with tau leptons in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **78**, 154 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for diboson resonances with boson-tagged jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **777**, 91 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the exclusive $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ process in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **777**, 303 (2018).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of long-range multiparticle azimuthal correlations with the subevent cumulant method in pp and $p+Pb$ collisions with the ATLAS detector at the CERN Large Hadron Collider”, Phys. Rev. C **97**, 024904 (2018).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the W -boson mass in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **78**, 110 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross-section for producing a W boson in association with a single top quark in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with ATLAS”, *JHEP* **1801**, 063 (2018).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Drell-Yan triple-differential cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, *JHEP* **1712**, 059 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross-section for electroweak production of dijets in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **775**, 206 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of lepton differential distributions and the top quark mass in $t\bar{t}$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 804 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of ordered hadron chains with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **96**, 092008 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a scalar partner of the top quark in the jets plus missing transverse momentum final state at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1712**, 085 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in events with b -tagged jets and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1711**, 195 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for squarks and gluinos in events with an isolated lepton, jets, and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 13$ TeV

with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **96**, 112010 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for the $H \rightarrow b\bar{b}$ decay with the ATLAS detector”, JHEP **1712**, 024 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct top squark pair production in final states with two leptons in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 898 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of inclusive and differential cross sections in the $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1710**, 132 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena with large jet multiplicities and missing transverse momentum using large-radius jets and flavour-tagging at ATLAS in 13 TeV pp collisions”, JHEP **1712**, 034 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of top-quark pair differential cross-sections in the lepton+jets channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector”, JHEP **1711**, 191 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for the $Z\gamma$ decay mode of the Higgs boson and for new high-mass resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1710**, 112 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy resonances decaying to a W or Z boson and a Higgs boson in the $q\bar{q}^{(\prime)}b\bar{b}$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **774**, 494 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Heavy Higgs Bosons A/H Decaying to a Top Quark Pair in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS

- Detector”, Phys. Rev. Lett. **119**, 191803 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of $WW\gamma$ and $WZ\gamma$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV and search for anomalous quartic gauge couplings with the ATLAS experiment”, Eur. Phys. J. C **77**, 646 (2017).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Analysis of the Wtb vertex from the measurement of triple-differential angular decay rates of single top quarks produced in the t -channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1712**, 017 (2017).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in high-mass diphoton final states using 37 fb^{-1} of proton–proton collisions collected at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **775**, 105 (2017).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of heavy vector-like quarks decaying to high- p_T W bosons and b quarks in the lepton-plus-jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1710**, 141 (2017).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of detector-corrected observables sensitive to the anomalous production of events with jets and large missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 765 (2017).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of the material of the ATLAS inner detector for Run 2 of the LHC”, JINST **12**, P12009 (2017).
 - M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Determination of the strong coupling constant α_s from transverse energy-energy correlations in multijet events at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 872 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new high-mass phenomena in the dilepton final state using 36 fb^{-1} of proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, JHEP **1710**, 182 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for top quark decays $t \rightarrow qH$, with $H \rightarrow \gamma\gamma$, in $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ pp collisions using the ATLAS detector”, JHEP **1710**, 129 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Dark Matter Produced in Association with a Higgs Boson Decaying to $b\bar{b}$ using 36 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **119**, 181804 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet p_T correlations in Pb+Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **774**, 379 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct top squark pair production in events with a Higgs or Z boson, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector”, JHEP **08**, 006 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter in association with a Higgs boson decaying to two photons at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **96**, 112040 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in final states with two same-sign or three leptons and jets using 36 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ pp collision data with the ATLAS detector”, JHEP **1709**, 084 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive jet cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, JHEP **1709**, 020 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}\gamma$ production cross section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1711**, 086 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of $WW/WZ \rightarrow \ell\nu qq'$ production with the hadronically decaying boson reconstructed as one or two jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with ATLAS, and constraints on anomalous gauge couplings”, Eur. Phys. J. C **77**, 563 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of vector-like top quarks in events with one lepton, jets, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, JHEP **1708**, 052 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the dimuon decay of the Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. Lett. **119**, 051802 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of multi-particle azimuthal correlations in pp , p +Pb and low-multiplicity Pb+Pb collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 428 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of b -hadron pair production with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, JHEP **1711**, 062 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Identification and rejection of pile-up jets at high pseudorapidity with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 580 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Studies of $Z\gamma$ production in association with a high-mass dijet system in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1707**, 107 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in a lepton plus high jet multiplicity final state with the ATLAS experiment using $\sqrt{s} = 13$ TeV proton-proton collision data”, JHEP **1709**, 088 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of the ATLAS Track Reconstruction Algorithms in Dense Environments in LHC Run 2”, Eur. Phys. J. C **77**, 673 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter at $\sqrt{s} = 13$ TeV in final states containing an energetic photon and large missing transverse momentum with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 393 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of integrated and differential cross sections for isolated photon pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **95**, 112005 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Femtoscopia with identified charged pions in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ATLAS”, Phys. Rev. C **96**, 064908 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the k_t splitting scales in $Z \rightarrow \ell\ell$ events in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1708**, 026 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet reconstruction and performance using particle flow with the ATLAS Detector”, Eur. Phys. J. C **77**, 466 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet energy scale measurements and their systematic uncertainties in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **96**, 072002 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in dijet events using 37 fb^{-1} of pp collision data collected at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **96**, 052004 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of electroweak Wjj production and constraints on anomalous gauge couplings with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 474 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in the $\tau + \text{jets}$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ using the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **95**, 072003 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Probing the Wtb vertex structure in t-channel single-top-quark production and decay in pp collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, *JHEP* **1704**, 124 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Top-quark mass measurement in the all-hadronic $t\bar{t}$ decay channel at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, *JHEP* **1709**, 118 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of the ATLAS Transition Radiation Tracker in Run 1 of the LHC: tracker properties”, *JINST* **12**, P05002 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the production cross section of a Z boson in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 361 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the W^+W^- production cross section in pp collisions at a centre-of-mass energy of $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS experiment”, *Phys. Lett. B* **773**, 354 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Fiducial, total and differential cross-section measurements of t -channel single top-quark production in pp collisions at 8 TeV using data collected by the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 531 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for light-by-light scattering in heavy-ion collisions with the ATLAS detector at the LHC”, *Nature Phys.* **13**, 852 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet fragmentation in Pb+Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 379 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross section for inclusive isolated-photon production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **770**, 473 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of top-quark pair differential cross-sections in the $e\mu$ channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 292 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Precision measurement and interpretation of inclusive W^+ , W^- and Z/γ^* production cross sections with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 367 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the W boson polarisation in $t\bar{t}$ events from pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV in the lepton + jets channel with ATLAS”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 264 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Reconstruction of primary vertices at the ATLAS experiment in Run 1 proton-proton collisions at the LHC”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 332 (2017).

- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of the ATLAS Trigger System in 2015”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 317 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “High- E_T isolated-photon plus jets production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Nucl. Phys. B* **918**, 257 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of $W^\pm W^\pm$ vector-boson scattering and limits on anomalous quartic gauge couplings with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **96**, 012007 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet activity produced in top-quark events with an electron, a muon and two b -tagged jets in the final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 220 (2017).
- G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of algorithms that reconstruct missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions in the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 241 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of long-range azimuthal anisotropies and associated Fourier coefficients for pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV and p +Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. C* **96**, 024908 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive cross-sections of single top-quark and top-antiquark t -channel production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1704**, 086 (2017).
- M. Aaboud *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of forward-backward multiplicity correlations in lead-lead, proton-lead, and proton-proton collisions with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. C* **95**, 064914 (2017).

- G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Topological cell clustering in the ATLAS calorimeters and its performance in LHC Run 1”, *Eur. Phys. J. C* **77**, 490 (2017).
- H. Ito, O. Jinnouchi, T. Moroi, N. Nagata and H. Otono, “Extending the LHC Reach for New Physics with Sub-Millimeter Displaced Vertices”, *Phys. Lett. B* **771**, 568 (2017).

海外での講演

- Search for long-lived, massive particles in events with displaced vertices and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector :
Hiidetoshi Otono
European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP) 2017,
July 2017, Venice, Italy

国内での講演

- 超周辺衝突での光子・光子散乱
織田 勸
日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月、東京理科大学
- LHC-ATLAS 実験 Run2 におけるビーム衝突点から離れて崩壊する新粒子の探索
音野 瑛俊
日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月、東京理科大学
- Overview of the LLP searches in LHC experiments
Hiidetoshi Otono
Workshop on Long-lived Particles Searches in Collider Experiment, 2017 年 9 月、東京工業大学

3.2 ILC 計画

本センターでは、ILC のための測定器、特に電磁カロリメータの開発をフランスの研究グループと共同で行っており、本年度は、ILC 電磁カロリメータで用いる読み出し回路の開発およびプロトタイプの改良・試験を行った。平行して、電磁カロリメータにさらなる時間分解能や空間分解能を付与する新型センサーの開発も進めている。また、ILC の測定器シミュレーションを用いた物理解析にも取り組んでおり、本年度は、主に 2 フェルミオン終状態の精密測定による新物理発見感度の検討を行った。

3.2.1 シリコン電磁カロリメータ読み出し ASIC の性能評価およびプロトタイプ開発

ILC のシリコン電磁カロリメータ (SiW-ECAL) は、20~30 レイヤのサンプリングカロリメータで、吸収体にタングステン、センサーに 5 mm 角程度に分割されたシリコンパッドを用いる。センサーは導電性接着剤で PCB に接着され、PCB の裏面に実装された ASIC (特定用途向け集積回路) で増幅・デジタル化が行われる。カロリメータ構造内に ASIC を閉じ込んでしまうことで外部への読み出しライン数を抑え、大量のチャンネルの読み出しを効率よく行うことができる。

本読み出しのために SKIROC2 という ASIC がフランスで開発されており、本センターでは専用評価基板を用いて SKIROC2 の評価を行っている。SKIROC2 は BGA パッケージで提供されており、評価基板では BGA ソケット (直接半田付けも可能) を用いて疑似信号を入力した際の ASIC の信号雑音比の測定や時間分解能の測定などを行ってきた。本年度は、今後のプロトタイプの大量製作に備え、多数の ASIC を半自動的に評価する手法の開発に取り組んだ。自動性能評価のため、SKIROC2 の設定を自動でスキャンしながら疑似信号を用いて測定し、自動的に結果を蓄積するシステムを開発し、1 個の SKIROC2 を 1 時間程度で評価できるようになった。このシステムを用いて、実際に 36 個の ASIC を評価し、性能の比較を行った。本研究は SKIROC2 の大統計による性能評価および実装時のチップ選別に有益な情報となる。

また、新型プロトタイプの設計およびファームウェアの改良にも取り組んだ。まず、既存のプロトタイプ (図 3.1) のビーム試験をフランスと共同でドイツ・DESY 研究所で行い、学生を派遣して検出器の運転に貢献するとともに、得られたデータの解析も行った。今回および過去のビームテストの結果より、現行のプロトタイプには偽信号が真の信号の後に頻発する現象などの問題があることがわかっており、これらに対処するとともにより ILC 実機に近いサイズの読み出しボードの製作のため、検討および設計をフランスと共同で行った。九州大学では主に ASIC が実装された基板と外部のシステムを接続する部分の開発を新規に行い、日本で製作してフランスにも供給した。また、プロトタイプの動作に用いる FPGA ファーム

ウェアの開発にも携わった。本センターでは、読み出し基板に実装されている IC と FPGA を通信させ IC から固有 ID および動作温度を読み出す機能の実装を行った。

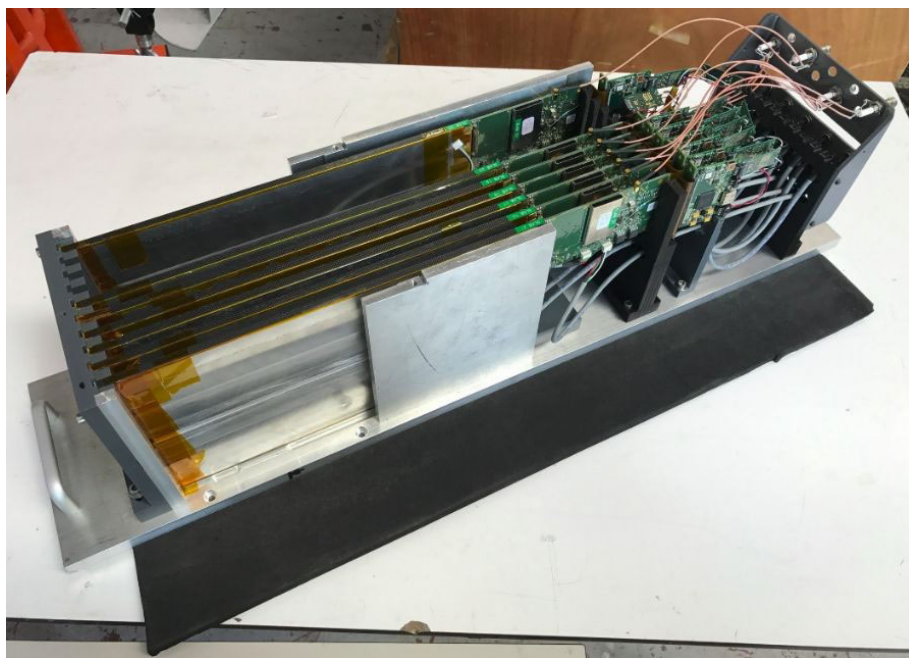


図 3.1: 2017 年のビームテストに用いられたシリコン電磁カロリメータプロトタイプ。

3.2.2 高時間分解能、高空間分解能のシリコン検出器の開発研究

ILC の電磁カロリメータは、ジェット中の粒子を分離しエネルギー分解能を高めるため、微細分割されたカロリメータとなっている。センサーに用いるシリコンパッド検出器のオプションとして、高時間分解能および高位置分解能 (のいずれか) を持たせたセンサーの研究を行っている。高位置分解能センサーには LGAD と呼ばれるアバランシェゲインを持つセンサーを用いる。LGAD を用いると検出層を薄くすることができ時間分解能が大幅に向上する。すでに数 10 ピコ秒の分解能を持つセンサーが開発されており、実用に向けた研究が進んでいる。本センターでは、本年度は LGAD と同じ構造を持つ光検出器 APD の基礎特性を調べ、放射線測定への可能性を探るとともに今後の LGAD 製作に向けた議論を進めた。

また、シリコンセンサーには PSD による位置感度を付加して、飛来する光子の位置や方向を精度よく決める等画期的な機能を持ったカロリメータの製作を検討している。PSD とは、シリコンパッドの電荷収集部を抵抗体とし、それを複数の電極へ分割して読み出しを行うこ

とで、読み出された電荷の比を用いて入射位置を算出するデバイスである。昨年度は最初のテストセンサーの測定を行い、レーザー入射にて PSD 機能を確認した。本年度は、最適な PSD 構造を探るため、さまざまな構造や抵抗値を持った PSD(図 3.2) を浜松ホトニクスと共同で設計し、製作を行った。

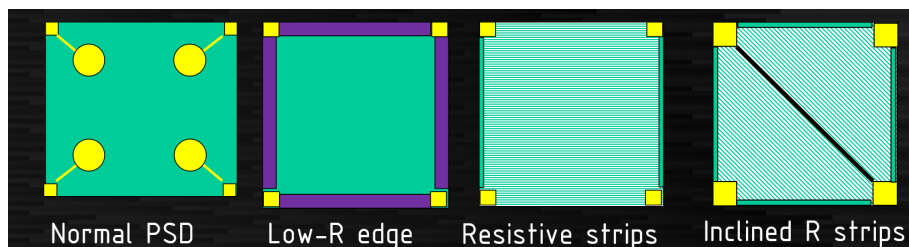


図 3.2: 本年度製作した PSD パターンの一例。左から、通常タイプ、端部を低抵抗にしたタイプ、抵抗面をストリップ状に分割したタイプ、抵抗面を斜めに分割したタイプ。

3.2.3 ILC における 2 フェルミオン終状態の精密測定を用いた新物理探索感度の研究

ILC は従来の 500 GeV から計画が変更され、まずヒッグス精密測定に適した 250 GeV で運転を行う計画となった。250 GeV でも新物理探索を行う一つの方法として、2 フェルミオン終状態の断面積および生成角度分布を精密に測定し新物理探索感度を得る方法は重要度が増している。本研究では、従来行われていなかったフルシミュレーションによる研究を行い、また 250 GeV をターゲットとして各終状態の微分断面積を求め、測定感度を求めた。また従来この解析にて検討されていた各種の Z' モデルに加え、Gauge Higgs Unification (GHU) を仮定した場合の影響、またダークマターの候補である重い中性粒子 WIMP のループによる影響による角度分布への影響も調べた。また、2 クォークの終状態においてはクォークの電荷測定が重要となるが、これも簡易的なものではあるが取り入れ、測定感度に加えた。結果として、特に GHU モデルにおいて ILC の偏極電子による効果でモデル特定が容易に可能であることを示す(図 3.3) とともに、WIMP の影響の測定においても、直接測定よりも高い感度を得られることを示した。

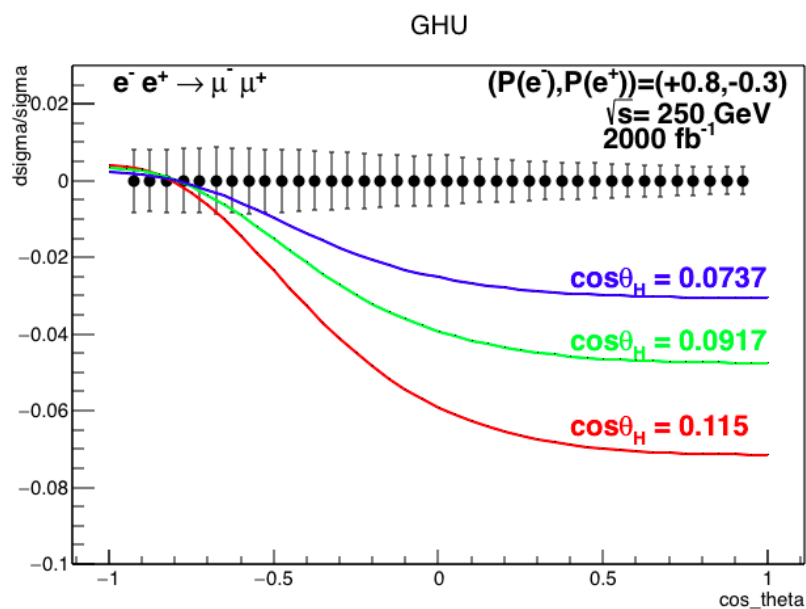


図 3.3: $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ の右偏極の場合の GHU モデルの微分断面積のずれ。エラーバーは想定される測定精度を示し、図に示される 3 つのパラメータのいずれの GHU モデルも発見・分離可能であることを示している。

3.2.4 研究業績

原著論文

- J. Repond *et al.* [CALICE Collaboration], “Construction and Response of a Highly Granular Scintillator-based Electromagnetic Calorimeter”, Nucl. Instrum. Meth. **A 887** (2018) 150-168.
- 川越清以、特集：「素粒子物理の現状と展望」－標準理論を超えた次なるステージへ－「エネルギーフロンティア実験とこれからの素粒子像」数理科学 2018年1月号 No.655

Proceedings

- V. Balagura, S. Bilokin, J. Bonis, V. Boudry, J.-C. Brient, S. Callier, T. Cheng, R. Cornat, C. De La Taille, T.H. Doan, M. Frotin, F. Gastaldi, H. Hirai, S. Jain, Sh. Jain, D. Lacour, L. Lavergne, A. Lleres, F. Magniette, L. Mastrolorenzo, J. Nanni, R. Poeschl, A. Pozdnyakov, A. Psallidas, M. Ruan, M. Rubio-Roy, N. Seguin-Moreau, K. Shpak, T. Suehara, A. Thiebault, J. Wright, D. Yu, “SiW ECAL for future e^+e^- collider”, Proc. International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), 2017 JINST **12** C07013.
- T. Suehara, I. Sekiya, S. Callier, V. Balagura, V. Boudry, J.-C. Brient, C. de la Taille, K. Kawagoe, A. Irles, F. Magniette, J. Nanni, R. Poeschl, T. Yoshioka, ILD SiW-ECAL group, “Performance study of SKIROC2/A ASIC for ILD Si-W ECAL”, Proc. Calorimetry for the High Energy Frontier (CHEF2017), 2018 JINST **13** C03015
- Hiroaki Yamashiro, Kiyotomo Kawagoe, Taikan Suehara, Tamaki Yoshioka, Keisuke Fujii, Akiya Miyamoto, “Study of fermion pair productions at the ILC with center-of-mass energy of 250 GeV”, Proc. International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2017), arXiv:1801.04671

海外での講演

- The ILC project and its status:
K. Kawagoe

An invited seminar during ILD Software and Technical Meeting, April 2017, IPNL Lyon, France.

- Study of fermion pair production at the ILC at 250 GeV:
Hiroaki Yamashiro, Kiyotomo Kawagoe, Taikan Suehara, Tamaki Yoshioka, Keisuke Fujii, Akiya Miyamoto, Jacqueline Yan
2017 Americas Workshop on Linear Colliders (AWLC17), June 2017, SLAC, Menlo Park, CA, United States.
- Performance study of SKIROC2 and SKIROC2A with Power pulsing:
I. Sekiya, K. Kawagoe, T. Yoshioka, T. Suehara, H. Hirai, H. Yamashiro, C. Taille, S. Callier, ILD ECAL group
CALICE Collaboration meeting, September 2017, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
- Low Gain Avalanche Detector for ILD ECAL:
Ryosuke Mori, Hiroaki Yamashiro, Takumi Ito, Taikan Suehara, Tamaki Yoshioka, Kiyotomo Kawagoe
CALICE Collaboration meeting, September 2017, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
- SK2 Pedestal and retrigger studies:
Yu Miura *et al.*
CALICE Collaboration meeting, September 2017, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
- Plan of production of SiW-ECAL slabs in Japan:
Taikan Suehara
CALICE Collaboration meeting, September 2017, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
- Performance study of SKIROC2/A ASIC for ILD Si-W ECAL:
T. Suehara, I. Sekiya, T. Yoshioka, K. Kawagoe

Calorimetry for the High Energy Frontier (CHEF) 2017, October 2017, IPNL, Lyon, France.

- Detector Development:
K. Kawagoe
ICFA seminar, November 2017, Ottawa, Canada.
- Activities in Kyushu for SiW-ECAL:
T. Suehara, I. Sekiya, H. Yamashiro, Y. Miura, R. Mori, T. Yoshioka, K. Kawagoe
International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2017), October 2017, Strasbourg, France.
- Study of fermion pair productions at the ILC with center of mass energy of 250 GeV:
Hiroaki Yamashiro, Kiyotomo Kawagoe, Taikan Suehara, Tamaki Yoshioka, Keisuke Fujii, Akiya Miyamoto
International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2017), October 2017, Strasbourg, France.
- New SLAB and SMB production:
Taikan Suehara, Yu Miura
CALICE Collaboration meeting, March 2018, JGU Mainz, Mainz, Germany.
- Performance study of SKIROC2 & 2A:
Izumi Sekiya, Kiyotomo Kawagoe, Taikan Suehara
CALICE Collaboration meeting, March 2018, JGU Mainz, Mainz, Germany.
- Semi-automatic measurement of 36 SKIROC2A chips:
I. Sekiya, T. Suehara, Y. Miura, R. Mori, K. Kawagoe, S. Callier
CALICE Collaboration meeting, March 2018, JGU Mainz, Mainz, Germany.

国内での講演

- Power pulsing を用いた ILC 電磁カロリメーターの読み出し ASIC の性能評価
関谷泉
日本物理学会 2017 年秋期大会、2017 年 9 月、宇都宮大学
- ILC 測定器概要
川越清以
日本応用物理学会秋季講演会シンポジウム「国際リニアコライダー計画とその技術」、
2017/09/06、福岡国際会議場
- ILC シリコン電磁カロリメーターのための評価基板を用いた ASIC 検査システムの開発
関谷泉
日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月、東京理科大学
- SKIROC2 評価基板を用いたセンサー性能評価システムの開発
末原大幹
日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月、東京理科大学
- ILC シリコン電磁カロリメーターのための読み出しシステムの改良
三浦裕
日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月、東京理科大学

3.3 その他の活動

3.3.1 J-PARC での素粒子実験

本センターでは LHC-ATLAS 実験や ILC 計画のような大規模実験以外にも、比較的小規模な素粒子実験も非常に重要なものと位置づけている。具体的には、茨城県東海村の J-PARC 加速器でのミューオンや中性子を用いた素粒子実験を推進している。

ミューオンを使った素粒子実験

本センターは、素粒子標準模型 (SM) を超える物理 (BSM) を探索するため、J-PARC におけるミューオンを用いた二つの素粒子実験を推進している。一つの実験は、ハドロン実験施設で建設が進んでいる世界最高強度のパルスミューオンビームを用いて、ミューオンが電子に転換する過程を探索する COMET 実験 (J-PARC E21 実験) である。もう一つの実験は、物質・生命科学実験施設 MLF において、ミューオンの異常磁気モーメント ($g-2$) と電気双極子モーメント (EDM) を測定する muon $g-2$ /EDM 実験 (J-PARC E34 実験) である。

ミューオン-電子 ($\mu-e$) 転換過程は SM で禁止されているため、BSM の探索に非常に有効である。LHC 加速器における BSM の直接探索で到達できるエネルギースケールは $\mathcal{O}(1)$ TeV であるが、 $\mu-e$ 転換過程を用いた間接探索では $\mathcal{O}(10^3)$ TeV まで到達できる。BSM の直接探索でその兆候がまだ見えていないため、 $\mu-e$ 転換過程を用いた間接探索が注目されている。実験計画は、Phase-I と Phase-II の二段階からなる。各段階での 1 事象発見感度は、Phase-I で $\mathcal{O}(10^{-15})$ 、Phase-II で $\mathcal{O}(10^{-17})$ であり、現在の上限値 7×10^{-13} (90% CL) を最終的に 10,000 倍向上させる計画である。第一段階 (Phase-I) では、円筒型ドリフトチェンバーとトリガー検出器を組み合わせた検出器システムが主要な役割を果たす。さらに、Phase-I で初めて生成するミューオンビームの性質を詳細に調べることが不可欠であり、その研究は Phase-II へ進むためにも重要である。Phase-I におけるミューオンビームの研究と Phase-II における物理測定では、ストローチューブ飛跡検出器と電磁カロリメータを用いる計画である。

本センターの活動として、Phase-I の物理測定に用いるトリガー検出器の開発を進めている。電子をトリガーするため、UV アクリルをチェレンコフ輻射体とし、信号-背景比の向上とタイミング情報を得るため、プラスチックシンチレータを組み合わせる。光検出器としてファインメッシュ型光電子増倍管 (FM-PMT) を用いたプロトタイプ検出器の開発を進めた。特に、FM-PMT の後段に設置する前置増幅回路、放射線耐性、検出器筐体の設計に重点を置いた。前置増幅回路の開発では、レギュレータ等電子回路部品の放射線耐性が問題となる。神戸大学のタンDEM加速器施設における中性子、及び、九州大学の加速器・ビーム応用科学センターにあるガンマ線照射施設において放射線耐性試験を行いつつ、並行して、一部の部品以外は放射線耐性を持つものを選定し、試作機を製作した。今後、検出器・FM-PMT と組み合わせて、性能評価試験を行う予定である。また、前置増幅器の信号を用いてトリガーを生成し、信号の読み出しも行うため、トリガー回路 COTTRI の開発を進めた。COTTRI の試作機を製作し、前置増幅器との整合性の研究、及び、ファームウェアの開発を行った。その性能評価では、要求するレート耐性とトリガー効率を持つことを示すことができ、実機開発に向けて大きく前進した。トリガー検出器全体の設計も進行した。検出器全体を配置・支持し、実験環境下における背景事象の対する遮蔽、円筒型ドリフトチェンバー部のヘリウムに対する遮蔽を兼ね備えるデザインの開発が課題であり、引き続き開発を行っていく予定である。

さらに、Phase-Iのミューオンビームの研究、及び、Phase-IIの物理測定に用いる、電磁カロリメータの開発を進めている。電磁カロリメータは、高計数率環境下で信号電子のエネルギーを測定し、事象トリガーを生成するために重要な役割を果たす。磁場がある真空中で動作させ、高エネルギー分解能と速い時間応答を必要とするため、LYSO結晶をアバランシェ・フォトダイオード (APD) で読み出す。LYSO結晶を選定した後、ほぼ実機仕様である試作機を開発・製作し、東北大学電子光物理学研究センターにおいてビーム試験を行った。今年度はそのデータ解析を行い、その結果、エネルギー分解能・位置分解能・時間応答で要求性能を満たすことを示した。最終結果を提出するまでに必要な詳細な解析はまだ残っており、今後も継続して研究する予定である。ビーム試験の後、実機に仕様するベースラインとなる結晶、及び、その他の候補となる結晶の詳細な実験室での性能比較も行い、ベースラインとする結晶の性能が優れていることも示した。さらに、波形記録回路を改良して次期試作機を開発するため、ノイズ評価・時間較正の詳細な研究も行った。今後、検出器モジュール構造・前置増幅器・真空フィードスルー回路も含めて、改良・性能評価を行う予定である。

物質・生命科学実験施設 MLF における、ミューオンの異常磁気モーメント ($g-2$) と電気双極子モーメント (EDM) を測定する muon $g-2$ /EDM 実験 (J-PARC E34 実験) は、極冷ミューオンビームを用いた全く新しい測定原理に基づく実験である。異常磁気モーメントの測定は、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の E821 実験が 0.54 ppm の精度で SM から 3σ のずれを発表して以来、BSM の探索において注目を集めている。電気双極子モーメントの測定は、BNL E821 実験が $1.9 \times 10^{-19} e \cdot \text{cm}$ の上限値を与えたが、有限の値が BSM の存在を示唆するため、感度を向上した測定が望まれている。J-PARC muon $g-2$ /EDM 実験では、極冷ミューオンビームを用いて、収束電場なしで超高精度磁場中にミューオンを蓄積することにより、 $g-2$ を 0.1 ppm の精度で、EDM を $10^{-21} e \cdot \text{cm}$ の感度で、それぞれを分離して測定する。

本センターでは、本実験に用いるシリコンストリップ検出器を開発している。検出器は、ミューオンを蓄積する磁場内に設置し、ミューオンの崩壊で生成される陽電子の飛跡をヒット情報から再構成する。平均ヒット計数率は 1 ストリップあたり 1.2 MHz から二桁低い領域まで変動する。その環境下で計数率に対して安定であり、高検出効率が要求される。今年度は、昨年度に引き続き、シリコンストリップ検出器に用いる読み出しチップの開発を進めた。これまでに、64 チャンネルを有するアナログチップ Slit2013、128 チャンネルを有するアナログ部 Slit2014 とデジタル部 GM2DV2 を備えた混載チップ SliT128A を開発してきた。SliT128A の性能評価の結果、信号-雑音比・ゲイン・ノイズ・ダイナミックレンジにおいては要求を満たすが、パルス幅とタイムウォークでは要求を満たさなかった。そのため、改良を加えたアナログチップの SliT2016TEG を開発し、その性能評価を行った。主な変更は、微分回路を導入してゼロクロッシングを用いることにより、タイムウォークの要求を満たすことである。性能評価のための評価基板を設計・製作し、ベアチップ実装をワイヤーボンディングにより行った。暫定的な結果として、タイムウォークの要求を満たすことを示し

た。一方、ノイズの増加・バイアス供給等について課題があることが分かり、次期開発で克服する計画である。次期開発では、SiT2016TEG の結果に基づいて、アナログ・デジタル混載の実機仕様のチップを製作する。性能を満たすことを示せば、最終版のチップとなる。

さらに、シリコンストリップ検出器に用いるシリコンセンサーの開発を進めている。今年度は、実機仕様のシリコンセンサーの設計と製作を行った。センサーは、 p -in- n 型の AC 結合で、6 インチウェハ上の最大面積を利用した。ピッチは $190\ \mu\text{m}$ 、ストリップ数は 1024 本である。一つのデザインで二方向の読み出し、検出器モジュールのデザインと整合性を保つため、ダブルメタル手法を用いて読み出しパッドをセンサー外縁部に配置した。そのため、センサーを 90° 回転した場合も読み出しパッドの位置は同一である。センサーのデザインを完了後、その製作を行い、基礎的な性能評価を行った。性能評価では、プローバーを用いて、センサー背面にチャックから高電圧を印加し、プローブによる直接接触により漏れ電流・静電容量を測定し、良好な結果を得た。評価項目として、センサー全体の特性である完全空乏化電圧・漏れ電流、各ストリップの特性であるバイアス抵抗・ストリップ容量・カップリング容量・ストリップ電流等を検討した。それらを測定する計測システムを大量生産時に使用できるレベルまで開発をほぼ完了させた。

中性子を使った素粒子実験

本センターでは、茨城県東海村 J-PARC/MLF に冷中性子ビームを用いて以下の基礎物理実験を推進している。

本センターでは茨城県東海村の J-PARC 加速器を用いて中性子崩壊寿命を高精度で測定する実験を推進している。中性子寿命を導出するためには中性子のフラックスと β 崩壊の量を知る必要があるが、これまで行われてきた実験では中性子と壁との相互作用やフラックスの系統誤差が問題となっていた。これに対し、我々の実験ではフラックスと β 崩壊電子を TPC 検出器で同時測定することにより、これまでの実験に伴っていた系統誤差を回避することが可能となる。我々は、この新たな手法を用いて 0.1% の精度で中性子の寿命を測定することを目指している。本年度は既取得データの解析を集中的に行なった。詳細なデータ解析の結果、本実験による初の物理結果を公表した。またデータ解析より、検出器動作ガスで散乱された中性子が検出器壁面の LiF に衝突することにより放出されたガンマ線が叩き出すコンプトン電子が主要な背景事象（以下、ガス起因事象）であることが判明した。ガス起因事象を低減するために、低い動作ガス圧でのデータ取得を行った。本データから得られた中性子寿命は通常ガス圧での結果と誤差の範囲で無矛盾であることを示した。また、低ガス圧でのデータ取得で必須となる低発熱信号増幅器の開発および試験を行った。並行して、ソレノイド磁場を用いてガス起因事象を低減する新規実験の検討を行った。新規実験では TPC 検出器の電極位置を変更する必要があるため、検出器試作機の作製を行った。試作機の動作試験より所期の性能を満たしていることが分かったため、現在は実機の作製を開始している。また、ソ

レノイド磁場が本実験現場周辺の電子機器に与える影響をシミュレーションにより見積もった。次年度はソレノイド磁石と検出器実機の統合試験を行う予定である。

中性子吸収反応による複合核共鳴状態では部分波干渉によって空間反転対称性の破れが極めて大きく観測される場合が存在する。時間反転対称性の破れについても同様の増幅効果が現れる可能性が理論的に示唆されており、中性子の電気双極子能率を超えた感度を持ちうる。本実験は茨城県東海村の J-PARC にて行う計画だが、現在は J-PARC/MLF/BL04 で取得したデータによる標的核の選定および各種デバイス開発を行っている。本年度は、標的核候補の一つであるスズのデータ取得およびデータ解析を行った。その結果、スズの共鳴分布に角度依存性があることを世界で初めて確認した。今後はより高統計のデータを取得したのち、未知パラメータの決定を目指す。並行して、光三重励起状態を用いた動的核偏極法による中性子偏極装置の開発に着手した。本年度は結晶の作製および次年度のビーム試験に向けた各種調査を行った。

また、本センターは低エネルギーの中性子と希ガス原子の散乱によりナノメートルスケールで未知の相互作用を探索する実験計画を立案している。実験装置は全て J-PARC/MLF/BL05 に設置済みであり、本年度は昨年度に引き続きデータ取得を行い、取得データの解析を行った。解析の結果、ナノメートル以下で世界最高感度を達成し、投稿論文として公表した。今後はより小さい運動量移行領域でのデータ取得が可能となるよう実験装置の改良を行う。また、系統誤差の研究のため、ガス種を変えたデータ取得を行う。

研究業績

原著論文

- K. Oishi on behalf of the COMET collaboration StrECAL group, “Development of Electromagnetic Calorimeter Using LYSO Crystals for the COMET Experiment at J-PARC”, Proceedings of Science, EPS-HEP2017, 800 (2018).
- K. Ueno, P. Evtoukhovitch, Y. Fujii, E. Hamada, S. Mihara, A. Moiseenko, H. Nishiguchi, K. Oishi, T. Saito, A. Samartsev, J. Tojo, Z. Tsamalaidze, N. Tsverava, “Development of a thin-wall straw-tube tracker for COMET experiment”, Proceedings of Science, EPS-HEP2017, 524 (2018).
- C. C. Haddock, T. Yoshioka *et al.*,
”A Search for deviations from the inverse square law of gravity at nm range using a pulsed neutron beam”,

Phys. Rev. D **97**, 062002 (2018). DOI: 10.1103/PhysRevD.97.062002

- T. Okudaira, J. Koga, S. Takada, T. Yoshioka *et al.*,
"Angular Distribution of γ -rays from Neutron-Induced Compound States of ^{140}La ",
Phys. Rev. C **97**, 034622 (2018). DOI: 10.1103/PhysRevC.97.034622
- S. Takada, J. Koga, T. Yoshioka *et al.*,
"Characterization of Germanium Detectors for the Measurement of the Angular Dis-
tribution of Prompt gamma-rays at the ANNRI in the MLF of the J-PARC",
Journal of Instrumentation **13**(02) (2018). DOI: 10.1088/1748-0221/13/02/P02018
- K. Mishima, J. Koga, N. Sumi, S. Takada, T. Tomita, T. Yoshioka *et al.*,
"Fundamental physics activities with pulsed neutron at J-PARC (BL05)",
JPS Conference Proceedings (2017).
- N. Sumi, T. Yoshioka *et al.*,
"Precise Neutron Lifetime Measurement with a Solenoidal Coil",
JPS Conference Proceedings (2017).
- H. Shimizu, J. Koga, S. Takada, T. Yoshioka *et al.*,
"Discrete Symmetry Tests In Neutron-induced Compound States",
Proceedings of Science, Volume 281, (2017). DOI: 10.22323/1.281.0187
- N. Oi, T. Yoshioka *et al.*,
"Measurement Of Neutron Scattering With Noble Gas To Search For A Short-range
Unknown Force",
Proceedings of Science, Volume 281, (2017). DOI: 10.22323/1.281.0190
- T. Okudaira, J. Koga, S. Takada, T. Yoshioka *et al.*,
"Measurement Of Angular Correlations In The (N, γ) Reaction For T Violation
Search",
Proceedings of Science, Volume 281, (2017). DOI: 10.22323/1.281.0188

- N. Nagakura, N. Sumi, T. Tomita, T. Yoshioka *et al.*,
”Precise Neutron Lifetime Experiment Using Pulsed Neutron Beams At J-PARC”,
Proceedings of Science, Volume 281, (2017). DOI: 10.22323/1.281.0191

海外での講演

- The Muon $g-2$ /EDM Experiment at J-PARC :
Junji Tojo for the J-PARC E34 Collaboration
The 26th International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos (WIN2017),
June 2017, California, US
- Silicon Tracker for the J-PARC muon $g-2$ /EDM experiment :
Taikan Suehara for the J-PARC $g-2$ /EDM (E34) collaboration
International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics 2017
(TIPP2017), May 2017, Beijing, China
- Muon $g-2$ /EDM Measurement at J-PARC :
Takashi Yamanaka on behalf of the J-PARC E34 Collaboration
The 10th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (FPUA),
January 2018, Nagoya, Japan

3.3.2 アウトリーチ活動

サイエンスカフェ@ふくおか

福岡・佐賀に跨がる脊振山地が建設候補地の一つである国際リニアコライダー (ILC) 計画の周知・理解を目的として 2012 年 8 月より月 1 回の頻度でサイエンスカフェを開催してきた。2013 年 11 月より、「九州大学を始め県内の科学リソースを使い、多くの県民の方に科学への興味、知的好奇心を持っていただくこと」を趣旨とし、テーマを ILC に限定せずに分野の幅を広めた。本センターはサイエンスカフェの企画・立案、講師の選定・依頼、当日の司会進行までを一貫して責任担当している。これまでの参加者は、小学生から高齢者まで幅広く、毎月サイエンスカフェを楽しみにしている固定ファンの獲得にも成功している。

- 第54回 2018年2月23日
「二酸化炭素貯留の謎に迫る！～二酸化炭素地中貯留を炭素循環の視点で考える～」(参加者約40名)
講師：九州大学カーボンニュートラルエネルギー国際研究所 北村圭吾
- 第53回 2018年1月19日
「粘着・剥離の謎に迫る！～くっつくとはがれるを科学する～」(参加者約40名)
講師：九州大学工学研究院機械工学部門 山口哲生
- 第52回 2017年12月15日
「眠りを科学する！～睡眠負債、たまっていませんか？～」(参加者約40名)
講師：九州大学芸術工学研究院 元村祐貴
- 第51回 2017年11月18日
「生先端生命科学に迫る！～細胞工学から脳科学まで～」(参加者約40名)
講師：九州大学システム情報科学研究院 伊良皆啓治 講師：生産技術研究所総合バイオメディカルシステム国際研究センター 竹内昌治
- 第50回 2017年10月13日
「極微の世界に迫る！～私たちは原子でできている？～」(参加者約40名)
講師：九州大学基幹教育院 小林良彦
- 第49回 2017年9月8日
「南極の空を飛行する！～無人航空機による南極エアロゾル観測～」(参加者約40名)
講師：九州大学大学院工学研究院 東野伸一郎
- 第48回 2017年7月28日
「海洋への進出を目指す！～海中ビークル・ロボットによる海洋の調査～」(参加者約40名)
講師：九州大学大学院工学研究院 山口悟
- 第47回 2017年6月23日
「原子炉の謎に迫る！～原子核の連鎖反応を達成する仕組み～」(参加者約40名)
講師：九州大学工学研究院 藤本望
- 第46回 2017年5月26日
「ウナギの産卵の謎に迫る！～大回遊の立役者は小さな頭の幼生～」(参加者約40名)
講師：九州大学農学研究院 望岡典隆

- 第 45 回 2017 年 4 月 14 日
「燃料電池で地球を救えるか!?～アイデアとその実践～」(参加者約 40 名)
講師：九州大学大学院工学研究院 白鳥祐介

3.4 競争的資金獲得状況

- 平成 27-31 年度 科学研究費補助金・基盤研究 (S) 「ミュオン異常磁気能率の精密測定による新物理法則の探索」(分担：吉岡瑞樹)(平成 29 年度配分額：17,600 千円)
- 平成 28-30 年度 科学研究費補助金・基盤研究 (A) 「J-PARC 大強度パルス中性子を用いた中性子寿命の測定」(分担：吉岡瑞樹)(平成 29 年度配分額：1,000 千円)
- 平成 29-31 年度 科学研究費補助金・基盤研究 (B) 「時間反転対称性の破れの探索のための、偏極中性子による原子核反応の精密測定」(分担：吉岡瑞樹)(平成 29 年度配分額：700 千円)
- 平成 29 年度 九州大学 QR プログラム 「中性子寿命高精度測定実験のための新型ガス検出器の開発」(代表：吉岡瑞樹)(平成 29 年度配分額：1,125 千円)
- 平成 29-30 年度 九州大学 Progress100, 若手研究者グローバル育成型 (代表：音野瑛俊)(平成 29 年度配分額：1,992 千円)