

# 自己点検・評価に関する報告書 (2023年度)

2024年8月

東京大学素粒子物理国際研究センター

International Center for Elementary Particle Physics, The University of Tokyo

# 目次

## I. 研究活動報告

1 LHC-ATLAS 実験	1
2 MEG 実験	8
3 量子 AI	11

## II. 共同利用・共同研究拠点実施報告書（抜粋）

1 研究施設の状況	
1-1 研究施設の概要等	13
1-2 研究施設の組織等	15
1-4 研究施設の国際交流状況	18
1-5 研究施設の教育活動・人材育成	21
2 共同利用・共同研究拠点の状況	
2-1 拠点の活動状況等	22
2-2 共同利用・共同研究の実施状況	24
上記 1・2 にかかる記述様式の項目	39

## III. 研究協議会議事録

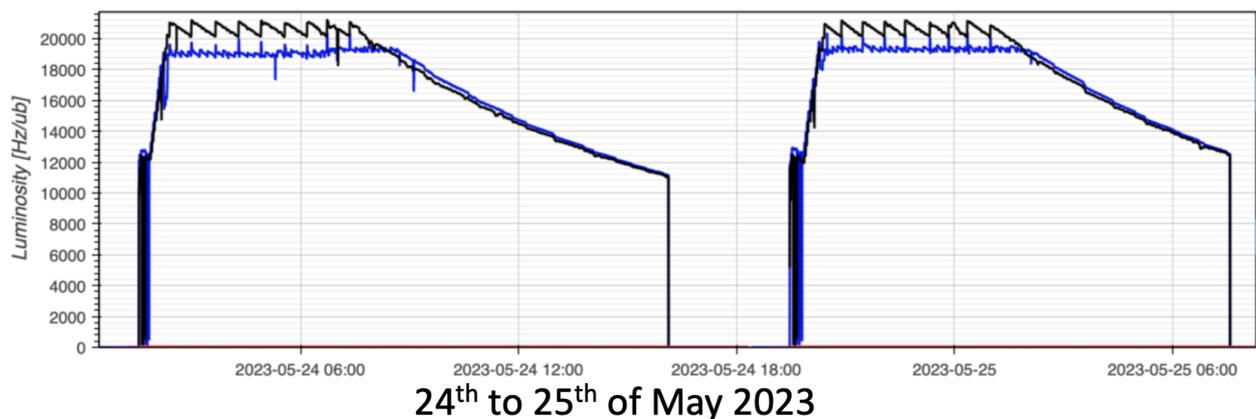
第 20 回研究協議会議事録（案）	64
-------------------	----

# I 研究活動報告

# LHC-ATLAS 加速器・測定器関連報告

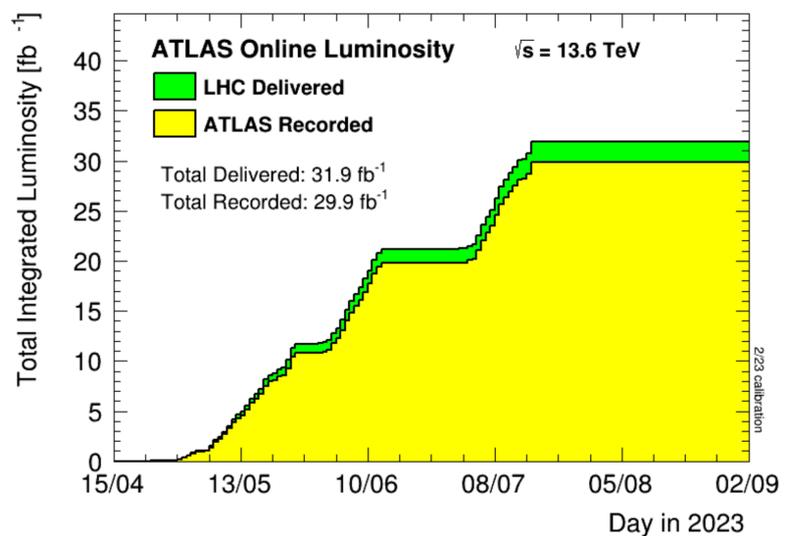
## LHC Run-3 in 2023 (Run-3 2年目)

2023年4月中旬までに加速器のコミッショニングを完了し、4/21以降、陽子衝突エネルギー13.6 TeVの物理データの取得を開始した。Long Shutdown 2 (LS2: 2019-2021)の期間に行われた入射加速器システムの性能向上を受けて、高いbeam brightnessのビームをLHCに供給できるようになり、2023年度はバンチ強度を $1.6 \times 10^{11}$  protons per bunch (ppb)まで上げた運転を日常的に行った。実験側の要請により最高瞬間輝度を $2.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 前後に抑えたが、衝突点でのビーム収束強度を徐々に強くするLuminosity Leveling手法によって、これを6時間程度キープすることが可能となり、最大で1日に $1.2 \text{ fb}^{-1}$ の陽子衝突データを供給するなど、効率的にデータを蓄積していった。



6月、7月と順調に世界最高エネルギーでの陽子衝突事象を蓄積し、さらにバンチ強度をあげて、最高루미ノシティを維持する時間をさらに長くする準備をしていた。しかしながら、7/17、加速器に供給している電力の不安定が起因となってビームがダンプされ、また、超伝導磁石がクエンチした。これらは通常のシークエンスで行われたが、一連の流れの中で、IP8の最終収束磁石の断熱真空系へのヘリウム漏れが発生した。問題への対処を最速で行うこと

で、9月にはビーム周回を再開したが、残りの運転期間が短いこともあり、当初予定していた運転プログラムを変更した。意図的に作った低輝度環境における特殊物理プログラムや、Pbイオン衝突データの収集を行い、2023年の運転を10月末に完了した。結果として、2023年は陽子衝突データとして約 $30 \text{ fb}^{-1}$ を記録し、Run-3合計で2022年とあわせて、約 $70 \text{ fb}^{-1}$ に到達した。これはRun-2 (2015-2018) で取得した総データ量の半分に相当する。

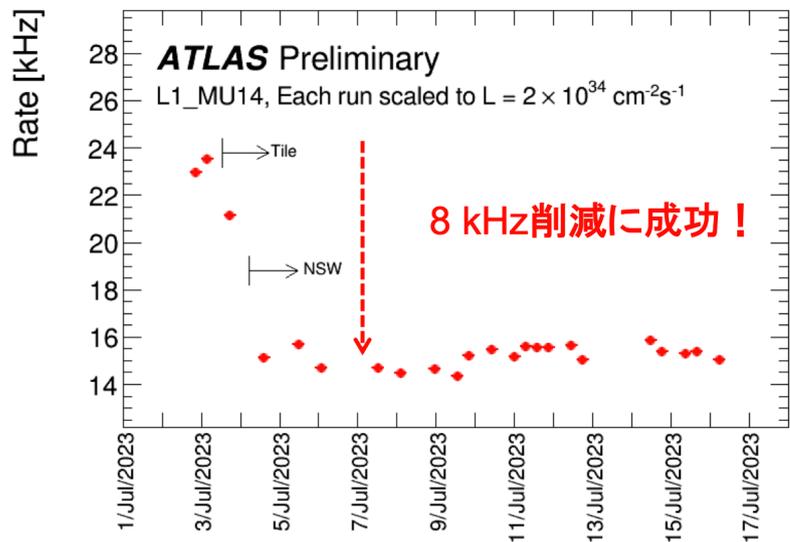


## ATLAS実験オペレーション (Run-3) と高輝度LHCプロジェクトに向けた準備

2023年度は、LHC加速器が高輝度  $2.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  を長時間キープし続ける形式での運転が常態化したため、その環境において高品質の物理解析データを高効率で安定に取得する必要があった。Run-2においても  $2.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  という値は瞬間最大輝度として経験済みだが、これが長時間継続する環境でのデータ取得は初めての経験で、挑戦的な課題であった。

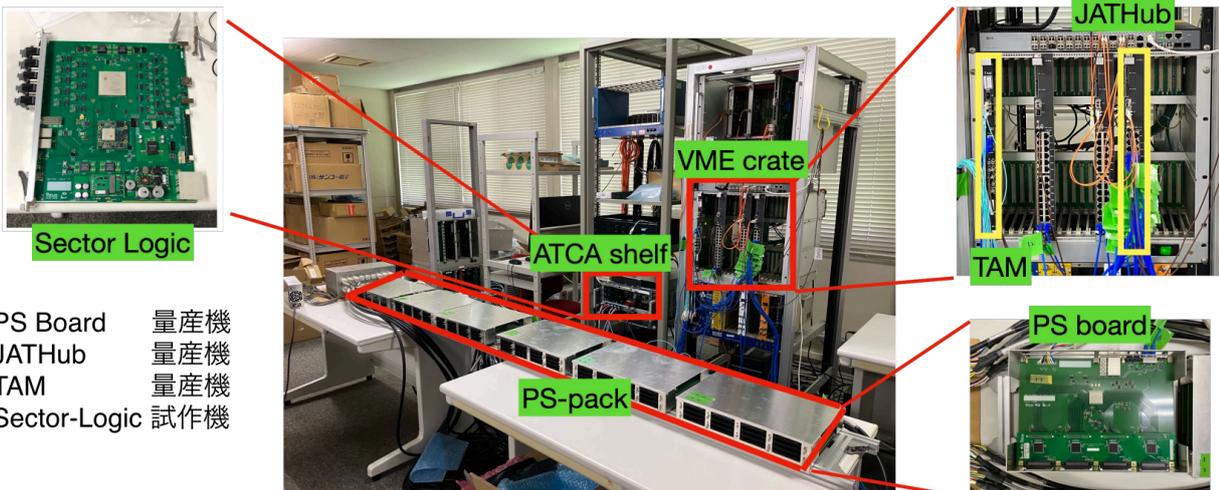
高効率でデータを収集する鍵となるのが、高い性能を持った初段トリガーシステムの構築である。現行のデータ収集システムにおいては、トリガーレートを95kHz程度に抑えることが、データ収集を効率的に行うための必要条件であることが知られている。トリガーレートを抑制する一方で、物理解析の対象となる事象を逃さないことが必要であり、ICEPPは (1) 初段Muon Triggerシステムの改良 (2) Liquid Argonカロリメーターの改良について、大きく貢献した。

右図は、2023年に (1) 初段 Muon Triggerシステムに改良を加え、トリガーレートを24kHzから15kHzまで抑えた成果を示したものである。トリガー判定を行うための情報として、Tile検出器、NSW検出器の情報を追加し、新たな判断アルゴリズムを導入することで、対象とすべき物理事象を失わないまま、トリガーレートを3割程度、削減することに成功した。(ATLAS実験全体のDAQ deadtimeを3-5%、あるいは、条件によってはそれ以上、回復したことに相当する。)



現行システムでのデータ収集と並行して、2029年開始の高輝度LHCプロジェクトに向けたミュオントリガーシステムのアップグレード準備を進めている。

- **フロントエンドシステム統合試験:** クロック位相調整等を含めた、データ収集・制御のデモンストレーションを、当該単位に含まれる全数のエレクトロニクスを組み込んだ形で、初めて行った。



- PS Board 量産機
- JATHub 量産機
- TAM 量産機
- Sector-Logic 試作機

- **先端フロントエンド回路の量産と試験システム：** 読み出しトリガー用の回路は、初期量産を開始した。合計 1,600 枚に及ぶ量産後試験を短期間で完了するための統合試験システムの開発、そのためのインフラ整備も進めた。
- **バックエンドエレクトロニクスの機能実装：** 大規模FPGAに搭載するトリガー論理ファームウェアについて、個別で開発されていた論理回路のインテグレーションを進めた。入力データ帯域だけで1.2Tbpsに達する光速トランシーバーの実装、試験や制御まで含めた必要なデータフォーマットの策定と実装、トリガー論理回路・読み出し回路・制御回路の実装を進めた。その動作検証を3つの方法（実機・Firmware シミュレーター・ソフトウェア）によって入出力の関係性を検証するテストシステムの構築を進め、実機の試験とFirmware シミュレーション、ソフトウェアで相互検証を誰でも行えるシステムを構築した。CERNにおけるシステムレベルのバックエンドエレクトロニクス試験（他のシステムとの通信試験等）も開始した。

### 主な ATLAS appointments (2023年度)

ATLAS-JAPAN 共同代表: 石野

Trigger Operation Coordinator: 野辺

Trigger Release Validation Coordinator: 奥村

Higgs Working Group Convener: 増淵

ATLAS POTS member: 石野

Jet Tagging Sub Group Convener: 野辺

Software & Computing: Speakers Committee Member: 澤田

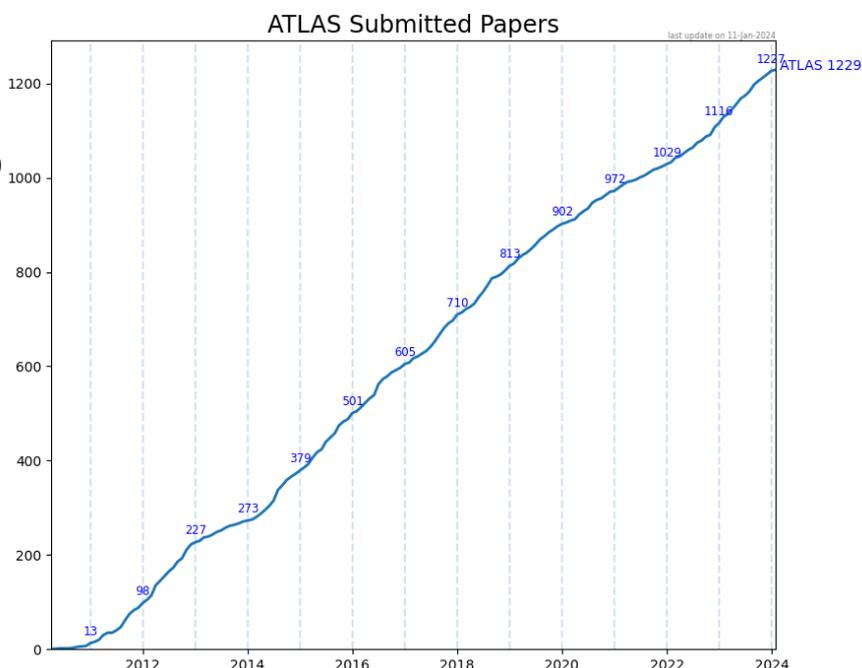
ATLAS Diversity & Inclusion Contact: 奥村

TDAQ: Level-0 Muon Trigger Convener: 石野

TDAQ: Muon Trigger Signature Coordinator: 奥村

TDAQ: Level-1 Muon Phase-I Upgrade Coordinator: 齋藤(智)

ATLAS 実験から投稿された  
論文数積算の推移  
(2024年1月11日現在、1,229編)



## アトラス地域解析センター関係報告

### Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)

Grid 利用の大半は Run2/Run3 データ解析のためのモンテカルロシミュレーションデータの生成 (MC Simulation/Reconstruction) やデータ解析のための前処理 (Group Production) に利用した。図 1 は ATLAS で同時に処理しているジョブ数を示し、常時 60~70 万程度のジョブが実行されていたことが分かる。また、これまでに蓄積されたデータ量は全体で約 840PB で、この 1 年で約 110PB 増加した。

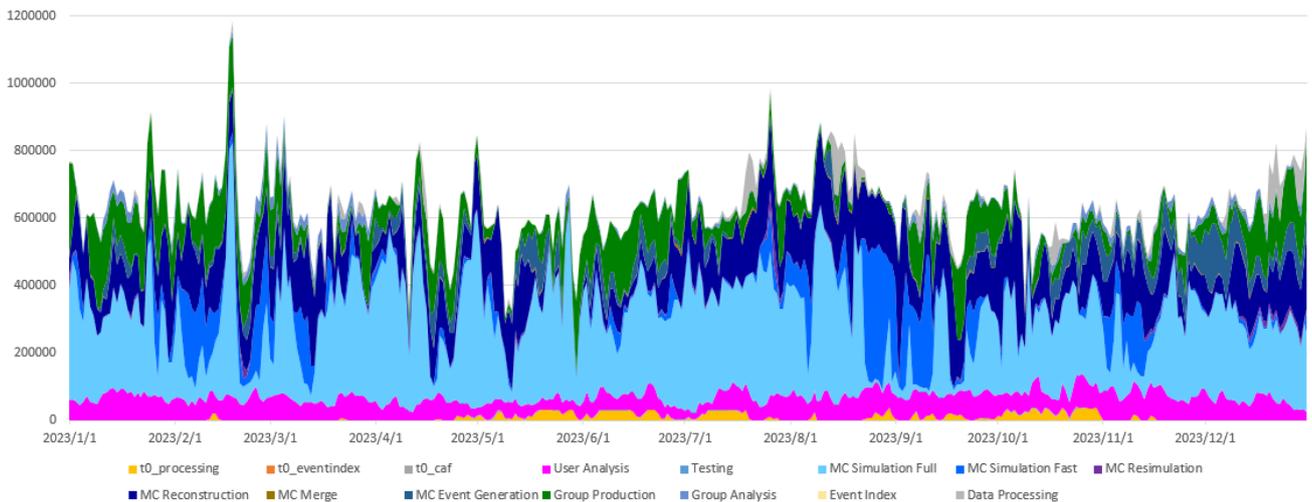


図 1. 2023 年 1 月 - 12 月の実行中のジョブ数

### 地域解析センターシステム

地域解析センター第 6 期システム (レンタル期間 2022-2024 年, Intel Xeon Gold 5320: 15808 CPU コア、約 22PB Disk ストレージ (RAID6 構成時) 等) の運用は年間を通じて順調に稼働し WLCG に大きく貢献した。表 1 は 2023 年 1 年間の運転状況を示しており、通年の絶対稼働率が 99.0%、運転予定期間に対する運転効率は 100% という実績を達成した。

表 1. 2023 年の地域解析センターシステムの絶対稼働率と運転予定期間に対する運転効率

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
稼働率	100	95	100	100	100	100	100	100	93	100	100	100	99.0
効率	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

地域解析センターと各国の大学や計算機センターとの間のデータ転送は、LHC 実験専用の仮想ネットワーク LHCONE を通して行われており、SINET が提供する欧州線や米国線 (ともに 100Gbps) を利用した。本センターはこれらの回線のメインユーザーで、ピークでは日平均 4.3GB/s (=34Gbps) を超えることもあった。2023 年の総転送量は外部から東京サイト (「世界→東京」) へ 44.3PB、その逆 (「東京→世界」) が 29.9PB で両方向とも昨年度の約 1.3 倍で、SINET を十分に活用した。東大構内ネットワークを 2024 年 1 月に 40Gbps から 100Gbps に切り替えることで、100Gbps 線をフル活用できる環境にする。

CentOS 7 のサポートの終了 (2024 年 6 月 30 日)、および、CentOS の長期サポート版の配信停止に伴い

Alma Linux OS 9 への移行のための試験を実施した。また、セキュリティ強化のため2段階認証の試験も実施している。これらの移行は2024年春に行う計画である。また、昨今の計算機関係の調達遅れと性能低下の鈍化を鑑み、地域解析センター第6期システムの契約延長を検討している。

### CERN サテライトシステム

従来通り、オンプレミス環境と CERN クラウドサービスの両方で運用を行った。合わせて約 1300 コア、ディスク約 1.5PB、EOS ストレージ約 3PB の計算機資源になる。年間を通じて ATLAS 日本の研究者が利用した。昨年度と同様、オンプレミス環境の縮小化を進め、ラック 7 台まで規模を縮小した。昨年度実施した ATLAS 日本グループのアンケート結果を踏まえ、クラウド環境が不得意とする大規模メモリーを持つノード(2 台)と GPU(Nvidia A6000 6 台, V100 1 台)をオンプレミス環境に増強した。クラウド環境については、これまでの使用実績から EOS ストレージを 1.8PB に変更し契約更新(2024-2027 年)を行った。

### HL-LHC に向けた研究開発

HL-LHC での計算機資源不足の解消やカーボンニュートラルの取り組み強化のための研究開発を行ってきた。東京大学のスパコン Oakbridge-CX を ATLAS の MC 生成のシステムに組み込み長期運用(約 1%の資源増)を行ってきたが、Oakbridge-CX のサービス停止(2023 年 9 月)に伴い、本運用を停止した。富岳と同じプロセッサを持つ次期サービス(Wisteria/BDEC-01)では、ATLAS ではその性能を十分に引き出すことができないため、運用移行を実施せず、商用クラウド等の活用を検討した。消費電力削減が期待できる ARM CPU のサーバーのテスト環境の構築を開始した。さらに、地域解析センター内に空調効率の向上のためのコールドアイルの設置を進めている(2024 年 2 月頃)。

### その他の活動

「コンピューティングサマースクール」(主催:粒子物理コンピューティング懇談会 2023 年度校長 田中純一)を 7/31-8/4 に KEK で開催した。素粒子センターから開催メンバーとして講師陣 4 名(飯山、齊藤、澤田、田中)が参加し、ATLAS ソフトウェアや機械学習、量子コンピューティングの講習を行った。素粒子センターの大学院生を含めて全国から大学院生 40 名が参加した(図 3)。参加した大学院生に実施したアンケート(回答者 20 名)では、18 名が「対面」開催、19 名が「毎年」開催することを推奨した。今後も講習会を継続的に行っていく計画である。



図 3. 2023 年コンピューティングサマースクール 受講生と講師 (KEK にて)

## LHC-ATLAS 物理解析関連報告

### ● 物理データ解析成果のハイライト

Run2 データ解析を継続しつつ、Run3 データ解析プログラムを遂行している。超対称性や新現象の探索と、精密測定（ヒッグス粒子・トップクォーク等）に取り組んでいる。以下に 2023 年度に新たに発表された結果の中から本センターが中心的な寄与を果たしたのものや、主要な結果を選択して紹介する。

#### 右巻き W ボソン・ニュートリノ探索: 以前の結果

で超過が確認された右巻き W ボソンと右巻きニュートリノの探索結果を更新した。超過が確認されていた「右巻きニュートリノが右巻き W に対して十分に軽い場合のシナリオ」に特に注目したユニークな解析手法を開発し、当該領域で特に高い感度を有する探索戦略で、新粒子を探索した。結果 Run2 全データを使った解析では標準模型期待値からの超過は確認されなかった。当該モデルに対して最も厳しい制限を出す結果となった(図 1) [Eur.

Phys. J. C 83 (2023) 1164]

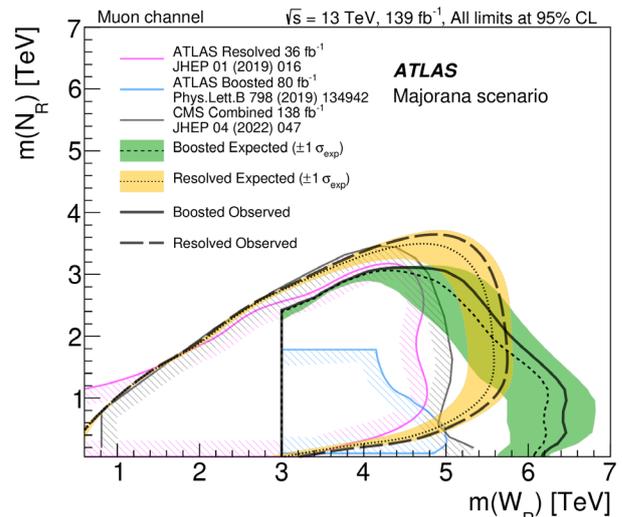


図 1. 右巻きニュートリノと随伴する右巻きニュートリノの探索結果。

#### ATLAS 前方検出器を用いた ALP 探索: 周

辺光子の電磁相互作用に伴い、ALP が光子・光子散乱として検出される過程に注目した新物理探索を行った。特に本研究を通じて、ATLAS 前方検出器(AFP)を活用することで、陽子が破壊されない相互作用(図 2)が起こった事象に対して、選択的

に極めて高い感度を有する解析手法を開発し結果を発表した[JHEP 07 (2023) 234]。この研究で得られた知見を基礎として、超対称性粒子の探索などで AFP を活用した発展研究が多く提案されており、先駆的な研究となっている。

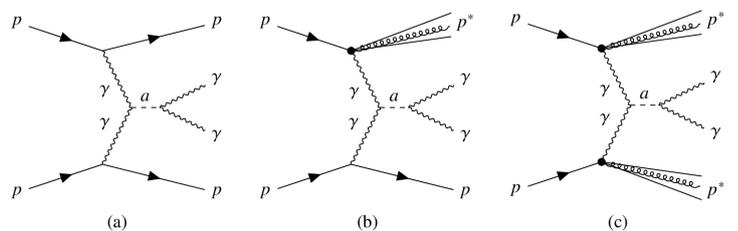


図 2. 周辺光子の電磁相互作用による ALP の生成プロセス。

#### 精密測定プログラム(質量測定):

ヒッグス粒子質量の測定の最新結果を報告した。Run2 全データを用いることに加え、電子・光子のエネルギー較正やミュオン運動量較正に関する誤差の削減に成功して精度改善を達成し精度は 0.9% に迫っている。得られた結果は  $125.11 \pm 0.11$  GeV であった[Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 251802]。またトップクォークの質量測定について、Run1 実験データを用いたトップクォーク質量解析結果として ATLAS 実験、CMS 実験でコンビネーションの解析の結果を発表し、2%

の精度に至った。トップクォークの質量 (MC 質量)として、 $172.52 \pm 0.32$  GeV の結果を得た [ATLAS-CONF-2023-066]。

### トップクォーク対システムにおける量子もつれ効果の観測

**量子もつれ効果の観測**：新しい測定としてトップクォーク対における高エネルギーでの量子もつれ観測が、スピンを観測量としたもつれの観測として達成された。トップクォークがハドロン化より十分短い時間スケールで崩壊すること、トップクォーク対生成スレッシュヨルド付近のイベントは Spin-singlet での生成が支配的で始状態のスピンの状態がよくコントロールできる。これらの事実を基に、トップクォーク対生成閾値あたりのイベントに注目し、量子もつれに感度がある測定量  $D$  を定義し観測したところ、量子もつれが発生したことを十分に示す結果を得た (図 3) [arXiv:2311.07288, Nature に投稿済み]

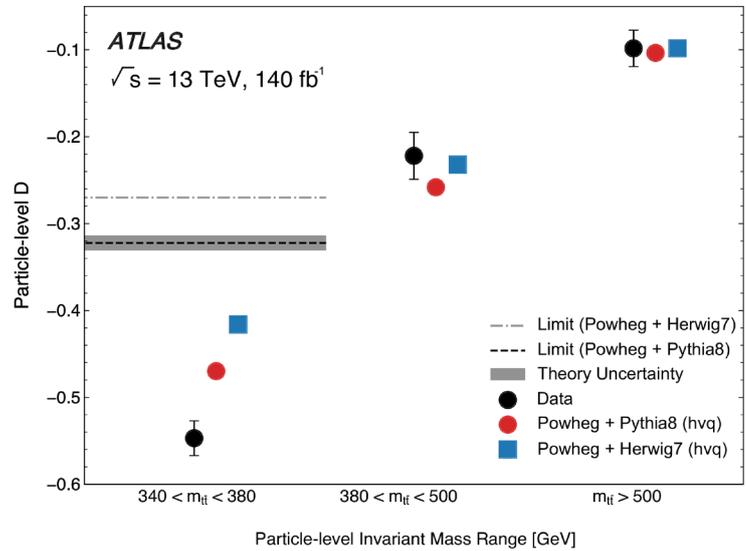


図 3. トップクォークのシステムにおける量子もつれ効果の初観測結果。Spin-Singlet での生成が支配的になる対生成スレッシュヨルドあたりのイベントがスピンの量子もつれに感度がある。測定量  $D < -0.3$  となることで、量子もつれが観測されたことの証明となる。

#### ● ATLAS におけるリーダーシップ

本センターの教員は、ヒッグス物理グループの代表を務めた増淵助教をはじめ、トリガー性能測定や、Run3 解析ソフトウェアの試験・検証等、個々の解析の責任者の立場において、国際的な研究組織の中でリーダーシップを発揮して貢献しており、Run2・Run3 実験データを用いた物理成果の創出に向けて重要な役割を果たしている。これまでに ATLAS 実験から発表された論文は 1,200 編を超えた。ATLAS 実験から公表されたすべての結果は以下のリンクで公開されている

(<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic>)。上記の本センター大学院生を中心にした成果として ATLAS Forward Proton 検出器を用いた ALP 探索、右巻きニュートリノ探索が達成された。またまだ公開をされていないが超対称性粒子探索、Exotics 新粒子探索(ダークセクター粒子、レプトクォーク単一生成事象、ダイレプトン共鳴探索)、ヒッグス粒子生成断面積測定、ヒッグス粒子対生成事象の探索の研究が進められている。これらの結果は ATLAS 実験内でのレビューが完了次第公表される。

#### ● ATLAS 日本グループの物理データ解析活動について

継続して ATLAS 日本グループとして大学・研究機関の枠を超えた物理解析研究及び大学院生の指導を行っている。本活動を通じ、日本グループとして戦略的な物理解析を実現し、かつ大学院博士課程学生のデータ解析研究に対するサポート体制の充実を図る。本センターは、共同研究拠点として本活動の運用に主導的に貢献し、また本枠組みを活用した物理成果の創出に取り組む。昨年度から野辺助教のリーダーシップの下取り組みを強化している。特に ATLAS 日本グループ物理ワークショップを定期的開催し、ATLAS 日本の全大学・研究機関の教員・大学院学生を巻き込みながら、物理を楽しみ、Run3 の物理データ解析成果を最大化するための活動を展開している。

## MEG 実験報告

本センターは、国内では KEK・神戸大学、海外ではスイス・イタリア・ロシア・米国の研究者と協力して、スイス・ポールシェラー研究所 (PSI) において国際共同実験 MEG II を実施している。標準理論で禁止されているミュー粒子の稀な崩壊  $\mu \rightarrow e\gamma$  を探索して、超対称大統一理論やニュートリノ振動の謎に迫ろうとするものである。

2023 年は5月中旬から11月末までのおよそ6ヶ月半の長期ビームタイムが認められた。各測定器、ビームラインのコミッショニングの後、6月初めからおよそ5ヶ月間安定した物理データの取得を行い、2021 年の実験開始以来最も多くの物理データを取得した(図 1)。その後11月初めから荷電パイ粒子の荷電交換(CEX)反応による単色ガンマ線を用いた液体キセノン検出器校正を実施しビームタイムを終了した。2023 年のビームタイムでは、本センターからスタッフ(3名)および大学院生(博士3名、修士3名)が PSI に長期滞在し、物理データ取得に大きく

貢献した。岩本助教はランコーディネータとしてビームタイム全体の指揮を執るとともに液体キセノン検出器の責任者として運用・データ取得を主導した。また、内山助教(現在 KEK 所属)、潘特任助教(2023年9月採用)はそれぞれ陽電子タイミングカウンター、輻射崩壊同定用カウンターの責任者として運用・データ取得を主導した。

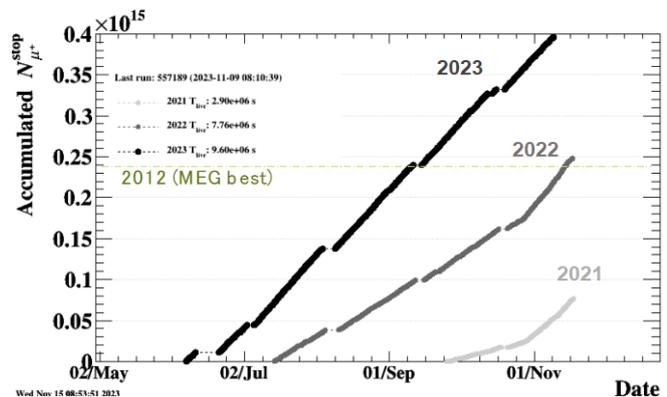


図 1 停止ミュー粒子数の推移(2021-2023年)

並行してこれまでに取得した物理データの解析を進めた。2023年10月20日、2021年に取得した最初の物理データを用いた  $\mu \rightarrow e\gamma$  探索解析の結果を、日本・スイス・イタリア同時にプレス発表した。 $\mu \rightarrow e\gamma$  の兆候は見られず(図 2)、崩壊分岐比に対する上限値  $7.5 \times 10^{-13}$  (90% C.L.) を与えた。MEG 実験の最終結果と合わせ、これまでで最も厳しい上限値  $3.1 \times 10^{-13}$  (90% C.L.) を得た (<https://arxiv.org/abs/2310.12614>, to be published at Eur. Phys. J. C)。この  $\mu \rightarrow e\gamma$  探索解析では、わずか数週間分のデータにも

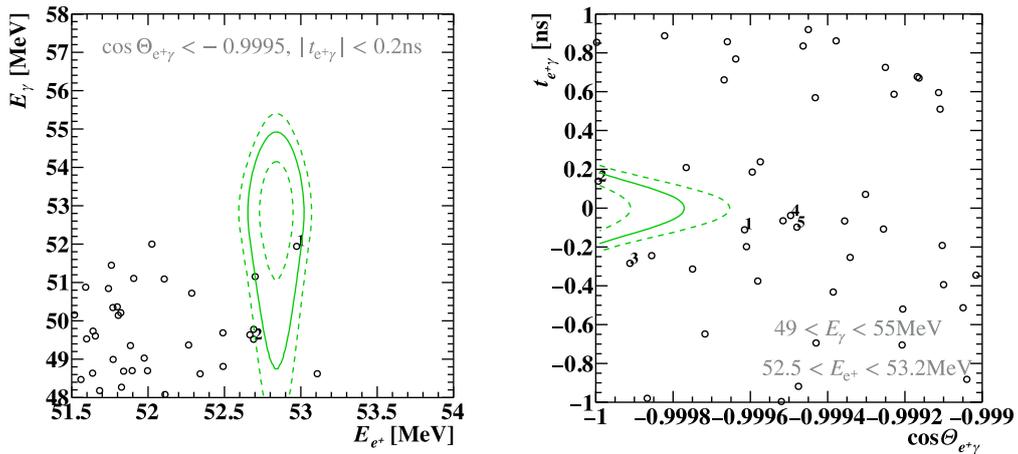


図 2 2021 年 データにおける信号領域付近の事象分布。緑線は信号 PDF ( $1\sigma, 1.64\sigma, 2\sigma$ )。

かかわらず既に MEG 実験に迫る実験感度を達成している。今後も測定器性能・データ収集効率の改善等に取り組みつつ物理データ取得を継続していく。加速器の稼働スケジュールや同じビームエリアを使用する Mu3e 実験等他の実験グループの動向に依存するが、2027-28 年に予定されている PSI 加速器アップグレードのためのシャットダウンまでに 2021 年の 20 倍以上の物理データを取得し目標感度に到達することを目指す。

PSI のミューオンビームを 100 倍以上増強する計画 (HIMB 計画) があり、これを利用して MEG II 実験を大幅に上回る探索感度を実現する将来実験のための研究開発を進めている。新しい  $\mu \rightarrow e\gamma$  探索実験 (図 3) では、アクティブコンバーターを用いた光子ペアスペクトロメータ、超薄型シリコンピクセルセンサーを用いた陽電子測定器など、MEG 実験とはまったく異なるコンセプトで測定精度を大幅に改善し、探索感度  $\mathcal{O}(10^{-15})$  を目指す。PSI の HIMB 計画は 2027-28 年に実現を目指しており、MEG II 実験の目標感度到達後、速やかに将来実験に移行することができる。2023 年は新実験測定器の要となる光子ペアスペクトロメータ用アクティブコンバーターの開発が重点的に進められた。2023 年

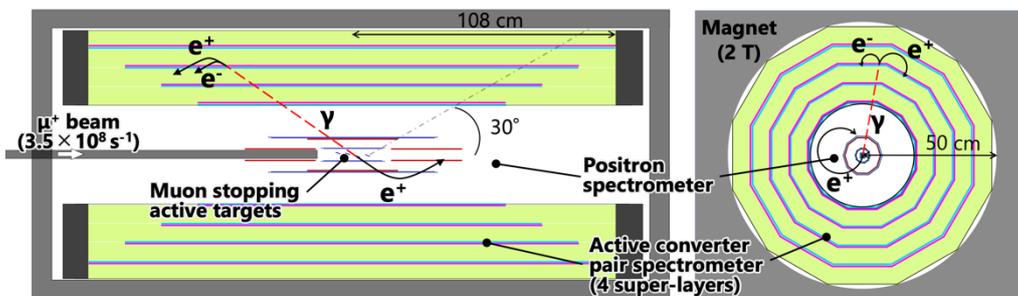


図 3  $\mu \rightarrow e\gamma$  探索将来実験概念設計

12月には、KEK PF-AR テストビームラインにおいて、アクティブコンバーターの候補となるLYSO 検出器の二回目のビーム試験を行った(図4)。暫定的な結果ではあるが、エネルギー損失測定、時間測定ともに目標を大きく上回る性能を達成した。特に今回の結果から見込まれる信号ガンマ線に対する時間分解能は20ps以下であり、MEG II 実験の時間分解能(65ps)を大幅に上回ることが期待される。並行して、実験装置全体の詳細設計を行うためのシミュレーションフレームワークの構築を進めている。

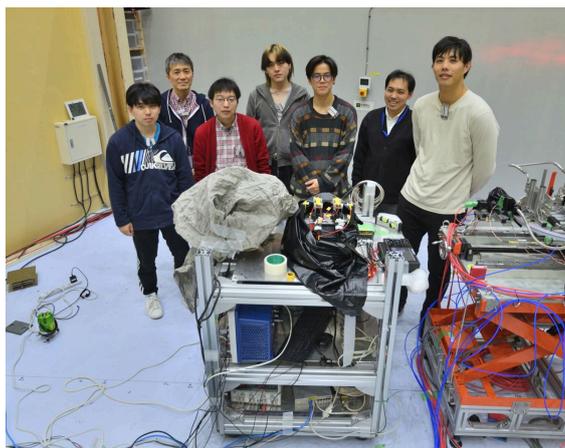


図4 将来実験用アクティブコンバーターのテストビーム試験(2023年12月 KEK PF-AR テストビームライン)

## 量子 AI 分野報告

センター規則を令和3年度に改正（研究部門の再編）し、「量子 AI テクノロジー研究分野」を新設した。

### 深層学習

新しい深層学習手法を調査し、素粒子実験のデータ解析等に応用する研究を実施した。昨今発展が目覚ましい“基盤モデル”のアイデアを素粒子実験分野に適応する研究として、より汎用的なジェット識別器、新しい事象選別手法の研究開発を行った。Normalizing flow を用いた新粒子探索（パラメータ探索）、グラフネットワークの発展系（sub-graph）を用いたジェット識別の向上、Diffusion model を用いたジェットハドロン化生成モデルの研究開発、ILCにおけるジェット識別やParticle-flow 開発を継続して行った。これらの成果は日本物理学会、ML@HEP ワークショップ、BOOST2023、NeurIPS 2023 Machine Learning and Physics Sciences Workshop 等で発表した。また、参画する学術変革領域研究(A)「学習物理学の創成」でワークショップ・研究会を実施し、高エネルギー実験物理分野以外の研究者（物性、宇宙、機械学習等）との交流も積極的に行った。

### 量子技術共同研究体制

CERN (Open lab, QTI の立ち上げに参加) や DESY、ローレンス・バークレー国立研究所 (LBNL)、Fermilab、シカゴ大学などと日米欧3極での国際共同研究を推進するとともに、IBM 等の民間企業や、早稲田大学など国内研究機関との共同研究も推進している。

東京大学は量子技術の国際研究パートナーシップの構築を進めており、昨年5月に締結したシカゴ大学、IBM 及び Google とのパートナーシップでは、締結直後に素粒子センター主導で合同のワークショップを開催した（写真1）。現在は IBM やシカゴ大学との共同研究のフレームワーク作りを進めている。LBNL との共同研究では、LBNL の研究者や国内研究者とともに令和5年10月にワークショップを開催した（写真2）。



写真1: 東京大学ダイワユビキタスホールで主催したシカゴ大学-東京大学の量子ワークショップの集合写真

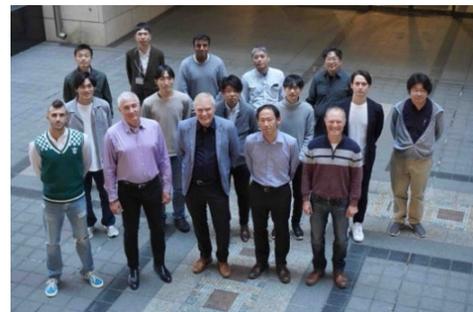


写真2: 東京大学理学部1号館で主催したLBNL-東大量子ワークショップの集合写真

量子イノベーションイニシアティブ協議会 (QII) の利活用拠点「IBM Quantum-東京大学コラボレーションセンター」を活用し、QII メンバーの交流やセミナーに利用している。「量子ソフトウェアと HPC・シミュレーション技術の共創によるサステイナブル AI 研究拠点」が「共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT)」の政策重点分野（量子技術分野）に昨年度採択され、ICEPP は量子機械学習および量子最適化課題を進めている。また、今年度新しく

「先端共同研究推進事業 (ASPIRE)」の「Top チームのための ASPIRE」(研究代表者: 浅井祥仁) に採択され、先端量子プラットフォーム構築と量子人材育成を、シカゴ大学とともに推進していく。

### 量子アルゴリズム・ソフトウェア研究

量子コンピュータの科学・社会応用を見据え、アルゴリズムから制御ソフトウェアなど、実用化に向けた共同研究開発を進めている。特に量子 AI や量子シミュレーションの活用のため、量子・古典ハイブリッドでの変分量子アルゴリズムの研究、回路の最適化や量子トリットによる多制御ビットゲートの実装などの研究を行っている。IBM との共同研究では高エネルギー物理の量子シミュレーションを用いた量子データ機械学習 (Phys. Rev. Res. 5, 043250 (2023))、LBNL との共同研究では 1 次元 U(1) ゲージ理論の実時間発展シミュレーション (Phys. Rev. D 108, 034501 (2023)) 等の結果を発表した。

### 量子ハードウェア研究

量子ハードウェア開発では、浅野キャンパスに設置してあるハードウェア・テストセンターや低温センターの施設 (写真 3) を利用し、超伝導量子ビットの高度化研究 (IBM との共同研究) や、暗黒物質探索のための量子センサー開発、超伝導加速空洞を用いた重力波観測 (Fermilab との共同研究) を行っている。超伝導量子ビットの研究は、将来的に量子センサーと量子コンピュータや、異なる量子コンピュータ同士を相互接続するための量子インターフェースの技術開発へと繋げる計画である。今年度は、超伝導量子ビットを用いた暗黒物質探索を量子計算で感度向上させる手法を理論研究者と共同で提案した (arXiv:2311.10413)。



写真 3: 浅野キャンパスの低温センター・極低温量子プラットフォームでの作業風景

### 教育

2021 年度から「量子ネイティブ育成センター」を情報理工学系研究科と共同運営し、量子コンピュータ応用の先端教育を行っている。今年度も学部 3・4 年生向けの講義「IBM Quantum を用いた量子コンピュータ実習: ハードとソフトで学ぶ」を S セメスタで行い、約 90 人の受講生を集めてソフトとハード両面での教育を行った。今年度は浅野キャンパスのテストセンターを用いた量子コンピュータ実習を拡張し、マイクロ波パルスを用いたコヒーレンス時間の測定や量子ゲート実装などを行った (写真 4)。



写真 4: IBM 量子コンピュータ・テストベッドを使用した今年度の実習時の様子

### その他

2023 年 8 月 3 日に CERN の Michael Doser 氏を講師に招き、素粒子物理に向けた量子センサー開発に関する ICEPP 量子セミナーを開催した。

## II 共同利用・共同研究拠点 実施状況報告書（抜粋）

## 1. 研究施設の状況

### 1-1. 研究施設の概要等

#### 1. 研究施設の概要等

大学名	国立大学法人東京大学	(ふりがな) 学長名	ふじい てるお 藤井 輝夫
研究所等名	素粒子物理国際研究センター	(ふりがな) 所長名・ センター長名	あさい しょうじ 浅井 祥仁
所在地	〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1	設置年月	平成 16 年 4 月
拠点の名称	最高エネルギー素粒子物理学研究拠点		
認定期間	令和4年4月1日～令和10年3月31日		
研究分野	素粒子物理学		
沿革	昭和49年 理学部附属高エネルギー物理学実験施設(時限5年)の設置 昭和52年 理学部附属素粒子物理学国際協力施設(時限7年)に転換 昭和59年 理学部附属素粒子物理国際センター(時限10年)の設置 平成 6年 素粒子物理国際研究センター(全国共同利用施設、時限10年)の設置 平成16年 素粒子物理国際研究センター(全国共同利用施設、時限10年)の設置 平成22年 共同利用・共同研究拠点「最高エネルギー素粒子物理学研究拠点」 (時限6年)に文部科学省より認定 平成28年 共同利用・共同研究拠点「最高エネルギー素粒子物理学研究拠点」 (時限6年)に文部科学省より認定更新 令和 4年 共同利用・共同研究拠点「最高エネルギー素粒子物理学研究拠点」 (時限6年)に文部科学省より認定更新		
目的・役割	東京大学素粒子物理国際研究センターは、LHCを用いたATLAS実験を中心とした素粒子物理の研究を行う全国共同利用施設として、平成16年4月1日に設置された。素粒子研究のフロンティアを推し広げ、素粒子現象の背景に潜む「真空や時空」の解明に向けた新しいパラダイムを切り拓くため、先端加速器を用いた国際共同実験を牽引し、国内の学術研究機関のハブとして日本の研究力の向上に寄与する。また、革新的な機械学習や量子コンピュータの実用研究などを通して、研究・教育・産学協創の包括的な量子プラットフォームを形成する。		
研究内容	欧州合同原子核研究機構(CERN)の陽子・陽子衝突型加速器(LHC)を用いた国際共同実験ATLASを中心に据え、最先端の素粒子物理研究を行う。また、そのために必要な計算機資源を揃え、物理解析センターとして全国共同利用に供する。先端戦略分野の量子AIテクノロジー研究部門では、ソフトとハードの両面で研究を推進するとともに、量子ネイティブ人材育成も積極的に行う。		
拠点制度創設以前の設置形態	附置研究所 (全国共同利用型)	附置研究所 (一般)	研究センター (全国共同利用型) ○
	研究センター (一般)	国立大学法人化後に設置	

#### 2. 附属施設の概要

※現員数の( )書は、教員数で内数

施設等名称	設置年度	設置目的	現員数	施設長名
該当なし			人 ( )	

## 3. 中期目標・中期計画での位置付け(中期目標・中期計画別表を除く)

	中期目標	中期計画
第4期中期目標期間	<p>I 教育研究の質の向上に関する事項</p> <p>4 その他社会との共創、教育、研究に関する重要事項  (10)国内外の大学や研究所、産業界等との組織的な連携や個々の大学の枠を越えた共同利用・共同研究、教育関係共同利用等を推進することにより、自らが有する教育研究インフラの高度化や、単独の大学では有し得ない人的・物的資源の共有・融合による機能の強化・拡張を図る。</p>	<p>I 教育研究の質の向上に関する目標を達成するためにとるべき措置</p> <p>4 その他社会との共創、教育、研究に関する重要事項に関する目標を達成するための措置  (10-1)【共同利用・共同研究拠点等を通じた新たな知の構築】国際的な共同利用・共同研究拠点及び附置研究所等の強みと特色を活かした研究教育活動を行う。ハイパーカミオカンデ計画を着実に推進するとともに、赤外線望遠鏡TAO、スーパーカミオカンデ、重力波望遠鏡KAGRA、統合ゲノム医科学、強磁場科学、アト秒レーザー科学、スピントロニクス学術研究基盤などさまざまな施設・設備の共同利用や共同研究を通じて新たな知の構築に貢献する。【指定国構想】</p>

1-2. 研究施設の組織等

1. 教員数

[単位:人]

	令和5年度(R6.3.31現在)														総数	
	常勤										非常勤					
	現員数	(女性数)	(外国人数)	未(若手数) (40歳未満)	以下(若手数) (35歳以下)	任期制導入状況				併任教員数	現員数	(女性数)	(外国人数)	未(若手数) (40歳未満)		以下(若手数) (35歳以下)
						(任期付教員数)	(女性数)	(外国人数)	満(若手数) (40歳未満)							
(若手数) (35歳以下)																
教授	3									1						4
准教授	5					(1)										5
講師																0
助教	19		(3)	(9)	(6)	(6)		(2)	(6)	(5)						19
助手																0
技術職員	1															1
事務職員	3	(3)		(1)	(1)						1	(1)				4
その他	3		(2)	(3)	(3)	(3)		(2)	(3)	(3)						3
合計	34	(3)	(5)	(13)	(10)	(10)	(0)	(4)	(9)	(8)	1	(1)	(0)	(0)	(0)	36

※( )は現員数の内数

○その他人員(R6.3.31現在)

特任研究員3人
---------

※教員数のその他に該当する教職員がいる場合には、その職名及び人数を記入してください。

2. 人材の流動性

①人材の流動状況

[単位:人]

	令和5年度						
	転入等			転出等			
	総数	(新規採用者数)	(内部昇任者数)	総数	(退職者数)	(転出者数)	(内部昇任者数)
教授	0			0			
准教授	1	1		0			
講師	0			0			
助教	4	1	3	3	3	3	
助手	0			0			
合計	5	2	3	3	3	3	0

②転入元・転出先一覧

令和5年度					
職名	転入元機関名	転入元職名	職名	転出先機関名	転出先職名
教授			教授		
准教授	九州大学	助教	准教授		
講師			講師		
助教	日本学術振興会	特別研究員PD	助教	高エネルギー加速器研究機構	准教授
				大阪大学	准教授
				Indian Institute of Technology Kanpur	助教
助手			助手		

※上記表の転入者については転入元の、転出者については転出先の機関名及び職名を記入。



## 7. 自己点検評価及び外部評価の実施状況

区分	評価実施日	評価実施方法	主な指摘内容等	指摘を踏まえた改善のための取組
自己点検評価	令和6年 1月18日、 1月24日、 3月6日	学内の近隣分野の研究者も含めた運営委員会、本学以外の研究者が半分を占める研究協議会、全国の学識経験者より構成される参与会をそれぞれ毎年1~2回開催して、本拠点の研究活動や共同研究・共同利用などに関する評価や助言を仰いでいる。	(1) CERNとPSIで令和4年度より開始したアップグレード実験で研究成果をあげるために教員・大学院学生の派遣人数を増やし、コラボレーション内の重要なプロジェクトのリーダーとなって求心力を高め、結果を出していることが評価された。 (2) 世界トップレベルの研究機関における最先端の研究体制に接することのできる教育環境で、多くの大学院学生を育成していることが評価された。 (3) 国際評価委員による2018年度外部評価指摘事項の進捗状況について、計算機技術開発と人事戦略の両面でさらに改善されていることが評価された。 (4) 大学が推進する量子イニシアティブ構想や産学協創の各プロジェクトに深く関与し、新しい教育モデルを開拓し、研究の国際連携に挑戦し続けていることが高く評価された。	(1) LHC-ATLAS実験とMEG II実験で新しい物理成果をあげるため、解析結果や計算機技術をトピックスにした研究会を開催し、国内外の幅広い研究者コミュニティと議論を深めていく。また、研究の最前線で時機を逃さず国際共同研究を主導し、その次の将来実験のR&Dも同時に進めるため、派遣体制の強化によるアクティビティ向上も計画している。 (2) 大学院学生向けの講習会や成果発表会を開催したり、国際会議で情報発信力を高める機会を与えるなどして、国際的な次世代研究者を養成していく。 (3) 科学するAIの研究や、日・米・欧の3極を結んだ量子コンピュータ応用研究も順調に進行しており、大学の機能強化にも大きく関与している。 (4) 量子AIテクノロジー研究分野では、准教授をヘッドとし、若手研究者を積極的に重要なポジションに起用するなど、研究者層を厚くしている。十分な研究資金調達のための共同研究を進め、学術的観点から企業に貢献する。
外部評価	該当なし			

## 8. その他、研究施設としての特色ある取組(該当あれば)

記述様式(34ページ)を参照
----------------

## 1-4. 研究施設の国際交流状況

## 1. 学術国際交流協定の状況

協定総数		令和5年度							
		2							
年度	締結年月	終了予定年月	相手国	機関名	協定名	分野	受入人数	派遣人数	
令和5年度	2024年1月 *1988年12月23日開始	2028年11月 (5年ごとに更新)	スイス	欧州合同原子核研究機構(CERN)	MEMORANDUM ON THE EXTENSION OF THE AGREEMENT ON ACADEMIC EXCHANGES BETWEEN THE UNIVERSITY OF TOKYO AND THE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH (CERN) 東京大学と欧州原子核合同研究機構(CERN)との間における学術交流に関する協定書	素粒子、原子核、宇宙線および宇宙物理に関連する実験	7	13	
	2023年10月 *2003年12月1日開始	2028年11月 (5年ごとに更新)	スイス	ポールシェラー研究所(PSI)	MEMORANDUM ON THE EXTENSION OF THE AGREEMENT ON ACADEMIC EXCHANGES BETWEEN THE INTERNATIONAL CENTER FOR ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS, THE UNIVERSITY OF TOKYO AND PAUL SCHERRER INSTITUTE 東京大学素粒子物理国際研究センターとポールシェラー研究所との間における学術交流に関する協定書	素粒子、原子核、宇宙線および宇宙物理に関連する実験	3	5	
合計							10	18	

## 2. 国際的な研究プロジェクトへの参加状況

総数		令和5年度				
		7				
年度	参加期間	相手国名	研究機関名	研究プロジェクト等の概要	関係研究者名	
令和5年度	平成4年10月1日～現在	スイス	欧州合同原子核研究機構(CERN)	最高エネルギー加速器LHCを用いた国際共同実験ATLASに参加し、ヒッグス粒子や超対称性粒子などの発見を通して、素粒子物理学の標準理論を超える新しい物理を切り拓く。 *日本・ドイツ・フランス・イタリア・イギリス・アメリカ・ロシア・カナダ等 42カ国、約3,000人が参加	浅井祥仁、石野雅也、田中純一、奥村恭幸、澤田龍、寺師弘二、江成祐二、増淵達也、齋藤智之、齋藤真彦、野辺拓也、森永真央、陳詩遠、 Sanmay Ganguly (東京大学) Andreas Hocker(CERN)等	
	平成29年7月～現在	スイス	欧州合同原子核研究機構(CERN)	CERNは現在稼働中のLHC加速器に次ぐ将来計画として、2040年頃からの建設開始を目指し、周長90kmの大型円形衝突型加速器(FCC: Future Circular Collider)を構想している。FCC実験は、重心系エネルギーが100TeV(テラ電子ボルト)と従来実験の約7倍であり、素粒子の新粒子・新現象の発見や誕生直後の宇宙の解明が期待される。令和2年に更新された「欧州素粒子物理戦略」で優先順位の高いプロジェクトに位置づけられている。 *日本・ドイツ・フランス・イタリア・イギリス・アメリカ・ロシア等 35カ国、約1,500人が参加	浅井祥仁、石野雅也、田中純一、奥村恭幸、澤田龍、寺師弘二、齋藤真彦(東京大学) Michael Benedikt, Frank Zimmermann, Michelangelo Mangano, Werner Riegler(CERN)等	

年度	参加期間	相手国名	研究機関名	研究プロジェクト等の概要	関係研究者名
令和5年度	平成11年4月～現在	スイス イタリア	ポールシェラー研究所 (PSI)、ジェノバ大学、パビア大学、INFN	高計数率に耐える高分解能陽電子スペクトロメータの開発。 *日本・スイス・イタリア、約20人が参加	森俊則、大谷航 (東京大学) Stefan Ritt, Malte Hildebrandt, Alessandro Baldini, Angela Papa 他
	平成12年4月～現在	イタリア	ピサ大学、INFN	液体キセノンを用いた新しい高分解能粒子検出器の開発。 *日本・イタリア、約20人が参加	森俊則、岩本敏幸 (東京大学) Alessandro Baldini, Francesco Renga 他
	平成11年4月～現在	スイス イタリア ロシア アメリカ イギリス	ポールシェラー研究所 (PSI)、ピサ大学、ローマ大学、ジェノバ大学、パビア大学、レッツェ大学、INFN、BINP研究所、JINR研究所、カリフォルニア大学アーバイン校、リバプール大学	素粒子物理学の標準理論では許されないミュオン $\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊の探索 (MEG実験)。 *日本・イタリア・スイス・ロシア・アメリカ、約70人が参加	森俊則、大谷航、岩本敏幸、Lukas Gerritzen、潘晟 (東京大学) Stefan Ritt, Malte Hildebrandt, Alessandro Baldini, Angela Papa 他
	令和2年9月～現在	スイス アメリカ スペイン イギリス ドイツ イタリア デンマーク フィンランド	欧州合同原子核研究機構 (CERN)、ジュネーブ大学、フェルミ国立研究所、オビエド大学、Cambridge Quantum、アーヘン大学、DESY研究所、INFN、パドヴァ大学、オーフス大学、Nokia	CERN Quantum Technology Initiative (QTI) は、初期のベストエフォートを超えた包括的な研究開発を学術的なコラボレーションで推進するプログラムであり、組織と高エネルギー物理学のコミュニティのさまざまなニーズをカバーしている。加盟国及び国際的なイニシアティブとのコラボレーションを確立することで、CERNは新しい量子革命の最前線に立ち、量子システムと量子情報処理の知識を進歩させ、新しいコンピューティング技術や、検出器、通信システムの開発に取り組むことを目的としている。 *日本・アメリカ・スペイン・イギリス・ドイツ・イタリア・デンマーク・フィンランド、約100人が参加	浅井祥仁、田中純一、澤田龍、寺師弘二、飯山悠太郎、永野廉人、加地俊瑛、Li Zhelun (東京大学) Alberto Di Meglio, Sofia Vallecorsa, Dorota Maria Grabowska 他
	平成10年7月～現在	ドイツ スイス アメリカ 中国	DESY研究所、欧州合同原子核研究機構 (CERN)、フェルミ国立研究所、SLAC研究所、高能物理研究所	国際リニアコライダー (ILC) 計画の超伝導加速器技術・ナノメートルのビーム制御技術・最先端量子計測機器の開発、超高精細測定器の開発、及び新しい物理の研究手法を世界の研究者と共同で開発・研究を行う。 *日本・ドイツ・フランス・アメリカ・イギリス・中国等、約1,000人が参加	森俊則、大谷航、末原大幹、田俊平 (東京大学) F. Richard, T. Behnke, E. Elsen, F. Sefkow 他

## 3. 研究者の海外派遣状況・外国人研究者の招へい状況(延べ人数)

〔単位:人〕

		令和5年度	
		派遣状況	招へい状況
合計		121	157
事業区分	文部科学省事業	18	4
	日本学術振興会事業	37	2
	当該法人による事業	26	3
	その他の事業	40	148
派遣先国	①アジア	10	32
	②北米	20	35
	③中南米	0	2
	④ヨーロッパ	88	85
	⑤オセアニア	3	0
	⑥中東	0	1
	⑦アフリカ	0	2

## 4. 外国人研究者の受入や国際的な連携等を促進するための取組状況

記述様式(34～37ページ)を参照

## 5. その他、国際研究協力活動の状況

〔単位:人〕

年度	事業名	概要	受入人数	派遣人数
令和5年度	WLCG (Worldwide LHC Computing Grid)	LHCデータ解析のための計算インフラストラクチャとしてデータグリッドを世界規模で配備するプロジェクト。CERNを中心として各国から100を超える研究機関が参加している。	1	3
	ICFA (International Committee for Future Accelerators)	国際的な加速器の将来計画に関して、世界から16名の代表(研究コミュニティの代表と国際加速器研究所の所長)が集まり大方針を議論し、声明等を出す。	1	4
	FCC (Future Circular Collider)	現在稼働中のLHC加速器に次ぐCERNの将来計画として、円周90kmの大型円形衝突型加速器(FCC:Future Circular Collider)を建設するための研究開発を行うプロジェクト。CERNが中心となり各国から100を超える研究機関が参加している。	0	1
合計			2	8

**1-5. 研究施設の教育活動・人材育成****1. 大学院生等の受入状況**

区 分	令和5年度〔単位：人〕	
		うち外国人
博士後期課程	17	(3)
うち社会人	0	(0)
修士・博士前期課程	23	(3)
うち社会人	0	(0)
学 部 生	0	(0)
合 計	40	(6)

**2. 当該研究所等・施設を利用して学位を取得した大学院生数**

区 分	令和5年度〔単位：人〕	
	学内	学外
博士号取得者数	1	3

**3. 留学生の受入状況**

区 分	令和5年度〔単位：人〕
①アジア	4
②北米	0
③中南米	0
④ヨーロッパ	0
⑤オセアニア	0
⑥中東	0
⑦アフリカ	0
合計	4

**4. その他、学部・研究科等との教育上の連携や協力の状況**

記述様式(37ページ)を参照

## 2. 共同利用・共同研究拠点の状況

### 2-1. 拠点の活動状況等

#### 1. 実施計画及び実施状況

令和5年度実施計画
記述様式(38～39ページ)を参照
令和5年度実施状況
記述様式(39～41ページ)を参照

#### 2. 期末評価結果における総合評価又は認定に伴う留意事項への対応状況

○期末評価結果における総合評価又は認定に伴う留意事項

記述様式(42ページ)を参照
----------------

○対応状況

記述様式(42～44ページ)を参照
-------------------

#### 3. 共同利用・共同研究のための運営体制

①運営委員会等の開催実績

委員会名等	令和5年度
研究協議会	17回

②運営委員会等の所属者名等

委員会名【研究協議会】

氏名	所属機関名	役職名	専門分野	委員構成
岡田 安弘	高エネルギー加速器研究機構	理事	素粒子物理学理論	学外
後田 裕	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所	教授	素粒子物理学実験	学外
花垣 和則	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所	教授	素粒子物理学実験	学外
山口 昌弘	東北大学大学院理学研究科	教授	素粒子物理学理論	学外
中家 剛	京都大学大学院理学研究科	教授	素粒子物理学実験	学外
久野 純治	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所	教授	素粒子物理学理論	学外
飯嶋 徹	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所	教授	素粒子物理学実験	学外
川越 清以	九州大学大学院理学研究院	教授	素粒子物理学実験	学外
諸井 健夫	東京大学大学院理学系研究科	教授	素粒子物理学理論	学内
浅井 祥仁	東京大学素粒子物理国際研究センター	センター長	素粒子物理学実験	施設内
森 俊則	東京大学素粒子物理国際研究センター	教授	素粒子物理学実験	施設内
石野 雅也	東京大学素粒子物理国際研究センター	教授	素粒子物理学実験	施設内
田中 純一	東京大学素粒子物理国際研究センター	教授	素粒子物理学実験	施設内
大谷 航	東京大学素粒子物理国際研究センター	准教授	素粒子物理学実験	施設内
奥村 恭幸	東京大学素粒子物理国際研究センター	准教授	素粒子物理学実験	施設内
澤田 龍	東京大学素粒子物理国際研究センター	准教授	素粒子物理学実験	施設内

委員構成人数

施設内	学内	学外	国外
7	1	8	0

[単位:人]

③共同研究委員会等の所属者名等(委員会を設置している場合に記入)

委員会名【 】

氏名	所属機関名	役職名	専門分野	委員構成

※運営委員会等が、共同研究委員会等の役割を担っている場合は記入を省略して構いません。

委員構成人数

施設内	学内	学外	国外

[単位:人]

#### 4. 研究活動の不正行為並びに研究費の不正使用等に係る事前防止、事後処理及び再発防止への対応

記述様式(44ページ)を参照

#### 5. その他、拠点運営に係る特色ある取組(該当あれば)

記述様式(44～46ページ)を参照

## 2-2. 共同利用・共同研究の実施状況

## 1. 共同利用・共同研究による成果

## ①共同利用・共同研究による特筆すべき研究成果(特許を含む)

1	成果の概要(150字程度)		
	Run2全データを用いた右巻きWボソンと重い右巻きニュートリノ探索の結果を発表した。本拠点の教員と大学院学生が、先行研究で背景事象からの超過が観測されており、特に注目されていた解析チャンネルであったが、いち早くユニークなアイデアに基づく高感度解析を提案し、国際研究チームを率いて解析を実現した。Run2全データを使った解析では標準理論期待値からの超過は確認されなかったが、当該モデルに対して最も厳しい制限を出す結果となった。		
	当該成果をまとめた代表的な論文あるいは研究書等		
	発表年月	論文名または研究書名	研究代表者又は著作者名
	令和5年12月	Search for heavy Majorana or Dirac neutrinos and right-handed W gauge bosons in final states with charged leptons and jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector, Eur. Phys. J. C 83 (2023) 1164	ATLAS Collaboration
2	成果の概要(150字程度)		
	周辺光子の電磁相互作用に伴い、ALPが光子・光子散乱として検出される過程に注目した新物理探索を行った。特に本研究を通じて、ATLAS前方検出器(AFP)を活用することで、陽子が破壊されない相互作用が起こった事象に対して、選択的に極めて高い感度を有する解析手法を開発し、結果を発表した。本拠点の大学院学生が中心となって新しい研究を立ち上げたが、この研究で得られた知見を基礎として、超対称性粒子の探索などでAFPを活用した発展研究が多く提案されており、国際的に先駆的な研究となった。		
	当該成果をまとめた代表的な論文あるいは研究書等		
	発表年月	論文名または研究書名	研究代表者又は著作者名
	令和5年7月	Search for an axion-like particle with forward proton scattering in association with photon pairs at ATLAS, JHEP 07 (2023) 234	ATLAS Collaboration
3	成果の概要(150字程度)		
	ヒッグス粒子質量の測定の最新結果を報告した。Run2全データを用いることに加え、電子・光子のエネルギー較正やミューオンの運動量較正に関する誤差の削減に成功して精度改善を達成し、精度は0.9%に迫っている。得られた結果は $125.11 \pm 0.11$ GeVであった。ヒッグス粒子の質量の正確な情報は価値が高く、電弱対称性の破れのメカニズムの理解の重要なインプットとなる。		
	当該成果をまとめた代表的な論文あるいは研究書等		
	発表年月	論文名または研究書名	研究代表者又は著作者名
	令和5年12月	Combined measurement of the Higgs boson mass from the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay channels with the ATLAS detector using $\sqrt{s} = 7, 8$ and 13 TeV pp collision data, Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 251802	ATLAS Collaboration
4	成果の概要(150字程度)		
	MEG II実験で令和3年に取得した最初のデータを用いた $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索結果を報告した。数週間分のデータという限られた統計量にもかかわらずMEG実験に迫る探索感度での探索に成功した。 $\mu \rightarrow e\gamma$ の兆候は得られなかったものの、MEG実験と合わせてこれまでで最も厳しい $\mu \rightarrow e\gamma$ の崩壊分岐比上限値を与えた。		
	当該成果をまとめた代表的な論文あるいは研究書等		
	発表年月	論文名または研究書名	研究代表者又は著作者名
	令和6年1月	A search for $\mu \rightarrow e\gamma$ with the first dataset of the MEG II experiment, Eur. Phys. J. C 84 (2024) 216	MEG II Collaboration
5	成果の概要(150字程度)		
	量子コンピュータを用いた機械学習(量子機械学習)の研究では、物理系の量子状態を入力データとして学習する「量子データ学習」が可能である。IBMチューリッヒのグループとともに、ゲージ場の理論やパートンシャワーの量子シミュレーションで生成した量子状態を使った量子データ学習を初めて実現し、その学習性能や汎化性の評価を行った。量子畳み込みニューラルネットワークモデルを活用することで、異なる物理系に対しても高い学習性能を持つことが分かり、その結果を論文として纏めた。		
	当該成果をまとめた代表的な論文あるいは研究書等		
	発表年月	論文名または研究書名	研究代表者又は著作者名
	令和5年12月	Quantum data learning for quantum simulations in high-energy physics, Phys. Rev. Res. 5 (2023) 043250	Lento Nagano, Alexander Miessen, Tamiya Onodera, Ivano Tavernelli, Francesco Tacchino, Koji Terashi

※共同利用・共同研究による国際的にも優れた研究成果や産業・社会活動等に大きな影響を与えた研究成果について5件まで厳選して記入してください。主なもの2件については別紙「共同利用・共同研究による国際的にも優れた研究成果等」(パワーポイントファイル)も作成してください。

## ②共同利用・共同研究活動が発展したプロジェクト等

プロジェクト名	主な財源	プロジェクト期間	プロジェクトの概要
ATLAS実験内層ミュオン検出器アップグレード	科学研究費補助金 (新学術領域研究、基盤研究)	平成25年～令和5年度(11年)	本拠点の共同研究・共同利用として研究開発を進めてきたATLAS実験アップグレード計画のひとつが実験全体の正規計画の一部として認められた。次世代の加速器実験における素粒子現象の可視化につなげるリアルタイム検出技術の開発を進める。
ATLAS実験ミュオントリガーとデータ読み出し回路のアップグレード	科学研究費補助金 (新学術領域研究、基盤研究)	平成25年～令和8年度(14年)	本拠点の共同研究・共同利用として研究開発を進めてきたATLAS実験システムアップグレード(ミュオントリガーとカロリメータトリガー)計画が実験全体の正規プロジェクトの一部として認められた。
MEG II実験	科学研究費補助金 (特別推進研究、基盤研究)	平成22年～令和10年度(19年)	MEG実験で培った最先端の実験技術で共同研究によって発展させることで、MEG実験よりさらに10倍感度の高いアップグレード実験(MEG II)を実現した。また、g-2/EDM実験・COMET実験など他のプロジェクトとともにミュオン素粒子物理の新たな国際研究協力体制を構築し、現行実験での新物理発見を目指すとともに、大強度・高輝度ミュオン源と測定技術の開発を行い、次世代実験の実現を図る。
ミュオン素粒子物理研究	科学研究費補助金 (国際先導研究)	平成22年～令和10年度(19年)	新たに構築する国際協力体制によりミュオン素粒子物理を強力に推進する。世界最高感度のミュオン素粒子実験g-2/EDM実験、MEG II実験、COMET実験での新物理発見を目指すとともに、大強度・高輝度ミュオン源と測定技術の開発を行い、新物理の全容解明を可能にする次世代実験の実現を目指す。また、こうした国際的な共同研究を通じて次世代実験を担う優秀な若手人材の育成も実施する。
次世代コライダー実験用カロリメータ技術の開発	日米科学技術協力事業 (高エネルギー物理学分野)	令和4～6年度(3年)	本拠点が共同研究・共同利用により開発を進めてきた測定器技術をもとに、新たに参画したアメリカの研究グループと次世代コライダー実験用カロリメータ技術を開発するプロジェクト。
IBM東大ラボ	共同研究費 (IBM Quantum スポンサー テクノロジーリサーチ)	(非公表)	本拠点が参加するIBMとの共同研究では、日本国内での量子コンピューティングエコシステムの構築、量子アルゴリズム及びアプリケーションの研究開発を課題としている。この研究成果を社会に普及させ、産業界に貢献するため、今後も事業を継続していく予定である。
量子ソフトウェアとHPC・シミュレーション技術の共創によるサステナブルAI研究拠点	受託研究費 (共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT))	令和4～13年度(10年)	量子ソフトウェアとHPC・シミュレーション技術の融合により、サステナブルなAI技術を開拓する。量子機械学習や量子シミュレーションの手法を開発し、量子埋め込みと最適化によって量子AI技術を利用できる量子HPC基盤を構築する。それにより、社会問題の解決や新規ビジネスの創出、国際競争力が持続する社会の実現を目指す。

プロジェクト名	主な財源	プロジェクト期間	プロジェクトの概要
先端量子技術プラットフォームと国際頭脳循環による量子ネイティブ人材育成拠点	受託研究費 (先端国際共同研究推進事業(ASPIRE))	令和5~10年度(6年)	量子センサー、量子ハードウェアと量子ソフトウェア、それらを繋ぐ量子コネクタ技術の先端4分野で海外研究機関と共同研究を進め、量子技術を統合的に接続する「先端量子技術プラットフォーム」の構築を目指す。教育・人材育成プログラムの共通化と、国際頭脳循環による量子人材の育成を行う。

※プロジェクト研究に発展した共同利用・共同研究がある場合、そのプロジェクト研究の名称と財源(国の補助事業等)、期間、概要を記入してください。

### ③拠点における受賞状況

受賞総数	令和5年度		
	3		
受賞者氏名	賞名	受賞年月	受賞対象となった研究課題名等
成川 佳史	ATLAS TDAQ Week 2023 Poster Award	令和5年9月	Integration and optimization study of a large-scale logic circuit for the first-level muon trigger at HL-LHC
加地 俊瑛	第25回(2023年度)高エネルギー物理学奨励賞	令和5年10月	Search for long-lived charginos based on a disappearing track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the full Run-2 ATLAS data
長坂 錬	日本物理学会第78回年次大会(2023年)学生優秀発表賞	令和5年10月	高輝度LHC-ATLAS実験に向けたTGC検出器エレクトロニクスの統合試験

## 2. 共同利用・共同研究による成果として発表された論文数

○共同利用・共同研究による成果として発表された論文の総数

区分	令和5年度		うち国際学術誌掲載論文数		備考
	件数	(内数)	件数	(内数)	
化学	0	(0)	0	(0)	
材料科学	0	(0)	0	(0)	
物理学	176	(167)	169	(164)	
計算機&数学	0	(0)	0	(0)	
工学	0	(0)	0	(0)	
環境&地球科学	0	(0)	0	(0)	
臨床医学	0	(0)	0	(0)	
基礎生命科学	0	(0)	0	(0)	
人文社会系	0	(0)	0	(0)	
合計	176	(167)	169	(164)	

①拠点に所属する者(大学院生を含む)のみの論文

区分	令和5年度		うち国際学術誌掲載論文数		備考
	件数	(内数)	件数	(内数)	
化学					
材料科学					
物理学	0		0		
計算機&数学					
工学					
環境&地球科学					
臨床医学					
基礎生命科学					
人文社会系					
合計	0		0		

②拠点に所属する者と拠点以外に所属する者(国外の研究機関に所属する者を除く)の論文

区分	令和5年度		うち国際学術誌掲載論文数		備考
	件数	(内数)	件数	(内数)	
化学		(0)		(0)	
材料科学		(0)		(0)	
物理学	6	(3)	3	(2)	
計算機&数学		(0)		(0)	
工学		(0)		(0)	
環境&地球科学		(0)		(0)	
臨床医学		(0)		(0)	
基礎生命科学		(0)		(0)	
人文社会系		(0)		(0)	
合計	6	(3)	3	(2)	

※右側の( )内には、拠点に所属する者(大学院生を含む)が、特に重要な役割・高い貢献(ファーストオーサー、コレスポンディングオーサー、ラストオーサー等)を果たしている論文(内数)を記入し、ファーストオーサー、コレスポンディングオーサー、ラストオーサー以外で、論文における重要な役割を果たしているものとして、内数に計上しているものがある場合は、その役割を以下に記入してください。

研究分野の慣習としてオーサーリストはアルファベット順となっているため、ここでは特に学術的成果に重要な役割・高い貢献を果たした論文を内数として計上した。

## ③拠点以外に所属する者(国外の研究機関に所属する者を除く)のみの論文

区分	令和5年度		備考
		うち国際学術誌掲載論文数	
化学			
材料科学			
物理学	0	0	
計算機&数学			
工学			
環境&地球科学			
臨床医学			
基礎生命科学			
人文社会系			
合計	0	0	

※拠点における共同利用・共同研究の成果である旨の Acknowledgement(謝辞)がある論文のみを記入してください。

## ④国内の研究機関(拠点を含む)に所属する者と国外の研究機関に所属する者の論文

区分	令和5年度		うち国際学術誌掲載論文数		備考
化学	(0)		(0)		
材料科学	(0)		(0)		
物理学	170	(164)	166	(162)	
計算機&数学	(0)		(0)		
工学	(0)		(0)		
環境&地球科学	(0)		(0)		
臨床医学	(0)		(0)		
基礎生命科学	(0)		(0)		
人文社会系	(0)		(0)		
合計	170	(164)	166	(162)	

※拠点に所属する者を含まない論文については、拠点における共同利用・共同研究の成果である旨の Acknowledgement(謝辞)がある論文のみを記入してください。

※右側の( )内には、拠点に所属する者(大学院生を含む)が、特に重要な役割・高い貢献(ファーストオーサー、コレスポンディングオーサー、ラストオーサー等)を果たしている論文(内数)を記入し、ファーストオーサー、コレスポンディングオーサー、ラストオーサー以外で、論文における重要な役割を果たしているものとして、内数に計上しているものがある場合は、その役割を以下に記入してください。

研究分野の慣習としてオーサーリストはアルファベット順となっているため、ここでは特に学術的成果に重要な役割・高い貢献を果たした論文を内数として計上した。

## ⑤国外の研究機関に所属する者のみの論文

区分	令和5年度		備考
		うち国際学術誌掲載論文数	
化学			
材料科学			
物理学	0	0	
計算機&数学			
工学			
環境&地球科学			
臨床医学			
基礎生命科学			
人文社会系			
合計	0	0	

※拠点における共同利用・共同研究の成果である旨の Acknowledgement(謝辞)がある論文のみを記入してください。

○高いインパクトファクターを持つ雑誌等に掲載された場合、その雑誌名、インパクトファクター、掲載論文数、掲載された論文のうち主なものを記載してください。

※拠点以外の研究者については、発表者名にアンダーラインを付してください。

雑誌名	インパクトファクター	掲載論文数	主なもの		
			掲載年月	論文名	発表者名
Physical Review Letters	8.6	18	令和5年10月	Observation of an Excess of Dicharmonium Events in the Four-Muon Final State with the ATLAS Detector 131 (2023) 151902	ATLAS Collaboration
			令和6年1月	Evidence for the Higgs boson decay to a Z boson and a photon at the LHC 132 (2024) 021803	ATLAS Collaboration
			令和5年11月	Detecting Hidden Photon Dark Matter Using the Direct Excitation of Transmon Qubits 131 (2023) 211001	Shion Chen, <u>Hajime Fukuda</u> , Toshiaki Inada, <u>Takeo Moroi</u> , Tatsumi Nitta, and <u>Thanaporn Sichanugrist</u>
Journal of High Energy Physics	5.4	65	令和5年6月	Search for direct pair production of sleptons and charginos decaying to two leptons and neutralinos with mass splittings near the W-boson mass in $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector 06 (2023) 31	ATLAS Collaboration
			令和5年7月	Search for resonant and non-resonant Higgs boson pair production in the $bb\bar{\tau}^+\tau^-$ decay channel using 13 TeV pp collision data from the ATLAS detector 07 (2023) 40	ATLAS Collaboration
			令和5年7月	Inclusive and differential cross-sections for dilepton $t\bar{t}$ production measured in $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector 07 (2023) 86	ATLAS Collaboration
Physical Review D	5.0	14	令和5年8月	Measurements of Higgs boson production by gluon-gluon fusion and vector-boson fusion using $H \rightarrow WW^* \rightarrow e\nu\mu\nu$ decays in pp collisions at Formula Presented with the ATLAS detector 108 (2023) 032005	ATLAS Collaboration
			令和5年8月	Quench dynamics of the Schwinger model via variational quantum algorithms 108 (2023) 034501	Lento Nagano, <u>Aniruddha Bapat</u> , and <u>Christian W. Bauer</u>
European Physical Journal C	4.4	35	令和5年7月	Search for doubly charged Higgs boson production in multi-lepton final states using $139\text{fb}^{-1}$ of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ with the ATLAS detector 83 (2023) 605	ATLAS Collaboration
			令和5年7月	Search for supersymmetry in final states with missing transverse momentum and three or more b-jets in $139\text{fb}^{-1}$ of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ with the ATLAS detector 83 (2023) 561	ATLAS Collaboration
			令和5年7月	Reconstructing particles in jets using set transformer and hypergraph prediction networks 83 (2023) 596	<u>Francesco Armando Di Bello</u> , <u>Etienne Dreyer</u> , Sanmay Ganguly, <u>Eilam Gross</u> , <u>Lukas Heinrich</u> , <u>Anna Ivina</u> , <u>Marumi Kado</u> , <u>Nilotpai Kakati</u> , <u>Lorenzo Santi</u> , <u>Jonathan Shlomi</u> and <u>Matteo Tusoni</u>

雑誌名	インパクトファクター	掲載論文数	主なもの		
			掲載年月	論文名	発表者名
Physics Letters B	4.3	21	令和5年7月	Combination of searches for invisible decays of the Higgs boson using 139 fb <sup>-1</sup> of proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV collected with the ATLAS experiment 842 (2023) 137963	ATLAS Collaboration
			令和6年1月	Search for non-resonant production of semi-visible jets using Run 2 data in ATLAS 848 (2024) 138324	ATLAS Collaboration
			令和6年2月	Probing the CP nature of the top-Higgs Yukawa coupling in $tt^{\pm}H$ and $tH$ events with $H \rightarrow b\bar{b}$ decays using the ATLAS detector at the LHC 849 (2023) 138469	ATLAS Collaboration

(注)インパクトファクターを用いることが適当ではない分野等の場合は、主なものについて記載してください。  
※拠点以外の研究者については、発表者名にアンダーラインを付してください。

インパクトファクター以外の指標とその理由		該当なし		
雑誌名	掲載論文数	主なもの		
		掲載年月	論文名	発表者名

○共同利用・共同研究による成果として発行した研究書

研究書数の合計	令和5年度		
	うち国際共著		
	0	0	
主なもの			
研究書の名称	編著者名	発行年月	出版社名

○分野の特性に応じ、論文及び研究書以外に適切な評価指標について、当該指標と当該分野におけるその評価指標の妥当性・重要性を記載するとともにその成果の実績を記載してください(該当あれば)。

**記述様式(47ページ)を参照**

○その他、特色ある共同研究活動成果の実績(異分野融合・新分野創出の成果等を含む)についてアピールポイントを記載してください(該当あれば)。

**記述様式(47～48ページ)を参照**

○当該研究所等における被引用論文数の調査・分析を実施している場合は、当該調査の結果を分野ごとに記入し、Q値には、論文に占めるTOP10%補正論文数の割合を記入してください(該当あれば)。(調査実績がない場合は、「該当なし」と記入するものとし、あらためて調査を依頼する必要はありません。)

分野	被引用数	論文数	Q値	対象期間	調査会社名	備考
物理学	94,452	1,648	45.6	平成22年～令和5年	Scopus (エルゼビア社)	令和6年度5月に調査TOP10論文数751編

○上記における調査とは別の方法で実施した被引用論文数の調査・分析について、以下にその方法の概要を記入するとともに、調査・分析結果を示す資料を別添にて提出してください(該当あれば)。

該当なし

○調査の結果、当該研究所等の研究者の論文のうち、被引用回数が当該研究分野の上位10%以内にランクされた論文(TOP10論文数)がある場合は、直近のデータを分野ごとに記入してください。

分野名	論文名	発表者名	引用数
物理学	Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B 716 (2012) 1-29	ATLAS Collaboration	8,050
	Review of Particle Physics, Phys. Rev. D 98 (2018) 030001	M. Tanabashi, K. Hikasa, J. Tanaka et al.	6,123
	Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments, Phys. Rev. Lett 114 (2015) 191803	ATLAS Collaboration, CMS Collaboration	1,106
	Search for the lepton flavour violating decay $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ with the full dataset of the MEG experiment, Eur. Phys. J. C 76 (2016) 434	MEG Collaboration	788
	Measurements of the Higgs boson production and decay rates and constraints on its couplings from a combined ATLAS and CMS analysis of the LHC pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV, JHEP 08 (2016) 045	ATLAS Collaboration, CMS Collaboration	745
	New constraint on the existence of the $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ decay, Phys. Rev. Lett 110 (2013) 201801	MEG Collaboration	489
	Performance of the ATLAS trigger system in 2015, Eur. Phys. J. C 77 (2017) 317	ATLAS Collaboration	465
	FCC-hh: The Hadron Collider: Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 3, Eur. Phys. J. Spec. Top 228 (2019) 755-1107	FCC Collaboration	465
	Muon reconstruction performance of the ATLAS detector in proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Eur. Phys. J. C 76 (2016) 292	ATLAS Collaboration	454
	Combined measurements of Higgs boson production and decay using up to 80 fb <sup>-1</sup> of proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV collected with the ATLAS experiment, Phys. Rev. D 101 (2020) 012002	ATLAS Collaboration	398
	Observation of Higgs boson production in association with a top quark pair at the LHC with the ATLAS detector, Phys. Lett. B 784 (2018) 173-191	ATLAS Collaboration	278
	Search for new phenomena in the dijet mass distribution using pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector, Phys. Rev. D 91 (2015) 52007	ATLAS Collaboration	265
	Search for direct production of charginos, neutralinos and sleptons in final states with two leptons and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector, JHEP 5 (2014) 71	ATLAS Collaboration	249
	The design of the MEG II experiment, Eur. Phys. J. C 78 (2018) 380	MEG II Collaboration	245
	New limit on the lepton-flavor-violating decay $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ , Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 171801	MEG Collaboration	232
Search for new phenomena in final states with an energetic jet and large missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector, Eur. Phys. J. C 75 (2015) 299	ATLAS Collaboration	213	

○共同利用・共同研究者に対し、論文の謝辞についてどのように記述するよう求めているのか記載してください。

必ず1名は共同著者として参加しているため、求めている。

## 3. 共同利用・共同研究の活動状況

## ①共同利用・共同研究課題の採択状況・実施状況

年度	採択状況				実施状況								
	公募型				新規分			継続分			合計		
	応募件数	採択件数	採択率(%)	うち国際共同研究	公募型実施件数	うち研究テーマ設定型	うち国際共同研究	公募型実施件数	うち研究テーマ設定型	うち国際共同研究	公募型実施件数	うち研究テーマ設定型	うち国際共同研究
R5	16	16	100	16	4	4	4	12	12	12	16	16	16

○共同利用・共同研究課題の採択課題リストを別紙として添付してください。様式は任意ですが、課題名、代表者の所属・氏名、共同研究者の所属機関、参加者数(学内・学外)、金額、期間、分野等の項目があれば記載したものとしてください。

## ②共同利用・共同研究課題の概要

	課題名	概要
1	第4期ATLAS実験における新規導入を目指したSystem-On-a-Chip(SoC)デバイスによる大規模電子回路系制御の研究	素粒子物理の標準モデルを超える現象・新粒子の発見を目指して、CERNの高輝度LHCプロジェクトでは、令和11年以降に加速器の最大輝度を当初の設計値の7倍にまで到達させる予定である。この性能向上によってもたらされる新物理発見の可能性を最大化するため、現在使用中のすべての電子回路を最新のエレクトロニクス技術を使ったものに置きかえる。本研究では、将来の大規模実験における回路制御の標準手法の有力候補であるSoCデバイスを使った制御の実装を研究する。テストベンチにおける検証から始め、最終的にATLAS実験ミュオントリガー回路において運用可能なシステム構築を目指す。
2	LHC第3期運転におけるミュオントリガー高性能化のための研究開発	新粒子の探索を通じて、標準理論を越えた新しい素粒子物理を開拓する。そのために高性能のミュオントリガーを用意し、新粒子の崩壊時に発生するミュオンを高効率、高アクセプタンスで捉えるトリガー回路が必要となる。本研究ではトリガー回路の開発・運転・性能評価により、優れたトリガーアルゴリズム改良を行い、新物理探索の感度向上を目指す。
3	ヒッグス粒子のベクトルボソン融合生成の微分断面積測定	ATLAS実験の陽子・陽子衝突データを用いて、ヒッグス粒子のベクトルボソン融合生成のSimplified Template Cross Section(STXS)を測定する。STXSは、力学的変数で定義された領域ごとの断面積である。ヒッグス粒子の崩壊として、タウ粒子対崩壊を用いる。得られたSTXSの測定値を用いて、標準理論を超える物理を探る。
4	HL-LHCに向けたATLAS実験用グリッド計算機システムの拡張に関する研究開発	LHC-ATLAS実験で取得するデータの処理とシミュレーション・データの生成は、グリッド技術を用いて、世界各国の主要研究所に配備した計算機を国際ネットワークで接続することにより行っている。しかしながら、現在採用されているオープンソース・ソフトウェアで構成されるグリッド・ミドルウェアと、既存のデータ処理のワークフローを踏襲するだけでは、HL-LHCで取得する膨大なデータ量には対応できない。本研究では、新しい計算機利用技術を取り入れた新規ミドルウェアやハードウェアの適用可能性を検証し、ソフトウェア開発にも貢献することにより、既存のグリッド計算機システムの拡張を可能にする。
5	機械学習を適用させた新しいデータ処理技術・解析システムの開発	本研究の目的は、LHC実験やILC将来実験等、大型加速器を用いた素粒子実験におけるデータ処理や解析手法に最先端の機械学習手法を適用することで、データ解析技術の性能向上や実験のためのデータ処理性能の改善・効率化を目指す。機械学習を適用させた新しいデータ処理技術・解析システムを開発し、関連するインフラに革新をもたらすこと、また、次世代実験のための新しいデータ処理システムの基盤技術を確認させることが目標である。
6	高エネルギー物理への応用に向けた量子コンピュータの研究	IBM Q等の量子コンピュータの実機が利用可能になり、実問題に向けたQCの応用研究が本格化している。一方で、高エネルギー物理のためのQCの応用研究は始まったばかりで、現在は初歩的な問題設定で量子アルゴリズムの実装を試みている段階にある。そこで、QCの物理への応用研究で専門知識と経験をもつ東京大学と早稲田大学が協力することで、高エネルギー物理学へのQC応用研究を発展させる。特に本研究では、ノイズが多く耐故障性を持たないQC(NISQ)をLHC実験(トラッキングや粒子シミュレーション)での活用を目指し、その基礎となるデータ解析技術の開発と検証を目的としている。また、将来的には機械学習への応用研究も目指し、教師なし量子機械学習技術の研究に関する初期研究も検討を開始し、実現可能性を吟味しつつ段階的に進めていく。

	課題名	概要
7	MEG液体キセノンガンマ線測定器の性能向上のための研究開発	MEG II用液体キセノンガンマ線測定器に使用されている低温用光センサー(MPPC)並びに光電子増倍管に関して、MEG II実験のセットアップでさらなる性能向上を図るための最適化を実施する。
8	次世代 $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験のための研究開発	本研究は、次世代大強度ミュオン粒子ビームを用いた究極探索感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験の実現を目指し、実験装置設計の検討および必要な測定器技術の開発を行うことを目的としている。
9	ILCのための深層学習を用いた事象再構成の研究	ILCの測定器には過去にない多数の測定器要素の情報から事象を精密に再構成することが求められ、深層学習により性能向上が期待できる。本研究では、①粒子再構成(Particle Flow Algorithm)、②クォーク識別(flavor tagging)の2点について深層学習を用いたアルゴリズムを開発し、従来のアルゴリズムの性能を大幅に凌駕することを目指す。
10	Electroweak Precision Measurements with Radiative Return Events at the ILC	Electroweak Precision Measurements of the Z and W bosons at the ILC can offer stringent tests of the Standard Model as well as sensitive probes to Beyond Standard Models which contain new gauge bosons. They are also inherently related to Higgs physics by gauge symmetries. This research focuses on the EW measurements using radiative return to Z-pole events at the ILC250.

※数が膨大になる場合は、主なもの10件に限定して記入してください。

### ③共同利用・共同研究の参加状況

令和5年度											
区分	機関数	受入人数	外国人	若手研究者			延べ人数	外国人	若手研究者		
				(40歳未満)	(35歳以下)	大学院生			(40歳未満)	(35歳以下)	大学院生
学内(法人内)	5	102 (6)	3 (0)	15 (2)	6 (0)	56 (2)	1436 (143)	11 (0)	43 (4)	25 (0)	1253 (129)
国立大学	11	146 (16)	7 (1)	82 (8)	60 (6)	59 (15)	2226 (181)	32 (8)	247 (33)	221 (24)	1816 (91)
公立大学	2	6 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (1)	186 (38)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	147 (5)
私立大学	14	19 (0)	0 (0)	3 (0)	3 (0)	5 (0)	195 (0)	0 (0)	6 (0)	6 (0)	137 (0)
大学共同利用機関法人	3	85 (5)	6 (1)	29 (2)	21 (2)	0 (0)	834 (33)	64 (6)	166 (12)	131 (12)	0 (0)
独立行政法人等公的研究機関	1	7 (0)	0 (0)	5 (0)	3 (0)	0 (0)	16 (0)	0 (0)	11 (0)	5 (0)	0 (0)
民間機関	0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
外国機関	74	220 (26)	219 (26)	107 (18)	75 (11)	14 (5)	1184 (124)	1181 (124)	459 (78)	317 (53)	184 (37)
その他	5	12 (1)	2 (0)	9 (0)	6 (0)	0 (0)	21 (2)	2 (0)	16 (0)	11 (0)	0 (0)
計	115	597 (55)	237 (28)	250 (30)	174 (19)	139 (23)	6098 (521)	1290 (138)	948 (127)	716 (89)	3537 (262)

※受入人数、延べ人数については上段に総数を下段に( )で女性の内数を記入してください。

※「学内」の所属機関数は「学部数」等を記入してください。

## ④上記③に記載の共同利用・共同研究における当該拠点施設所属の教員等に係る参画状況

	令和5年度						備考
	参画人数		延べ人数	専任		兼任	
	専任	兼任		専任	兼任		
教員数	25	25	0	937	937	0	
技術職員数	1	1	0	125	125	0	

⑤共同利用・共同研究の募集に係る特色ある取組(公募や施設利用の募集等に関する情報発信を含む)

⑥共同利用・共同研究を通じた人材育成機能の強化

⑦関連分野発展への取組(大型プロジェクトの発案・運営、ネットワークの構築、「共用」を含む研究設備の有効活用 等)

⑧研究施設等を置く大学(法人)の機能強化・特色化に係る取組

⑤～⑧: 記述様式(48～52ページ)を参照

## 4. 共同利用・共同研究に係る支援状況

①共同利用・共同研究に参加する研究者への支援者数

	令和5年度		備考
	専任	兼任	
教員数	25	0	
技術職員数	1	0	
事務職員数	3	0	

②参加する研究者の支援のための特色ある取組(参加を促進するための取組、参加する研究者への支援の状況、参加する研究者の利便性向上等の環境整備の状況等)

③拠点活動に対する全学的な支援の状況(人員、予算を含む)

②～③: 記述様式(52～54ページ)を参照

## 5. 関連分野の研究者コミュニティの意見の反映状況

○研究者コミュニティの意見や学術動向の把握への取組とその対応状況

記述様式(54～55ページ)を参照

## 6. 共同利用・共同研究に関するシンポジウム等の実施状況

## ① 研究者を対象としたシンポジウム等の実施状況

年度	シンポジウム・講演会		セミナー・研究会・ワークショップ		その他		合計	
	件数	参加人数	件数	参加人数	件数	参加人数	件数	参加人数
R5	1	50	19	955	1	415	21	1,420
	(0)	(2)	(6)	(232)	(0)	(0)	(6)	(234)

〔単位:人〕

○参加人数の算定方法  
実質人数をカウント

## 主なシンポジウム、研究会等の開催状況

開催期間	形態(区分)	対象	研究会等名称	概要	参加人数
令和6年 2月18日～21日	シンポジウム	国内	第30回ICEPPシンポジウム	ICEPPシンポジウムは欧米のウィンター/サマースクールを目指しており、今年度で第30回を迎えた。高エネルギー物理学分野の若手の育成・交流の場として定着している。素粒子・原子核・宇宙物理の分野を横断して、実験(加速器・測定器・計算機技術)と理論の最新情報について、全国の大学・研究機関から参加した教員・大学院学生が発表・自由討論を行い、今回よりポスター発表会も設けた。招待講師の特別講義では、北米ナノヘルツ重力波観測所で観測された背景重力波や格子QCD計算といった話題のトピックを取り上げた。	50 (2)
令和6年 3月25日～26日	セミナー	国際	Global Developments of Researches in Lepton Flavor Physics with Muons	JSPS研究拠点形成事業(A.先端拠点形成型)によるセミナー。MEG II実験開始後3年目を迎えるにあたり、次年度のビームタイム計画をはじめ、本格的なデータ取得後の物理解析結果、測定器性能やデータ収集効率の改善方法等の重要項目を議論し、確認し合った。	35 (17)
令和5年 7月31日～8月4日	研究会	国内	第六回粒子物理コンピューティングサマースクール	素粒子・原子核・宇宙物理実験におけるコンピューティング技術を主題とし、プログラミング言語、統計解析ツール、多変量解析や機械学習などのソフトウェア関連技術と、計算機とネットワークの基礎、計算機クラスタ、分散計算環境などのコンピューティング関連技術を大学院学生が集中的に学ぶスクールを対面で開催した。プログラムは月～金曜日の5日間で、講義と実習、テーマ別パラレルセッションから構成され、最終日にはそれぞれの学生が設定した課題に対する4日間の実習成果の発表会を行った。	40 (0)
令和5年 4月26日～28日	ワークショップ	国内	計算機ワークショップ 2023 for Experimental and Theoretical Physics	国内における実験・理論計算グループにおいて、計算機がどのように使われ、運用されているかの現状と将来的な見通しについて意見交換を行った。将来の新技术の種や、計算機インフラの共通化・共同研究の可能性にも触れ、議論を深めた。 トピックの一例:小・中規模オンプレミス環境、クラウド環境、HPC、GPGPU・FPGA・量子コンピュータ、オープンデータ等	106 (0)

主なシンポジウム、研究会等の開催状況					
開催期間	形態(区分)	対象	研究会等名称	概要	参加人数
令和5年 5月22日	ワークショップ	国際	Google-UChicago- UTokyo Quantum Workshop	量子コンピュータ技術の開発と応用、最新の動向などについて議論する、米国Google社、シカゴ大学、東京大学の3者合同ワークショップを開催した。	27 (5)
令和5年 6月23日	ワークショップ	国内	Workshop for Tera- Scale Physics and Beyond	平成28年度から始めた「新テラスケール研究会」を継承・進化させた第1回ワークショップを福岡で開催した。国際会議で発表されたRun2, Run3のLHC実験の最新結果や、LHC, HL-LHC, ILCやその他の物理実験で探るべき新物理について議論を行った。	62 (0)
令和5年 10月2日～6日	ワークショップ	国際	ATLAS Higgs Workshop 2023	ATLASコラボレーション内の研究者・学生を対象とした第2回国際ワークショップを本拠点が誘致し、LOCとなって開催した。新物理の方向性を決めるための大きなマイルストーン“次のヒッグス”について、Run2,Run3実験データを用いて複数のヒッグス粒子の生成過程、崩壊を観測することで、その描像を包括的に検証した。また、HL-LHC実験に先駆けた研究の議論も行った。	186 (163)
令和5年 10月18日～20日	ワークショップ	国際	BRIDGE2023	KEKとPSIの学術交流協定に基づき、ミューオンと中性子施設に関する技術交流を主目的とした研究会を初めて開催した。各研究施設で利用されるビームライン機器や生成標的、実験装置の技術について、J-PARCとPSIの現場担当者が集い、ノウハウの共有や議論を行った。	73 (32)
令和5年 4月3日, 5日～7日	その他	国内	Special Lectures on the Weak Interaction	スタンフォード大学 Michael E. Peskin教授の来学に合わせて、本拠点と理学系研究科物理学専攻の共催で、テーマ別の連続講義(3回)とコロキウムを開催した。	415 (0)

※件数の下段には、国際シンポジウム等の回数(内数)を記入してください。

※参加人数の下段には外国人の参加人数(内数)を記入してください。

## ②国際シンポジウム等への参加状況

区分	令和5年度	[単位:件]	
参加件数	58		
[単位:人]			
参加した主な国際シンポジウム等			
	開催時期	国際シンポジウム等名称	参加人数
1	令和5年 5月15日～17日	IBM Quantum Network Partner Forum 2023 (参加者総数80人)	1
2	令和5年 5月15日～19日	2023 International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2023) (参加者総数220人)	1
3	令和5年 8月21日～25日	European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP2023) (参加者総数835人)	1
4	令和5年 11月26日～12月1日	6th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (参加者総数560人)	1
5	令和6年 3月24日～29日	International Symposium on Grids & Clouds (ISGC) 2024 (参加者総数170人)	3

## ③研究者以外を対象としたシンポジウム等の実施状況

年 度	シンポジウム・講演会		セミナー・公開講座		その他		合計	
	件数	参加人数	件数	参加人数	件数	参加人数	件数	参加人数
R5	0	0	0	0	8	373	8	373

[単位:人]

## ○主なシンポジウム、公開講演会、施設の一般公開等の開催状況

開催期間	形態(区分)	対象	公開講座等名称	概要	参加人数
令和5年 8月2日～3日	その他	学生	高校生のための東京大学オープンキャンパス2023	期間中の全プログラムをオンラインで実施した。模擬授業のライブ配信、スイス・欧州合同原子核研究機構(CERN)のバーチャル体験ツアーを企画した。	189
令和5年 9月28日	その他	学生	JSTさくらサイエンスプログラム	さくらサイエンスプログラムは、新たな時代の社会を担う優れた人材を日本に招聘し、最先端の科学技術や文化に触れるプログラムです。インドから49名の大学生が東京大学を訪問し、そのうち6名が本拠点の量子研究を中心に見学した。	6
令和5年 10月26日	その他	学生	理科特別講義	SSH先導的の改革型に指定されている高校(石川県)の学生を対象にセンター見学会を開いた。素粒子物理学の講義や理学部サイエンスギャラリーに展示された東京大学のノーベル賞の功績の数々を説明した。	45
令和5年 11月19日	その他	学生	サイエンスアゴラ「重さはどうやって生まれたのだろう」	科学技術振興機構(JST)が主催する「サイエンスアゴラ2023」のステージ企画ワークショップで、浅井センター長がQuizKnock須貝氏とともにミニレクチャーを行った。当日の様子はYouTubeチャンネル「QuizKnockと学ぼう」にライブ配信された。	YouTube 約18,000回 視聴

## 7. 定期刊行物やホームページ、SNS等による一般社会に対する情報発信

情報発信の手段・手法	概要およびわかりやすい情報発信のための工夫
パンフレット発行 (研究センター紹介1,000部、大学院進学案内800部)	本拠点が取組む国際共同実験の全プロジェクトの説明や、最新の研究成果、全体概要・沿革、研究者紹介を中心に、写真や図解を交えて詳しく掲載している。また、素粒子物理学に関する学術的な基礎知識も盛り込み、冊子全体を通して理解が深められるように編集している。 大学院進学を目指す学部生向けには、研究室別の教員紹介や在学中の大学院学生、卒業生インタビューを掲載したパンフレットを製作し、ガイダンスや研究室訪問、オープンキャンパス等のイベントで配布している。
ホームページの国際化と特集サイトの充実	本拠点の教育研究や組織運営等の諸活動の状況を積極的かつ適時適切に社会へ発信するため、日本語・英語のコンテンツの充実を図っている。この継続的な取組は、国際公募による外国人研究者の応募数や、留学生・インターンシップ生の受入人数の増加等に効果が表れてきている。また、センターの今を特集した企画ページ「What's On!」や大学院進学希望者向けの情報サイト「Beyond ICEPP」の記事を更新し、バラエティに富んだ仕掛けづくりを行っている。 関連研究者コミュニティ向けの会合等の情報も容易に閲覧でき、さらには研究者(本拠点も含む)の利便性を考慮し、関連する論文等の学術資料及び実用資料へのリンクも掲載している。 【URL <a href="https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/">https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/</a> 】
量子ネイティブ育成センター(教育)ホームページ	情報理工学系研究科と共同の「量子ネイティブ育成センター」を紹介するホームページを構築し、全学の学部生に向けて発信している。 【URL <a href="https://qneec.jp/">https://qneec.jp/</a> 】
量子情報科学(研究)ホームページの充実	本拠点が推進する量子技術の応用研究を紹介するホームページを構築し、研究プロジェクトや成果等を発信している。 【URL <a href="https://quantum-icepp.jp/">https://quantum-icepp.jp/</a> 】
量子コンピューティング・ワークブック	量子コンピューティングを手を動かして学びたい方のための入門教材を独自に作成し、広く一般に公開している。量子力学や計算科学の前提知識を極力必要とせず、大学1年生程度の数学とPythonプログラミングの知識があれば、ゼロから量子コンピューティングを自習できるような教材コースとなっており、高等専門学校で活用された実績がある。 【URL <a href="https://utokyo-icepp.github.io/qc-workbook/welcome.html">https://utokyo-icepp.github.io/qc-workbook/welcome.html</a> 】

## 8. 新型コロナウイルスの影響に伴う活動状況(該当あれば)

①新型コロナウイルスの影響に伴う課題等に対する取組状況

②新型コロナウイルスによる影響と対応状況

①～②: 記述様式(55～58ページ)を参照

## 補足資料：記述様式

### 1. 研究施設の状況

#### 1-2. 研究施設の組織等

##### 8. その他、研究施設の特色ある取組（該当あれば）

- 本拠点の設置目的を踏まえ、社会的、国際的な価値を有する研究活動を遂行していることを検証するため、研究協議会・運営委員会・参与会において自己点検・評価を年度毎に実施している。そのほか、国内外の有力な研究者で構成される国際評価委員会による外部評価を、プロジェクトの立案、実行、そして成果を得るまでのサイクルが完結したタイミングで実施している。前回の外部評価（平成30年度実施、報告書はウェブサイトで公表）での提言を踏まえ、世界的規模で分散するビッグデータを用いた機械学習の応用や、量子コンピュータを基礎科学に応用するプロジェクトチームを編成し、多角化戦略を進めた。外部評価委員会による提言を反映しながら、自己改善の取組を推進している。
- 国際公募及びテニュアトラック制による人事公募を積極的に実施し、人事選考委員には外部審査委員を必ず含め、透明性の高い選考を実施している。令和5年度はテニュアトラック助教2人・特任准教授1人・特任助教2人（内、外国人1人）・特任研究員2人（内、外国人1人）を採用するなど、構成員の多様性向上、若手研究者の確保による人材の流動化の促進にも配慮している。国際公募による外国人研究者の応募者数は令和4年度が3人、令和5年度が6人であり、国際頭脳循環を促進している。
- 大型の国際共同研究が行われるスイス現地に本拠点が運営する海外拠点を形成し、国内の研究機関に対する参加窓口となって海外の研究者と日本の研究者を結び、国際的な共同研究を推進している。国際的な学術研究におけるハブ機関としての機能を果たすことによって、多くの日本人研究者が大型国際共同実験における最重要研究テーマに取り組むことが容易になり、「日本の素粒子研究全体の研究力の向上」に大きく寄与している。
- 量子技術の素粒子研究への実用研究を切り口に、日本・欧州・米国を結んだ量子コンピュータのネットワーク形成と国内の量子イノベーションの発展を牽引し、量子コンピュータの実用化と量子技術の基礎物理への応用研究を推進している。また、量子ネイティブ育成のためのハンズオン形式を重視した教育を担い、全学向けの授業開講や教材提供を行っている。令和5年度には公募制選抜で勝ち抜いた少人数の学部生を対象に、特定のトピックに特化した萌芽的挑戦課題に取り組むサマーキャンプを初開講した。諸外国に比べて立ち遅れている我が国のITや量子コンピュータ分野の活性化に繋げている。

#### 1-4. 研究施設の国際交流状況

##### 4. 外国人研究者の受入や国際的な連携等を促進するための取組状況

- 本拠点が主導し、シカゴ大学とともに提案した国際量子研究ネットワーク形成のためのプログラムが、科学技術振興機構（JST）「先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）／Top チームのための ASPIRE」に採択され、令和6年2月より始動した。量子センサー、量子ハードウェア、量子ソフトウェア、

量子コネクトの4分野で、部局間連携による外国人研究者・学生の受入と東京大学の研究者・学生の派遣を行い、トップ研究者の人材育成と国際ネットワークによる実装研究を推進していく。

- 東京大学は、シカゴ大学と IBM、シカゴ大学と Google をパートナーとして、量子技術の研究領域の発展に向けた協力関係を構築する2本のパートナーシップに合意し、令和5年5月21日、広島で開かれたG7サミットの機会を捉えて、それぞれのトップ3者間による調印式が行われた（写真1）。調印式の翌日より、本拠点がホスト機関となり、本学で合同ワークショップを3日間開催し、産学官の異次元の量子国際戦略をスタートさせた。



シカゴ大・IBM・東大間の調印（上側）

シカゴ大・Google・東大間の調印（下側）



写真1：調印式には日米両国の政府・大学・企業の代表者が出席

- 量子コンピュータ応用研究では、CERN openlab（令和元年7月加入）と CERN Quantum Technology Initiatives（令和2年9月の立ち上げとともに主要な参加機関に加入）での活動を機に、CERNをハブとした多くの大学・研究機関・加盟企業と創造する量子イノベーションの最前線に立ち、国際連携を強化している。
- CERNで開かれた量子国際会議 International Conference on Quantum Technologies for High-Energy Physics (QT4HEP22)（令和4年11月、写真2・左）で高エネルギー物理分野での量子優位性を目指した議論が高まり、CERN、DESYとともに主要参加機関として、量子コンピューティング応用研究のロードマップ策定を進めた。また、機械学習と量子計算の連携に焦点を当てた年次国際会議 Quantum Techniques in Machine Learning (QTML2023)（令和5年11月、写真2・右）がCERNで開かれ、主要な学術研究者や業界関係者との交流を深めた。



写真2：CERNで開催された国際会議QT4HEP22に教員3人、QTML2023に教員2人が出席

- 東京大学は、シカゴ大学との戦略的パートナーシップ協定を文理融合の全学で締結しており、本拠点は、同大学にハブ拠点を置く Chicago Quantum Exchange (CQE) との 量子研究の国際的な新展開を担っている。CQEは米国エネルギー省のアルゴンヌ国立研究所やフェルミ国立加速器研究所（FNAL）等の6機関・130人以上の研究者で組織された機関である。また、令和4年10月より FNALと量子



写真3：FNALとの国際交流に修士課程1年の大学院学生も参加

センサー技術の基礎物理への応用に関する議論を始め、将来的な量子技術の共同開発と予算獲得に向けた連携を進めてきた。この目的の一環として、令和5年11月に教員1人と大学院学生2人をシカゴ大学とFNALに派遣し、パートナーシップを通じてオープンな教育リソースと専門知識を共有する機会を創出している(写真3)。

- 米国・ローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)との量子アルゴリズム開発等の取組では、日米科学技術協力事業による若手研究者・大学院学生(令和4年度に8人、令和5年度に5人)の派遣や共同研究の論文発表など、国際連携を年々深化させている。令和5年10月にはLBNLの共同研究者とともに「LBNL-UTokyo Quantum Computing Workshop」を本学で開催した。

- ATLAS 実験では、令和5年10月に本学で「ATLAS Higgs Workshop 2023」を開催した(写真4)。

参加研究者が所属する Higgs 解析グループは、ATLAS 実験グループで最大規模の物理解析グループの一つで、平成24年のヒッグス粒子発見に貢献した増淵達也が代表(令和4～5年)を務めてきた。国内外から186名(うち海外は163名)の参加があり、Run2, Run3 実験データを用いた研究や高輝度 LHC 実験に先駆けた研究などの議論を行った。



写真4:10月に本学で開催した ATLAS Higgs Workshop 2023

- MEG 実験では、平成30年度に採択された日本学術振興会研究拠点形成事業(A.先端拠点形成型)「ミュー粒子を使ったレプトンフレーバー物理研究のグローバル展開」が後押しし、研究交流やセミナーの開催により国際連携が強化されている。また、令和4年度に採択された科研費-国際先導研究「国際協力によるミューオン素粒子物理研究の新展開」(研究分担者)により、新たな国際協力体制でミューオン素粒子物理研究を強力に推進するとともに、国際的な研究者交流や次世代

実験を担う若手人材の育成を図っている。令和5年度の具体的な取組実績として、KEK と PSI の学術交流協定に基づき、ミューオンと中性子施設に関する技術交流を主目的とした研究会「BRIDGE2023」を初めて開催した(写真5)。J-PARC と PSI の現場レベルの担当者が集うことで、実験装置・施設整備・運用に関する技術やノウハウの共有をはじめ、両研究所間の技術シーズと現場ニーズのマッチングを行うことができた。令和6年3月には、研究拠点形成事業を締めくくるとともに、国際的な研究者交流や次世代



写真5:BRIDGE2023 集合写真

実験を担う若手人材の育成を図っている。令和5年度の具体的な取組実績として、KEK と PSI の学術交流協定に基づき、ミューオンと中性子施設に関する技術交流を主目的とした研究会「BRIDGE2023」を初めて開催した(写真5)。J-PARC と PSI の現場レベルの担当者が集うことで、実験装置・施設整備・運用に関する技術やノウハウの共有をはじめ、両研究所間の技術シーズと現場ニーズのマッチングを行うことができた。令和6年3月には、研究拠点形成事業を締めくくるとともに、国際的な研究者交流や次世代

- 教員・研究員を公募する際、国際公募を行っている。外国人研究者の応募に配慮し、高エネルギー物理学研究者のためのオープンアクセスライブラリーへの公募掲載や、オンライン面接を積極的に導入し、グローバル化に対応した方策を進めている。

- 国内外の研究者を講師に招き、不定期で開催する ICEPP セミナーを令和5年度に9回開催し、CERN の Michael Doser 氏など計9人の外国人研究者を招聘した(写真6)。また、スタンフォード大学の



写真6:H. Thankful Cromartie 博士のセミナー

Michael Peskin 教授を招聘の際に物理学専攻とタイアップし、特別講義とコロキウムを4日間開

催し、約 500 人の学生が参加した。

## 1-5. 研究施設の教育活動・人材育成

### 4. その他、学部・研究科等との教育上の連携や協力の状況

- 本拠点の教員は、理学系研究科物理学専攻の協力講座教員として大学院の講義を担当するとともに、大学院学生の研究指導を行っている。令和5年度に担当した講義は「素粒子原子核実験学」「素粒子物理学Ⅱ」「物理学特別講義」（集中講義）である。素粒子実験技術の基本、素粒子物理学の基本概念を伝えるとともに、本拠点が進める実験の最新状況を分かりやすく説明することで、最先端の研究の魅力を伝えている。また、理学部物理学科「素粒子物理学」（学部4年）、「物理学ゼミナール」（学部3年）、教養学部「初年次ゼミナール」（学部1年）も担当している。
- 令和3年度に「量子ネイティブ育成センター」を発足し、主たる教育活動として、新しい量子教育カリキュラム「IBM Quantumを用いた量子コンピュータ実習：ハードとソフトで学ぶ」（Sセメスタ、全学部3・4年生）を担当している。3年連続で予想を上回る約100人の履修登録があった。基礎から応用まで網羅した分かりやすいワークブック（教材）も作成し、ウェブ上に一般公開したことで話題となった。最新の計算技術の提供ができるよう、量子プログラミング環境の進展に合わせて随時ワークブックの更新を行っている。
- 令和4年度夏学期よりハードウェア・テストセンター（浅野キャンパス）にある IBM 量子コンピュータを実際に活用し、超伝導量子コンピュータシステムの基本動作からマイクロ波信号の処理、量子ビットの状態読み出し等のハードウェア実習を選抜方式で実施している。令和5年度夏学期は、マイクロ波パルスを用いたコヒーレンス時間の測定や量子ゲート実装などを行い、実習内容を拡張している（写真7）。
- 本拠点の教員の研究室には、修士課程・博士後期課程の大学院学生40人が在籍している。博士課程大学院学生の一部はスイスのCERNやPSIに出張し、現地教員や各国の研究者と国際共同研究を行っている。学生を現地に滞在させ、国際協力と競争のなかで世界最先端の研究を通じた教育を行うことにより、研究者として必要な技能を実践的に習得させている。また、量子分野においては米国・シカゴ大学やFNAL、LBNLへの大学院学生の派遣も活発に行っている。
- 科学技術振興機構Q-LEAP（光・量子飛躍フラッグシッププログラム）や文部科学省国際卓越大学院プログラム（変革を駆動する先端物理・数学プログラムFoPM）に参加し、量子技術・量子コンピュータの高等教育を理学系研究科と共同で実施している。また、文部科学省国際卓越大学院プログラム（量子科学技術国際卓越大学院WINGS-QSTEP）や科学技術振興機構次世代研究者挑戦的研究プログラム（グリーントランスフォーメーションを先導する高度人材育成SPRING GX）に各研究室の大学院学生がフェローシップ生に選ばれ、意欲的に学修している。



写真7：IBM テストベットを使用した実習時の様子

## 2. 共同利用・共同研究拠点の状況

### 2-1. 拠点の活動状況等

#### 1. 実施計画及び実施状況

##### 令和5年度実施計画

#### ① 共同利用・共同研究の具体的な内容

##### (1) 国際共同実験 ATLAS

令和4年度から令和7年度まで継続する第3期実験期間、及び令和11年度開始の高輝度LHCプロジェクトにおいて、LHCのルミノシティが大幅に増強される。粒子衝突頻度が高く実験条件の厳しい環境下でも良質なデータを取得して優れた物理成果を導くためには、検出器の高度化が必須であり、国際共同実験 ATLAS グループでは検出器の性能向上と信号処理エレクトロニクスの高度化に取り組む。本拠点は、特にミュオントリガーとカロリメータトリガーの現行装置の継続的な発展を含むシステム運用に貢献し第3期実験を主導する。並行して高輝度LHCに向けた数種類の新型専用回路の開発とそれらを統合したシステムの試験を推進する。この際、本学に設置したリモート共同研究拠点も活用して、国内のみでなく海外の共同研究者を含めたハードウェアの開発・運用体制を提供する。

データ解析では、第3期実験のデータを使った物理解析を開始した。ヒッグス粒子の生成・崩壊の精密測定、稀崩壊探索、超対称性等の標準理論を超えた新粒子・新現象の探索領域を拡張する。膨大な実験データに隠れる微小な信号を捉えるには、大規模な計算機資源と新しい発想を取り入れた高感度な解析手法の導入が重要である。これらの新しい手法の開発と物理解析を地域解析センターシステム及びCERNサテライトシステムを用いて行う。検出器開発、リモート研究拠点、分散解析環境の効率化等の課題を中心に、共同研究（研究課題10件程度、関連研究者数50人程度）を実施する。

##### (2) 国際共同実験 MEG

飛躍的に実験感度を向上させるために検出器をアップグレードしたMEG II実験は、令和4年7月に本格的な物理データ取得を開始し、約4ヶ月にわたり順調にデータを取得した。取得した物理データの解析も進めており、昨年度のデータでMEG実験の探索感度を凌駕する見込みである。今年度も継続して検出器性能やデータ収集効率の改善などに取組みながら、物理データ取得を継続していく予定で、最低3年間のデータ取得により目標感度に到達することを目指す。共同研究課題としては例年通り4件程度、約25人の関連研究者の参加が期待される。

##### (3) 量子AIテクノロジー研究部門

量子機械学習（量子AI）や量子シミュレーションの基礎・応用研究、NISQデバイス上で量子計算を実行するためのソフト・ハード開発、量子技術を使った新しいセンサーの開発を行う。素粒子物理の国際的な研究基盤を継承した日本・欧州・米国の連携体制と国内企業との共同研究体制を強化・推進していく。量子コンピュータと機械学習の応用研究を課題に、共同研究（研究課題2件程度、連携研究者約15人）を見込む。

#### ② 共同利用・共同研究の環境整備

本拠点では共同利用・共同研究に供する設備として3つの設備を擁する。

### (1) 地域解析センターシステム

令和4年1月に運転を開始した第6期目のシステムが順調に稼働している。機器は強化された学術情報ネットワーク SINET6 の国際ネットワーク上に配備され、LHC 専用の仮想ネットワークを利用して、効率的・安定的なデータ転送を実現している。共同利用者が快適かつ迅速に物理解析を行える環境を整備し、年間を通して95%以上の高可用性の確保を目指す。また将来的に拡張するため、学術スパコン、商用クラウド、機械学習・人工知能、量子コンピュータ等の最新のインフラや技術の研究開発を推進する。

### (2) CERN サテライトシステム

オンプレミスのハードウェアと CERN が提供するクラウドサービスを使って本システムを構築している。コロナが影響して日本から本システムにアクセスする研究者が一定数いるものの、水際対策の見直しにより CERN 現地で活用する研究者がコロナ前と同じレベルまで増えており、現地に滞在する日本の研究者が本システムを活用し、緊急のデータ解析や新現象の発見可能性が高い研究を集中的に行っている。若手研究者や大学院学生は、各国の研究者に先駆けて物理解析の成果をあげることが求められており、本システムはその機動性を担保するための重要な鍵を握っているため、現有の資源の安定運用を継続し、高い稼働率を確保しつつ、今後もニーズに合わせた機能を強化していく。

### (3) PSI 設置 MEG 実験システム

検出器システムについてはアップグレードした検出器の精密較正、データ解析アルゴリズムの改良等により設計性能を実現し、長期安定運用を行う。昨年度より本格的に取得を開始した物理データ及び較正データを解析するため、計算機システムの増強も実施する。

## 令和5年度実施状況

### (1) 国際共同実験 ATLAS

LHC 第3期実験 (Run3) は2年目を迎えた。加速器のコミッショニングを4月中旬まで実施し、4月21日から7月まで陽子衝突エネルギー13.6TeV で実験を行い、約  $30\text{fb}^{-1}$  のデータを取得した。Luminosity Leveling 手法を用い、最高瞬間輝度  $2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  を約6時間継続した後、輝度が6割程度に下がる6～9時間を1回のサイクルとしたモード（合計約12～15時間）で運転することで、最大で1日  $1.2\text{fb}^{-1}$  のデータを取得することが可能になった。しかし、7月17日に IP8 の最終収束磁石の断熱真空系へのヘリウム漏れが発生し、実験を中断した。迅速な問題解決後（写真8）、9月には加速器運転の再開が可能になったが、残りの運転期間が短いこともあり、陽子衝突実験は行わず、低輝度環境での実験や Pb イオン衝突実験を行い、令和5年の運転を10月末に完了した。**昨年度と合わせて、13.6TeV の陽子衝突データは約  $70\text{fb}^{-1}$  に到達した。**これは第2期実験 (Run2、平成27～30年) で取得した総データ量の半分に相当する。



写真8：LHC 真空系へのヘリウム漏れの修復作業は、複数の専門家チームの連携により10日間で解決

加速器が高輝度  $2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  を長時間継続する運転を行うため、その厳しい環境において高品質の物理解析データを高効率で安定に取得する必要があるため、本拠点では**新型ミューオン検出器を活用した初段ミューオントリガーシステムの改良や、カロリメータトリガーシステムの改善**に取組んだ。

図1は初段ミュオントリガーシステムの改良により、トリガーレートを24kHzから15kHzまで抑えた成果を示したものである。カロリメータトリガーのオペレーションにも継続して取り組んでいる。

また、令和11年開始予定の高輝度LHCプロジェクトに向けたミュオントリガーシステムのアップグレードの研究開発を実施した。フロントエンドのトリガー読み出し用回路の初期量産を開始し、その統合試験システム等の開発や、バックエンド回路に組み込むトリガー論理ファームウェアの開発と試験環境の構築を進めている。

データ解析では、Run2の全データ  $140\text{fb}^{-1}$  を用いた物理解析を継続しながら、Run3データの解析を開始した。本拠点ではヒッグスポテンシャルの形を決めるために重要となるヒッグス対生成の探索感度の向上や、電弱相互作用を通じて生成される超対称性粒子の探索などを行った。更に、新物理の発見を目指し、右巻きWボソン・ニュートリノ探索や前方検出器を用いたアクシオン様粒子(ALP)探索を実施した(図2)。発見には至らなかったが、各物理モデルに対して最も厳しい制限を与えた。機械学習・深層学習を利用した解析手法の高度化を物理解析に導入し、発見・探索感度の改善を行った。

地域解析センターシステムとCERNサテライトシステムの2つの計算資源を安定的に運用し、物理成果の創出に貢献している。令和4年1月から運用している地域解析センター第6期システムは絶対稼働率99.3%、運転予定期間に対する運転効率100%という実績をあげた。ATLAS全体で使用する計算資源として、約11k個のCPUコアと約9PBのディスクをWLCGに提供し、ATLASデータ総量の増加(全体で約840PB、この1年で約110PB以上)に大きく寄与している。

検出器開発、リモート研究拠点、物理解析、分散解析環境等の課題で共同研究(研究課題6件、関連研究者数54人)を実施した。

## (2) 国際共同実験 MEG

今年度は6月初めからおよそ5ヶ月間安定した物理データの取得を行い、令和3年の実験開始以来、最も多くの物理データを取得した。並行してこれまでに取得した物理データの解析を進めた。

令和5年10月20日、令和3年に試験的に取得した最初の物理データを用いた  $\mu \rightarrow e\gamma$  探索解析の結果を、日本・スイス・イタリア同時にプレス発表した。 $\mu \rightarrow e\gamma$ の兆候は見られず(図3)、崩壊分岐比に対する上限値  $7.5 \times 10^{-13}$  (90% C.L.)を与えた。MEG実験の最終結果と合わせ、これまでで最も厳しい上限値  $3.1 \times 10^{-13}$  (90% C.L.)を得た(Eur. Phys. J. C 84 (2024) 216)。この $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索解析では、わずか数週間分のデータにも関わらず、既にMEG実験に迫る実験感度を達成している。今後も測定器性能・データ収集効率の改善等に取り組む物理データ取得を継続していく。加速器の稼働スケジュールや同じビームエリアを使用するMu3e実験等他の実験グループの動向に依存するが、令和9~10年に予定されているPSI加

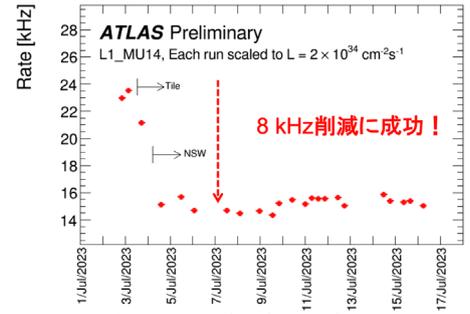


図1：ミュオントリガーシステムの改良によりトリガーレートを大幅に改善

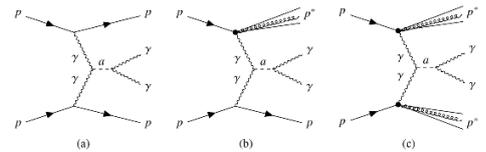


図2：周辺光子の電磁相互作用によるALPの生成プロセス

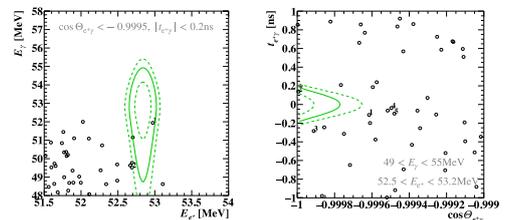


図3：2021年データにおける信号領域付近の事象分布、緑線は信号PDF ( $1\sigma, 1.64\sigma, 2\sigma$ )

速器アップグレードのためのシャットダウンまでに令和3年の20倍以上の物理データを取得し、目標感度に到達することを目指す。

また、PSIのミュオンビームを100倍以上増強する計画（HIMB計画）を利用して、MEG II実験を大幅に上回る探索感度の将来実験に向けた研究開発も進めている。次世代探索実験では、アクティブコンバーターを用いた光子ペアスペクトロメータ、超薄型シリコンピクセルセンサーを用いた陽電子測定器など、MEG実験とは全く異なるコンセプトで測定精度を大幅に改善し、探索感度  $0(10^{-15})$  を目指す。PSIのHIMB計画は令和9～10年の実現を目指しており、MEG II実験の目標感度到達後、速やかに将来実験に移行できる。新実験測定器の要となる光子ペアスペクトロメータ用アクティブコンバーターの開発を重点的に進めた。12月にはKEK PF-ARテストビームラインにおいて、アクティブコンバーターの候補となるLYSO検出器の2回目のビーム試験を行った（写真9）。暫定的な結果ではあるが、エネルギー損失測定、時間測定ともに目標を大きく上回る性能を達成した。

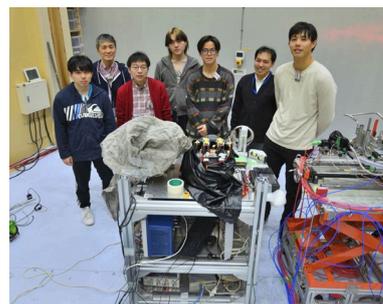


写真9：将来実験用アクティブコンバーターのテストビーム試験

MEG II実験、次世代 $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験の課題で、共同研究（研究課題5件、関連研究者数29人）を実施した。

### (3) 量子AIテクノロジー研究部門

日本・欧州・米国の国際共同研究を強化するため、東京大学が5月に締結したシカゴ大学、IBM及びGoogleとのパートナーシップをもとに、IBM・シカゴ大学と共同研究体制の構築を進めている。

また、ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）との共同研究では、格子ゲージ理論の量子シミュレーション研究の論文を8月に発表、更に合同ワークショップを10月に本学で主催し（写真10）、令和6年1月には教員等4人をLBNLに派遣した。日米科学技術協力事業の継続に向け、新しい研究テーマの議論と合同提案を行っている。

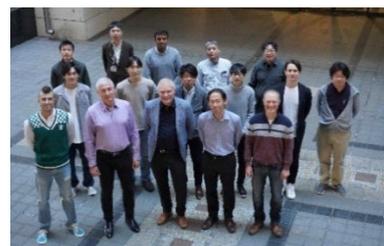


写真10:10月に本学で開催したLBNLとの合同ワークショップ

IBMとの共同研究では、高エネルギー物理の量子シミュレーションを用いた量子機械学習の論文を12月に発表した。ハードウェア分野では、超伝導量子ビットの開発（IBM）、暗黒物質探索のための量子センサー開発、超伝導加速空洞を用いた重力波観測（FNAL）を進め、量子センサーによる暗黒物質探索を量子計算で感度向上させる手法を理論研究者と共同で提案し、論文を11月に発表した。量子イノベーションイニシアティブ協議会（QII）の参画企業との量子AIに関する共同研究や、COI-NEXT事業での民間企業との連携など、引き続き社会実装に向けた取組を進めている。

量子コンピュータと機械学習の応用研究の課題で、共同研究（研究課題2件、関連研究者数17人）を実施した。

### (4) 日本物理学会 2024年春季大会での成果発表を共有（組織力の強化と頭脳循環）

本拠点で初の試みとなる内部ポスター発表会を令和6年3月に行った。CERN・PSIに長期滞在する教員・大学院学生が構成員の約4割を占め、自身の研究に没入しがちな傾向にあるなか、多様な研究内容を深く知り、物理×物理の議論を尽くすために若手研究者が発起人となって実現した。教員・大学院学生28人がポスター発表を行い、総勢約60人が参加した。



第1回ポスター発表会はウェブサイトでも報告

## 2. 期末評価結果における総合評価又は認定に伴う留意事項への対応状況

## ○期末評価結果における総合評価又は認定に伴う留意事項

（総合評価の評価区分）

## 評価：S

拠点としての活動が活発に行われており、共同利用・共同研究を通じて特筆すべき成果や効果が見られ、関連コミュニティへの貢献も多大であったと判断される。

（総合評価の評価コメント）

素粒子物理学研究の中核である欧州 CERN の世界唯一の先端加速器 LHC を用いた国際共同実験を牽引し、国際共同研究において我が国からの参加の窓口機能を果たしている。また、物理解析の中核の一つである地域解析センターを運営するなど当該分野における我が国の中核的拠点として役割を果たすとともに、更に優れた研究成果の発表、外部資金の獲得、共同研究課題の随時公募への対応など非常に活発に共同利用・共同研究活動が行われていることは非常に高く評価できる。

今後は、素粒子物理学におけるビッグデータ解析への対応に向けて不可欠な AI の活用など計算機科学分野等の異分野との連携や、社会貢献を見据えた機械学習や量子コンピュータ分野での活躍が期待される人材育成のための取組を更に進めるとともに、女性研究者の増加等の研究者のダイバーシティを更に推進することが期待される。

## ○対応状況

本拠点が中心となって推進してきた LHC-ATLAS 実験は、ヒッグス粒子の発見など素粒子物理学の発展に大きく貢献する成果をあげてきた。そのため、本拠点の教員が著者に含まれる論文のいわゆる Q 値は 45.6 という稀に見る高い水準に達している。また、CERN に構築した「東京大学 CERN-LHC 研究拠点」は国際的ハブの役割に加えて、日本の他大学も含めた研究者コミュニティの拠点としての役割を十分に果たしてきた。

本拠点が日本の素粒子物理学のコミュニティとともにより一層発展していくために、大学の研究ポテンシャルを最大限に活用し、以下の 8 つの取組を行ってきた。第 3 期中期目標・中期計画期間の期末評価は「S」（特に優れている）であり、評価コメントを真摯に受け止め、更なる改善を図った。

- (1) 日本の研究者コミュニティと協力し、優先順位の高い国内外の将来計画の検討に中心的な役割を果たしてきた。具体的には、将来計画委員会や高エネルギー委員会等で、本拠点の職員が分野のビジョンメイキングと意思決定をリードしてきた。同時に、世界の学術フロンティアを先導する将来的な国際共同研究に本拠点が参加を表明し、その窓口となって次世代の国際研究の礎を築いてきた（HL-LHC 実験、FCC 計画、ILC 計画等）。
- (2) 新しい公私立大学の参加を促し、素粒子研究の枠に留まらない幅広い研究に取り組んでいる。慶應義塾大学とは量子コンピュータでの連携を開始し、早稲田大学と大阪公立大学は量子コンピュータや機械学習を用いた共同研究に参加している。今後も、量子技術や AI 分野で公私立大学や異分野との共同研究を効果的に展開していく。
- (3) 物性分野や量子理論分野等の異分野との連携も推進し、融合連携による長期的視野に立った「総合知」に基づく社会貢献を目指している。

現在、AI 研究分野では学術変革領域研究 (A) で広く様々な分野との連携 (図 4) を行うと同時に、民間企業との共同研究を進めている。量子技術分野では、米国の大学や研究機関との共同研究や国内外の企業との連携を深めるだけでなく、学内外と連携した「量子ネイティブ人材育成」事業を展開している。具体的には、令和 6 年 3 月に名古屋大学素粒子宇宙起源研究所と共同で量子コンピューティングを探究する国際スクール「KMI school 2024」を開催し、寺師弘二、新田龍海、陳詩遠、飯山悠太郎が講義を行った。次年度は、東北大学、J-PARC、大阪大学が主催する「International School for Strangeness Nuclear Physics」や東京大学原子核科学研究センターが主催する「SNP-CNS Summer School 2024」と初めてコラボし、講義を行う予定である。



図 4 : 学術変革領域研究(A)における本拠点の位置づけ

- (4) 実験グループ全体の大規模な会議や研究・開発のテーマ別ワークショップの組織委員や議長・座長を積極的に引き受け、我が国のレジリエンスを世界に顕示するとともに、若手研究者や大学院学生といった国内研究者が参加・成果発表しやすい風土づくりを推進している。
- (5) 若手研究者や女性研究者のキャリア形成や研究を継続しやすい環境を育み、ダイバーシティ、エクイティ、インクルージョン (DEI) に対する組織全体の意識向上を図っている。令和 4 年度は女性教員を客員准教授に迎え、令和 4～5 年度で外国人研究者 3 人を採用した。IT や量子コンピュータなどの先端的な共同研究を通して女性研究者や外国人研究者に広く門戸を開き、全ての人事で国際公募を導入するなど海外の優秀な人材獲得に繋げている。
- (6) コミュニティの次世代を支える博士人材の輩出や海外の大学との交流を通して、グローバルな人材育成を目指してきた。令和 5 年度にシカゴ大学との量子パートナーシップ協定を締結、令和 6 年 2 月より同大学との JST ASPIRE 量子プロジェクトを開始し、大学院学生やポスドク研究者の国際交流事業を行っている。
- (7) 高校での出張授業やオンライン配信のオープンキャンパスをはじめ、全国の中高生の見学受入れや在学生のリアル・卒業生のキャリアパスを紹介する冊子製作などにより、高校生や大学生に基礎科学の面白さや重要性を伝え、コミュニティの層を厚くする努力を行ってきた。特に、女子学生への情報発信を進めている。高校生の研究室訪問を積極的に受入れるなかで、女子学生の参加人数の多さに確かな手応えを感じている (写真 11)。



大学院進学希望者向けのウェブページ上でも様々なバックグラウンドをもつ学生の声を掲載



写真 11: 高校生による研究室訪問の様子

- (8) 量子イニシアティブ構想における東京大学と IBM で構築したパートナーシップや東京大学とソフトバンクによる Beyond AI 研究推進機構のプロジェクト研究を基盤に、研究・教育の新しい環境構築を目指してきた。多数の民間企業との共同研究を進めることで、共同研究費の獲得とともに、大学の知が企業と連携し「社会変革を駆動する原動力」となる取組に、本拠点は深く関わっている。各産業にとって価値あるユースケースを創出し、その担い手となる量子ネイティブ・AI 研究者を育成することで、社会貢献に繋げていく。

#### 4. 研究活動の不正行為並びに研究費の不正使用等に係る事前防止、事後処理及び再発防止への対応

- 理学系研究科物理学専攻と密接に連携して研究及び教育活動を行っており、研究倫理教育においても理学系研究科の定めた研究倫理綱領に則り、そのファカルティ・ディベロップメント (FD) に参加するなど、一体となって取組んでいる。
- 本拠点が取組む国際共同研究では、コラボレーション内に実験データのクオリティを担保する仕組みや、データ解析手法の妥当性を共同研究者の間で相互にチェックするシステムが構築されており、極めて綿密な内部レビューを通過した後、研究結果を発表する仕組みになっている。また、実験の実施状況やデータ解析の記録などはデジタル化された共有情報として、コラボレーション内に公開されており、共同研究者は相互にチェックできるようになっている。このように高い研究倫理を持つことが常識である研究現場で、大学院学生も含む若手研究者に対して実践的な倫理教育を行っている。
- 大型国際共同研究におけるデータの保存と公開については、国際委員会 ICFA (International Committee for Future Accelerator) のサブパネルによって検討され、国際的な研究者コミュニティ全体で世界的な基準を定めており、本拠点でもこれに沿うように実施している。
- 本拠点で実施する他の実験（学内で行う小型の実験等）においても、上記の国際共同実験での経験や手法に沿って研究不正防止に取り組んでいる。
- 研究活動の不正行為及び研究費の不正使用等の事案が発生又は関連する対応を行った実績はないため、事後処理や再発防止への対応に関する記述には該当しない。

#### 5. その他、拠点運営に係る特色ある取組（該当あれば）

##### (1) 研究組織の見直し、規則の変更状況

東京大学量子イニシアティブ構想を軸とする国内外の企業との「産学協創の場」（総長が公表した UTokyo Compass）として創造的な対話による活動を強化し、社会との関係性を一層深めている。

本拠点は、次世代計算機モデル開発のロードマップに、基幹研究として「量子 AI テクノロジー研究分野」を加え、量子 AI を用いた LHC ビッグデータ解析手法の開発など、量子コンピュータを応用する研究を日本・欧州・米国の 3 極を結んで展開してきた。この成果



写真 12: IBM Quantum-東京大学コラボレーションセンター

を受け、量子コンピュータを使いこなす人材を育成するセンターを情報理工学系研究科とともに本拠点に発足し、更に東京大学と IBM 社の量子コンピュータのコラボレーションセンターを令和 3 年

度に開設した（写真 12）。量子イノベーションイニシアティブ協議会（QII）の利活用拠点としての機能を担っている。

なお、量子 AI テクノロジー研究分野は、長期的な先端戦略のためにセンター規則を一部改正し、令和 3 年度に立ち上げた。

### (2) 世界的な協業と産業や研究機関の人材とリソースの活性化に向けた取組

東京大学量子イニシアティブ構想のなかで、シカゴ大学と IBM、シカゴ大学と Google をパートナーとして、量子研究領域の発展に向けた合意形成が進んだ。その合意のもとに、教育・研究活動を先導し、国際的なイノベーション創出を推進するための大きな扉が開かれた。これを受けて、令和 5 年 5 月の G7 サミットの機会を捉え、東京大学藤井総長とシカゴ大学学長、IBM 会長兼 CEO、Google Quantum AI, Engineering Director の出席のもと調印式が行われた。翌日より 3 日間かけて、QII や COI-NEXT 事業も含めたキックオフ・ワークショップを主催し、今後の戦略を協議した（写真 13）。



写真 13：調印式の翌日に本学で開催されたワークショップ

令和 5 年度には、本拠点が主導して提案した国際量子研究ネットワークのプログラムが、科学技術振興機構（JST）「先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）／TOP チームのための ASPIRE（量子分野）」に新たに採択された（図 5）。シカゴ大学と連携し、量子センサー、量子ハードウェア、量子ソフトウェア、量子コネクットの 4 分野でトップ研究者の人材育成と国際ネットワーク作りを推進し、将来的に「先端量子技術プラットフォーム」と「新体系の量子カレッジ」の構築を目指していく。

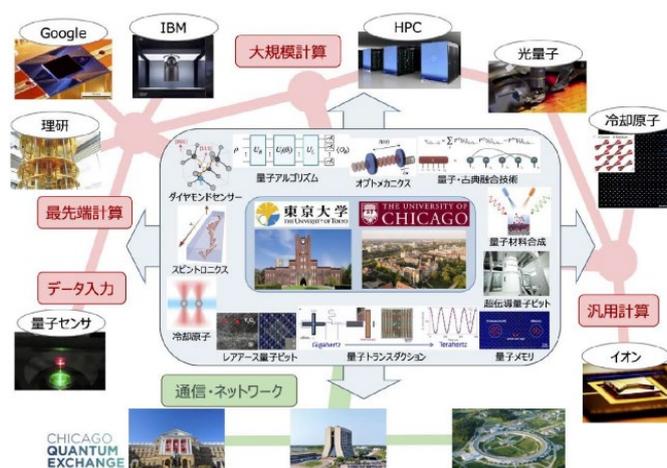


図 5：先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）の全体相関図

また、本事業をもとに QII などの産業界へ研究開発ネットワークを広げることで、量子技術の社会実装を後押しする。

### (3) 産業界等社会との連携の推進に向けた取組

素粒子物理学の新しい歴史を刻んだヒッグス粒子の発見後、Run3 実験で LHC 加速器の衝突エネルギーは 13.6TeV に増強され、総データ量は約 1000PB に達している。今後の加速器・検出器のアップグレードにより、データ取得レートが 10 倍、100 倍に増大し、計算機資源（CPU、ストレージともに）の利用方法に革新的な技術が必要となる。本拠点では、特にディープラーニングと量子コンピューティング技術に着目し、東京大学とソフトバンクが設立した研究拠点「Beyond AI 研究推進機構」を皮切りに、産業界を巻き込んでプロジェクトを推進する研究環境を構築してきた。

量子分野では、IBM テストベッドを用いたハードウェア開発、量子アルゴリズムの素粒子研究への応用、量子ネイティブ人材育成を進めている。ハードウェア開発では実機を使用し、超伝導量子ビット

トの開発や新しい超伝導素材・製造法による性能評価を進めた。また、超伝導量子ビットを用いた暗黒物質探索や高品質共振器を使った重力波観測への展開も進めている。

教育では、ソフトウェアだけでなく、実機のある空間での高度なハードウェア実習プログラムも魅力の一つとなり、学生の高い関心を集めている（写真 14）。



写真 14: 浅野キャンパス内に設置された IBM テストベッド

その他にも、JST 共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）政策重点分野（量子技術分野）「量子ソフトウェアと HPC・シミュレーション技術の共創によるサステナブル AI 研究拠点」が令和 4 年度から始まり、理学系研究科と協力して、その立ち上げから中心的な役割を担っている（図 6）。国内外の大学・研究機関や大手 IT 企業、量子コンピューティング技術を提供できる企業と緊密なパートナーシップ関係を築き、本拠点は複数の産学連携を進めている。

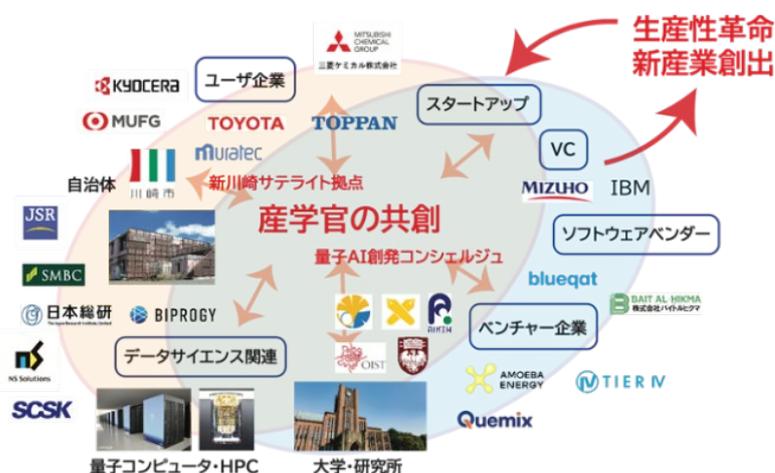


図 6：サステナブル AI 研究拠点の全体像

#### (4) 外部資金等の多様な資金獲得に向けた取組

量子コンピューティングのためのエコシステム構築を目指す QII 企業との共同研究をはじめ、ASPIRE や COI-NEXT など多額の共同研究資金を獲得している。また、PSI で研究を遂行している国際共同実験 MEG II では、独創性の高い既存の実験装置を更に改良して、レプトン普遍性の破れを検証する新たなプロジェクト（PIONEER 実験）の重要性が認められ、外部資金の獲得につながっている。

#### (5) 国際的な研究環境の整備

本拠点の国際共同研究の中核を担う LHC-ATLAS 実験では、東京大学の研究グループが国際的な負託を受けて、ATLAS ミューオン検出器とそれに付随する電子回路を運用している。ミューオン検出器が高速・高効率・高精度なデータ収集の成功の鍵を握っており、日本人研究者の継続的な貢献が不可欠である。そのため、時間や距離に縛られず研究を遂行できる新たな研究環境「大型ハドロン衝突型加速器（LHC）ATLAS 実験回路開発テストシステム・仮想実験設備」を本拠点が主導し、KEK・CERN と相互連携させて導入した。研究設備の共用化による魅力的な研究環境づくりや生産性向上、大学院学生等の若手研究者が世界の第一線で活躍し、その成果が国際的に認知される機会を創出している。

## 2-2. 共同利用・共同研究の実施状況

### 2. 共同利用・共同研究による成果として発表された論文数

○分野の特性に応じ、論文及び研究書以外に適切な評価指標がある場合には当該指標と、当該分野におけるその評価指標の妥当性・重要性を記載するとともにその成果の実績を記載してください（該当あれば）。

該当なし

○その他、特色ある共同研究活動成果の実績（異分野融合・新分野創出の成果等を含む）についてアピールポイントを記載してください（該当あれば）。

#### (1) 高エネルギー物理学分野の未来の創出

- 分野を代表する研究者からなる国内外の各種委員会（国際将来加速器委員会（ICFA）、高エネルギー物理学研究者会議（JAHEP）等）において、世界的な研究の進展状況と今後の発展について学術的レビューを実施し、米国における当該分野の研究の方向性をまとめる会議への提言を行った。
- 米国の科学諮問委員会（Particle Physics Project Prioritization Panel：P5）パネルメンバーに浅井祥仁が選ばれ、今後10年間の素粒子物理学研究プロジェクトの優先順位を推奨し、米国エネルギー省科学局の高エネルギー物理学、及び国立科学財団の物理学部門に助言を行う高エネルギー物理学諮問委員会に報告するための議論に加わった。P5報告書が令和5年12月に纏まり、ニュートリノやヒッグス、宇宙を満たす暗黒物質の研究に重点を置くことが国際的なリーダーシップを強力に維持するためのビジョンとして示した。
- 次世代加速器の基幹計画として、国際リニアコライダー（ILC）計画全体の発案、推進方法の策定、推進体制の構築、理工分野を超えた人文社会・経済界・産業界との連携を、本拠点が KEK とともに主導している。研究者側の国内推進団体 ILC-Japan の代表を令和5年度まで浅井祥仁が務め、令和6年度からは石野雅也がその任務を担っている。また、ILC計画を推進する国際組織である ICFA（国際将来加速器委員会）委員を令和5年度まで森俊則が務めた。
- 日本の当該分野の将来計画をまとめるための高エネルギー物理学研究者会議（JAHEP）将来計画委員会に、本拠点の若手研究者3人（奥村恭幸、澤田龍、飯山悠太郎）が務めた。令和6年度からは、奥村恭幸が将来計画委員会の委員長となり、本拠点の若手研究者2名（末原大幹、Junping Tian）も参加するなど、積極的な活動を展開している。若手研究者・中堅研究者・シニア研究者が協力し、当該学術分野が目指すべき方向と学術の発展シナリオについての議論を進めている。
- 欧州の次期将来計画策定に向けた活動の一つである ECFA（欧州将来加速器委員会）Higgs/Electroweak/Top factory study の WG1-GLOB (physics performance working group, global interpretation) のコンビーナを Junping Tian が、focused topics のコンビーナを末原大幹と Junping Tian が務め、ILC, FCCee を含むヒッグスファクトリーの物理的価値の確立・評価のための活動を国際的に推進している。本活動に関連し、WG1 convener である Jorge de Blas 氏（グラナダ大学）を令和5年12月に本拠点に招聘した。また、欧州を中心とした測定器開発の国際共同研究の枠組みとして新設された DRD (Detector R&D Collaboration) のうち DRD6 (Calorimetry) の Proposal Team に大谷航が参加し、測定器開発の国際共同研究の枠組み作りを進めている。



## (2) データサイエンス分野との融合

- 基礎科学のビッグデータを活用するための新しいAI 開発を行っている。ChatGPTなどで利用されている「基盤モデル」の素粒子実験への応用研究などを進めている。更に、物理法則や研究テーマ、実験提案などを行うAI 開発（「科学するAI」）も目指している。
- 令和11年度開始予定のATLAS実験での高輝度LHC実験は、世界最大規模のデータと計算機資源を必要とする研究であり、将来の持続可能な計算機リソースの開発を進めている。
- 量子コンピュータの応用研究や次世代の世界規模ネットワーク・コンピュータモデルの開発を、国際協力や民間企業との共同研究で行い、NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum computer) と呼ばれる量子コンピュータの利用実証などの成果をあげている。
- 量子イノベーションイニシアティブ協議会 (QII) の参画企業と水素分子系の波動関数の学習・予測等の共同研究を行うなど、物質・材料科学を含む広い分野への量子計算の応用を進めている。

## 3. 共同利用・共同研究の活動状況

### ⑤共同利用・共同研究の募集に係る特色ある取組（公募や施設利用の募集等に関する情報発信を含む）

- 研究拠点形成事業「ミュー粒子を使ったレプトンフレーバー物理研究のグローバル展開」（東京大学・森俊則、MEG II 実験）や「ミューオン素粒子物理学の国際研究拠点形成」（九州大学・東城順治、ATLAS 実験）の研究交流の一環として、本拠点が代表機関となる国際共同研究では広く関連分野の研究者を集めて議論する研究会（写真 15）を開催しており、本拠点の研究を広めて共同研究への参加を促進するのに役立っている。
- 量子コンピュータの応用研究で、早稲田大学との共同研究を令和2年度より継続して行っている。素粒子物理の研究を超え、大学全体の機能強化に資するために、量子コンピュータの応用研究やAI 研究による新しい共同研究モデルの構築へと繋がる取組を推進している。
- 毎年共同研究の公募を行い、随時申請を受け付けている。申請の採否は研究協議会における審査を経てセンター長により決定される。共同研究の課題内容は、ATLAS 実験をはじめ本拠点と関連の深い分野について、テーマを狭く限定することはせず、新たな研究動向と研究者の自由な発想を取り入れるようにしている。なお、利用に関する情報発信は、ホームページ及び高エネルギー物理学研究者会議の会員（約900人）へのメール配信を通じて行っている。

【公募要領（令和5年度）】

<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/collaboration/announcement2023.html>



写真 15：令和6年3月に本学で開催されたMEG国際セミナー

## ⑥共同利用・共同研究を通じた人材育成機能の強化

- 本拠点では、多くの若手研究者や大学院学生を CERN や PSI に派遣してきた。国際共同実験のコラボレーションメンバーとなって日々の研究を遂行することで、多様な国籍、専門的知識や経験を持つ多くの外国の研究者と協力・競争する機会を持ち、切磋琢磨しながら成長している。本拠点は、次世代の科学研究をリードする国際的な研究基盤を有し、指導的な立場でプロジェクトを遂行する能力を身につけた人材を養成している。
- ATLAS 実験グループ全体の修士課程の大学院学生を対象に解析ソフトウェア講習会、粒子物理コンピューティングサマースクール（写真 16）を開催し、多数の講師陣から高度な計算機技術を集中的に学ぶ機会を設けている。こうしたデータサイエンティスト育成に繋がる専門性の高い講習会は、今後も継続していく。また、量子コンピュータの講義も本スクールで取り入れ、専門性を高めている。
- 国公立大学及び研究機関の優秀な若手研究者（大学院学生を含む）を数カ月間、外国の研究機関に派遣する「ICEPP フェロウシップ」を毎年公募している。令和 5 年度には京都大学・東京工業大学・お茶の水女子大学の博士課程大学院学生 3 人を CERN に派遣し、将来の高エネルギー物理学を担う国際性豊かな研究者の育成に取り組んだ。なお、公募情報の発信はホームページ及び高エネルギー物理学研究者会議の会員（約 900 人）にメール配信している。



写真 16：第六回粒子物理コンピューティングサマースクールの参加受講生と講師

### 【公募要領（令和 5 年度）】

<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/collaboration/fellowship2023.html>

- 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理分野の若手研究者（大学院学生を含む）の交流を深め、将来の物理研究の発展を図るために「ICEPP シンポジウム」を毎年開催し、令和 5 年度で 30 回を数えた（写真 17）。自らの研究成果の発信力や他分野の研究にも広く興味を持つことのできる研究者の育成を目指しており、参加者は所属大学を離れて 4 日間の集中討議を行う。大学の垣根を越えた研究交流が進み、大学院修了後の活動範囲を広げることに役立っている。



写真 17：第 30 回 ICEPP シンポジウム

### 【第 30 回 ICEPP シンポジウム】 <https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/symposium/30/>

- 本拠点を構成する研究者のダイバーシティを高めることは、研究の遂行と成果の創出、新たな研究の芽の発掘など、あらゆるアクティビティを向上させるための重要なポイントである。外国人研究者が令和 5 年度に 1 人増え、活発な研究活動を行っている。短期を含む受入研究者数は 5 人、受入学生数は 4 人（そのうち女性 1 人）であった。また、女性教員採用についても、短期的には海外に研究拠点を持つ人材をクロスアポイントメント制度の活用により採用の可能性を模索するとともに、長期的にはより多くの博士号取得者を輩出し、人材が循環する状況への転換を目指す。
- 量子技術を使いこなせる量子ネイティブ人材の育成のため、情報理工学系研究科、総合文化研究科とともに「量子ネイティブ育成センター」を立ち上げ、学部から大学院まで一貫通貫の量子教育プログラムを推進している。令和 3 年度に開始したソフトウェア中心の量子コンピュータ実習に加え、令和 4 年度からは IBM テストベッドを使ったハードウェア実習も開始した。ソフトウェ

アとハードウェア両方に精通した人材の育成に向け、今後も教育プログラムを拡充させていく。

- 科学技術振興機構 Q-LEAP 人材育成プログラムとして、「量子技術教育のためのオンラインコース・サマースクール開発プログラム」（代表：東京大学総合文化研究科 野口篤史）が進められている。本拠点も量子ソフトウェア担当として参画し、量子アルゴリズムや基礎科学への量子計算の応用を課題テーマに、人材育成の貢献を果たしている。
- 令和5年度採択の ASPIRE は、量子エンジニアリングの博士課程を全米で初めて開設したプリツカー分子工学大学院を有するシカゴ大学との連携によって、東京大学の学部・大学院で行われている量子ネイティブ人材育成プログラムを拡張し、量子技術のトップ研究者を育成することを目標にしている。量子技術の早期教育・社会人を含めた利活用人材・技術者への教育など、量子人材の厚みを増していく。

#### ⑦関連分野発展への取組（大型プロジェクトの発案・運営、ネットワークの構築、「共用」を含む研究設備の有効活用 等）

- 石野雅也は、LHC-ATLAS 実験の日本の共同代表として、グループ全体を主導し、研究を強力に推進した。令和6年度からは、本拠点の田中純一がその任を引き継いでいる。
- 東京大学に設置した「地域解析センター」研究設備と CERN に設置した「ATLAS ミューオン検出器 (TGC)」研究設備は、42 カ国からなる国際研究チームによるエネルギーフロンティア素粒子物理学研究に活用されるとともに、日本の研究者コミュニティが世界と伍する研究を推進するプラットフォームとして活用されている。
- LHC-ATLAS 実験をアップグレードして衝突頻度を 10 倍にする高輝度化計画は、科学技術・学術審議会のロードマップのトッププライオリティ研究であり、フロンティア事業として認められた。
- 大型次期基幹計画である国際リニアコライダー (ILC) の計画全体の発案、推進方法の策定、推進体制の構築、実施、理工連携を超えた人文社会・経済界・産業界との連携を、本拠点が KEK とともに主導した。浅井祥仁は ILC-Japan の代表として、ILC 計画の実現に向けて KEK と協力して進め、石野雅也が後継者となり、代表に就任した。
- 森俊則は、日本・スイス・イタリア・ロシア・米国で実施する国際共同実験 MEG の代表者として実験を提案・実施し、新しい学術分野「荷電レプトンフレーバー物理」を開拓した。
- PSI に設置した「MEG 実験」研究設備は国際コミュニティに対して荷電レプトンフレーバー物理の推進の場を提供している。
- 森俊則は、ICFA（国際将来加速器委員会）委員として、日本の素粒子物理学コミュニティを代表して国際的な素粒子物理学研究の長期的な展望を議論し、国際コミュニティの将来計画の立案に貢献した。
- 浅井祥仁は、米国における科学諮問委員会 Particle Physics Project Prioritization Panel (P5) パネルメンバーに選ばれ、今後 10 年間の素粒子物理学研究プロジェクトの優先順位を推奨し、米国エネルギー省科学局の高エネルギー物理学、及び国立科学財団の物理学部門に助言を行う高エネルギー物理学諮問委員会に報告するための議論に加わった。
- JAHEP（高エネルギー物理学研究者会議）を代表する高エネルギー委員長に浅井祥仁、委員に森俊則が選ばれた（令和3年度）。令和5年度の委員会では、森俊則、石野雅也、奥村恭幸が委員に選

ばれ、森と石野は同委員会の幹事の役目を担っている。日本の素粒子物理学研究者の代表として、様々な議論や提案を行った。

- JAHEP 将来計画委員会に奥村恭幸（委員長）、末原大幹、江成祐二、Junping Tian が選ばれ、日本の素粒子物理学の将来計画の検討を行っている。
- 量子コンピュータの素粒子などへの応用研究を日本・米国・欧州の3極で立ち上げ、国際的な量子ハブとしての発展を目指している。
- 寺師弘二は、量子技術イノベーション拠点推進会議の国際連携分科会委員として、量子コンピュータ利活用拠点（東京大学-企業連合）を含む10拠点の国際的な連携について、推進会議の議論に貢献している。

このように、現在の大型プロジェクトばかりでなく、将来プロジェクトの発案や、国内外で学術的意義を精査し、コンセンサスをつくること、社会的意義・技術波及に関する産業界との連携検討（先端加速器協議会）、社会への周知と国際協力体制の構築を非常に多くの方々の協力のもとに主導している。

## ⑧研究施設等を置く大学（法人）の機能強化・特色化に係る取組

東京大学は第4期中期目標・中期計画の6年にわたり、「UTokyo Compass」に掲げる「人間をはぐくむ」教育に不断の努力を続け、「世界的教育研究拠点」にふさわしい先端的な教育研究の拠点整備やキャンパスを創造的に再生していくためのリノベーション等により、イノベーション創出、グローバル人材の育成など、「世界の公共性に奉仕する大学」としての担うべき役割を果たしている。

本拠点は、国際共同研究へのチャレンジ精神をバネに、知識の発見と創造、研究・開発と教育を統合したユニークな成功モデルを生み出す組織文化が根底にあり、過去から未来に向けて長期を見渡す視野に立った取組を進めている。

そうした特徴的なターゲットをもった本質的に学融合の組織として3つの取組を実施し、自律的で創造的な活動を拡大していく本学の「新しい大学モデル」実現に貢献している。

### (1)「オールジャパン・オールワールドの国際研究拠点」で変革の原動力となる

アフターコロナ時代における海外の研究拠点での国際共同研究を推進するために、日本と欧州合同原子核研究機構（CERN）・日本とポールシェラー研究所（PSI）の頭脳循環の輪の中核として世界をリードする研究力の強化を図った。新型コロナウイルス感染症の影響で2年以上滞りがちだった人の物理的移動を伴う国際共同研究を立て直し、研究環境の改善を優先的に取組んだ。研究機会の回復と学生の「国際感覚をはぐくむ教育」「大学院教育：高い専門性と実践力を備え次世代の課題に取組む人材の育成」に大きく貢献している。同時に、最先端の素粒子研究を通して「卓越した学知の構築」に繋がっている。

### (2)「研究の卓越性とデジタル革命」をマージする

LHCでのビッグデータや分散型大規模データを用いたディープラーニング応用研究は、平成30年度の準備期間を経て、年々研究領域を広げ、令和3年度の「量子AIテクノロジー研究分野」新設に

至った。多様な研究プロジェクトを通して、国内外の卓越した研究者や将来有望な若手研究者を雇用したり、機動力のある民間の専門家を受入れ、本拠点の量子 AI 共同研究を強化している。量子 AI は増大する DX の消費電力の削減が期待され、「地球規模の課題解決」に資する研究である。

### (3) 「量子コンピュータに関連するバリューチェーン」を繋ぐ

本学の量子イニシアティブ構想を軸に、量子技術の画期的な発展や社会実装、量子とコンピュータに堪能な量子ネイティブの育成といった、社会が成長できる次世代のエコシステムの基盤を築くことを目指している。浅井祥仁は「量子ネイティブ育成ワーキンググループ」座長として、部局横断による新しい学際モデルを創出してきた。本拠点の「時代の先を読む」本質的な研究・教育は、「UTokyo Compass」が掲げる大学の機能強化に繋がっている。



川崎市に設置された IBM Quantum System One

## 4. 共同利用・共同研究に係る支援状況

### ②参加する研究者の支援のための特色ある取組（参加を促進するための取組、参加する研究者への支援の状況、参加する研究者の利便性向上等の環境整備の状況等）

#### (1) グローバルキャンパス推進のための受入体制の整備

- 国際共同研究のパートナー国より従来から要望のあった国外の研究者・大学院生の受入に関して、令和5年度に本拠点の内規を定め、共同研究者の受入体制を整備した。研究者2人、インターンシップ生2人、ほかに理学系研究科特別研究学生2人を受入れた。
- その他にも、フランス・CNRSとの学术交流協定（東京大学宇宙線研究所が主体部局）に基づく ILANCE 学生交流や、センター見学を希望する国内外の中高校生・大学生を積極的に受入れている（写真18）。



写真18：外国人大学生のセンター見学時の様子

#### (2) 基礎的インフラ面での支援体制

- CERN と PSI は、本拠点の海外研究拠点をホスト機関内の恒久的な組織と位置付け、自立的に運営していくための必要な場所を十分に提供している。そのため、本拠点は日本の共同研究者が広く利用可能な施設（コア・ファシリティ）を構築しており、現地での円滑な研究活動の支援体制が整っている。
- CERN と PSI は、世界各国から第一線の研究者が集まる世界トップレベルの素粒子研究拠点であるため、研究所内のゲストハウスやレストランを標準完備している。宿泊施設の予約は、現地に常駐する教員が助言したり、共同利用者向けのウェブサイト上でガイドしている。
- 国内の共同研究の場合は、カウンターパート教員の協力により、研究スペース、会議室、実験室の共有スペースを提供している。生活面は学内の短期滞在者向け施設や近隣のホテル等を紹介している。

### (3) データ等へのアクセス状況、技術的支援の状況

- ATLAS 実験では、本拠点に設置された物理解析のための計算機「地域解析センターシステム」と、CERN で日本の研究者が占有できる計算機（サテライトシステム）を整備・運用し、共同利用に供している。双方の計算機リソースは高い稼働率を維持し、必要に応じて機動的な対応がとれるようにすることで、取得・生成した約 1000PB の大量のデータの戦略的な研究遂行を可能にした。これらのシステムには、常に最新のデータ解析ソフトウェアが導入されており、日本の共同利用者が各国の研究者と共同作業を進めるために有効活用している。システムの運用等に関するウェブページを用意しており、共同利用者の便宜を図っている。また、PSI においても、現地の計算資源や実験装置など、共同研究に必要な環境を提供している。
- LHC の物理研究がスムーズに進むように、平成 26 年度より CERN のクラウドサービスを採用した解析環境の提供等を開始し、共同研究者への支援内容を拡充した。
- データ解析に機械学習の導入を促進するための支援を行っている。シミュレーションデータを用いた機械学習のチャレンジ問題を作成し、日本グループの研究者や大学院学生（主に修士課程 1 年）が ATLAS 実験のデータ解析の一連の流れを学びつつ、機械学習の課題にもトライできるようにしている。更に、高性能な GPU が利用できる環境を提供している。
- 国内の多くの実験・理論研究者を集めた研究会を年に数回開催し、最新の研究成果を発信すると同時に、新しい研究課題の提案を行っている（写真 19）。発案テーマを単に受け付けるのではなく、国際的・先端的な観点で共同研究者に提案し、互いの議論によって研究テーマを決めていく能動的な方法をとっている。
- 計算グリッドを使用する場合は、公開鍵暗号インフラで用いられる個人証明書が必要である。過去、国内には関連分野の研究者に証明書を発行する認証局が存在しなかったため、利用者は外国の認証局から証明書を取得する必要があり、非常に不便であった。国内の認証局を設立すべく、同じ分野でサービスを行っている高エネルギー加速器研究機構計算科学センターと協議し、物理分野の認証局を同センターに開設した（平成 18 年度より運用）。計算グリッドを使用する利用者は短時間で証明書を取得することが可能になり、利用者の利便性が向上している。
- 量子コンピュータの利用を促進するための支援を行っている。大規模メモリーや高性能 GPU が利用できる計算機環境を構築し、量子計算シミュレータ等のサービスを提供している。また、セミナーや勉強会も開催している。量子コンピュータの実用化に資する共同研究は、全国共同利用のなかでも先駆けと言える。



写真 19：素粒子実験・理論の合同研究会

### ③拠点活動に対する全学的な支援の状況（人員、予算を含む）

#### (1) 最先端の国際共同研究で新たな変革をもたらすための戦略的展開

- 国際競争のなかで本学の研究者がディジビリティを高めるために構築した「東京大学 CERN-LHC 研究拠点」を抜本的に強化し、その最先端の研究現場へ修士課程大学院学生の継続的派遣を行い、きめ細やかな指導により高度な専門性を持つプロフェッショナル研究者を育成するという事業を提案し、学内予算委員会（第2次配分）に予算要求を行った。本学の教育研究力強化に大いに貢献する事業と認められ、要求額どおりの予算が毎年維持されている。
- 世界的規模で分散するビッグデータを効率よく扱うためのディープラーニング応用研究班の立ち上げに対し、産学の多様なセクターとの協働を促す新規性の高い事業として、総長裁量経費や本部補助金の支援をいただき、令和元年度から同班を新設した。その後、同班の活動意義が高まるにつれて令和3年度に組織再編を行い、「量子 AI テクノロジー研究分野」は本拠点の成長基盤の強化と次のステージに押し上げている。
- 量子技術の国際ネットワーク構築と量子分野での本学のプレゼンス拡大に向け、令和5年度に東京大学は新たにシカゴ大学、IBM 及び Google とパートナーシップを締結した。本拠点はパートナーシップ締結を主導し、シカゴ大学や IBM との共同研究のフレームワーク構築を中心に進めている。また、全学的な支援によって、本拠点が代表を務める科学技術振興機構（JST）「先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）」にも採択され、複数の部局を跨いで国際研究ネットワークの構築と人材育成を推進していく。

#### (2) 大学全体の機能強化に資する戦略的展開

- 本学の量子イニシアティブ構想のなかで量子コンピュータの応用研究を推進するとともに、量子コンピューティングの素養を持つ若手人材育成のための「量子ネイティブ育成センター」を設立する予算を獲得した。Society 5.0 実現に向けた重点分野の基盤強化を着実に進めている。
- 本学の量子イニシアティブ構想を集中して取り組む教員ポスト（准教授1人・助教1人）を学内の再配分システムで優先的に承認された。

## 5. 関連分野の研究者コミュニティの意見の反映状況

### ○研究者コミュニティの意見や学術動向の把握への取組とその対応状況

- 研究協議会は、その構成員の半数（8人）が国際的にも著名な我が国のトップレベルの当該分野の学外研究者であり、研究協議会を通じて本拠点の人事を含めた運営にコミュニティの意見を反映させている。
- 参与会は、国内外の研究者コミュニティの権威で、学術政策や研究分野の全体動向に高い見識を持つ学識経験者で構成されており、センター長に助言又は勧告を行っている。年一度の会合で内部評価を行い、その助言をもとに本拠点の運営改善を図っている。
- 本拠点の行っているプロジェクトに関して、ほぼ月に一度開かれている高エネルギー委員会（高エネルギー物理学研究者会議の代表によって構成されている）や、日本物理学会期間中の高エネルギー物理学研究者会議総会で進捗を報告し、コミュニティの意見を聞いている。
- 本拠点で推進していないプロジェクトに携わる研究者からも、素粒子実験分野が進むべき方向性

に対する意見を広く聞くように努めている。本拠点はそれらの意見を反映する形で、高エネルギー加速器研究機構とともに分野全体を牽引している。学会などのコミュニティ内の会議等を通じてあげられた意見で、研究内容や予算的な対応が可能なものは速やかに実行し、共同利用体制の強化に努めている。一方、将来計画などの中長期的な展望は、将来計画諮問機関に意見をあげ、海外の指導的立場にある研究者との意見交換を行い、実現に向けて尽力している。

- 国内の多くの実験・理論研究者を集めた研究会を年に数回開催し、最新の研究成果を発信すると同時に、新しい研究課題の提案を行っている。発案テーマをただ受け付けるのではなく、国際的・先端的な観点で共同研究者に提案し、お互いの議論によって研究テーマを決めていく能動的な方法をとっている。
- 高エネルギー物理学研究者会議で選出される素粒子物理学実験コミュニティの代表となる高エネルギー委員会には、浅井祥仁（委員長、～令和5年8月）、石野雅也・森俊則（幹事、令和5年9月～）、奥村恭幸（委員、令和5年9月～）らが入っており、コミュニティの意見や学術動向について議論し提言などを行った。ここでの議論は、随時、本拠点の運営に反映させている。
- 石野雅也は ATLAS 日本グループの共同代表として日本の研究者コミュニティをまとめ、リーダーシップを取って、他国の研究グループと協力して国際共同実験を実施する任務を令和5年度まで遂行した。令和6年度からは、田中純一がその責務を担っている。
- 森俊則は日本の研究者コミュニティの代表として、国際将来加速器委員会 (ICFA) の委員となり、世界を代表する他の委員と議論を行い、国際的な素粒子物理学研究の将来について様々な提言を行った。
- 寺師弘二は CERN openlab プロジェクトコーディネータとして、CERN をハブとした大学・研究機関との国際交流を強化している。CERN 主催の量子国際会議に毎回参加し、量子技術から産学連携、教育活動などのトピックについて議論を進めている。ここでの議論をもとに、本拠点の運営や、国内の量子技術イノベーション拠点推進会議に国際連携分科会委員として助言を与えている。

## 8. 新型コロナウイルスの影響に伴う活動状況（該当あれば）

### ①新型コロナウイルスの影響に伴う課題等に対する取組状況

#### (1) 国際共同実験 ATLAS

本拠点が中心的役割を果たし、日本の大学・研究機関と共同で進める LHC-ATLAS 実験のミュオントリガーの研究開発は実験におけるデータ収集の成功の鍵を握り、コロナ禍でも継続的な貢献が必要不可欠であった。また、大学院学生を含む若手研究者が世界の第一線で、最先端の実験装置を用いた研究に直接携わることができ、国際共同研究の現場で認知してもらえる機会を生み出してきた。

特に令和2～3年度は CERN への渡航が大きく制限されたが、この状況下でもミュオントリガーの共同研究を更に維持・発展させるために、頭脳循環の発想に基づくリモート共同研究を開始した。具体的には、日本と CERN の間でリモート環境を整備・確立することで、国内の共同研究者があたかも CERN コントロールルームや地下実験室に居るかのように、ATLAS 実験装置を用いた研究を遂行することを可能にした。現地に常駐する本拠点の教員が、国内の共同研究者の要請に応じて即座に実験現場へのアクセスを行う仕組みを構築したこと、ネットワークを経由したリアルタイム制御・モニ

タリング機能を拡充させたことがあげられる。これらによって、日本にいながらにして実験装置を運転することが可能になり、コロナ収束後にも利用可能なシステムが構築された（写真 20）。

このリモート共同研究により、最先端実験装置を用いた研究機会や国際的な認知機会を回復し、現在の Run3 実験でより良い成果を生み出している。研究環境改善のための創発的な取組は、ATLAS 実験コラボレーションからも高く評価され、今後の進歩やコラボレーション内の波及効果も期待されている。

令和 2 年度には、本拠点は CERN チームの一員としてタンパク質構造解析研究に計算機資源を提供した。本来の研究を行いながら、同時に新型コロナウイルス感染症対策にも協力する体制を整え、CERN チーム全体としてスーパーコンピュータに匹敵する計算能力を提供した。

また、CERN Summer Student Programme（加盟国の学部学生参加型）と一部コラボレーションし、修士課程の大学院学生を対象に CERN 全体を体感する目的で独自に実施している「CERN 夏の学校」は、ウィズコロナ時代に先駆けた取組として、CERN と接続したバーチャル方式を取り入れ、計 39 人（令和 2 年度 11 人、令和 3 年度 15 人、令和 4 年度 13 人）が参加した（写真 21）。ATLAS 地下実験室の全天映像を用いたバーチャルツアーや、現地に常駐する教員による ATLAS 実験室との中継を開催する等、アイデア性のある企画も取り入れた。リアルタイムで実験室での研究の様子を現地の教員とインタラクティブな議論をすることで大いに刺激を受けていた。

令和 5 年度は新型コロナウイルスの感染症法上の位置づけが 5 類に移行し、渡航制限も解除されたことから、CERN 現地に修士課程大学院学生 9 人を集め、現場の実験装置を直接的に操作しながら実習する元のメソッドに戻した（写真 21）。



写真 20： CERN 常駐の教員が地下実験室実験装置に物理的なアクセスが必要となる研究を遂行する（上写真）。

一方、国内の研究者とリアルタイムで接続を行い、日本から ATLAS 地下実験室での国際共同研究に貢献する環境を整備している（下写真）。



写真 21：CERN 夏の学校期間中の ATLAS 東大グループの教員と大学院学生による集合写真（上写真）リモート（下写真）オンサイト

## (2) 国際共同実験 MEG

MEG 実験では、以前よりウェブブラウザによる実験装置の遠隔運転・状況モニター、実験ログノートの完全デジタル化、計算機資源の共有など、共同研究実施におけるリモート化を推進してきたが、令和 2～3 年度は新型コロナウイルスの感染拡大を受け、更にその体制を強化した（写真 22）。

毎日実施するビーム試験進行打合せの完全オンライン化、Slack の導入による情報共有の迅速化、各検出器の操作・モニターに関する初心者向けインスタクションの充実などにより、共同研究者のリモート参加率を向上させた。



写真 22：ウェブブラウザによって実験施設内や検出器の状態が、共同研究者に 24 時間可視化されている。

コロナ禍では感染拡大防止策の徹底を図り、人員を確保した必要最小限の PSI 現地滞在研究者（教員等 3 人、大学院学生 4 人）と拡充したリモート参加での共同研究者の効率的な協働により、共同研究の実施継続を可能としていた。令和 4 年 5 月のスイス入国制限措置廃止後は、アップグレード実験 MEG II のために現地滞在研究者（教員等 3 人、大学院学生 6 人）を増員しているが、コロナ禍で強化したリモート化も維持し、更なる研究の効率化を図った。

### ③ 新型コロナウイルスによる影響と対応状況

#### (1) 全体

- 海外出張を伴う共同利用・共同研究課題は、国内（外務省、大学・研究機関が定める基準）・海外（欧州の国境封鎖、研究機関の一時的閉鎖や入構制限）の相互的な要因により厳しい状況になったが、本拠点の教員は海外研究拠点のインフラを守るために、CERN・PSI 執行部や管理責任者との協議や安全対策を行って、駐在を続けた。令和 3 年度は常駐する教員と大学院学生の人数を安全面に配慮しながら調整し、令和 4 年度は欧州のコロナ規制が大幅に緩和された時期より拡大し、国際会議で情報発信する機会も得られた。また、日本と現地にいる教員が緊密に連携し、現地の教員を介したリモート共同研究を確立していった。こうした体制を軌道に乗せたことで、新型コロナウイルス感染症の影響で共同利用・共同研究課題が減少したり、中止になった事例はなかった。
- 次世代研究者育成のための海外派遣事業（ICEPP フェロウシップ制度）は、令和 2 年度の採択を見送るしかなかったが、令和 3 年度に復活させ、CERN での研究遂行を目的に応募した他大学の博士後期課程大学院学生を令和 4、5 年度にそれぞれ 3 人を支援した。申請者数は令和 5 年度に 7 人と増加しており、学生からのニーズが高い。
- 本拠点が主催するウィンタースクール（ICEPP シンポジウム）は、令和 4 年 2 月に 2 年ぶりに再開した（写真 23）。このシンポジウムは、素粒子・原子核・宇宙分野の若手研究者・大学院学生のための研究交流事業である。令和 3～4 年度は感染拡大防止対策のために参加募集人数を 40 人に絞り、抗原検査を開催地到着時に行うなどの万全なオペレーションを整え、感染者を出すことなく無事に完遂できた。令和 5 年度は参加者の安心・安全確保のため感染防止を心がけながら実施し、記念すべき第 30 回は近年最高の 50 名が参加した。

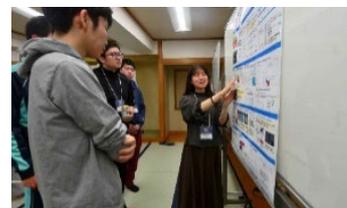


写真 23：ICEPP シンポジウムでのポスター発表

#### (2) 国際共同実験 ATLAS

- リモートから研究を行う方法を模索し、トリガーなどの開発研究も日本から、または完全に日本で実施することで対応した。
- 海外からの招聘による国際会議・ワークショップや国内研究会は、新型コロナウイルス感染予防対策のため、初期の頃は実施自体が減少傾向にあったが、その後オンラインでの開催が標準となり、本拠点でも多数開催した。令和 4 年度は感染防止対策を念入りに検討・準備し、5 月に国際ワークショップ Physics in LHC and Beyond を島根県でハイブリッド形式（全参加者人数の約 4 割

がオンサイトで参加)により開催し、対面での研究者間のコミュニケーションが久しぶりに復活した。この成功事例をもとに、ほぼ全ての国際会議・ワークショップ・研究会はハイブリッド形式が主流になった。ATLAS コラボレーションの国際会議コンペティションで、ATLAS Higgs Workshop 2023 (令和5年10月)の本学誘致が決まり、世界31カ国186名の参加があり、大成功を収めた (写真24)。



写真24: ATLAS Higgs Workshop 参加者で埋め尽くされた東京大学弥生講堂の会場

### (3) 国際共同実験 MEG

- 令和2年7月中旬から、PSI で実施される実験プロジェクトに関する研究者等の入構は PSI パンデミックチームにより承認された。 実験室では感染予防のための基本的な行動規則は定められているものの、ミューオン加速器も予定通りに運転・稼働し、アップグレード実験の準備研究を進めるうえで大きな影響は生じなかった。令和4年4月には PSI の入構に関する制限がなくなり、 感染防止に配慮しながらのコロナ禍前の研究環境に戻った。
- 令和3年11月には新型コロナウイルス感染拡大により中止されていた対面でのコラボレーションミーティングを PSI で開催し、以降も年3回のペースで実施することができた。また、コロナ禍以前に、日本で定期開催していた国際セミナーは令和5年3月に神戸大学で、令和6年3月に本学で実施した。 スイスとイタリアから共同研究者20人が参加し、修士課程大学院学生から国内外の研究者まで数多くの最新成果が発表され、活発な議論が行われた (写真25)。



写真25: 本学で開催した MEG 国際セミナー

以上

## Ⅲ 研究協議会議事録

## 東京大学素粒子物理国際研究センター 第20回研究協議会 議事録(案)

日時： 令和6年1月18日(木) 10:00 ~ 12:00

場所： 理学部1号館1017号室とZoomによるリモート接続のハイブリッド形式で開催

出席： 岡田 安弘、後田 裕、花垣 和則(以上、高エネルギー加速器研究機構)、  
山口 昌弘(東北大学)、中家 剛(京都大学)、久野 純治、飯嶋 徹(以上、  
名古屋大学)、諸井 健夫(東京大学理学系研究科)、  
浅井 祥仁、森 俊則、石野 雅也、田中 純一、大谷 航、奥村 恭幸、  
澤田 龍\*(以上、素粒子物理国際研究センター) \*議事録担当

欠席： 川越 清以(九州大学)

### 1. 前回議事録

前回(第19回)の研究協議会(令和5年1月16日)の議事録案(資料1)が承認された。

### 2. 報告

#### ● 共同利用・共同研究拠点について

今年度の国立大学附置研究所・センター会議について浅井センター長が報告した(資料2)。国際共同利用・共同研究拠点への新規認定申請について現在検討中である。また研究協議会メンバーに関して議論があった(後述)。

#### ● LHC 実験報告

LHC 加速器と ATLAS 実験の状況について石野協議員から、アトラス地域解析センター関係について田中協議員から、また、ATLAS 実験の物理解析の成果について奥村協議員から報告があった(資料3)。資料に沿った説明の後、以下を議論した。

① ATLAS 実験の物理解析の成果報告に関連して、浅井センター長からトップクォーク対システムにおける量子もつれ効果についての質問があり、奥村協議員が説明した。

② 田中協議員より、アトラス地域解析センターの契約延長について追加の説明があった。

③ 中家協議員より、ATLAS 実験におけるリーダーシップの情報について、その対象となるサイズをわかるように提示し、大学院生の指導人数に関しても規模がわかるように示すと良いとの意見があり、今後、反映することにした。これらの数字について、石野協議員と奥村協議員から概数が示された。中家協議員より、良い人材を多数輩出しており今後もこのような形でコミュニティーへの貢献を継続してほしいとの意見があった。

④ 浅井センター長から学生の人数が減っていることに懸念が示された。

⑤ 後田協議員から ATLAS 内の役職世代交代の取り組みについて質問があり、石野協議員が説明した。

⑥ 後田協議員から ATLAS ミューオン検出器の放射線ダメージによる老朽化について質問があり、石野協議員が説明した。

- MEG 実験報告

MEG II 実験と将来実験の研究開発について大谷協議員が報告した（資料 4）。中家協議員より背景事象について質問があり、背景事象は当面无視できる状況であるとの説明があった。また後田協議員からの質問に対し、ミュオンビームラインのアップグレードと MEG II 実験のスケジュールとの関係が説明された。岡田協議員から将来実験の光子検出器について質問があり、主な改善点に関して説明があった。将来実験については海外の共同研究者の拡充を図っている。

- 量子 AI 分野報告

量子 AI テクノロジー研究分野の深層学習に関連する研究について田中協議員が報告し、また量子技術に関連する共同研究体制や研究・教育について、澤田協議員が説明した（資料 5）。資料に沿った説明の後、以下の議論があった。

①中家協議員から量子ビットを用いた重力波観測について質問があり、浅井センター長が説明した。

- 協定について

浅井センター長より、本学と CERN、本センターと PSI との間の学術協定が今年度更新されたと報告があった。KEK と本センターとの MEG 実験に関する協定も更新された。また本センターが量子 AI 関係で参加することになった本学とシカゴ大学との協定も今年度更新されている（資料 6）。

- センター人事及び教員評価について

浅井センター長が、すでにメール審議により進行中の人事公募（教授 1 名、テニユアトラック助教 2 名、特任助教または特任研究員若干名）について報告した。また今年度実施された教員評価について報告があった（資料 7）。

### 3. 共同利用について

- ICEPP フェローシップに関する報告

石野協議員から ICEPP フェローシップについて令和 5 年度の選考結果が報告され、令和 6 年度の公募案が説明された（資料 8）。資料に沿った説明の後、石野協議員から、本センターが実施している研究以外についても応募されるような工夫が必要との意見があった。

- 令和 5 年度共同研究状況

石野協議員から令和 5 年度共同研究状況、新規・継続課題件数等について報告があった（資料 9）。

- 令和 6 年度共同研究公募

石野協議員から令和 6 年度の共同研究公募案について説明があった（資料 10）。

● 第 30 回 ICEPP シンポジウムの開催

石野協議員から第 30 回 ICEPP シンポジウムについて招待講演者や参加者名簿の説明があった（資料 11）。

4. 概算要求について

浅井センター長から令和 6 年度概算要求について説明があった（資料 12）。

5. 各委員会メンバーについて

浅井センター長から各委員会メンバーについて説明があった（資料 13）。学外協議員である岡田氏及び川越氏が今年度末に退任となるため、メールでの報告通り野尻美保子氏（高エネルギー加速器研究機構）と東城順治氏（九州大学）が新協議員候補者として運営委員会に諮られる。本センターの教員と職員について、採用可能数、現教員、退職者、客員教員について説明があった。

6. 客員教員について（資料 14）

今年度で任期満了となる客員准教授 2 名の後任はメール審議により、岩崎昌子氏（大阪公立大学・准教授）と阿部智広氏（東京理科大学・准教授）が就任することになっている。客員教授 2 名は任期 2 年ということで継続して頂く。また浅井センター長は、2 月より始まる先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）の代表者として本学で推進してもらうため、来年度本センターの客員教授に委嘱する（メール審議で承認済み）。

7. 次期センター長候補者適任者及び副センター長候補者適任者について

浅井センター長が今年度末に退職となるため、次期センター長候補者適任者及び副センター長候補者適任者について議論が行われた。選考にあたっては、副センター長をセンター専任教員以外からも選考できるよう内規の変更を行った方がよい、との意見で一致した。副センター長が他部局の教授・准教授の場合、自動的に運営委員会・研究協議会のメンバーにならないため、そのための内規の変更も必要である。議論の結果、センター長候補者適任者として石野雅也副センター長を、副センター長候補者適任者として横山将志理学系研究科教授を全会一致で運営委員会に推薦することにした。

以上