

エネルギーフロンティアグループでは、LHC/ATLAS 実験の推進、高輝度 LHC/ATLAS 実験に向けた建設準備、次世代エネルギーフロンティアを拓くコライダー実験の実現に向けた研究活動を行っている。

■ 2025年のLHC稼働状況

2022年に始まった $\sqrt{s} = 13.6$ TeV での LHC の Run 3 運転は 4 年目を迎えている。2024年9月のCERN CouncilでHL-LHCの開始時期を2030年まで約1年スケジュールを後ろ倒しすることを決定したことをうけ、Run 3 の運転を2026年6月まで継続することが決まった。2025年と2026年の運転を合わせて ATLAS および CMS の衝突点それぞれで約 180 fb^{-1} を取得し、Run 2とRun 3の合計で 500 fb^{-1} 以上の積分ルミノシティを供給する計画である。

LHC 加速器では、衝突点最終収束系のうち Inner Triplet 収束磁石系への放射線ダメージが注視が必要な状況で、線量が高くなる位置を振り分けるために2024年の運転では ATLAS 衝突点 (P1) における Inner Triplet 四重極収束磁石の極性を入れ替えた運転を行い長寿命化を諮った。このスキームは2024年を通じて安定して運転できたものの、ATLAS 衝突点に対して超前方に設置された FASER および SND の両測定器において顕著にビーム由来の背景事象の増加が見られるという副作用があった。これを緩和するため、2025年の運転では ATLAS においては四重極収束磁石の極性を本来の設定に戻す代わりに、ビーム交差面を垂直→水平に90°回転させる設定とした¹。この設定は本来の LHC の設計から外れるため、従来の $\beta_x^* = \beta_y^*$ の衝突スキームのままでは四重極収束磁石の交差面方向の口径が不足する一方で、交差面と直交する方向の口径には余裕が出る。この口径差をうまく活用し、 xy 方向で異なる β^* をもつ「Flat Optics」を採用することとし、2024年の30 cm / 30 cmに対して60 cm / 18 cmの収束スキームを採用した (図1)。

FASER における背景事象は2022年のレートに対して10%増程度で推移しており、2024年の運転時よりは大幅に軽減された。さらに、ビーム・フィル後半の時間帯で交差角を160 μrad から120 μrad に狭めることによってレベリング・ルミノシティを保持できなくなった時間帯のルミノシティの低下を緩和させ、2%程度のビーム・フィルあたりの積分輝度の積み増しを狙う。非対称とはいえ HL-LHC 設計値に近い β^* での運転を行うことで HL-LHC への準備となる側面もある。

交差角によるレベリングの導入によって CMS のルミノシティは ATLAS より相対的に2—3% 程度高い傾向が見えており、調査中である。

2025 年の運転は、7週間におよぶビーム・コミッショニングの後に5/5に最初の stable beam を実現、当初よりバンチあたりの陽子数 1.6×10^{11} を維持したまま2週間程度でノミナルなバンチ数2,460 まで ramp-up できた。電子雲に起因する熱負荷の制御も2024年の水準を維持できている。瞬間輝度としてはレベリング輝度として

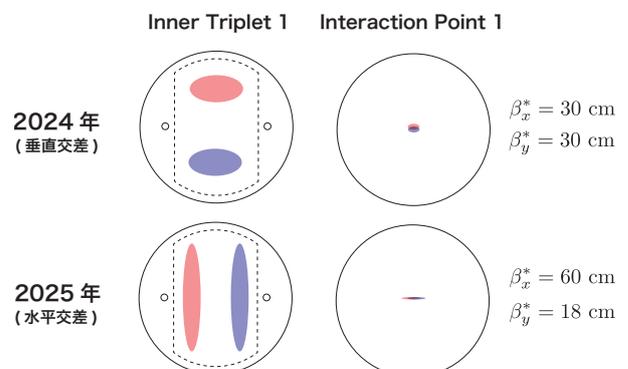


図1：2024年(上)と2025年(下)の ATLAS 衝突点(P1)での衝突スキームの比較。

¹ 対称衝突点のCMS側(P5)では対応して交差面を水平→垂直に入れ替える一方、四重極収束磁石の極性を入れ替えた。

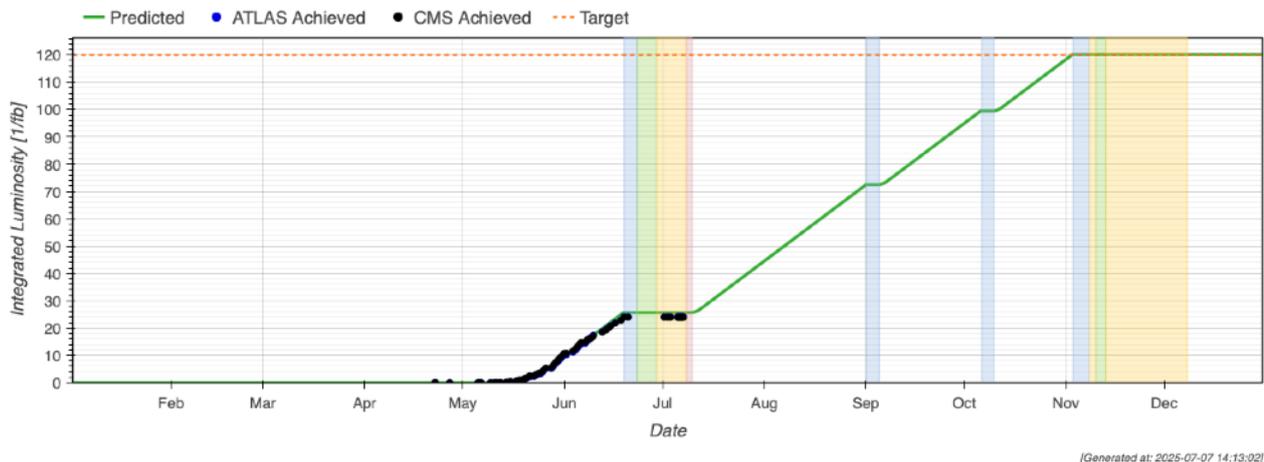


図2：2025年のLHC運転における計画と実績の比較。 <https://bpt.web.cern.ch/lhc/statistics/2025/>

$2.1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を1.5%以内の誤差で維持できていて、今後徐々に $2.2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ まで引き上げることを計画している。運転においてはビーム供給に使用できる時間（いわゆる availability）として60%以上を確保できることをLHCとしては重視しており、局所的にはこれよりもさらに高い availability を得ている。SPS磁石の交換やP8での冷凍機コンプレッサのトラブルなど幾つかあった予期せぬダウンタイムにも関わらず、平均値としては目標である $1 \text{ fb}^{-1}/\text{day}$ というペースをほぼ維持したまま6月中旬のMachine Development (MD) および Technical Shutdown-1 (TS1) に突入できた（図2）。TS1以降 p-O, O-O, Ne-Ne といった LHCf を主なクライアント実験とした短期間の特殊物理メニューの運転を挟んだ後、さらに11月初頭まで陽子・陽子衝突での積分輝度を積み増す予定である（年内の目標積分ルミノシティ： 120 fb^{-1} ）。9月以降にレベリング輝度は維持したまま、バンチあたりの陽子数を段階的に 1.8×10^{11} まで引き上げることを計画している。

■ 2025年のATLAS運転状況

ATLASの2025年のデータ取得状況は好調で、データ取得効率は95–96%程度と高い効率を維持している（図3）。初期のビーム強度 ramp-up 時に内層 IBL のワイヤボンドを共振から保護するための固定周波数トリガーVeto (FFTV) と呼ばれる保護システムが過剰に発動しデータ取得のダウンタイムを生んだため、様々な緩和策が取られた。

2025年のエンドキャップミュオントリガーThin-Gap Chamber (TGC) のオペレーションは概ね順調に進行している。前年のシャットダウンで交換された10枚のチェンバーは概ね良好な性能を示しているが、1箇所だけ効率がゼロであった部分はHVケーブル接続ミスであったことが判明し、TS1で無事に復元した。TGCの仕様は昨年と変更はなく、安定した運用が続いている。2025年のデータ取得中にあった唯一の問題は、5月に一つのセクターで冷却ファンの不具合が発生し、そのセクターが数日間運転から外れたが、ATLASへの影響は最小限にとどまった。トリガーとしては、初期はトリガーレートの調

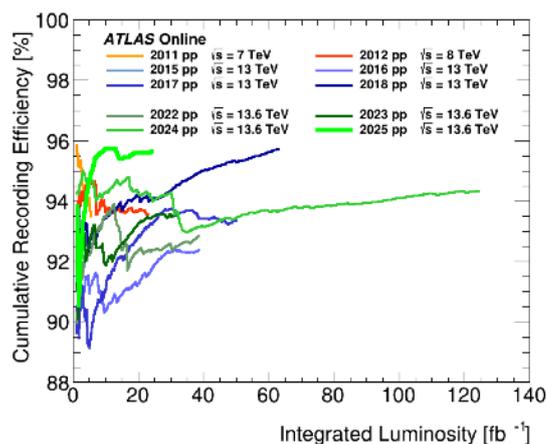


図3：年次ごとのATLASにおけるデータ取得効率を年初からの積分ルミノシティの関数として比較したもの。2025年は当初から高い効率を示している。

整に苦しんだ。ビーム強度 ramp-up 時、TGCより内側の New Small Wheel (NSW) のトリガーが未調整であったため、エンドキャップのミュオントリガーのレートは高くなることが予想された。加えて環境負荷の改善を目的としてガス組成を変更したバレルミュオントリガー (RPC) の背景事象レートが例年より 20–30% 高くなったため、やむなく ATLAS はレベリング輝度を低く保つ必要があった。この影響をうけて、調整不足のまま TGC—NSW コインシデンスも急遽 ON にしてレートを下げる必要があり、結果としてトリガー効率が昨年より 4% 低くなった。このトリガー効率は NSW トリガーのファームウェア問題が解決されることで、最終的には予想通りに回復した。さらに、TGC と NSW トリガー間のマッチング・ウィンドウの最適化により、昨年よりも 2% 以上高い効率を達成できた。

内部飛跡検出器の運転では最内層 IBL のモジュールの 99%、外層のモジュールの約 94% がデータ取得を続けている。実験開始期にピクセル検出器の読み出しシステムのタイミング調整を数度に渡り再調整した。バックエンドの遅延調整だけでなく、IBL のフロントエンド内部の遅延についても調整を行い、検出器全体でほぼ ± 1 ns 以内に収まるよう再調整した。一方、放射線損傷の影響への対策が継続的に必要であり、ヒット検出閾値スレッシュホールドの再調整を IBL で 2 回、外層で 1 回行った。また、モジュール内同期が取れなくなる synchronization error も 1% 以下であるとはいえ、増加傾向にある。主に第 2 層 (B-Layer) でエラーが多く、いくつかのモジュールでは LV 供給電圧を引き上げることで緩和している。

ATLAS 実験の後段トリガーシステムは、現在、Run 3 で安定して稼働・データ取得を行っている。EF グループでは、飛跡再構成を行うトリガー、特に、開発した長寿命新粒子など特殊な飛跡に基づく物理トリガーについて、保守・データクオリティ・モニタリングを行っている。検出器アライメントやキャリブレーションによるトリガー性能への影響を評価し、データ取得時のオンラインでのそれらキャリブレーションを最適化して、高品質のデータ取得を行っている。

■ ATLAS物理解析

物理解析については、2024年までに $\sqrt{s} = 13.6$ TeV での衝突データとして 160 fb^{-1} 以上の物理解析に適したデータが取得でき、多くの物理成果を生んだ Run 2 の統計である 140 fb^{-1} を凌駕した。これを受け、今後は Run 2 と Run 3 中途までのデータを統合した物理解析が進んでいく。一方様々な物理解析を支える基礎解析能力についても、Run 2 時代に比べても飛躍的に性能が向上しており、統計量の向上に伴う感度向上 \sqrt{L}/\sqrt{L} を大幅に上回る物理成果が続々と創出されることが期待される。

例えばフレーバータグでは Run 2 の段階ですでに機械学習をふんだんに導入していたが、最近 Transformer を活用した GNN などの先進機械学習アルゴリズムを取り入れたことによって大幅なパフォーマンスの向上があった [FTAG-2023-05]。そのような流れの鎗矢として、Run 2 と Run 3 データを統合した非共鳴ヒッグス対生成探索 $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ が 5 月にリリースされた [HIGP-2025-10, arXiv:2507.03495]。この結果は、EF グループの児島一輝氏によって 7/3 の素核研物理セミナーで詳しく報告した。このチャンネルはヒッグス対

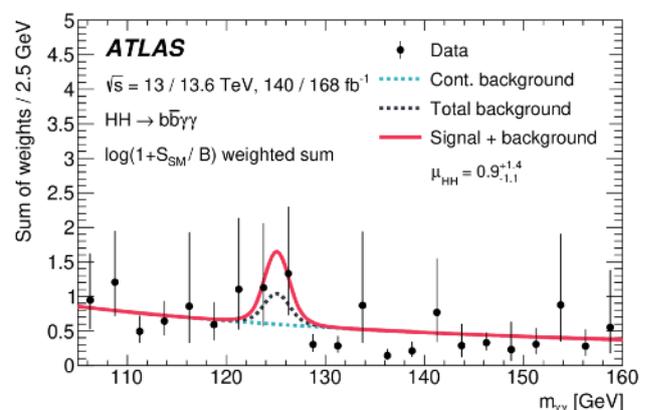


図4: Run 2 および Run 3 データを合計し、信号領域すべてを $\log(1 + S_{SM}/B)$ で重み付けし足し合わせた 2 光子質量分布。バックグラウンドは連続分布とヒッグス 1 個生成事象である。

生成探索をリードする主要3チャンネル ($bbbb$, $bb\tau\tau$, $bb\gamma\gamma$) の中では $\gamma\gamma$ 不変質量を用いることができるため最も背景事象の少ないクリーンな崩壊モードである反面、崩壊分岐比が 0.26% と少ないことから統計量が重要である。このチャンネルでは、Run 2 の物理解析ではヒッグス自己結合係数 λ の標準模型に対する比 ($\kappa_\lambda \equiv \lambda/\lambda_{\text{SM}}$) について 95% 信頼度で $-1.4 < \kappa_\lambda < 6.9$ (観測値) / $-2.8 < \kappa_\lambda < 7.8$ (期待値) という結果を得ていた。今回のアップデートでは、上記の新しい b -ジェット同定アルゴリズムを用い、2つのヒッグス粒子候補の四元運動量を運動量保存則に基づき補正することで、事象選別において重要な2つの変数の質量分解能をいずれも 25% 以上向上させた。結果として標準模型におけるヒッグス対生成断面積を基準とした相対的な信号強度として

$\mu_{HH} = 1.0^{+1.3}_{-1.0}$ (期待値) に対して $\mu_{HH} = 0.9^{+1.3}_{-1.0}(\text{stat.})^{+0.6}_{-0.5}(\text{sys.})$ (観測値) という無矛盾な結果を得た (図4)。これは Run 2 の信号強度上限への感度を約 2 倍向上するものであり、単純な統計量による改善を大きく超える感度改善が見られる。ヒッグス自己結合係数 λ については 95% 信頼度で $-1.7 < \kappa_\lambda < 6.6$ (観測値) / $-1.8 < \kappa_\lambda < 6.9$ (期待値) という結果となり約 20% 改善した。本研究でも用いられた b -ジェット同定手法の改善は $bbbb$, $bb\tau\tau$ といった他の主要なヒッグス対生成の探索チャンネルでも共通に効果があるため、本探索と同様に大きな感度上昇が今後期待できる。

一方ヒッグス粒子の第2世代への結合として $H \rightarrow \mu\mu$ についても、2024年までの Run 3 結果をもとに解析を行い、それを 2σ (観測値) でマイルドな兆候の現れていた Run 2 の結果と統合した結果を 7/4 に公表した [[HIGP-2024-11](#), [arXiv:2507.03595](#)] : $H \rightarrow \mu\mu$ 信号について、 2.5σ (期待値) に対して 3.4σ (観測値)、標準模型を基準とした信号強度として $\mu_{\mu\mu} = 1.4 \pm 0.4$ を得ており、標準模型と無矛盾である。ATLAS 実験の結果単独で $H \rightarrow \mu\mu$ 結合の兆候を得たことになり、Run 2 の時点で CMS が報告している 3σ (観測値) という結果とも整合するものである。

Run 3 は HL-LHC を見据えた場合には通過点であり、HL-LHC で実現できる物理成果の見込み予測はコミュニティに対して重要なメッセージとなる。3月に European Strategy 2026 に向けたインプット締め切りがあり、ATLAS 実験は CMS 実験と協力して Snowmass Process 以来の大幅な見込み予測の刷新を行った [[ATL-PHYS-PUB-2025-018](#)]。現在までの最新の物理解析パフォーマンスを極力取り入れたものとなっており、ATLAS と CMS の結果を統合した結果として、以下のようなキーポイントを示した：

- 希少過程である $H \rightarrow \mu\mu$ および $H \rightarrow Z\gamma$ の観測と、それぞれに対応する結合定数を 3% および 7% の精度で測定。
- 既知のヒッグス相互作用のみを仮定した場合における、ヒッグスボソンの他の主要なフェルミオンおよびベクトルボソンへの結合定数を 1.6–3.6% の精度で測定。
- チャーム湯川結合に対する感度は $|\kappa_c| < 1.5$ (95%信頼水準)。
- 標準模型におけるヒッグス対生成を 7σ 以上の有意性で観測。
- ヒッグス自己結合 κ_λ を 30%未満の精度で測定。
- 初期宇宙における強い一次電弱相転移 (SFOPT) を可能にする、高エネルギースケールでの一般的な新物理モデルを 95% 信頼水準で完全に排除できる感度を達成。
- 電弱対称性の破れ機構を独立に検証するものとして、縦偏極状態でのベクトルボソン散乱過程の観測と、その断面積を 20% より高い精度で測定。
- 4-トップクォーク生成断面積を 6% の精度で測定。

- ・トップクォークと Z ボソン間の異常相互作用に対する制限を設定し、最大で 2 TeV のエネルギースケールにおける新物理を探索。

■ HL-LHC向けアップグレード

Long Shutdown-3 (LS3) 開始を翌年に控え、HL-LHC 向けアップグレードは本格的に進行中である。日本グループは、シリコンストリップセンサー、シリコンピクセル検出器、エンドキャップ部ミュオントリガー用エレキの開発、量産、建設において中核的な役割を果たしている。ストリップセンサーに関しては、日本が製造予定の 6,350 センサー全ての量産を完了済みである。ピクセル検出器に関しては、センサーの量産を昨年度から開始し、日本で製造予定の 2,410 枚の製造を終えた。

ピクセルモジュールについて、実機モジュール量産を開始するための第 2 次レビューが 11 月下旬に実施され、これを承けて 1 月から実機量産を開始し 1 日あたりのアSEMBリ数として 5 モジュールを実現、エンドキャップ向けの型式を中心に累計で 250 枚を超える実機アSEMBリを行った。ピクセルモジュールのうち外層バレル部に用いる型式は冷却ブロックなどの追加仕様があり、6 月下旬からアSEMBリを開始したところである。今後は 1 日あたりのアSEMBリ数として 7 モジュールを実現するとともに、歩留まりを下げる主要因の一つと見られているバンプ・ボンディング時にダストがセンサー ASIC 間に挟まることによるフロントエンド回路故障の発生確率の低減といった課題に取り組んでいく。日本国内でのピクセルモジュール生産は他国よりかなり進んでいる状況のなかで、ATLAS 実験本体のプロジェクト・リーダーたち（合計 4 名）を 6 月上旬に KEK に迎え、量産設備の見学やベンダーとの折衝も含め、今後の生産態勢構築について数日間にわたり突っ込んだ議論を行った。

HL-LHC へ向けて、増大する信号量に対応するため ATLAS 実験の後段トリガーシステムでもアップグレードを進めている。中でも特に計算機資源を必要とするのが飛跡再構成であるため、計算機資源の増加を抑制しつつも高効率かつ高速な飛跡再構成を目指して大幅なアップグレード開発を進めている。ATLAS 実験では、FPGA や GPU といった汎用アクセラレータを使用する新規の飛跡再構成システムを含め、現在、複数のシステムの検証開発を並行して進めている。EF グループでは、GPU による並列計算を用いた飛跡再構成手法の開発を行っている。ここでは、現在開発中の GPU 上での汎用の飛跡再構成ソフトウェア Traccc を、ATLAS 実験 ITk 検出器ジオメトリに適用し、飛跡再構成の複数の一連のアルゴリズムを GPU 上で動かし、その再構成性能の検証を詳細に行った。また、さらなる計算性能の向上に向けて、計算精度と速度の関連性についての研究やメモリ使用の最適化などを進めている。現在 ATLAS 後段トリガーシステムでは検証開発された複数システムの詳細な比較検討が進められており、今年度中にどのシステムを本採用するのかが決定される。

ミュオントリガー回路アップグレードのうち、測定器に付随する前段回路については、昨年度末までに約 1,500 枚の量産と品質試験を完了した。KEK で品質検査を行い、アップグレードに必要な枚数分の良品を確保した。これらの回路は、今年度の夏から冬にかけて CERN へ輸送し、2026 年夏に始まるインストール作業に向けた準備を進めていく。品質検査のためのセットアップを設置していた南実験準備棟には前段回路やトリガープロセッサボードを含めた統合試験ベンチを設置し、トリガーシステムの開発に活用する予定である。

後段のトリガープロセッサボードについては、6 月に初期量産に向けたハードウェアおよびファームウェアの最終設計レビュー (FDR) を実施し、良好な結果を得た。プロセッサボード第 2 試作機の評価結果に基づき、電源回路やクロック分配回路に軽微な修正を加えた。パワーシー

ケンスの確認、ノイズ測定、シグナル・インテグリティ測定、固定遅延の確認、冷却試験などを通じて評価を行い、致命的な問題は見つからなかった。

ファームウェアは、トリガー、読み出し、制御・モニタ機能を統合した試作版を作成した。トリガーは入力から出力までのパスが開通し、実装したトリガーアルゴリズムが当初の想定どおりの性能を発揮していることをシミュレーションで確認した。また、試作機を用いて外部装置との接続テストを大きく進め、主要なトリガー回路との光通信試験を完了した。

1月に報告したとおり、前段回路の制御・監視・ヒット信号の読み出しについては ATLAS 実験エリアでの動作確認をすでに終えている。さらに、トリガー情報の出力先である MUCTPI との光通信試験およびプロトコル試験を行い、想定されたデータフォーマットによる通信と、読み出し回路 FELIX を用いたトリガー・タイミング情報の受信をそれぞれ確認した。

今後は、他のトリガーモジュールとのより実践的な統合接続試験（プロトコル試験）や、FELIX 実機を用いたリードアウト試験を実施する予定である。並行して、トリガープロセッサボードの本格的な量産準備を進めていく。

■ ヒッグスファクトリーと将来コライダーを見据えたR&D

EFグループは、IDT-WG3、ILC-Japan 物理および測定器ワーキングタスクフォース、ILC-Japan 共同研究タスクフォースなどを通じて、ILC をはじめとする将来のエネルギーフロンティア・コライダー実験の実現に向けた研究活動に積極的に寄与している。ILC-Japan 測定器ワーキングタスクフォースでは次世代e+e-コライダー向け測定器について包括的な議論を行ってきた。事象レートが十分に低いZH またはより高エネルギーでのデータ取得を前提に検討が進められてきたリニアコライダー向け測定器のZ-poleでの運転まで含めた測定器環境への適用性や、PID 測定器の取り扱いも含め、広くヒッグスファクトリーが実現した場合に日本として主軸に据えるべき測定器コンセプトを議論しており、8月にこの主旨に基づいてワークショップを東大で開催する。関連して、ILD 測定器を ILC と FCC-ee などの円形コライダーに配置した場合の Machine-Detector Interface (MDI) の設計を進めているほか、FCC Z-pole におけるTPC飛跡測定器のレート耐性を調べている。加えて、ILD のタウを含む精密な終状態測定、ならびに長寿命粒子の再構成による新物理への感度に関して物理研究を続けている。これらの研究はECFAの将来ヒッグス/トップ/電弱ファクトリーに関する3年間のプログラムの一環を成しており、レポートを6月に公開した [[arXiv:2506.15390](https://arxiv.org/abs/2506.15390)]。6月下旬には European Strategy Update 2026 に向けた Open Symposium が開催され、EFグループから生田と戸本が現地参加を行い情報収集に努めた。国内ではEFグループメンバーも参加する JAHEP 将来計画委員会で「ヒッグスファクトリー班」を構成するなどの態勢をとり、動きの早い欧州を始めとする海外の動向を活発に議論している。

EF グループは、LHC 実験の先の将来のコライダー実験への導入、建設、運転までを見据え、半導体検出器開発をコアプロジェクトとして検出器の基礎開発にも携わっている。モノリシック CMOS センサの高放射線環境下での動作検証を日本の Belle II グループ、ストラスブールの半導体検出器グループと協力して進めている。CERN の半導体検出器グループ、ジュネーブ大学と共に、高い時間分解能を持つ時間応答に優れる SiGe BiCMOS センサや AC-LGAD ピクセルセンサーの開発を進めている。AC-LGADについては、100 μm ピッチのセンサーをジュネーブ大学の開発した SiGe-ASIC にバンプ接合し、アナログ信号とディスクリミネータ信号の読み出しに成功した。AC-LGAD センサの放射線耐性を高めるために、酸素ドーピングによる耐性の変化を研究しているが、BiO_i系はドナーとしての酸素はアクセプタ除去のメインファクターになっておらず、BiB系の方がより重要であることが分かってきた。新奇半導体であるCIGSの開発についてはアクティブ層の厚みを増した25 μm 厚のセンサー・サンプルを製造し、性能評価の途上にある。ITDC と協力

して進めている MAPS 開発については、3層の MALTA2 テレスコープを組み立て、98%以上の検出効率を確立した。CERN を通じて CASSIA プロジェクトでのゲイン層をもつ MAPS について開発参加を進めている。関連して東北大学 RARiS を用いた照射試験、MALTA, LGAD および ITkPix を対象としたARテストビームラインでのビームタイム、Fermilab での日米タイミング測定器ワークショップ、大阪大学でのタイミング検出器の研究会などを実施しており、これらの開発を国際的認知・強調のもとでさらに強力に進めるために、欧州の ECFA-DRD3 に参加している。また、将来実験において不可欠となることが想定されるエレクトロニクスと機械学習の開発も進めている。エレクトロニクスでは、コライダーエレクトロニクスフォーラムにコミットしている。

このような流れに整合する形で、将来のエネルギーフロンティア実験のための R&D を一つの主軸とする JSPS の大型科研費（国際先導研究、代表：花垣和則 機構理事）「力の統一的理解に向けたエネルギーフロンティアの次世代への展開と国際的人材育成」[\[Webページ\]](#)がR6～R12年度で採択された（KEK・筑波大学・東京大学・名古屋大学・大阪大学）。3ヶ月程度の準備期間を経て、若手を育成することを主眼として中長期にわたり海外に派遣する公募プログラムを開始した。2つのプログラムが準備されており、物理部門、超伝導磁石部門、MAPS と AI エレキを中心とした検出器部門の3つの部門を中核とした次世代ヒッグスファクトリーのための先端技術に挑む「コース1」と、国際的な研究環境の中で切磋琢磨し、実験の推進力や多国籍の組織をリードする経験や人脈構築を通じて真に国際的な若手研究者を要請する「コース2」をあわせ年間あたりのべ20人を海外研究機関に派遣する。年度あたり3回の公募を計画しており、R7年度についてはすでに2回の公募を終え、採択者を決定し、すでに14人について実際に中長期派遣を実施している。また6月に大阪で実施された理論向けの国際会議 HPNP にジョイントする会議で国際先導としての企画日を設け、実験—理論間の情報交流と大学院学生を主な対象とする機械学習や素粒子理論の学理を学ぶレクチャーを開催した。

■ 受賞報告

- ATLAS 実験を含む LHC 4 実験が「質量生成の対称性破れのメカニズムを実証するヒッグス粒子の特性の詳細測定、強い相互作用をする新粒子の発見、稀少プロセスと物質—反物質非対称性の研究、最も短い距離と最も極端な条件での自然の探究」を理由として2025年のブレークスルー賞物理学部門を2025年4月に受賞しました([機構プレスリリース](#))。

- EFグループの青木雅人氏をはじめとする12名の国際共同研究者が日本が開発と運用を主導してきた前方ミュオン粒子検出器 TGC と、2021年に導入された新型検出器 NSWとの高度な連携により、偽信号（背景事象）を大幅に低減し、ATLAS 実験が高輝度ビーム下でも安定して運転を継続できる体制を確立した点を評価され、ATLAS 実験 第8回 Outstanding Achievement Award を受賞しました([ATLAS実験記事](#), [素核研記事](#))。この評価内容の詳細は[前回1月の記事](#)で詳しく報告しています。

(文責：素核研EFグループ 生出 秀行)