素粒子原子核研究所コンピューティング・グループでは、KEK で行われている素粒子原子核実験のデータ解析やデータ保存が円滑に行われる事を目指して世界規模の分散計算環境を利用する各実験グループと協力・情報共有している。また、国内外の研究機関とも計算機・計算技術ならびにソフトウェアに関する情報を共有し、世界的な動向を注視しつつ、将来計画も含めた持続可能な計算環境を目指して活動を行っている。

# 1. 素粒子原子核実験での分散計算環境の構築・運用

CERN で行われる LHC 実験のために創設された Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)[1] は、必要な環境を共通化し、世界各地の計算センター等と協調して整備して来たが、その基盤技術の有用性や、WLCG に参加している計算センター等が他の実験にも計算資源を提供している事などから LHC 以外の実験にも技術が波及している。素粒子原子核研究所が関わる複数の実験でも、このグリッドと呼称される技術を利用している。

Belle II 実験では、世界各地の参加研究機関と協力して膨大なデータを処理するため、WLCG で培われたグリッド技術を基盤とする分散コンピューティングシステムを構築しており[2]、また WLCG と共通の計算資源やネットワーク等の基盤を利用する事から過去 10 年に渡って WLCG の会合等に参加しており、WLCG の associate partner としての待遇を得ている[3]。Belle II の分散コンピューティング環境を構築するために、LHCb 実験グループが中心となって開発している DIRAC [4] を利用しているが、DIRAC は開発から年数が経ち新しい技術動向などに対応するために新たに設計された DiracX が開発されつつあり、Belle II でもそれに合わせた移行準備を進めている。DiracX への移行のためには、コードの大幅な書き換えが必要になるが、一部のシステムについて AI を利用したコード変換を試み、その検証作業に入っている。10 月に開催される Dirac(X) Users workshop[5]での議論を経て更に検証を進め、2027 年の実験再開に備える予定である。

ハイパーカミオカンデプロジェクトでは、国際的分散計算環境の構築を目指してコンピューティング・モデルの設計が進められており、その一環としてデータ転送試験を行う計画がある。このため、コンピューティング・グループはニュートリノ・グループ及び計算科学センターの関係者と協議し、KEK に設置されているグリッド用データ・サーバーに必要な設定を提案し、実用可能になっている[6]。10 月に開催される JENNIFER3 プロジェクト (Japan and Europe Network for Neutrino and Intensity Frontier Experimental Research) [7]の会合で転送試験ついての議論が持たれる予定となっており、また試験に向けてコンピューティング・グループも協力する予定にしている。

KOTO 実験では、他国の共同研究者が作成するシミュレーションの入力データを KEK から転送し、出力を KEK に転送しているが、従来の ssh/scp を利用した方式よりも効率の良いグリッド転送を利用する事を構想しており、コンピューティング・グループもその設計に協力している。その第一歩として、グリッド利用に必要な手続きと、計算科学センターに設置されているグリッド用データ・サーバーの利用を提案し、実装された[6]。その後、米国の共同研究者から別のデータ共有方式の利用について打診があったが、これは WLCG で使われているものとは異なり、KEK に既に設置されているグリッド用データ・サーバーとは異なるシステムの導入が必要となるため、関係者と協議し検討を重ね米国側とも会合を持つ予定になっている。

素核研・計算機グループでは、国際的分散計算環境に関する知識と経験を蓄積し、その技術を必要とするグループと共有する活動を行っている。技術的検討など ipns-computing @ ml.post.kek.jp まで、ご相談下さい。

## 2. DIRAC Users' Workshop と DIRAC Consortium

DIRAC [4] は上述する様に Belle II も利用する分散計算環境管理システムであり、またその継続的開発と普及を目的に設立された DIRAC Consortium には KEK 素粒子原子核研究所もその一員になっている。毎年開催される DIRAC Users Workshop とそれに付帯する DIRAC Consortium Board meeting が 2026 年はチェコ・プラハで開催され[8]、各実験グループ等の DIRAC 利用状況、DiracX の開発状況などが議論される予定である。

## 3. ICFA Data Lifecycle Panel

ICFA では、データ収集からデータ処理、解析、データ保全に至る Data Lifecycle を科学的発見に至る中心的要素と位置づけ、素粒子原子核実験のコンピューティング全般に関する議論の場として Data Lifecycle Panel を設置している[9]。素粒子原子核研究所コンピューティング・グループからもメンバーが参加しているこのパネルでは広く分野の意見を募り、高エネルギー物理学実験のデータを実験終了後の将来にまで渡って保存する data preservation や、実験グループ以外の研究者によるデータ解析を可能にする open science の実践のために必要な項目について答申を行い、それを受けて、2025 年 9 月に ICFA から Data Lifecycle に関する勧告が公表された[10]。その後、各実験グループやそのホスト機関と説明会を持ち、現状調査を進めている。

## 4. 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・宇宙線・宇宙物理分野のコンピュータ利用技技術に関する情報交換と人材育成を目指して設立された粒子物理コンピューティング懇談会（PPCC）[11]では、KEK つくばキャンパスにおいて大学院生を対象とした粒子物理コンピューティングサマースクールを開催している。幅広い背景をもつ学生が一堂に会して議論や実習に取り組む点が特徴である。

2026 年度は 7 月 27 日から 7 月 31 日の 5 日間、講義と実習を組み合わせたプログラムが実施され、全国 14 大学 31 研究室から 45 名の大学院生の参加を得た（図 1）。講習内容としては、計算機とネットワークの基礎・応用技術（GPGPU、クラスター、Grid）、量子コンピューティングおよびリアルタイムコンピューティング、さらにデータ解析に必要な技術（統計解析、機械学習、シミュレーション）、計算機応用コース（Deep Learning の実践、Modern C++、ソフトウェア開発ツール）を取り上げ、最終日に行った実習成果発表会では、参加者全員がそれぞれ 5 分の持ち時間で、4 日間で取り組んだ課題について工夫を凝らした発表を行った。素核研・コンピューティング・グループもこのスクールに当初から積極的に関わっており、主に Belle II 実験で得た知識をもとに、昨年度に引き続き「分散コンピューティング」の実習課題準備に参加した。




図 1：粒子物理コンピューティングサマースクール参加者の集合写真

## 5. 参考資料

[1] https://cern.ch/wlcg
[2] T.Hara for the Belle II Computing group, *J. Phys. Conf. Ser.* **664** (2015) 012002
[3] 2024 年 12 月の活動報告：素粒子原子核研究所コンピューティング・グループ
[4] https://diracgrid.org/
[5] https://indico.cern.ch/event/1588323/
[6] 2026 年 3 月の活動報告：素粒子原子核研究所コンピューティング・グループ
[7] http://www.jennifer2-project.eu/jennifer3/
[8] https://indico.cern.ch/event/1588323/
[9] https://icfa.hep.net/wp-content/uploads/ICFA.Statement.DataLifecyclePanel.20240117.pdf
[10] https://icfa.hep.net/wp-content/uploads/ICFA.DataLifecycle.202509.pdf
[11] https://wiki.kek.jp/spaces/PPCC/pages/50563868/Particle+Physics+Computing+Consortium