

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技術について、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機環境を目指して活動を行っている。

1. 各実験での分散計算環境の構築・運用

Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)[1] は LHC 実験のために CERN 主導で 2005 年に創設され、昨年 20 周年を迎えた[2]。各実験に必要な環境を共通化・統一し、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[3]、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 [4]。

Belle II の分散コンピューティングを支えるのが、LHCb 実験グループが開発した DIRAC [5] を基盤とする計算資源を統合的に扱うためのシステム (BelleDIRAC) と、ATLAS 実験グループが開発した Rucio [6] という分散データ管理システムである。KEK には Belle II のデータ収集システムから転送された raw データをグリッドに登録し保存する事に特化したシステムと参加研究機関の計算資源を統合的に利用してデータ処理やモンテカルロ・シミュレーションデータの生成、解析ジョブの実行などを行うシステムと、2つのシステムが DIRAC を拡張して構築・運用されている。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、BelleDIRAC もそれに合わせた移行準備を進めている。分散計算環境を扱うシステムではまだ対応に時間を必要とするが、raw データを扱う事に特化したシステムでは DiracX への移行の前段階となる DIRAC v9 への移行を完了し、2025 年秋以降の raw データの保存・二重化のために円滑に運用されている。

データの分散管理や検索に必要なメタデータ・カタログは、WLCG のために CERN で開発され、Belle II の参加機関でもある韓国 KISTI が改良・更新を行って来た AMGA [7] を採用し、計算科学センターに運用して頂いて使用してきたが、後述する認証システムの移行などを見据えて Rucio に組み込まれているメタデータ・カタログ機能を利用する事が Belle II コンピューティング・グループ内で合意され、そのためのシステム変更と移行準備を行って来た。2025 年春以降 AMGA と Rucio の2つのメタデータ・カタログを平行運用しながらシステム変更と修正を完了し、2025 年秋に AMGA を停止して以降も正常かつ円滑に分散計算環境を運用出来る事が確認されたため、2026 年 2 月に AMGA の廃止を計算科学センターと合意した。

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、計算科学センターに設置されているグリッド用データ・サーバーに必要な設定を提案し、実装された。その後、英国で運用されている DIRAC システムの責任者と協議し、その設定を反映させる事により実用が可能になっている。LHC 実験 (WLCG) と Belle II が 2027 年に大規模なデータ転送試験を計画しているため、ハイパーカミオカンデでも同時期に試験を行う事を目指すという事で、欧州の JENNIFER3 プロジェクトの関係者と KEK のニュートリノ・グループ、コンピューティング・グループ 3 者での会合を呼びかけ、情報共有・意見交換を行った。その試験に向けてコンピューティング・グループもまた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したシミュレーション・データを KEK に転送しているが、従来の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・サーバーを経由して KOTO 実験用のディスク・スペースにアクセス可能にする設定を提案し、実装が進んでいる。

LHC 実験のための分散コンピューティング基盤を整備している WLCG では、現在ユーザーの認証と権限管理の仕組みの根本的転換が進められており、Belle II 実験用の認証・権限管理システムの移行準備を進めている事を以前の活動報告に記載しているが[8]、その後旧システムから新システムへのユーザー情報の移植と定期的更新を行い、新旧両システムの平行運用体制に入っている。今後は、旧システムの停止に向けた手順の確立のため計算科学センターと協議を重ねていく。

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 [5] 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 が 2025 年は中国 IHEP で開催され[9]、日本からは KEK 素粒子原子核研究所や東京大学・宇宙線研究所からの参加があった。ワークショップでは最新の機能や今後の開発予定、各実験グループ等での利用状況の報告や参加者による開発作業会などがあり、その日程中に開催された Consortium Board の会合には素粒子原子核研究所コンピューティング・グループの一員が参加し、開発の現況や利用者の意見などを踏まえて今後の開発方針などが議論された。



図 1 : 中国 IHEP で開催された DIRAC Users' Workshop 参加者の集合写真

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[10]。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議論を重ねていたが、その報告を受けて、2025年9月にICFAからData Lifecycleに関する勧告が公表された[11]。その後のパネルの会合では、勧告の波及状況や、勧告の各項目に関する各国や各実験の状況をどの様に集計して行くか、また今後の活動方針などについて議論されている。

4. 参考資料

[1] <https://cern.ch/wlwg>

[2] <https://indico.cern.ch/event/1525790/>

[3] T.Hara for the Belle II Computing group, *J. Phys. Conf. Ser.* **664** (2015) 012002

[4] 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

[5] <https://diracgrid.org/>

[6] <https://rucio.cern.ch/>

[7] Jae-Hyuck Kwak et al *J. Phys.: Conf. Ser.* **664** (2015) 042041

[8] 2025年9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

[9] <https://indico.cern.ch/event/1433941/>

[10] <https://icfa.hep.net/wp-content/uploads/ICFA.Statement.DataLifecyclePanel.20240117.pdf>

[11] <https://icfa.hep.net/wp-content/uploads/ICFA.DataLifecycle.202509.pdf>