

素粒子原子核研究所・計算機グループの現在の主な活動は Belle II コンピューティング・グループに参加し、実験におけるオンライン・オフライン間 RAW データ転送とその分散管理、さらに分散計算環境の改良およびその定常的運用に従事している。またこれと並行して、国内外の研究機関と計算機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、KEK で行われている素粒子原子核実験や将来計画における持続可能な計算機環境を目指して活動を行っている。

1. 中央計算機システムの総入れ替えに伴った Belle II 分散計算環境の再構築

KEK で行われている各実験の多くは、計算科学センターが運用している中央計算機システム（KEKCC）をメインの計算システムとして利用し、そこでデータ処理、シミュレーション作成、物理解析などを行っている。Belle II 実験においては世界規模の分散計算システムを構築している[1]が、その場合でも KEKCC にはそれを運用するための特別な役割をもった重要なサーバーが数多く設置されている。そのため KEKCC のダウンタイムは実験の運営に直接影響を与える重大案件の 1 つである。

KEKCC はハードウェアだけでなくその運用までを含めて業者とリース契約を結んでおり、4 年に一度、全システムを入れ替えることになっている。Belle II 分散計算システムの基盤は KEKCC 上に構築しているため、この入れ替えにより全てを初めから構築し直す必要がある。前回の入れ替えは 2020 年夏に行われ、システム入れ替え前後で業者の変更はなかった。また Belle II 分散計算システムに重要な役割を持つサーバー群は新旧 KEKCC の同時運用期間を 1.5 ヶ月ほど設けることで、スムーズなサービスの移行が可能であった。その 4 年後に当たる今夏、再び KEKCC 全システムの入れ替えが行われた。今回は新旧システムの業者が異なり（外部記憶装置や計算サーバーなどハードウェアの互換性は新旧システムで保たれている）、特にハードウェアの設定や運用面での対応に大きな課題を残すものとなった。ハードウェアの設定が予定より遅延し、想定していた新旧システムの同時運用期間が非常に短く、サービス移行のための作業ならびに事前のシステムテストを十分に行う時間が取れなかった。さらに KEKCC でのグリッド・サービスの移行もスムーズではなかった。幸い、SuperKEKB 加速器がシャットダウン中であったため RAW データ処理などへの影響は無かったものの、想定以上の期間 Belle II

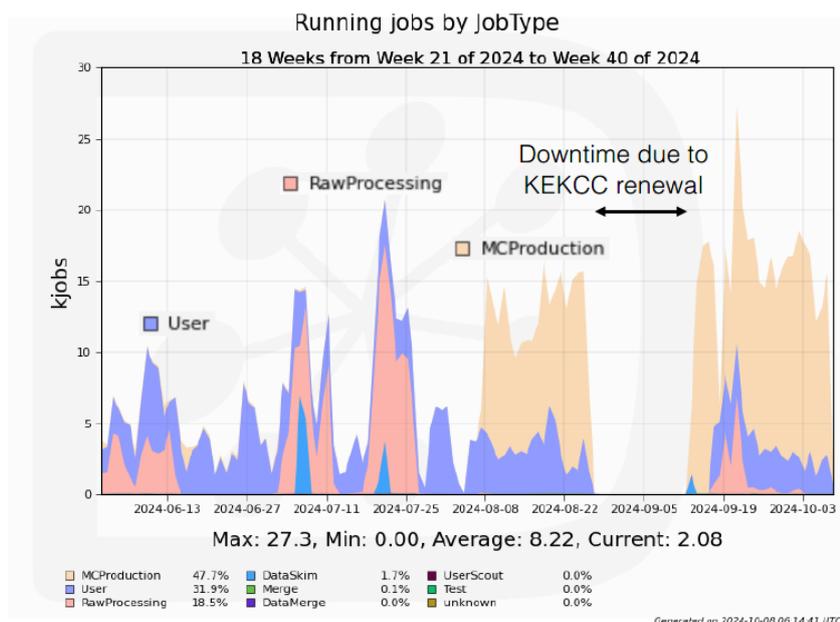


図 1 : KEKCC 入れ替え前後における Belle II 分散計算システムで走ったジョブ数の分布

分散計算システムが使用できない状況となった（図 1 参照）。

さらに旧 KEKCC で採用されていたオペレーション・システム（OS）である CentOS7 はそのサポート期間が終了したため、新 KEKCC では Red Hat Enterprise Linux 9 系に変更した。このような OS の移行は世界的な潮流であるが、これに対する Belle II ソフトウェア・ライブラリの対応が不十分であった。これにより Belle II 分散計算システムに参加している機関の一部の計算資源が効果的に使えない期間が生じてしまった。

データ量の増加ならびに解析の多様化などのため益々 Belle II 分散計算システムが複雑化しており、次回 KEKCC 入れ替えに向けた次世代への知識と経験の継承が今後大きな課題になると思われる。

2. WLCG/HSF ワークショップ 2024^[2] 報告

WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) [3] は主に LHC 実験のための分散計算基盤を整備しており、ATLAS を含む LHC 実験、及び LHC ではないが基盤を共有する Belle II や DUNE も参加している。HSF (HEP Software Foundation) [4]は高エネルギー物理学実験のためのソフトウェアに共通の課題について横断的に協力して対処しており、Belle II もその一翼を担っている。2024 年 5 月 13 日から 17 日までドイツ・DESY で開催されたワークショップでは、WLCG の今後数年間の方針、2 月に行われたデータチャレンジのレビュー、分散計算基盤に用いられている技術に関する変更予定とその現状、WLCG MoU の見直しや LHC 以外の実験の立場の明確化などが議論された。HSF に関しては、各ソフトウェアの最新の状況報告と議論に加え、体制の変更の提案があった。

WLCG の計算資源は各実験から必要量の要求に基づいて参加各国が供出しているが、その調達及び運転のコストの推移、計算機等のハードウェアに関する市場の動向、予算的見通し、地球環境に鑑みた持続可能性などを総合的に俯瞰し、今後数年間の方針を具体的項目にしてひとつひとつ議論して行った。

HL-LHC に必要となるデータ転送を実現するための技術的検証の一環として、擬似データを大量に転送する「データチャレンジ」が WLCG で合意されて 2 月に実施され、ATLAS を含む LHC 実験に加え Belle II や DUNE も参加した[前回の報告記事参照 5]。このワークショップではその結果の検討が行われ、次の検証ステップに向けて必要な技術的課題が議論された。LHC のデータ転送は CERN を中心として Tier-1 と位置づけられた各国のデータセンターに向けて送出され、Belle II のデータ転送は KEK を中心として Raw Data Center と位置づけられた各国のデータセンターに送出された。結果は概ね良好であったが、各実験の転送量が増大するに連れてデータ転送に関わるシステムに対する負荷が増大する事から、その負荷に耐えられる様にするための技術的課題の検討が行われた。LHC 実験のデータ転送に必要なシステムは CERN にあり、Belle II 実験のデータ転送に必要なシステムは KEK に置かれているが、今後技術的変更を伴うシステム更新に KEK も追従して行く必要がある。

WLCG の基盤を構成する技術は、セキュリティ対策や世界的な技術的進展の観点から必要な更新が順次行われて来ているが、認証方式に関して近年大きな技術的変更が必要になり、現段階の移行の現状及び次の段階の準備状況について情報共有と議論が行われた。この技術的変更については、KEK の整備する分散計算環境でも対応して行く必要があり、計算科学センターと協議して進めている。

WLCG の MoU ではその付属文書で WLCG の組織構成等が定義されているが、現在進行中の技術的変更を含め将来の HL-LHC に向けて必要となる技術革新等をより効率的に実現して行くための体制が議論され、これまでの「Grid Deployment Board (GDB)」に替えて新たに「WLCG Technical Coordination Board (TCB)」が設置される事になり、MoU の付属文書の変更が合意された。同時に、LHC 実験以外で WLCG に参加している Belle II や DUNE の立場についても見直され、それまでオブザーバーと定義されていたが、実質的には議論に参加して協働して各種活動を行っている点に鑑み、associate partners という名称に変更する事が合意された。

HSF では多岐に渡る報告や議論があったが、大きな話題としては高エネルギー物理学実験の多くのグループで使われている解析ツールである ROOT に関してファイルのデータ構造を変更してデータ解析をより効率的にする計画があり、これまでの「TTree」に代わるソフトウェア層となる「RNTuple」の開発の現状が報告された他、ATLAS 等の LHC 実験からは RNTuple を使用した場合の結果やデータ解析ソフトウェアを RNTuple を使用する様に変更・対応していく予定が報告された。ROOT は LHC 実験以外にも広く使われており、今後も注視し各利用者が必要な対応を取って行く必要がある。

また、HSF は創設から 10 周年を迎え、これまでの成果を振り返ると共に今後の発展に向けて中核チームの体制変更、アドバイザーグループの設置などが議論され合意された。

最後にワークショップ期間中の議論のまとめがあり、休憩時間や懇親会での歓談から出て来たアイデアなども紹介され、今後の方針などが示されて閉会した。



図 2：ドイツ DESY で開催された WLCG/HSF ワークショップ参加者の集合写真

3. Amazon Web Service を利用した生成系 AI ハンズオンの開催

昨今の生成系 AI の発展はすさまじく、基礎科学分野においてもその利用が進んでいる。その一

方、初心者にとって実際に自身で生成 AI を教育し、実務レベルで使用できるようにするにはかなりハードルが高い。そこでこのような初心者を対象に、Amazon の協力の下、AWS (Amazon Web Service)を利用した生成系 AI のハンズオンを 10 月 23 日に KEK にて開催した。AWS 側で用意できるアカウント等の都合上先着順 10 名程度の参加者に限られたが、午後半日を使って生成 AI の準備から、教育するためのデータのアップロード(総データ量は 100MB 上限、総ファイル数の上限は 100)、さらにはそれらを用いて教育し、実際に生成 AI に対して質問などのやり取りを行う、という一連の流れを体験した。Amazon 側によるとハンズオン終了後参加者からいくつかフィードバックがあった旨報告を受けたので、初めての試みとしては期待通りの結果が得られたと考える。



図 3 : AWS による生成系 AI ハンズオンの様子

4. 参考資料

- [1] : T.Hara for the Belle II Computing group, "Computing at the Belle II experiment", *J. Phys. Conf. Ser.* 664 (2015) 012002
- [2] : <https://indico.cern.ch/event/1369601/>
- [3] : <https://cern.ch/wlwg>
- [4] : <https://hepsoftwarefoundation.org/>
- [5] : 2024 年 5 月の活動報告 : コンピューティング・グループ
https://www2.kek.jp/ipns/ja/research_introduction/report/6106/