

課題名(タイトル):

高エネルギー原子核物理学

利用者氏名: ○四日市 悟 (1)、中井 恒 (1)、渡辺 康 (1)、延與 秀人 (1)

理研における所属研究室名: (1) 仁科加速器科学研究センター 放射線研究室

### 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

放射線研究室では国内外の高エネルギー粒子加速器を用いて、原子核物理学の実験的研究を行っている。研究の主目的は、強い相互作用をする素粒子であるクォークやグルーオン、およびそれらが構成するハドロンの性質を理解し、強い相互作用の法則である量子色力学(QCD)を実験的に解明することである。具体的には、RHIC/PHENIX 実験での原子核衝突実験により生成される高温状態におけるクォーク・グルーオンプラズマの性質の研究、同じく PHENIX 実験での偏極陽子衝突実験による、陽子スピンの担い手としてのグルーオンやクォークの性質の研究、J-PARC での陽子原子核反応実験による高密度状態での中間子の性質の研究などを遂行している。

このような高エネルギー原子核実験では、たとえば毎秒 100 万回におよぶ原子核反応から、400 万チャンネルの大型検出器を使用して毎秒 500 MB におよぶ大量のデータが記録される。年間での典型的データ量は、生データで 1PB、荒い解析後で 200 TB 程度となる。

このデータを取り扱うため、大規模ストレージおよび大量の CPU パワーは必須であるが、当研究室では 2000 年度より計算機センターである RIKEN-CCJ を運用し、国際共同実験 PHENIX の遂行に大きな役割を果たしてきた。増大するデータ量に対応するため、2004 年度からは情報基盤センターの運用する RSCC、その後 RICC で CPU を占有利用し、また大規模ストレージ HPSS を利用してきた。

### 2. 具体的な利用内容、計算方法

実験固有のデータ解析およびシミュレーションソフトウェアを使用している。また、業界共通の toolkit ある GEANT、ROOT などのライブラリを使用している。国際共同実験のため、世界各地で同じデータをもとに解析を進めている。その際解析場所によって結果が変わることを防ぐことが重要な課題になっており、共同実験全体で、OSなどのソフトウェア環境を統一することにした。その環境構築は、2017 年度ま

では CPU ノードの占有利用により行っていた。

HOKUSAI の IA サーバ運用開始ののち、占有利用ができなくなったため、コンテナテクノロジーを用いた上記環境の実現をめざし、テストをおこなっているところである。

また、HOKUSAI 移行により HPSS は廃止されたが、そこに保管されていた実験データ 1.7 PB のうち生データを除く 0.9 PB の実験データを HOKUSAI のストレージに移行して使用している。2020 年度は 60 TB の新規実験データのストレージとしても利用している。

### 3. 結果

研究成果リストに示すように、10 報の査読つき論文が出ている。研究の性格上、2020 年度以前の実験データおよび解析結果に基づく論文も含まれる。

### 4. まとめ

高エネルギー原子核実験の大規模データの解析のためには、HOKUSAI のストレージを使用することが必須である。ストレージ利用のほか、2020 年度もコンテナ技術のテストをおこなった。新規実験データを 60TB ほど格納した。

### 5. 今後の計画・展望

簡易利用でコンテナ技術による運用可能性を実証した上で一般利用に申し込む予定である。いずれにせよインテルアーキテクチャの CPU が前提であり、2-3 年以内に GPU を利用することはないと考えている。

ペタバイト級ストレージについては PHENIX 実験、sPHENIX 実験、J-PARC 実験とも必須であるので、引き続き利用させていただかないと実験が成立しない。J-PARC での実験は 2020 年より開始して最低 2022 年までは、また、PHENIX 後継の sPHENIX 実験は 2023 年より 2025 年までデータ取得が行われる。取得完了後 5 年程度は利用したいという計画である。なお、理研の規程により、論文投稿より 5 年間のデータ保存義務があることに鑑みても、データ取得終了後最低 5 年のストレージ利用は必須となる。

2020 年度には 60 TB 超の新規データの取得があった。そ

## 2020年度 利用報告書

のデータ解析について 2021 年度前半には簡易利用での実行テスト、年度後半あるいは 2022 年度には一般利用を申請する見込である。

### 6. 利用がなかった場合の理由

コンテナ技術利用計画が未完のため、一般の計算ノードは使用していない。

## 2020年度 利用研究成果リスト

### 【雑誌に受理された論文】

- 1) Transverse momentum dependent forward neutron single spin asymmetries in transversely polarized p+p collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV  
U.A. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.D 103 (2021) 032007
- 2) Production of  $\pi^0$  and  $\eta$  mesons in U+U collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=192$  GeV  
U. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.C 102 (2020) 6, 064905
- 3) Polarization and cross section of midrapidity J/  $\psi$  production in p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV  
U. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.D 102 (2020) 7, 072008
- 4) Production of b bbar at forward rapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV  
U. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.D 102 (2020) 9, 092002
- 5) Measurement of jet-medium interactions via direct photon-hadron correlations in Au+Au and d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV  
U. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.C 102 (2020) 5, 054910
- 6) Measurement of charged pion double spin asymmetries at midrapidity in longitudinally polarized p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV  
U.A. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.D 102 (2020) 3, 032001
- 7) J/  $\psi$  and  $\psi(2S)$  production at forward rapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV  
U.A. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.D 101 (2020) 5, 052006
- 8) Measurement of J/  $\psi$  at forward and backward rapidity in p+p, p+Al, p+Au, and  $^3\text{He}+\text{Au}$  collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV  
U. Acharya et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.C 102 (2020) 1, 014902
- 9) Nuclear-modification factor of charged hadrons at forward and backward rapidity in p+Al and p+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV  
C. Aidala et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.C 101 (2020) 3, 034910
- 10) Transverse single-spin asymmetry for very forward neutral pion production in polarized p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV  
RHICf Collaboration: M.H. Kim (Korea U. and Nishina Ctr., RIKEN) et al. (Mar 9, 2020)  
Phys.Rev.Lett. 124 (2020) 25, 252501

### 【会議の予稿集】

- 1) Physics and detector requirements at zero degree of EIC  
Yuji Goto(Wako, RIKEN) (Sep 11, 2020)  
Proceedings: Workshop of QCD and Forward Physics at the the LHC, the future Electron Ion Collider, and Cosmic Ray Physics, 59-64 (University of Kansas Libraries)
- 2) Recent status and prospects of LHCf and RHICf  
LHCf and RHICf Collaborations: Takashi Sako(Tokyo U., ICRR) for the collaborations. (Sep 11, 2020)  
Proceedings: Workshop of QCD and Forward Physics at the the LHC, the future Electron Ion Collider, and Cosmic Ray Physics, 147-155 (University of Kansas Libraries)
- 3) The energy spectrum of forward photons measured by the RHICf experiment in  $\sqrt{s}=510$  GeV proton-proton collisions

Kenta Sato, Yoshitaka Itow, Hiroaki Menjo, Mana Ueno, Ken Ohashi et al. (2020)

Published in: PoS ICRC2019 (2020) 413

4) Data acquisition system in Run-0a for the J-PARC E16 experiment

T.N. Takahashi et al.,

proceedings of IEEE Real Time 2020 conference, e-Print: 2011.00225

### 【その他(著書、プレスリリースなど)】

プレスリリース

陽子衝突からの左右非対称な  $\pi$  中間子生成

2020/6/23 理化学研究所、東大宇宙線研、名古屋大学、日本原子力研究開発機構

[https://www.riken.jp/press/2020/20200623\\_1/index.html](https://www.riken.jp/press/2020/20200623_1/index.html)