

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	山川 皓生
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目			
<p>Physics Impacts of DAQ and Triggers at Large-Scale Hadron Collider Experiments and a New Detector Control and Monitoring Scheme to Achieve the Impact at ALICE</p> <p>(大規模ハドロン衝突型加速器実験におけるトリガー・データ収集系の物理への影響と ALICE 実験における新規検出器制御監視系)</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	志垣 賢太	
審査委員	教 授	深澤 泰司	
審査委員	教 授	野中 千穂	
審査委員	准教授	山口 頼人	
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は、素粒子・原子核物理学の歴史進展の原動力である粒子加速器の性能高度化、特に近年の高エネルギー領域における更なる高輝度化の潮流に鑑み、世界最大最高エネルギーの粒子加速器 Large Hadron Collider (大型ハドロン衝突型加速器、LHC) に代表される大規模ハドロン衝突型加速器実験におけるトリガー・データ収集系の物理への影響を考察し、全衝突事象取得を理想的なデータ収集の形態と結論してその技術的実現性を論じ、さらに著者が推進する国際共同原子核衝突実験研究 ALICE において同方式の実現に不可欠な検出器制御監視系の設計から実装までを纏めたものである。</p> <p>欧州合同原子核研究機構 (CERN) LHC 加速器において、素粒子物理学の観点からは主に陽子相互衝突を用いて、素粒子に質量を与えるヒッグス粒子と他の素粒子との結合、ヒッグス粒子自身の自己結合、重クォークを含む中間子の稀崩壊を利用した CP 対称性の破れの精密測定、さらに超対称性粒子に代表される標準模型を超えた新粒子探索など、また高エネルギー原子核物理学の観点からは多彩な原子核相互衝突により、極初期宇宙を満たした超高温物質相であるクォーク・グルーオン・プラズマの詳細な性質解明などが進む。特に高統計が要求される稀事象の探索や測定のため、粒子加速器の高度化の一側面として高輝度化が現在の大きな潮流となり、併せて実験側にも高頻度衝突からの大容量データ収集処理に向けた装置高度化が求められている。その戦略の伝統的選択肢としてトリガーの高度化による極めて大幅な事象選択があり、LHC 加速器では ATLAS 実験と CMS 実験がこの方向性を一層強力に推進している。一方、ALICE 実験と LHCb 実験は 2022 年の第三期運転から連続読出による全衝突事象収集に転換する。これは近年のデータ伝送高速化、高性能かつ安価なデータ処理と記録の実現により可能となったが、全取得データ保存は未だ現実的でなく、実時間データ処理によるデータ量削減が鍵となる。</p> <p>著者は上述の現状を考察し、トリガー方式で取扱可能な削減前データ量の技術的限界が近いとして、将来的に全ての大規模ハドロン衝突型加速器実験が連続読出による全衝突事象収集に向かうべきと結論付けた。実際に ALICE 実験はこの方式を先導する。クォーク・</p>			

グルーオン・プラズマの性質探求を主目的とする同実験では衝突により多数生成する低横運動量粒子までの測定が不可欠であり、ヒッグス粒子測定などと比較してトリガー方式の適用限界が低い点は重要な境界条件である。このため、温度や雑音量などの検出器情報も用いて実時間でデータ較正、不要データ削除、飛跡再構成などを行い、第三期運転ではデータ量を検出器出力毎秒 3.5 TB から同 0.1 TB まで削減して記録する計画である。著者の主たる功績として、新規データ処理系において実時間データ量削減に利用する検出器情報を物理データと同一ストリームに載せる新規検出器制御監視系の開発実装が挙げられる。ALICE 実験全体の制御監視系開発の中で第一段階処理計算機と制御監視系を繋ぐ制御用中継計算機のコード開発を担当し、また ALICE 実験に新規導入する前方ミュオン粒子飛跡検出器の制御監視系を新規設計開発した。これは同実験を構成する既存検出器に先んじた開発であり大型実験内の先鞭となった。2021 年 10 月には LHC 加速器の試験的陽子相互衝突を用いて新規検出器制御系および連続読出データ収集処理系の完全動作が確認された。2022 年前半開始予定の同実験第三期運転における高統計高精度データによる新規物理発展への道を拓く成果である。

本論文は、高エネルギー高輝度のハドロン衝突型加速器における大規模実験の喫緊課題である高頻度衝突からの大容量データ収集処理に対して連続読出による全衝突事象収集を進むべき方向性として示し、実際に同方式を先導する ALICE 実験において実時間処理によるデータ量削減実現に多大に貢献する成果を挙げたものであり、素粒子・原子核実験物理学の更なる発展に向けて重要な知見を与えるもので、高い学術的価値を有する。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

- (1) Design and implementation of detector control system for muon forward tracker at ALICE, K. Yamakawa, A. Augustinus, G. Batigne, P. Chochula, M. Oya, S. Panebianco, O. Pinazza, K. Shigaki, R. Tieulent, and Y. Yamaguchi, *Journal of Instrumentation* 15, T10002 (2020).

参考論文

- (1) Υ production and nuclear modification at forward rapidity in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, S. Acharya, K. Yamakawa, *et al.*, *Physics Letters B* 822, 136579 (2021).
- (2) Production of muons from heavy-flavour hadron decays at high transverse momentum in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV and 2.76 TeV, S. Acharya, K. Yamakawa, *et al.*, *Physics Letters B* 820, 136558 (2021).