

令和 6 年度（2024） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：Knee 領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究 英文：Cosmic ray interactions in the knee and the highet energy regions
研究代表者	毛受弘彰（名古屋大学）
参加研究者	村木 綏、小林春佳、木下幸祐、Bang Seonghyun（名古屋大学）、 笠原 克昌、（芝浦工大）、 櫻井 信之（徳島大学）、 伊藤 好孝、埴 隆志（東大宇宙線研） 三塚岳（高エネルギー加速器研究機構）
研究成果概要	本研究では、LHC および RHIC 加速器の最前方方向生成粒子を測定することによって、宇宙線と地球大気とのハドロン相互作用を理解することを目的とする LHCf 実験と RHICf 実験を推進する。これによって、宇宙線空気シャワーの観測結果から一次宇宙線情報推定の系統誤差を低減することができる。 2024 年度は陽子-酸素原子核衝突の測定の準備とこれまでに取得したデータの解析を行った。陽子-酸素原子核衝突のデータ収集システムは基本的にはこれまでと同様のものを用いるが、2022 年末に CERN にてシステムの再セットアップを行うと同時に、高統計データ取得のために DAQ スピードの約 1.5 倍の高速化に成功している。その後も準備作業を継続して実施してきており、6 月と 12 月には LHC トンネル内とデータ収集室の間にある光ファイバーの透過率測定を実施して、LHC 稼働中の放射線ダメージによる透過率の低下はほとんどなくデータ収集に問題がないことを確認した。また、2 月にも CERN に渡航して、データ収集システムと検出器の最終調整、LHCf-ATLAS 共同測定のためのセットアップとテストを実施した（図 1）。 データ解析では、事象再構成が難しい K_S^0 中間子の測定を機械学習を導入して進めている他、2022 年の陽子-陽子衝突測定データの LHCf-ATLAS 共同解析の準備が完了して実際の物理解析を開始した。K_S^0 中間子の測定は崩壊してできる 4 つの光子それぞれのエネルギーや入射位置を測定する必要があるために難しく、従来の方法では事象再構成効率が著しく低かった。そこで 4 光子事象の識別や入射位置の特定に機械学習を新たに導入した手法を開発し、これによって少なくとも数倍の効

率向上が見込めることを確認できた。LHCf-ATLAS の共同データ収集はそれぞれ取得したデータを記録し、各グループでデータ処理を行った後でイベントタグを用いて同じイベントを抜き出す方法（イベントマッチング）をとっている。2022 年データに対してこのマッチング作業が 2023 年度末に完了し、2024 年度はこのデータセットのデータクオリティチェックを進めると同時に、物理解析をスタートさせた。その中でも特に LHCf 検出器と ATLAS ZDC 検出器を組み合わせた中性子事象再構成を進めており、これによってエネルギー分解能が従来の 40% から 20% まで改善する。これを用いて、間接的に陽子とパイ中間子衝突が測定できる One Pion Exchange 事象の物理解析を進めている。



図 1、LHC トンネル内での準備作業

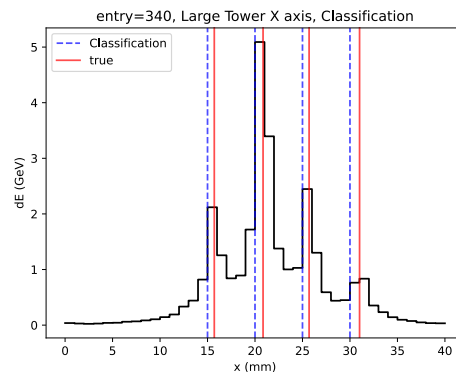


図 2 機械学習を用いた 4 光子事象の事象再構成の例

海外研究会講演

- H. Menjo for LHCf collaboration, Status and Prospects of the LHCf experiment, ISVHECRI 2024, 8-12 July 2024, Puerto Vellarta, Mexico, 招待講演
- H. Menjo for LHCf collaboration, Recent results and prospects of the LHCf experiment, New Trends of High-Energy and Low-x Physics, 2-5 Sept 2024, Sfantu Gheorghe, Romania, 招待講演

日本物理学会講演

- 毛受弘彰 「LHC を用いた宇宙線相互作用の研究」日本物理学会第 79 回年次大会 シンポジウム、2024 年 9 月 16-19 日、北海道大学
- 木下幸祐 他「LHCf 実験における K0s の解析手法開発の状況」日本物理学会第 79 回年次大会、2024 年 9 月 16-19 日、北海道大学
- 小林春佳 他「LHCf と ATLAS-ZDC 共同測定における超前方中性子の測定」日本物理学会第 79 回年次大会、2024 年 9 月 16-19 日、北海道大学