

令和 7 年度（2025） 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、佐久間幹人、（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。 2025 年度は、これまで準備を進めてきた陽子-酸素原子核衝突の測定を問題なく完了させたことが最も大きな成果である。先にも述べたように陽子-酸素原子核衝突は宇宙線相互作用研究の理想的な実験条件であるが、これまでは衝突型加速器での測定は行われておらず、この 2025 年 7 月に実施された LHC での陽子-酸素原子核衝突が世界初である。衝突の重心系エネルギーは$\sqrt{s}=10$ TeV であり、これは宇宙線エネルギーで5×10^{16} eV に相当する。測定では酸素ビームを用いた今回のスペシャルランの直前に陽子進行方向に LHCf-Arm2 検出器を LHC トンネル内に設置した。約 2 日間のオペレーションでは、3 段階の異なるルミノシティでの測定が行われ、合計で約 6 千万事象を取得した。図 1 は、LHC トンネルに設置した Arm2 検出器とオペレーション風景の写真である。また、この測定時のエネルギー校正と放射線ダメージの検証を行うために CERN SPS 加速器を用いたビームテストを 10 月に実施した。陽子、電子、ミューオンのビームを検出器に照射した。 現在は取得した陽子-酸素原子核衝突のデータ解析、また過去に取得した高統計陽子-陽子衝突データの解析を進めている。陽子-酸素原子核衝突のデータで、2 つの光子事象から再構成した質量分布を図 2 に示す。中性パイ中間子と η 中間子の質量に対応したピークを見ることができ、これは測定および解析が正しく行われたこと

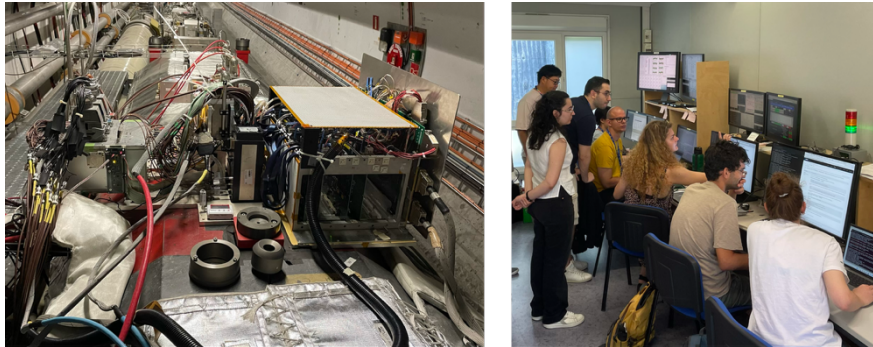


図1、LHC トンネル内に設置された Arm2 検出器 (左)。オペレーション風景を示している。実際のパイ中間子の静止質量の 135MeV より低い位置にピークがあるのはエネルギースケールのキャリブレーションがまだ反映できていないからで、現在はエネルギー校正をビームテストのデータと、この再構成質量分布を用いて進めている。

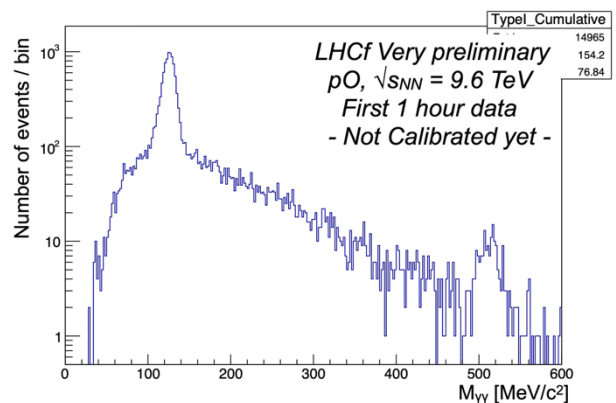


図2、2光子事象の再構成質量分布

海外研究会講演

- H. Menjo and LHCf collaboration, Status and Prospects of the LHCf experiment, ICRC 2025, 14-24 July 2025, Geneva, Switzerland
- H. Kobayashi and LHCf collaboration, Performance studies of LHCf and ATLAS-ZDC for very forward neutron measurement, ICRC 2025, 14-24 July 2025, Geneva, Switzerland (Poster)
- H. Menjo for LHCf collaboration, Very forward photon production in pp and p-Pb collisions measured by the LHCf experiment. EMMI Workshop: Soft photons – the higher orders, 26 May 2025, Heidelberg University, Germany.

日本物理学会講演

- 毛受弘彰 「超前方測定 RHICf と高エネルギー宇宙線の物理」日本物理学会 2026 年春季大会 シンポジウム、2026 年 3 月 23-26 日、オンライン
- 小林春佳 他「LHCf 実験による Λ^0 粒子再構成手法の開発」日本物理学会 2026 年春季大会、2026 年 3 月 23-26 日、オンライン