

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 ( 理 学 )	氏名	関 畑 大 貴
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>Measurement of neutral mesons and direct photons in pp and Pb–Pb collisions at <math>\sqrt{s_{NN}} = 5.02</math> TeV</p> <p>(核子対あたり重心系エネルギー5.02 TeV 陽子-陽子及び鉛-鉛原子核衝突における中性中間子と直接光子測定 )</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	杉 立 徹	
審査委員	教 授	小 嶋 康 史	
審査委員	教 授	深 澤 泰 司	
審査委員	准教授	志 垣 賢 太	
〔論文審査の要旨〕			
<p>高温クォーク多体系の実験研究は 2009 年 11 月、欧州 CERN 研究所の最新鋭 LHC 加速器始動とともに新たなフェーズに突入した。原子核衝突に於ける核子対あたりの重心系衝突エネルギーはそれまで最高エネルギーを誇った米国 RHIC 加速器の 14 倍、<math>\sqrt{s_{NN}} = 2.8</math> TeV に達した。4 年間に渡る LHC 第 1 期衝突実験の結果、鉛+鉛原子核衝突が創る熱源はハドロン物質の存在限界となる Hagedorn 温度を遙かに超える 3.4 兆度にまで達していることが明らかにされた。非ハドロン物質創成の決定的な証拠である。その後、2 年間にわたる LHC 加速器改修を経て 2015 年 5 月に開始された第 2 期衝突実験では、衝突エネルギーは更に倍増され、<math>\sqrt{s_{NN}} = 5.0</math> TeV にまで達した。本研究は、このようなクォーク物理学実験を最先端で牽引する国際共同研究 ALICE 実験の一員として著者が参画し協働する中から生まれた。</p> <p>ALICE 実験は LHC 加速器実験のひとつであり、史上最高衝突エネルギーにて、陽子+陽子反応、陽子+鉛原子核衝突、鉛+鉛原子核衝突を系統的に測定し、非摂動量子色力学 QCD が支配するクォーク多体系の完全理解を目指す。人類未到の超高温・超高エネルギー密度状態の実体解明は、私たちの宇宙誕生直後に起こった QCD 相転移を含む時空発展のダイナミクスを解き明かすことに繋がる。相転移を含むあらゆる物理信号を見逃さずに観測するため、ALICE 実験装置には様々な粒子検出器が組み込まれている。その中でも本学研究グループがロシア他と国際協力し建設導入した PHOS 検出器は、GeV 領域の高精度フォトン検出器として他実験検出器を凌駕する性能を備える。著者は、第 2 期衝突実験開始前から CERN 研究所に長期間滞在し、同検出器の維持・改善に多大な貢献を行った。衝突実験開始後は、同検出器の調整・運用の責任者として高品位・高統計実験データ収集の責務を担い、更に 2016 年には ALICE 実験全体を管理監督する実験管理者 (Run Manager) としても活躍した。</p> <p>本研究は、LHC 第 2 期衝突実験初年時 (2015 年) に初めて収集した史上最高エネルギー <math>\sqrt{s_{NN}} = 5.0</math> TeV の鉛+鉛原子核衝突、および核子対あたり同一衝突エネルギーで収</p>			

集した陽子+陽子衝突データを対象に、著者が責任者となりデータ解析に取り組んだ PHOS 検出器を中核に据えて組み立てられている。PHOS 検出器は原子核衝突により生成された短寿命中性中間子 ( $\pi$ ,  $\eta$  など) のハドロン崩壊光子、衝突時に即発的に放射される摂動的 QCD 直接光子、及び衝突により創成された高温熱源が輻射する熱単光子測定を主たる使命とする。高エネルギー原子核衝突の高い粒子多重度環境下でこれらの光子を精度良く測定するために、PHOS 検出器は 12,544 個の検出素子に分割して構成している。検出素子にはそれぞれ個性が有り、また欠損を伴う素子も混ざっている。1 万本を超える検出素子をそれぞれ正しく較正し、あるいは除外し、検出器全体として最高性能を発揮させる手法は自明ではない。著者は十分慎重に各検出素子をエネルギー較正するとともに、数ヶ月にわたる時系列での品質保証を担保することにより、中性  $\pi$  中間子を質量幅  $5 \text{ MeV}/c^2$  で同定する解析手法を確立し、陽子+陽子衝突及び鉛+鉛衝突が生成した中性  $\pi$  及び  $\eta$  中間子の生成量を抽出することに成功した。事象選択方式により収集データに含まれるバイアス、検出器の有効立体角に起因する幾何学的バイアスなどを十分な精度でシミュレーションすることにより補正し、広い運動量領域で中性  $\pi$  及び  $\eta$  中間子の不変生成量を導出することに成功する。次に、両粒子種に対してそれぞれの原子核抑制係数の導出を行い、運動量  $0.4 \text{ GeV}/c$  から  $35 \text{ GeV}/c$  までの広い運動量領域にてその様相を初めて明らかにした。両粒子種とも共通して  $6\text{-}8 \text{ GeV}/c$  付近で最も強い抑制を示し、高運動量になるに従い抑制具合は減少することが判った。衝突エネルギー  $2.8 \text{ TeV}$  の同一衝突系の結果と比較すると、 $5.0 \text{ TeV}$  では運動量分布に硬成分が増加しているにもかかわらず、抑制係数は同程度になることが判明し、高温クォーク物質が備えるパートンエネルギー損失依存性について新たな知見を得た。この物理的解釈を含めて、今後の理論的研究に大きな指針を与えると期待される。

本論文では、鉛+鉛原子核衝突が生成した単光子エネルギー分布についても議論している。高温クォーク物質の物性を議論するための重要なプローブである。他方、背景事象となるハドロン崩壊光子が 90%程度混在するため、本論文で扱った実験データの統計量で単光子成分を正確に抽出することは極めて難しい。しかし、暫定的結果ながら、 $4 \text{ GeV}$  以下の領域で QCD 直接光子に重畳する熱輻射光子を見出している。著者の開発した解析手法及び暫定結果は、今後期待される高統計データ解析の有意性を担保するもので有り、その先駆性は高く評価される。

このように、本研究は史上最高衝突エネルギーの鉛+鉛原子核衝突が創る高温クォーク物質の様相を初めて明らかにしたもので、これらの成果は、クォーク物理学分野の研究発展に大きく貢献するものとして、高い学術的価値が認められる。

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

- Energy and system dependence of nuclear modification factors of inclusive charged particles and identified light hadrons measured in p-Pb, Xe-Xe and Pb-Pb collisions with ALICE, Daiki Sekihata for the ALICE Collaboration, Nuclear Physics, Section A 982C (2019) pp.567-570

参考論文

- Neutral pion and  $\eta$  meson production at midrapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, S. Acharya et al., Physical Review C98, 044901 (2018)
- Direct photon production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, J. Adam et al., Physics Letters B754 (2016) 235–248