

研究種目：特別推進研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18002010

研究課題名（和文） クォーク物質創成とフォトン物理

研究課題名（英文） Formation of Quark Matter and Photon Physics

研究代表者

杉立 徹 (SUGITATE TORU)

広島大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：80144806

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：クォーク物質、QGP、極初期宇宙、フォトン物理、LHC 加速器実験

1. 研究計画の概要

2000 年より稼働中の米国 RHIC 加速器より遙かに高い衝突エネルギーを実現する欧州 CERN 研究所最新鋭 LHC 加速器において、核子対あたりの衝突エネルギー 5.5 TeV の鉛+鉛原子核衝突による史上最高温度のクォーク物質を創りだす。最新の高分割・高エネルギー分解能光子検出器（通称 PHOS）を ALICE 実験装置に組み込み、超高温クォーク物質が膨張し冷却し最後にハドロン化して離散するまでに発する光をこれまでにない高精度で測定し、クォーク物質の物性を解き明かす。

本研究では、2 光子崩壊する中性パイ中間子を同定し、その運動量分布及び生成多重度から到達エネルギー密度及びハドロン析出温度など、クォーク物質の相境界付近の特性、更に運動量分布の中心衝突度依存性からクォーク物質のエネルギー阻止能を明らかにする。次に直接光子エネルギー分布を測定し、摂動的 QCD 過程からの光子とクォーク物質からの熱放射光子成分に分離し、熱光子のエネルギー分布から熱統計力学状態を特定することによりクォーク物質を解明し、極初期物質宇宙の理解を目指す。

2. 研究の進捗状況

広島大学、東京大学、筑波大学は日本研究チームを組織し、CERN 研究所 ALICE 実験国際共同研究組織に公式参入した。鉛タンングステン酸結晶電磁カロリメータ PHOS の建設運用に責任分担を担い、APD 光子検出素子及び APD 電荷感応型増幅器などの開発及び国内生産を完了した。高性能なシンチレーション材と優れた光子検出方式を新規開発したこと、並びにこれらの性能を更に高める低温運用技

術を開発したことにより、同規模電磁カロリメータのエネルギー分解能世界最高記録（約 3%/√E）を達成した。

CERN 研究所は 2008 年 9 月 10 日、LHC 加速器建設完了を宣言し、同日 LHC 加速器リングへのビーム入射を成功させたが、その後、LHC 加速器に予期しない障害が発生し、加速運転再開を 2009 年に延期した。PHOS 検出器は調整中に発現した結露問題を解決する筐体改造を進めながら、現在、モジュールの最終組立調整を行っている。6 月後半までに 3 基を ALICE 実験装置に組み込む。

PHOS 検出器の高分解能を発揮させるには、各検出素子のエネルギー較正を充分精密に行う必要がある。エネルギー利得較正方法について様々な手法を開発し、模擬データを用いた検証を行い、物理測定から要求される 1% 以内の較正精度が達成できることを示した。更に検出素子間の時間同時性を 0.5 ns の系統誤差まで較正する手法も開発した。

今後のデータ解析の基盤となる ALICE 実験地域解析拠点 (WLCG-Tier2) を構築した。計算機資源を順次増強し、現在ではインテル社 Xeon コア計 544 個、総計算能力 6TFLOPS、ディスク容量 200TB のシステムに成長した。ALICE 実験日本チームの国内拠点としての機能はもとより、グローバルな解析体制の構築と推進に寄与している。

3. 現在までの達成度

【おおむね順調に進展している。】

1) **PHOS 検出器の大幅な信頼性向上**: 結露問題は完全気密筐体に載せ替えることで根本的な解決を図り、長期安定運用に大幅な信頼性向上を実現した。ALICE データ収集制御シ

システムのもとでの習熟運用も完了し、加速器再始動に合わせた準備が進行している。

2) **ALICE 実験装置のフォトン物理強化**: PHOS 検出器 3 モジュールが臨む視野内の TRD 及び TOF 検出器から物質量を大幅に削減し、光子収率向上のみならず熱輻射単光子測定に対する系統的誤差の抑制に成功した。本研究で主導したシミュレーション研究の成果である。

3) **フォトン物理解析準備と布石**: 地域解析拠点を早期に立ち上げ、シミュレーション計算及び物理解析コードの開発を推進。PHOS 検出器データ校正手法開発を先導し、鳥井久行が校正責任者としての重責をとった。最先端の研究組織の中で最も熾烈な共同研究者同士の競争に先手をとる布石である。

4) **PHOS 検出器指導力と ALICE 実験における発言力強化**: 本研究代表者の杉立徹が PHOS 検出器副責任者を受諾し、同時に ALICE 実験技術審査部会メンバーに就任。世界トップの国際共同研究の中でフォトン物理の推進に責任と指導力を発揮し、大型研究組織の中でしっかりした存在感と発言力を担保する。

5) **LHC 加速器初期故障及び世界的経済劣化からの挽回**: 初期故障は本研究遂行に約 1 年の遅延を生じさせたが、2009 年の陽子衝突実験を 8 ヶ月間に延長し、更に継続して 2 ヶ月の鉛原子核衝突実験が議論されている。遅れの挽回に有効な LHC 運転計画案である。世界経済の悪化は第 4 及び第 5 モジュールの PW0 結晶の供給を遅らせている。少なくとも 2009 年のビーム衝突実験にはモジュール 3 基で臨むことになるが、上記 4 項目の達成によりその影響は最小限に食い止められており、本研究期間内に予定通りの研究成果が充分期待できる。

4. 今後の研究の推進方策

1) PHOS 検出器の ALICE 実験組込

ALICE 実験組込予定に沿って、最終調整を済ませた PHOS 検出器 3 モジュールを ALICE 実験装置へ組み込み、LHC 加速器による初めてのビーム衝突実験へ準備を整える。

2) 陽子+陽子衝突実験

2009 年後半に LHC 加速器初めての陽子衝突実験を遂行し、 $\sqrt{s}=10\text{TeV}$ のデータ収集する。PHOS 検出器の初期調整・性能確認を重視すると同時に、ソフト領域の中性パイ中間子生成を他実験に先駆け明らかにする。

3) 鉛+鉛原子核衝突実験

陽子衝突実験に連続して 2010 年、LHC 加速器初めての原子核ビーム衝突実験を予定する。米国 RHIC 加速器を遙かに凌ぐ高エネルギー原子核物理学の幕開きである。中性パイ中間子生成及び単光子輻射を解析し、強く相互作用するクォーク物質の物性解明を推進する。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 3 件)

- 1) **T. Sugitate** (16 名中 12 番) 他、Time of Flight resolution of the prototype of the electromagnetic calorimeter PHOS, Nucl. Instr. Meth. A598, 702-709 (2008) 《査読有》
- 2) **H. Hamagaki, Y. Miake, K. Shigaki, T. Sugitate** (1153 名中 1007 番) 他、The ALICE experiment at the CERN LHC, Jour. Instr. 3, S08002/1-245 (2008) 《査読有》
- 3) **T. Sugitate** (950 名中 381 番), **K. Shigaki, Y. Miake, H. Hamagaki** 他、ALICE: Physics Performance Report, Volume II, Jour. Phys. G32, 1295-2040 (2006) 《査読有》

[学会発表] (計 34 件)

- 1) **杉立徹**、PHOS Status and High p_T Probes、International Workshop on Photons and Jets in ALICE 招待講演、2008 年 12 月 4-6 日、華中師範大学 (中華人民共和国)
- 2) **杉立徹**、LHC-ALICE の重イオン物理、研究会「超高エネルギー宇宙線とハドロン構造 2008」招待講演、2008 年 4 月 26 日、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所
- 3) **杉立徹**、Photon Physics in ALICE、Physics with PHENIX and ALICE 会議招待講演 sponsored by APCTP and Yonsei HIM group、2007 年 10 月 20 日、済州島会議場 (大韓民国)
- 4) **杉立徹**、アリス実験と QGP 物理、日本物理学会シンポジウム「LHC が開く新たな地平」招待講演、2007 年 3 月 25 日、首都大学東京

[図書] (計 4 件)

- 1) **志垣賢太, 杉立徹, 郡司卓, 浜垣秀樹, 江角晋一, 三明康郎, 高エネルギー原子核衝突実験物理学の新展開、原子核研究 53 巻 2 号 62-73 頁 (2009)**
- 2) Fumihiro Chuman, Ayako Hiei, Takuma Horaguchi, Kenta Mizoguchi, **Kenta Shigaki, Toru Sugitate,** and Hisayuki Torii, Calibration Methods of PHOS Modules, ALICE-INT-2008, 1-31 (2009)
- 3) **K. Shigaki, T. Sugitate, H. Hamagaki, Y. Miake** 他、ALICE electromagnetic calorimeter technical design report, Jour. Phys. G32, 1295-2040 (2006), CERN-LHCC-2008-014 (2008)1-132, ISBN-978-92-9083-320-8
- 4) **T. Sugitate** for ALICE/PHOS Collaboration, The PHOS Detector at ALICE, AIP Conf. Proc. 842, 1088-1090 (2006)

[その他]

ホームページ

<http://www.hepl.hiroshima-u.ac.jp>