

BL31LEP レーザー電子光Ⅱ

1. 2017年度の活動概要

レーザー電子光ⅡビームラインBL31LEP (LEPS2ビームライン) では、波長355 nmの紫外レーザー光を8 GeVの蓄積電子と逆コンプトン散乱させ、最大2.4 GeVのガンマ線 (レーザー電子光) ビームを得ている。このガンマ線ビームを蓄積リング棟外のLEPS2実験棟まで引き出し、液体水素などの標的に照射してハドロン粒子の光生成実験を推進している。LEPS2実験棟内には二種類の大立体角検出器系が設置されており、2017年度は交互にユーザータイムを消化しながら、効率的に実験が進められた。

LEPS2実験棟の上流側では、終状態で複数の光子へと崩壊するハドロン粒子を検出するために大立体角電磁カロリメータBGOeggが稼働しており、2017年度は検出器系の中心部に銅標的を用いた実験を行った。前期は0.1放射長の標的を用いて1週間、後期は標的厚を0.5放射長に増やして4週間、データ収集した。これらのデータは、超高密度環境 (1 cm³当たり約1億トン) となっている原子核中でハドロン質量が減少する現象 (媒質効果) を探索するために解析する。特に、分岐比2.2%で2個の光子へ崩壊する η' 中間子の質量スペクトルを調べ、超高密度下におけるカイラル対称性の回復による真空の

相転移を研究する。2017年度後期の実験では、バックグラウンド量を減らして信号の感度を上げる計画の一環として、前方電磁カロリメータ (PWO検出器) および前方プラスチック・シンチレーターを増設し、一部を稼働させた。今後、追加検出器の全チャンネルを読み出し、データ収集を断続的に継続する予定である。

LEPS2実験棟の下流側には、荷電粒子と光子を同時測定できる大立体角検出器 (ソレノイド・スペクトロメータ) を設置しており、今後はLEPS2ビームラインにおける研究活動の重点をこちらへ移す。この実験では、5つのクォークでできたエキゾチック・ハドロン候補である Θ^+ や中間子・バリオン分子候補である Λ (1405) の研究、反K中間子を束縛した原子核の研究などを行う予定である。

この実験のために、内径約3 m、中心磁場1 Teslaのソレノイド電磁石を米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) から移設した。現在は、ソレノイド内部に設置する検出器を開発している。図1に概要図を示す。ソレノイド電磁石中にハドロン生成用の標的を設置する。側方に散乱した荷電粒子の飛跡をタイムプロジェクション・チェンバー (TPC) で検出し、下流に散乱した粒子はドリフト・チェンバー (DC) で検出する。これらの飛跡検出器で得られた荷電粒子の飛跡情報から磁場中での運動方程式を解くことで荷電粒子の運動量を得る。標的の周囲に設置したプラスチック・シンチレーター (SC) で荷電粒子が生成した時刻を測定し、標的から4 m下流の高抵抗板検出器 (FRPC) とソレノイドのパレル部に設置した高抵抗板検出器 (BRPC) で荷電粒子の飛行時間を測定する。荷電粒子の飛跡情報と合わせて速度を得ることができる。運動量と速度から荷電粒子の質量を求め、生成された粒子の種類を識別する。運動量が1 GeV/cを超える荷電粒子については飛行時間による粒子識別が困難になるため、エアロゲルを輻射体とするチェレンコフ検出器 (AC) を用いて粒子識別を行う。また、ハドロンの崩壊で生じる光子はBNLから移設した電磁カロリメータ (B γ) を用いて検出する。このように、ソレノイド・スペクトロメータは多種類の検出器によって構成されるシステムであり、実験を開始するまでに十分な準備と調整が必要である。

2017年度前期は、荷電粒子検出器DCとTPC、SCを用いたテスト実験を行った。SCを用いて、荷電粒子の

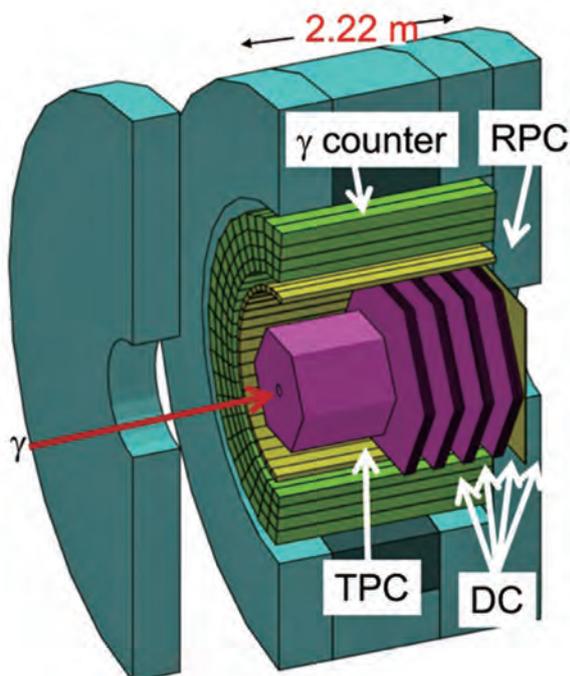


図1 ソレノイド・スペクトロメータの概要図

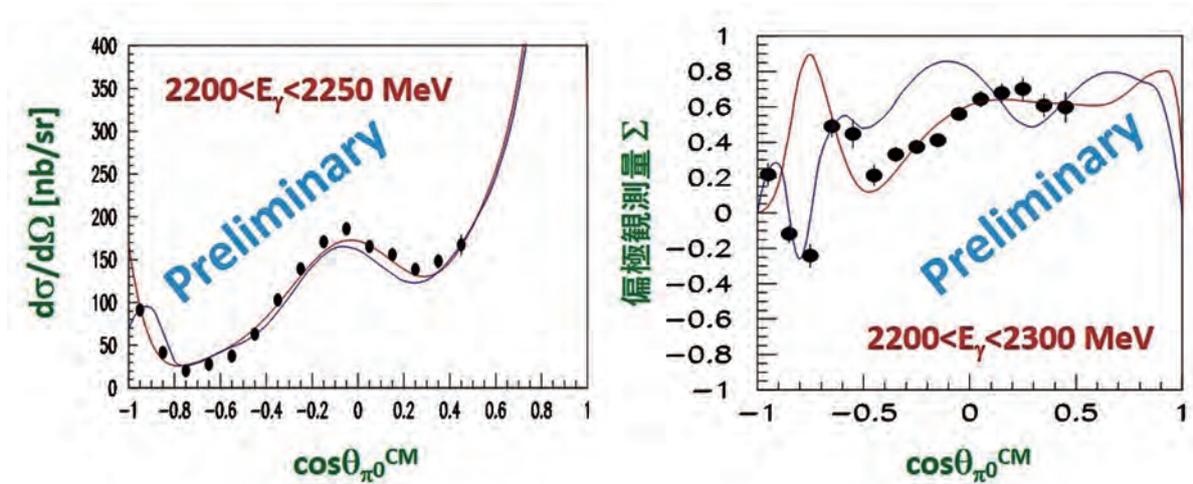


図2 高エネルギー領域における π^0 光生成の微分断面積（左図）と偏極観測量 Σ （右図）。黒点はBGOegg実験の測定結果、赤線と青線はBonn-GatchinaおよびSAIDによる既存の理論曲線（部分波解析結果）を示す。

生成時刻が加速器のRFタイミングと同期していることを確認し、SCの時間分解能が期待通りの性能であることを確認した。さらに、DC、TPCで荷電粒子の飛跡を再構成することに成功した。2017年度後期はDC、SCに加えて電磁カロリメータのデータを取得した。磁場中でカロリメータと光電子増倍管が正常動作することを確認し、ハドロン光生成のデータを取得した。解析を続けている。

2. 2017年度の実験成果

2017年度は、2016年度までにBGOegg実験で収集したデータの解析が進み、液体水素標的（陽子）を用いた π^0 、 η 、 ω 各中間子の光生成の微分断面積および偏極観測量の測定が最終段階を迎えた。これらの測定により、重心系で生成される核子や Δ 粒子の励起状態が観測でき、クォークから成るハドロン構造に迫ることができる。これらの励起状態は一般的に広い質量幅を有し、互いに重なり合っているため、微分断面積による崩壊角度分布や偏極観測量による干渉効果を測定して、異なる励起状態を分離することが重要となる。LEPS2ビームラインでは、レーザー光が持つ高い直線偏光度が逆コンプトン散乱後のガンマ線ビームにおいても保持され、特に偏極観測量（ガンマ線ビームの直線偏光方向に対する中間子生成方位角分布の非対称度など）に強みがある。ガンマ線ビームのエネルギーが2 GeV以上の領域では、世界的に見て光生成実験による偏極観測量の測定がほとんどされておらず、BGOegg実験による測定は重要な意義を持つ。

図2は、98.8%の分岐比で2個の光子へ崩壊する π^0 中間子の光生成に対する微分断面積と偏極観測量の測定結果の一例である。 $\gamma p \rightarrow \pi^0 p \rightarrow \gamma \gamma p$ 反応の終状態におい

て、2光子は大立体角電磁カロリメータでエネルギーと生成方向を測定し、陽子は同カロリメータまたは前方のドリフト・チェンバーで方向を測定する。ガンマ線ビームのエネルギーは、ビームライン設備であるタギング検出器で逆コンプトン散乱の反跳電子運動量を測定することにより決定している。始状態と終状態の四元運動量の保存と、2光子の不変質量が π^0 中間子の質量となる拘束条件を用いて、運動学的フィットを行い、信号事象を約65万個抽出した。低エネルギー領域においては、微分断面積、偏極観測量ともに他実験による測定結果があり、BGOegg実験の結果と概ね一致している。図2は高エネルギー領域の測定結果であり、既存の理論曲線との比較を表している。微分断面積については既存の測定結果があるため、それらを基にした理論曲線がBGOegg実験の結果と合致している。一方、偏極観測量については大立体角検出器による精細な測定結果がないため、既存の理論曲線ではBGOegg実験の測定結果を説明できない。今後、BGOegg実験による新データを使って部分波解析を進め、これまで考慮されてこなかった核子および Δ 粒子の励起状態の必要性を議論する。

東北大学 電子光理学研究センター

村松 憲仁

京都産業大学 理学部

新山 雅之