BL33LEP
レーザー電子光

1. 実験等の実施概要

BL33LEPでは、8 GeV蓄積電子ビームと外部より入射される紫外、または深紫外レーザー光との逆コンプトン散乱によって得られるGeV領域の偏極高エネルギーガンマ線ビーム（レーザー電子光ビーム）を標的に照射し、主に前方に放出される粒子を測定してクォーク核物理研究を推進している。レーザー電子光ビームは、コンプトン端を最大値とした比較的平坦なエネルギー分布を持ち、制動放射によるガンマ線ビームに比して、低エネルギー光子によるバックグラウンド反応が抑制され、また、広いエネルギー範囲で高い偏極度が得られるという特徴を持つ。電子ビームとレーザーのエネルギーが高いほど高エネルギーのレーザー電子光ビームが得られ、SPring-8の8 GeVという世界最高エネルギーの放射光蓄積電子ビームのおかげでBL33LEP及びBL31LEPでは世界最高エネルギーのレーザー電子光ビームを供給することができる。ビームエネルギーは、ほぼ純粋にストレンジクォークと反ストレンジクォークから成るφ中間子やハイペロン共鳴状態の生成閾値を超えているため、特にストレンジクォークを持つハドロンを中心に研究を行っており、ペンタクォークやメソン・バリオン共鳴状態等のエキゾチックなバリオンの光生成を通して、ハドロンの構造とそれらの間に働く力をクォークのレベルで解明することを目指している。

これまでのBL33LEPにおけるLEPS実験において用いられてきた標的は液体水素や液体重水素を主とした非偏極の標的であったが、陽子や重陽子はスピンを持っているため、偏光ビームに加えて偏極した標的を用いることによって、二重偏極観測量の測定が可能となり、生成率の小さい状態についても散乱振幅の干渉項を通してその効果を調べることができる。例えば、φ中間子光生成の反応機構の中には、陽子中にも存在が示唆されているストレンジ・反ストレンジクォーク対のノックアウト過程も考えられ、ビームと標的のスピンが平行な場合と反平行な場合の偏極非対称度はこうした核内ストレンジネス成分に敏感な観測量であることが理論的に予想されている[1]。また、他の光―核子反応においても、偏極ビームと偏極標的の組み合わせによる種々の観測量の測定で、スピン依存振幅を完全に決定することができる。我々はLEPS実験での使用を目指して、偏極HD標的の開発を大阪大学核物理研究センターにおいて長年進めてきた。これは、重水素化水素分子（HD）を極低温（~15 mK）、高磁場（17 T）で静的に偏極させ、長時間

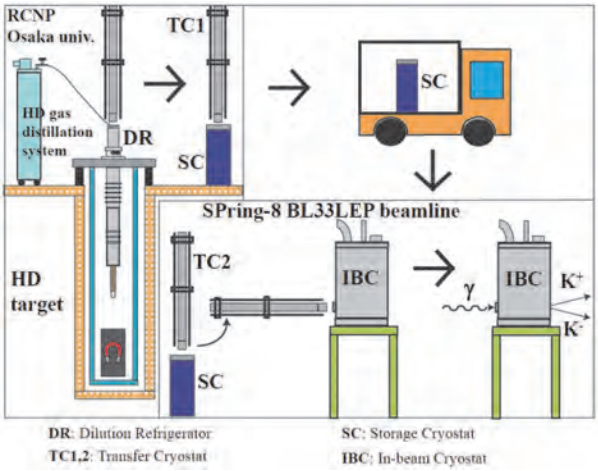

図1　偏極HD標的の製作から実験までのプロセス

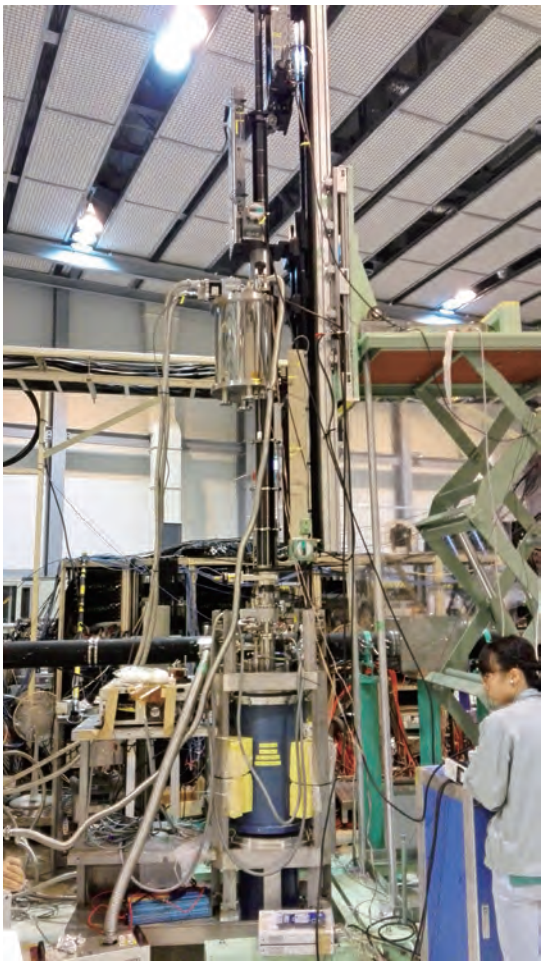

図2　貯蔵運搬用クライオスタット（SC）と引抜き用クライオスタット（TC2）の連結。

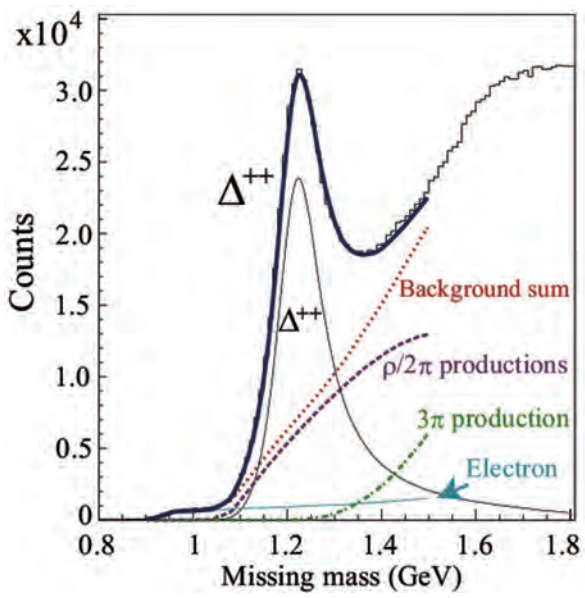

図3　Eγ=1.5–2.95 GeV に対するp（γ，π^-）X反応における欠損質量分布

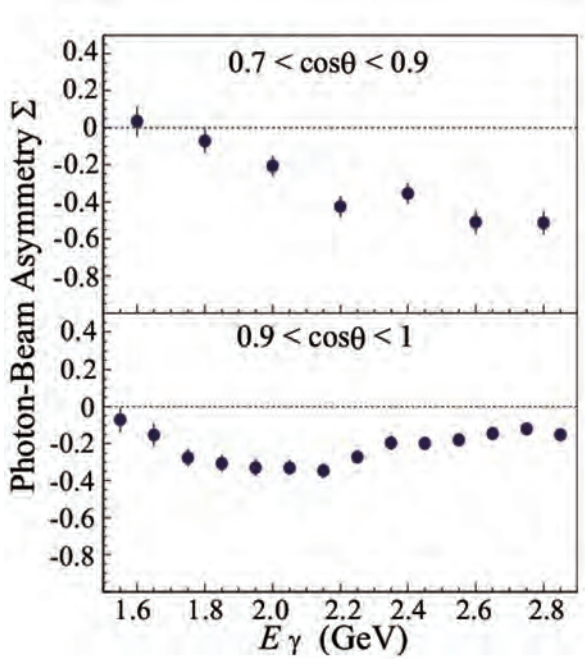

図4　$\gamma p \rightarrow \pi^- \Delta^{++}$（1232）反応における直線偏光ビームに対するビーム非対称度（Σ）。
（Eγ = 1.5 – 2.9 GeV。θ は重心系でのπ^-の散乱角。）

かけてスピンを凍結させ、SPring-8に運んでビーム照射実験に用いる計画であり、陽子の偏極度40%で緩和時間が約240日の標的の作製に成功している。2017年度は、BL33LEPビームラインにおいて、運搬されてきた偏極HD標的をLEPS実験ハッチ内のビーム照射用クライオスタットにセットするために必要な機器間の連結試験を中心に開発を行った。図1は偏極HD標的の製作から実験までの過程の概念図であり、2017年度の試験で成功した、貯蔵運搬用クライオスタット（SC）と標的引抜き用クライオスタット（TC2）の連結時の写真を図2に示す。この開発作業のためには実験ハッチの上流大扉を開放して行う必要があったため、2017年度のビーム照射実験の時間は例年より大幅に減少しているが、変換電子・陽電子ビームを用いたLEPS2実験用の各種検出器の性能評価試験や、新たなビーム強度向上の試みとしてのビームバンチに同期したパルスレーザーによるレーザー電子光生成テストなどを行い、また、2016年度に引き続いてSPring-8夏の学校のBL実習に参加し、一課題を担当した。

2. LEPS実験での研究成果

最大エネルギー3 GeVのビームを用いた水素標的からの$\pi^\pm$中間子生成、K^+中間子生成実験の解析結果がまとまり、3編の論文を公表した[2,3,4]。ここでは、その中で、高統計データとしては世界で初めての測定となる、$\gamma p \rightarrow \pi^- \Delta^{++}$（1232）反応の結果を示す[4]。$\Delta^{++}$は$u$クォーク3個から成る粒子であるため、この反応はその過程においてuクォーク・反uクォーク対を生成するユニークな反応であり、生成機構に敏感な直線偏光に対するビーム非対称度の測定はこの反応を理解するうえで特に重要である。図3に$\gamma p \rightarrow \pi^- X$反応の欠損質量分布を示す。顕著な$\Delta^{++}$（1232）のピークが見えており、$\Delta^{++}$（1232）の事象数は多重$\pi$生成等を仮定した背景事象とのフィッティングにより算出している。図4にこの反応に対するビーム非対称度のエネルギー依存性を、2つの散乱角度領域について示す。我々の測定したほとんどの運動学領域においてビーム非対称度は負であり、これは反応機構として、tチャネルにおいて不自然パリティを持った粒子であるπ中間子交換過程が主であることを示しているが、dクォーク・反dクォーク対生成を伴う$\gamma p \rightarrow \pi^+ n$反応[2]や$s$クォーク・反$s$クォーク対生成を伴う$\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$（$K^+ \Sigma^0$）反応[3]では正の非対称度を示しており、この違いは非常に興味深い。今後、様々な光ハドロン生成を統一的に理解する理論モデルを構築するうえでの貴重なデータとなると期待される。

参考文献

[1] A.I. Titov et al.: *Phys. Rev. Lett.* **79**（1997）1634.
[2] H. Kohri et al.（LEPS Collaboration）: *Phys. Rev. C* **97**（2018）015205.
[3] S.H. Shiu et al.（LEPS Collaboration）: *Phys. Rev. C* **97**（2018）015208.
[4] H. Kohri et al.（LEPS Collaboration）: *Phys. Rev. Lett.* **120**（2018）202004.（arXive:1801.07900）

大阪大学　核物理研究センター
與曽井 優