

BL33LEP

レーザー電子光

1. 実験等の実施概要

BL33LEPSでは、8GeV蓄積電子ビームと短波長レーザーの逆コンプトン散乱により得られる偏極GeV光ビームを用いたクォーク核物理実験を行うと共に、ビーム発生装置や測定器の維持と開発を行っている。ほぼ100%のビーム縦偏極度が得られるレーザー電子光ビームとしては、本ビームラインが世界最高エネルギーを誇る。

核物理研究センターを中核とする国際共同研究グループであるLEPSグループには6カ国、25の研究機関から約70人の研究者が参加している。このうち約30%が外国からの参加者である。LEPSグループの構成員は、年間約4000時間の実験の遂行とそのデータ解析で中心となると共に、レーザー電子光ビーム及び検出器の改善を共同で行っている。

主な研究テーマは、 Θ^+ 粒子に代表されるペンタクォークやメソン・バリオン共鳴状態等、3クォークで説明できないバリオンの探索及び構造の解明、中間子光生成反応の精密測定によるバリオン共鳴状態の研究、核内の中間子の性質の変化の研究である。

2007年度前期は、ほとんどのビームタイムを最高エネルギーが2.4 GeVのビームを重水素標的に照射し、 Θ^+ 粒子を高い統計精度で確かめることを目的とする実験を行った。2007年度の後期は、後述する新型タイムプロジェクションチェンバーの開発のためのテスト実験と、最高エネルギー3.0 GeVのビームを用いたベクター K中間子を伴う励起ハイペロン生成実験を行った。この実験の提案者は、オハイオ大学のK. Hicks教授とコネチカット大学のK. Joo准教授で、本実験は、核物理研究センターが窓口となり審査を行った公募実験である。

2. Θ^+ 粒子の研究

BL33LEPを用いた実験で得られた大きな成果の一つがシータ (Θ^+) 粒子の発見である^[1]。 Θ^+ 粒子は、レーザー電子光ビームを原子核に照射した実験で世界で初めて実験的に存在の可能性が示された5クォーク粒子であり、2002年のLEPSでの観測に引き続き、アメリカのJlab、ロシアのITEP、ドイツのDESY研究所等の10近くの研究グループから、その存在をサポートする結果が発表された。しかし、2004年以降、主に高エネルギー領域での高統計実験で、 Θ^+ 粒子の生成が確認できないという報告が相次いだ。この混沌とした状況を打開するために、我々は重陽子を標的とする再実験を2002-2003年と、2006-2007年の2回に分けて行った。現在、2002-2003年データの解析がほぼ終わった段階であるが、 Θ^+ 粒子生成を強く示唆する実験結果が、二つの反応モードで得られた。この結果は、最近のいくつかの国際会議で口頭発表^[2]、現在、投稿論文にまとめている。2006年度の後期から2007年度の前期にかけて得られたデータの解析では、 Θ^+ 粒子生成のより強固な証拠を得るため、解析に人為的なバイアスがかかり難いblind analysisという手法を用いる。2007年度にはレーザー 2連同時入射システムが完成し、ビーム強度が従来のほぼ2倍になったため、過去の約3倍の統計量の実験データを収集することができた。

3. 新しいタイムプロジェクションチェンバーの開発

Θ^+ 粒子の存在の確立とその構造の解明のためには、新たな生成過程や崩壊過程を探索することが極めて重要である。中でも Θ^+ が中性K中間子と陽子に崩壊するモードの研究と、ベクター反K中間子を伴う陽子からの Θ^+ 生成反応の研究に

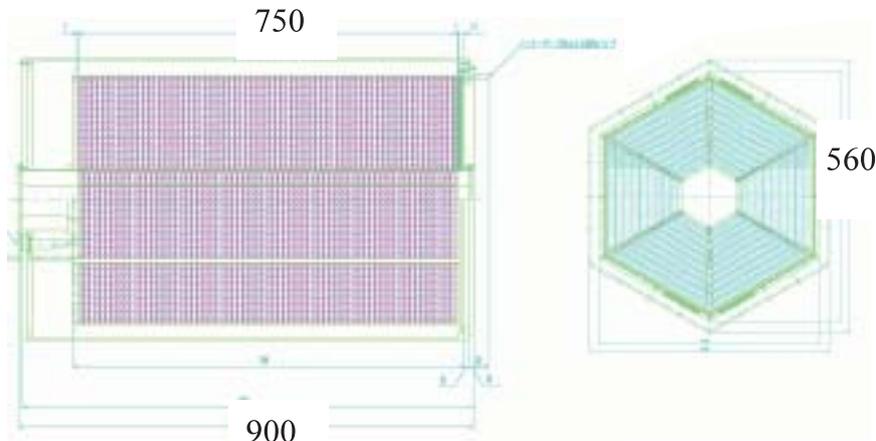


図1 新型タイムプロジェクションチェンバー側面（左図）及び正面（右図）

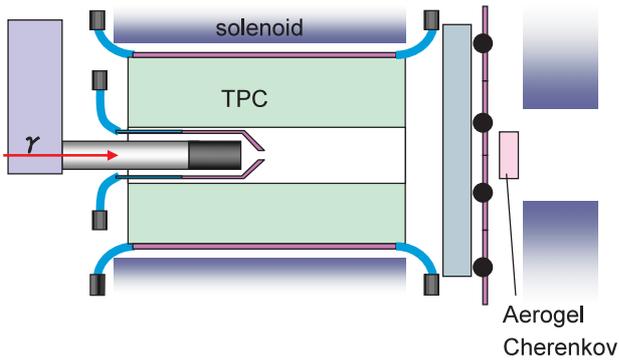


図2 実験セットアップ概念図。ソレノイド中にTPCが設置され、TPC中に液体水素標的が挿入される。

より、LEPSの肯定的な結果と他の否定的な実験結果の間の矛盾を解く鍵を与えると期待されている。これらの生成・崩壊過程では、終状態で複数の中間子がビーム軸に対して大きな角度で放出されるため、アクセプタンスが前方に限られる双極電磁石を用いた通常のセットアップでは実験できない。そこで我々は、大立体角を覆うタイムプロジェクションチェンバー（TPC）を、主に京都大学と大阪大学が中心となって開発した^[3]。TPCは、平行な磁場と電場の中にガスを封じ込めた検出器で、荷電粒子の飛跡を3次元的に測定すると共にエネルギー損失から粒子の識別も行うことができる。磁場に平行な方向の位置は電場によって一定の速度でドリフトされた電子のドリフト時間から求められるので、電場の一様性が高い運動量分解能を達成する上で極めて重要である。LEPSでは原子核標的（固体標的）用のTPCを開発した経験があるが、今回は液体水素及び重水素標的を使用するため、ビーム軸まわりには広い中空領域がある。その条件下で、電場の一様性を保つため、新TPCでは電場整形用のストリップ電極をTPCの側面に配置する等、大幅な設計変更が必要となった。図1に示すようにTPCは6つのセクターで構成されており、長径は560 mm、ドリフト距離は760 mmである。セ



図3 実際の実験セットアップ

クター毎に225個の電極（パッド：大きさは5.1 mm×14.5 mm）が敷き詰められており、ビームに垂直な方向の位置情報を130～330 μ mの分解能で得ることができる。また磁場に沿った電子のドリフト方向の分解能は約760 mmであることがテストの結果わかった。ベクター K中間子を伴う Θ^+ 粒子生成反応で、ベクター K中間子の崩壊によるK-及び π^- 粒子の運動量をTPCで測定すると、 Θ^+ 粒子の質量が25 MeVの精度で求まる。図2に液体水素標的も含めた実験セットアップの概念図、図3に実際の実験セットアップの写真を示す。

新しいTPCを用いた実験は、2008年の1月から7月にかけて行われる予定である。

参考文献

- [1] T. Nakano, et al.: Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 012002.
- [2] T. Nakano for the LEPS Collaboration, Talk at The 11th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU07), Jülich, Germany (2007).
- [3] T. Emori, M. Yosoi, Y. Nakatsugawa, et. al., RCNP Annual Report, (2005) 53.

大阪大学 核物理研究センター
中野 貴志