

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22244026

研究課題名（和文）

高エネルギーレーザー電子光ビームを用いたハドロン内クォーク相関の研究

研究課題名（英文）

Study of correlation of confined quarks using high-energy Laser-Electron photon beam

研究代表者

中野 貴志（TAKASHI NAKANO）

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号：80212091

研究成果の概要（和文）：

本研究では、大型放射光施設 SPring-8 の 8 GeV 蓄積電子ビームにレーザー光を衝突させて得られる、レーザー電子光ビームを用いたハドロン内の光生成実験を行った。まず、深紫外(DUV)レーザーの導入により、最高エネルギーが、2.4 GeV から 3 GeV に改善された。さらに同時入射のための光学系の設計と、レーザーの出力パワーの最適化を行うことによりレーザー電子光ビームの強度を従来の 2 倍に高度化した。

Θ^+ (シータ粒子)研究に関しては、液体重水素標的のすぐ下流に設置されたプラスチックカウンター中でもエネルギー損失から、 γp 反応と γn 反応を分離する方法を開発し、シグナル感度を大幅に向上させ、 nK^+ 質量分布に Θ^+ ピークを確認した。

研究成果の概要（英文）：

The linearly polarized photon beam is produced by backward-Compton scattering of laser photons from 8 GeV electrons at BL33LEP. The current LEPS facility studies photo-production of hadrons in the forward angles, where the high linear polarization plays an essential role to decompose various reaction processes. New DUV laser was introduced to LEPS, which improved the maximum energy from 2.4 GeV to 3 GeV. The parallel injection system was constructed and the beam intensity was improved by a factor of 2.

The penta-quark Θ^+ study was carried out in the $\gamma d \rightarrow K^+K^- p n$ reactions. background processes due to γp reactions were identified by energy loss information in a plastic counter that was placed just after the liquid-deuterium target. A clear signal enhancement was seen in the γn contributions.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2010 年度 | 12,300,000 | 3,690,000 | 15,990,000 |
| 2011 年度 | 11,200,000 | 3,360,000 | 14,560,000 |
| 2012 年度 | 8,600,000 | 2,580,000 | 11,180,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 32,100,000 | 9,630,000 | 41,730,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：レーザー電子光ビーム、シータ粒子、ファイ中間子、ハドロン、クォーク

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

Θ^+ 粒子は、反ストレンジクォークを1つ含むバリオンで、最小でもクォークと反クォークの数の和が 5 になるペンタクォーク候補である。2003 年の LEPS での発見に引き続き、アメリカ、ロシア、ドイツの研究所からも発見を追認する結果が発表されたが、その後、否定的な実験結果が続き混沌とした状況になっている。特に米国ジェファーソン研究所(Jlab)の CLAS グループが行った実験は、LEPS と生成反応過程が同じであるため、 Θ^+ の存在を確立するためには、LEPS で見えたシグナルがなぜ CLAS では確認できないか説明する必要があった。本研究では、LEPS のビームエネルギー領域と測定器のアクセプタンスを共に広げ、CLAS と直接比較できるデータを取得することを目指す。

Θ^+ の軽い質量と狭い崩壊幅をナイブなクォークモデルで説明するのは極めて困難であり、その存在が確立されれば、ハドロン構造に対する新たな重要な知見を与えると予想される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、励起バリオンやメソンの光生成実験を反応閾値から共鳴の影響を受けにくい 3GeV エネルギー領域で行うことにより、クォークモデルでは説明が難しい特定のハドロンの理解を深め、ハドロン内で、どのようなクラスター（ダイクォーク、南部ゴールドストーンボソン等）が重要な役割を果たしているかを明らかにすることである。特にシータ粒子の確立と、その生成機構の解明、ファイ中間子及びイータ中間子生成反応断面積に見られるエネルギー閾値領域のバンプ構造の解明、 $\Lambda(1405)$ 粒子の生成機構と構造の解明を行う。

3. 研究の方法

大強度の深紫外レーザー光を SPring-8 の 8GeV 蓄積電子ビームに衝突させることにより得られる最大エネルギー 3GeV のレーザー電子光ビームを水素及び重水素標的に照射しファイ中間子、励起ハイペロン、 Θ^+ 粒子の微分生成断面積のエネルギー依存性を調べる。TOP カウンターを TPC 検出器の上流面に設置することにより、粒子識別能力を改善し、K 中間子やベクター K 中間子の同定を行う。

4. 研究成果

DUV レーザーの同時入射のための光学系の設計と、レーザーの出力パワーの最適化を行った。またレーザーの同時平行入射を行うこ

とによりレーザー電子光ビームの強度を従来の 2 倍に高度化した(図 1、図 2)。

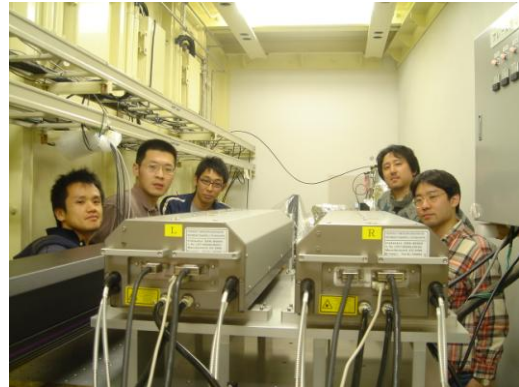


図 1. レーザー同時平行入射システム



図 2. レーザー同時平行入射システムの光学系

粒子識別の向上のために、クォーツ中を荷電粒子が通過する際に放出されるチェレンコフ光の放出角の違いによる伝播速度の差により、粒子識別を行う TOP 検出器の試作機の性能評価をビームを用いて行い、ほぼ設計通りの性能が出ていることを確かめた。(図 3)

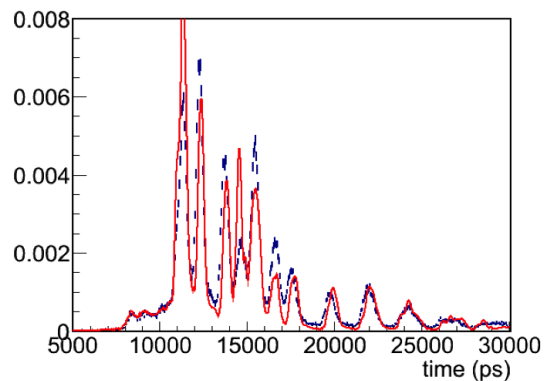


図 3. TOP カウンター中を 1.2 GeV の電子が通過した際の時間信号の分布。実線（赤）が測定値、点線（青）がシミュレーションに

よる予想。

Θ^+ (シート粒子) 研究に関しては、 γp 反応と γn 反応を分離する方法を開発し、シグナル感度を大幅に向上させた。 nK^+ 質量分布に現れる Θ^+ ピークは pK^+ や nK 不変質量分布には見られないことから、ピークがファイ中間子バックグランド事象を取り除いたことや、フェルミ運動を補正した質量欠損計算により人工的に現れたものではないことが明らかになった。また Θ^+ ピークとバックグランド事象の比はレーザー電子光ビームの偏極方向に強く依存していることが明らかになった。(図4)

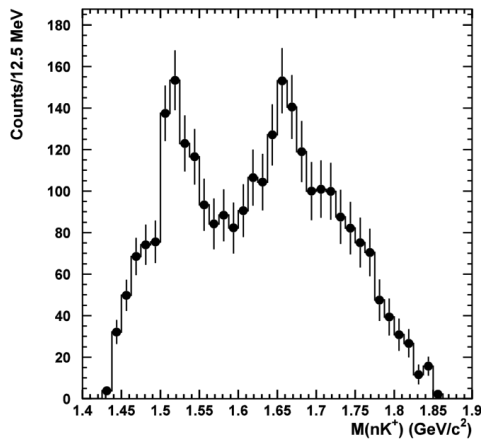


図4. nK^+ 不変質量分布。陽子起源の事象と中性子起源の事象を分離した。中性子起源の反応では Θ^+ ピークが現れるのに対し、陽子起源の事象にはピークが現れないことを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

“Spin-Density Matrix Elements for $\gamma p \rightarrow K^*0 \Sigma^+$ at $E_\gamma = 1.85 - 3.0$ GeV with Evidence for the $\kappa(800)$ Meson Exchange”, S. H. Hwang, K. Hicks, J. K. Ahn, T. Nakano, N. Muramatsu, M. Niiyama, M. Sumihama, M. Yosoi, et al. (43 authors), Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 092001

“Measurement of Spin-Density Matrix Elements for ϕ -Meson Photoproduction

from Protons and Deuterons Near Threshold”, W. C. Chang, ... T. Nakano, N. Muramatsu, M. Niiyama, M. Sumihama, M. Yosoi, et al. (56 authors), Phys. Rev. C 82 (2010) 015205

” Near-threshold $\Lambda(1520)$ production by the $\gamma p \rightarrow K^* \Lambda(1520)$ reaction at forward K^+ angles”, H. Kohri, T. Nakano, N. Muramatsu, M. Niiyama, M. Sumihama, M. Yosoi, et al. (59 authors), Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 172001

” Measurement of the incoherent $\gamma d \rightarrow \phi pn$ photoproduction near threshold”, W. C. Chang, T. Nakano, N. Muramatsu, M. Niiyama, M. Sumihama, M. Yosoi, et al. (54 authors), (54 authors)

[学会発表] (計3件)

中野 貴志、New Θ^+ results from LEPS、日本物理学会第68回年次大会、2013年3月27日、広島大学

與曾井 優、Hadron Physics at LEPS and LEPS2, The 20th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on Spin Physics (SPIN2012) (招待講演)、2013年9月20日、Dubna, Russia

村松 憲仁、Recent progress and results of SPring-8 LEPS/LEPS2 experiments, The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20) (招待講演)、2012年8月25日

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

本研究で得られた研究成果は、核物理研究センターや大阪市立科学館で一般向の講演で随時紹介すると共にWEB ページで発表している。
(<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/Divisions/np1-b/index.html>)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 貴志 (NAKANO TAKASHI)
大阪大学・核物理研究センター・教授
研究者番号：80212091

(2) 研究分担者

與曾井 優 (YOSOI MASARU)
大阪大学・核物理研究センター・准教授
研究者番号：80183995

村松 憲仁 (MURAMATSU NORIHITO)
東北大学・電子光物理学研究センター・准教授
研究者番号：研究者番号：40397766

住浜 水希 (SUMIHAMA MIZUKI)
岐阜大学・教育学部・准教授
研究者番号：10396426

新山 雅之 (NIIYAMA MASAYUKI)
京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号：90455361

(3) 連携研究者

なし。