

平成 30 年 6 月 10 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05449

研究課題名(和文) J-PARCにおけるハドロン質量起源の研究

研究課題名(英文) Study on the origin of hadron mass at J-PARC

研究代表者

青木 和也 (Aoki, Kazuya)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教

研究者番号：70525328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,700,000円

研究成果の概要(和文)：J-PARC ハドロン実験施設におけるハドロン質量起源の研究の為に高性能な電子識別装置が必要であり、その為にハドロン・ブラインド検出器の実機製作を行った。その際発見した技術的問題点は解決した。例えばチェンバー溶接時に底面にひずみができる事がわかり、溶接時固定具を製作して改善した。また、光電面不良部分のレーザー処理による切り離しに成功、さらに使用するGEMの簡便な事前性能評価方法を開発した。また、プロトタイプ性能評価結果をまとめて論文とし、出版した。
本研究で得られた知見をJ-PARC E16実験のTechnical Design Reportとしてまとめて課題採択委員に提出、実験の本採択を得た。

研究成果の概要(英文)：To investigate the origin of hadron mass at J-PARC Hadron Experimental Facility, we plan to conduct an experiment named J-PARC E16 experiment. An excellent electron identification detector is required for the experiment. Therefore, we have build a set of Hadron Blind Detector (HBD) which can be used for the real experiment. Problems found during the production have been solved. The distortion of the aluminum-made HBD chamber caused by welding was suppressed using specially-designed jig. Local defects found in photocathode which could cause break down of the entire photocathode were successfully isolated with laser etching. We've developed an easy-to-do procedure for quality assurance of produced GEM foils. We've evaluated the performance of a prototype and published the results. Based on the achievements of this study, we've written Technical Design Report and submitted it to J-PARC Program Advisory Committee (PAC). PAC has recommended stage-2 approval for the experiment.

研究分野：原子核物理学実験

キーワード：原子核物理学実験 GEM HBD チェレンコフ検出器

1. 研究開始当初の背景

南部らの提唱による強い相互作用におけるカイラル対称性の自発的破れは、ハドロン質量の大部分を与えるものである。しかしその実験的検証は得られていない。KEK-PS E325 実験はその兆候をつかむことができた。しかしながら理論との系統的比較にはデータが不足しており、その精度と統計を圧倒的に高める方法として、J-PARC E16 実験を提案し、物理採択(研究目的の重要性は認める段階)採択を得ていた。本採択(実際に実験にビームを割り当てる段階)を得るには、検出器建設の実現可能性などの審査が必要であった。

2. 研究の目的

ベクトル中間子の有限密度におけるベクトル中間子の質量変化を世界最高精度・分解能でおこなう J-PARC E16 実験を可能にする。その為のハドロン・ブラインド検出器の実機を製造することが目的である。製造しながら、技術的問題点・改善すべき点を洗い出して対策を考え、フィードバックをかける。既に基礎的な開発は終えてはいるが、実機使用に耐えるかどうかの追加の試験も行う。

3. 研究の方法

電子識別装置であるハドロン・ブラインド検出器(HBD)の製造をおこなう。その構成要素としては、2連HBDチェンバー、六角パッド読み出し基板、センサー部分である Gas Electron Multiplier (GEM)がある。また、高線量下の耐久性試験も行うとともに、必要なガスシステムの開発をおこなう。

4. 研究成果

電子識別装置であるハドロン・ブラインド検出器(HBD)の実機製作をすすめながら、量産手法の改良、及び実機利用の為の性能評価をおこなった。また、HBD 使用に必要なガスシステムの開発をおこなった。

HBD は新型のチェレンコフ検出器であり、実験標的から出た粒子の識別に用いられる。HBD 検出器は CF_4 ガスで満たされたチェンバーであり、その底面に光検出器である CsI 蒸着した Gas Electron Multiplier (GEM)が敷き詰められている。電子は軽いため CF_4 を通過する際にチェレンコフ光を出して信号を残す。一方パイオンなどの粒子は重いのでチェレンコフ光を出さず、その信号の大きさの違いによって電子を選び出すことが可能になる。しかし両粒子とも GEM を通過する際のエネルギー損失によって信号を残す。エネルギー損失の信号は最小限に抑える逆バイアス電圧をかけた状態で動作させるがゼロ

にはできず、誤認の原因となる。

(1) 事前に従来品より細かいパッド電極を持つ HBD を開発、J-PARC において HBD プロトタイプのパッド電極の性能評価をおこなっていた。従来、一辺 17mm の六角パッド基板で実験を行っていたのだが、それは期待されるチェレンコフ光の広がり方が 34mm 程度であったためである。それを一辺 10mm 角の正方形パッドで行ったのがこのプロトタイプの特徴であった。検出したい電子のチェレンコフ光は空間的に広がって分布する一方、除去したいパイオンからくる信号はエネルギー損失により生じる為に局所的であり、読み出しパッドを細かくすることで、その信号の広がり方を利用できる。今回その特性を生かした新しい解析手法の開発により、当初予定をしのぐ性能を出すことに成功し、電子識別効率 83%にしてパイオン棄却能力 120 を得た。その成果をまとめて論文として投稿し、受理され、掲載された。この成果に基づき、最終デザインは一辺 10mm の六角パッド基板とした。

(2) 実機用 HBD チェンバーは気密性向上の為にアルミ溶接によるフレーム筐体を採用した。まず実機第一号の製作にとりかかったところ、溶接のためにフレーム筐体底面にゆがみが生じ、リークの原因となることがわかった。そこで溶接時にゆがみを低減するジグを開発し、新しい方法において溶接ゆがみを低減したチェンバー筐体を製作することができた。(図1)



図1 溶接によって製作したゆがみ低減2連HBDチェンバー

(3) チェンバー底面に接着する六角パッドについても、(1)の知見をとりいれて一辺 10mm という細かいパターンの六角パッド基板を生産した。この基板は、一辺 600mm を超える大型多層基板である。また、基板と筐体(アルミ)との絶縁を図る為に基板へ絶縁基板をプレスする方式で製作した。(図2)

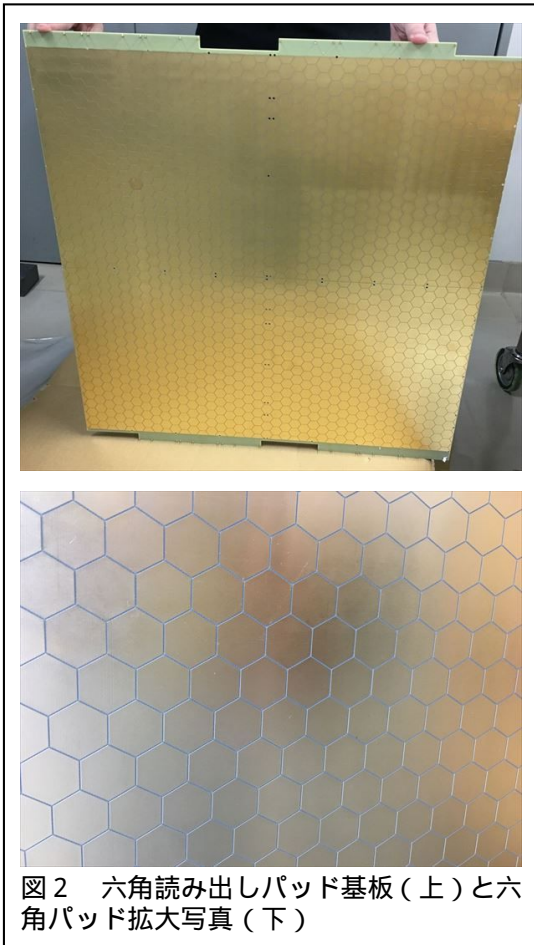


図2 六角読み出しパッド基板(上)と六角パッド拡大写真(下)

(4) HBD の光電面として使用する GEM の量産を本資金によっておこなった。GEM は薄いフィルム基板の両面に電極が付いており、そこに 55 μm 径の穴を 110 μm ピッチで開けた物である。GEM は納入時試験をクリアしていたものの、その後詳しく調べたところ、一部不良を発見した。その無数にある穴の一部に金属片と思われる物が混入する不具合があることが発覚した。この部分の為に動作電圧印加が不可能となり、わずか 100 μm 程度の領域の欠損の為に全体が使用不可能となる場所であった。不良部分をレーザー処理することで欠損を切り離し、34mm 径であるチェレンコフ光を観測するのに対して無視できる大きさとどめることができた。

また、GEM は薄いフィルムであるから、ハンドリングのためにガラスエポキシのフレームにたるまないように張力をかけて接着する必要がある。張力をかけるジグが不可欠だが、最初に開発したものはネジで固定する方式だったため、着脱に時間がかかっていた。そこでネジ式固定具をクランプ式に変更し、また位置決めピンをテフロン製に変更したものを、本資金によって製作した。これによって作業性が向上し、作業時間を短縮することが可能となった。(図3) また、貼り付けについては外部委託が高額であったため、自

前でおこなった。

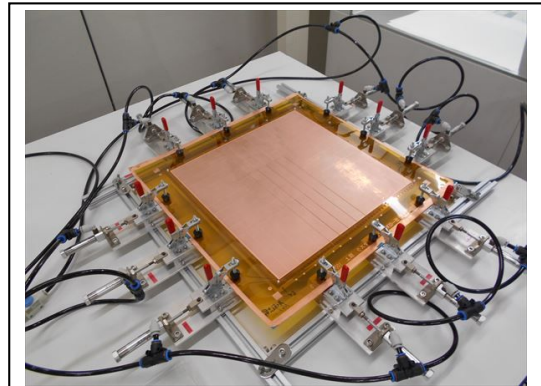


図3 GEM を枠張りジグにセットしたところ

(5) GEM の事前性能評価方法の開発もおこなった。基本的には動作電圧 500V よりも高い 600V の電圧をかけて放電率が十分下がるまでコンディショニングをおこなうという物である。そのためマウントの容易なチェンバーを開発した。

(6) 本研究で得られた知見に基づき J-PARCE16 実験の Technical Design Report を提出、および proposal をアップデートして J-PARC 課題採択委員会 PAC に提出、口頭発表をおこなった。その結果本採択を獲得することに成功した。そのためにビームライン建設のプライオリティーが向上し、ビーム実験ができる見通しがついた。

(7) 実験エリアにおいて、ダンプから来る中性子等による CsI 光電面の劣化が心配された。そこで理研 AVF サイクロトロン室において中性子バックグラウンドの多い環境 (~50mSv/h) において動作試験をおこない、劣化無きことを確認した。

(8) HBD は水分・酸素が数 ppm という非常に綺麗なガスが必要で、精製装置を含むガス循環システムが不可欠である。購入していたグローブボックス用のガス精製装置をテストセットアップに組み込み、動作試験をおこなった。その知見に基づきガス循環システムの設計をおこない、必要な部品を本資金にて調達した。

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3件)

Y. Komatsu, K. Aoki et al., "Measurement of the Vector Meson Spectral Modification in the Nuclear Medium at J-PARC", JPS Conf. Proc. 13,

020005 (2017)

K. Kanno, K. Aoki et al., "Development of a hadron blind detector using a finely segmented pad readout", Nucl. Instrum. Meth. In Phys. Res. A 819 (2016) 20-24、査読有

Y. Morino, K. Aoki et al., "Measurement of Vector Meson Decays in Nuclei at J-PARC", JPS Conf. Proc. 8, 022009 (2015)

[学会発表](計10件)

K. Aoki, "E16 Experiment and Beyond", International workshop on the project for the extended hadron experimental facility of J-PARC, 2018/3/26-28, KEK 1st Bldg., Tokai, Japan (招待講演)

鈴木 一輝, "J-PARC E16 実験における Hadron Blind Detector のためのトリガー回路の開発", 日本物理学会 第 73 回年次大会 東京理科大学 野田キャンパス(野田市), 2018/3/22-25

足利 沙希子, "J-PARC E16 実験における鉛ガラスカロリメータの性能評価2", 日本物理学会 2017 年 秋季大会, 2017/9/12-15, 宇都宮大学 峰キャンパス(宇都宮市)

足利 沙希子, "J-PARC E16 実験における鉛ガラスカロリメータの性能評価", 日本物理学会 第 72 回 年次大会, 2017/3/17-20, 大阪大学豊中キャンパス(豊中市)

中井 恒, "J-PARC E16 実験における質量分布測定精度のシミュレーションによる評価", 日本物理学会 第 72 回 年次大会, 2017/3/17-20, 大阪大学豊中キャンパス(豊中市)

小原 裕貴, "J-PARC E16 実験におけるシミュレーションによるバッググラウンドの評価", 日本物理学会 第 72 回 年次大会, 2017/3/17-20, 大阪大学豊中キャンパス(豊中市)

K. Aoki, "Experimental study of vector meson in nuclear medium at J-PARC (poster presentation)", Quark Matter 2017, 2017/2/6-11, Chicago, USA

K. Aoki, "Experimental study of in-medium spectral change of vector mesons at J-PARC", Meson In Nucleus 2016, 2016/7/31-8/2, YITP, Kyoto, Japan

青木 和也, "ガス増幅による光センサーの開発動向" 日本物理学会 第 71 回年次大会 (シンポジウム 光センサー:単一光子検出の最前線), 2016/3/19-22, 東北学院大学、仙台(招待講演)

Kazuya Aoki, "Experimental study of vector mesons in nuclear medium at J-PARC", "New perspectives on Photons and Dileptons in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions at RHIC and LHC", 2015/11/30-12/11, ECT* (Trento, Italy)(招待講演)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 和也 (AOKI, Kazuya)
高エネルギー加速器研究機構・
素粒子原子核研究所・助教
研究者番号: 70525328