

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03898

研究課題名（和文）K中間子崩壊モード測定による原子核中でのベクトル中間子生成の研究

研究課題名（英文）Study of Vector Meson Production in Nuclear Medium via K-meson Decay Mode

研究代表者

佐藤 進（Sato, Susumu）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究副主幹

研究者番号：70302346

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ベクトル中間子生成の研究の為に、K中間子などの粒子識別装置の改良とハドロンビームラインを用いての運用とを、重ねることにより、系統的な測定の基盤となるシステムの開発を行った。具体的には、(i) 新規のデジタル読み出し回路系の導入、(ii) 運動量解析用磁石磁場との信号干渉の除去、(iii) 飛跡検出器系との信号干渉のないトリガーシステムの構築などを通して、中規模程度の感応領域をもつ測定器系を、モジュール化して作製し運用可能にすることにより、実現させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究開発で開発・運用された、ハドロン粒子識別装置の基礎要素は、その製作技術と共に、国内外の他の研究機関で行われる実験にも普及する事もでき、大変普及効果が大きい。併せて、更に高統計のデータ収集を行うために、測定領域の高度化と精密化にむけて指針を示すことも出来た。

研究成果の概要（英文）：Through developments of hadron particle identification detectors and through application with high momentum hadron beam line at J-PARC, essential elements of systematic observations for vector meson measurements have been successfully developed.

研究分野：原子核・ハドロン物理学

キーワード：原子核 ハドロン 中間子 粒子識別 モジュール化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

これまで、J-PARC 加速器による E16 実験では、ベクトル中間子(中間子、中間子、中間子など)のレプトン対崩壊(特に電子対崩壊)測定の実現に向けて精力的に準備が進められている。1992年に初田・Leeによって「高温物質や高密度物質中における、QCDに基づく粒子質量の変化」が予測された当時では、CERN-SPS 加速器による実験が行われている時期であり、RHIC 実験の開始前でもあった。これら CERN-SPS 実験や RHIC 実験においては、電子対崩壊と共に、K 中間子対崩壊についても積極的に検出器の開発が進められた。今般、J-PARC の E16 実験においても、電子対崩壊に加えて、K 中間子対崩壊についても測定を行い、多様な崩壊モードによる系統的な解析が必要であると考えた。幸い、研究代表者は 1995 年の CERN-SPS 実験以来、ハドロンの粒子識別を専門として、検出器開発を 20 年以上続けてきている為、今回の中規模な読出し規模での開発により成功を収め、大立体角での読出しへの確実な橋渡しを行いたいと考えた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、ハドロンの粒子識別用の測定器の開発と運用である。中規模程度(立体角は、幅 50cm 高さ 100cm 程度、読出し区画数は数 10 チャンネル程度)の感応領域をもつ測定器系を作製し運用することである。

### 3. 研究の方法

中規模程度のチャンネル数をもつ測定器系を作製し運用するために基礎的な動作試験のため、先行機を用いて、SPring-8 のビームや宇宙線を用いての動作確認を先行して行った。これを元に、J-PARC ビームラインの形状に適合した改良型の MRPC 型測定器を改良開発し導入するという方法をとった。

### 4. 研究成果

具体的な目標は、ハドロンの粒子識別用の測定器に関して、中規模程度のチャンネル数をもつ測定器系を作製し運用することであるが、基礎的な動作試験から開始する必要があった。このため先行機を活用した、SPring-8 のビームや宇宙線を用いての動作確認を先行して行った。

幅 50cm 高さ 100cm 程度の大きさを 16 チャンネルで読み出す、MRPC 型(多層抵抗 板式チェンバー型)のハドロンの粒子識別用の、高時間分解能を持つ飛行時間測定器の運用を進めた。

(1) 読み出し回路には、閾値設定用の小型回路を新規に導入し、時刻測定回路には、タップドディレイ方式と呼ばれるデジタル化処理方式を用いた回路(HUL-HRTDC 回路と呼ばれる)を用いた。数ナノ秒程度という、非常に短い時間幅を持つアナログ信号を扱うため、信号伝送系の配線には信号減衰の少ない方法を採用した。

(2) 検出器の性能を評価するために、2 枚の MRPC 型の飛行時間測定器を重ねる配置に設置して、相互にデータを比較できるようにした。

(3) 信号増幅用ガスの配管を整備するとともに、各電源配線での電圧降下量を考慮した、制御電圧の設定ができるシステムを導入した。

(4) J-PARC における高運動量ハドロンビームを用いた運用を行い、現場でのノイズ環境の低減を更に図った。加速器の新設ビームラインのビーム調整や電子対崩壊事象のデータ収集と並行して行われた、MRPC 型飛行時間測定器の運用であったため、検出器へのアクセスが非常に限られた環境でのデータ収集であったが、ノイズ源の逐一の選別を進めながら運用を行った。具体的には、

飛行時間測定器の信号増幅用高電圧昇圧器と大口径電磁石の磁場との干渉を減らす運用を可能にした。

飛跡検出器群と粒子識別用測定器群とでグラウンドラインを独立させることにより、ノイズ干渉が無いトリガーシステムを駆動させる運用を可能にした。

更には、飛行時間測定器の増幅電圧設定システムやデータ収集系を、電子対崩壊事象データ収集系と独立モジュール化させて、ノイズ干渉が無いトリガーシステムを駆動させる運用を可能にした。

(5) 改良型の MRPC 型 2 号機を導入した。具体的には、

プリアンプ、ディスクリミネータ等をコンパクトにして機器操作性を向上させた。

また、低電圧電源を遠隔操作できるように改善し、ノイズ低減を行う為の操作性を向上させた。

(6) 改良型の MRPC 型 3 号機を設計製作し、製作手順の標準化と簡素化を行い、機器操作性を格段に向上させた。具体的には、

時間分解能向上のために、信号増幅用絶縁部材の昇温機構の新規導入を行った。

また、増幅用ガスチェンバー(R134a(四フッ化エタン, C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>H<sub>2</sub>)+六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)を充填)の小型モジュール化を行うことにより、増幅用高電圧印加の操作性を向上させた。

これらの系統的な研究開発を実施し、J-PARC ビームラインへの導入設置を進めることを可能にした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 佐甲博之, 佐藤進, 浅水微野, 中條達也, 江角晋一, 稲葉基, 喜屋武奨之, 三明康郎, 野中俊宏, 小沢恭一郎, 白鳥昂太郎, 津久井宏祐
2. 発表標題 J-PARC E16実験のためのMRPCの開発と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 喜屋武奨之, 佐藤進, 三明康郎, 佐甲博之, 小沢恭一郎, 稲葉基, 江角晋一, 中條達也, 津久井宏祐
2. 発表標題 J-PARC E16実験のための MRPCを用いたハドロン粒子識別装置の研究開発
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤進
2. 発表標題 J-PARC E16 実験のための, MRPC を用いた ハドロン粒子識別装置の研究開発
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu SATO
2. 発表標題 Development of Hadron Identification Detector Using MRPC for J-PARC E16 Experiment
3. 学会等名 Quark Matter 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Sato, H.Sako, S.Kyan, K,Aoki, W.C.Chang, M.L.Chu, T,Chujo, S.Esumi, M.Inaba, Y.Miake, Y.Morino, M.Naruki, T.Nonaka, K.Ozawa, T.Sakaguchi, T.N.Takahashi, S.Yokkaichi
2. 発表標題 Study of phi mass modification with K+K- decay in p+A collisions at J-PARC
3. 学会等名 Quark Matter 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------