

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13475

研究課題名(和文) 高エネルギー実験のための10ピコ秒 飛行時間測定器の開発

研究課題名(英文) Development of 10 ps timing resolution of TOF counter for high energy physics

研究代表者

中條 達也 (CHUJO, Tatsuya)

筑波大学・数理工学系・講師

研究者番号：70418622

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：新世代の高バリオン密度探索実験において鍵を握る、ミューオン・ハドロン識別用・次世代型の高時間分解能 飛行時間測定器(TOF)を開発を行った。電磁界シミュレーションによる伝送経路の最適化、及び実機製作と実測を行うことにより、シグナル読み出しパッドの形状の最適化を行い、また実グランドを配置し、MRPC 検出器としてのシグナル読み出しに成功した。さらに東北大学電子光理学研究センターにてビーム実験を実施し、様々なタイプのMRPC の性能を評価、その結果、最も性能の良い検出器デザインを決定することができた。

研究成果の概要(英文)：We developed a high resolution time of flight detector as a next generation's Time-of-Flight (TOF) detector, which can be used for a high baryon density matter search. We performed the electromagnetic field simulation for this particular type of Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRPC), and optimized the readout pad shape, and confirmed by the measurements that a new design of MRPC performed as expected. We have also developed a new type of MRPC, in which the real ground is in place, and we successfully read out the signal. We tested various type of MRPC with the beams at ELPH facility at Tohoku University, and we evaluated the best detector design for the MRPC TOF with high timing resolution.

研究分野：原子核物理学(実験)

キーワード：飛行時間測定器 MRPC 時間分解能 DRS4

1. 研究開始当初の背景

2000年以降、RHIC, LHC 両加速器の稼働により、強く結合する QGP が発見され、さらにクォーク・グルーオン相からハドロン相への相転移は、連続的なクロスオーバー相転移であることが格子 QCD 計算より分かり、高温領域の QCD 相図の理解はこの10年で飛躍的に進歩した。一方、QCD 相図の高密度側の理解は、多くの理論予測はあるものの、実験的に未解明である。このような状況下で、近年、独(GSI)、露 (JINR)、米 (BNL) では、90年代に行われていた5~15 GeV 領域での重イオン衝突に再度挑み、QCD 臨界点や高密度バリオン物質を「新しいプローブ」で探索する計画が進行中である。また日本においても J-PARC 加速器の次期計画として、重イオン加速が検討中である。これらの実験で鍵を握るのが、衝突初期やカイラル対称性の破れの回復現象に敏感な ρ , ω などのベクトル中間子である。それらはレプトン対やハドロンに崩壊する。したがって高密度バリオン物質の探索には、精度の良いレプトン・ハドロン識別が必須である。この10年、荷電粒子の識別に「MRPC (Multi-gap Resistive Plate Chamber)」型の飛行時間測定器が使われるようになってきた。また最近では 20 ピコ秒もの時間分解能を有する MRPC 検出器も現れてきた。

2. 研究の目的

そこで本研究は、新世代の高バリオン密度探索実験において鍵を握る、ミュオン・ハドロン識別用・次世代型 高時間分解能 飛行時間測定器(TOF)を開発する。時間分解能は 10 ピコ秒を目指す。汎用型 10 ピコ秒 TOF が物理測定に使われた例はまだなく、実現できれば世界初となる。低コストで大面積を覆うことができ、かつ従来の TOF より 10 倍の時間分解能の向上により、検出器の大幅なコンパクト化を実現する。高エネルギー物理実験一般に使用でき、様々な分野に波及効果をもたらす。

3. 研究の方法

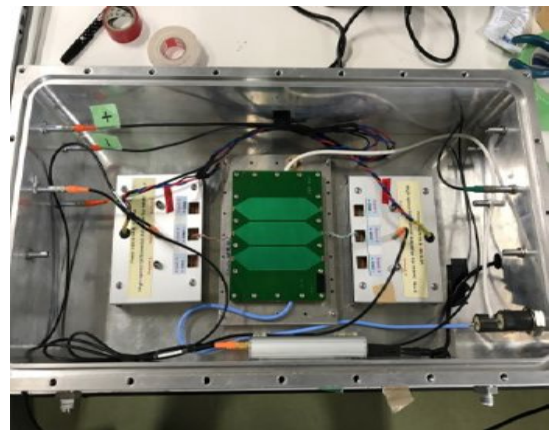
10 ピコ秒 MRPC 飛行時間測定器の開発を、筑波大(統括、検出器製作)、筑波技術大(読み出し回路開発)、原研(シミュレーション)、KEK (J-PARC ビーム実験)で推進する。開発目標は時間分解能 10 ピコ秒、検出効率 99% である。まず様々なタイプの検出器を製作し、宇宙線測定により、最適なパラメータを決定する。読み出し回路は、switched コンデンサアレイを用いた波形読み出しシステムを独自に構築し、数ピコ秒の読み出し分解能を目指す。同時にシミュレーションによる評価を実施し、改善点を洗い出す。平成 28、29 年度は、J-PARC の E-16 実験に参加し、開発を進める。3年間で検出器、読み出し回路(ソフトウェア含)シミュレーション、ビームテストを完了し、汎用型 10 ピコ秒 MRPC の完成

を目指す。

4. 研究成果

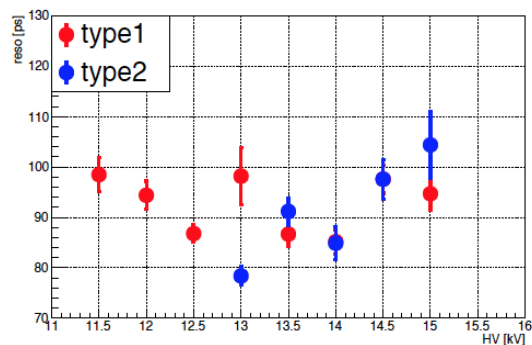
(1)

異なるタイプの MRPC 検出器試作機を製作し、東北大学電子光物理学研究センター(ELPH)にある GeV-ガンマ実験室に本検出器を持ち込み、電子ビームを照射し、検出器の性能評価実験を行った。実験を行った期間は、2016年11月7日~11月9日の3日間である。照射したのは運動量 460MeV/c の陽電子ビームであり、時間分解能、検出効率、およびそれらの印可電圧依存性を各 MRPC について調べた。実験セットアップを図1に示す。



(図1: 中央に見えるのが MRPC 検出器)

その結果、SONY GM&O 社と共同で開発した MRPC 基板において、読み出し電極パッドの形状が 1.2 cm と細いものについて、太い 2.4 cm 幅のものと比較して、時間特性が優れていた。1段スタックで 78 ps 程度の時間分解能が得られ、これを4段重ねることにより、約 40 ps の時間分解能が期待できる(図2)。



(図2: 横軸が印可電圧、縦軸が時間分解能。Type1 (赤) はパッドの幅が 2.4 cm, Type 2 (青) は 1.2 cm である)

同時に、表面積が 20 cm x 30 cm の大型、かつ4段スタックの MRPC も ELPH にてテストを行った。その結果、時間分解能に大きな位置依存性がみられ、パッドの中央で分解能

が悪く、端で分解能が良くなった。これは検出器本体と、前置増幅器のインピーダンス不整合による反射波の影響があったためであることが分かった。

(2)

2017年1月20日、筑波大学にて「Mini-Work Shop and Seminar on Resistive Plate Chamber at the University of Tsukuba」を開催した。外国から Diego Gonzalez-Diaz 氏 (Uludag University) によるセミナーと、国内の各研究機関から、それぞれで開発している (M)RPC 検出器について、報告があった。参加者は 20 名、活発な議論が行われた。

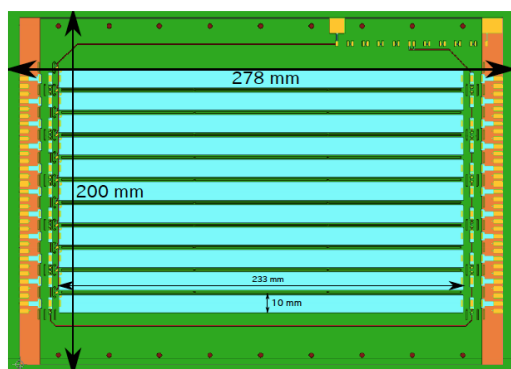
(URL:

<https://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/indico/event/1035/>)

(3)

これまで行ってきた SONY との共同研究をさらに発展させた。具体的には、MRPC の電極パッドに誘起されるシグナル電荷に対し、もっとも適切な伝送経路のデザインを行うため、(1) 電磁界シミュレーション、(2) 実機製作と実測、によって行なった。議論を簡単にするため、従来の多段 6 層 MRPC タイプではなく、最もシンプルな 1 段 6 層 MRPC タイプに限定し、デザインの最適化を行った。

最初に、SONY GM&O と共同で、実際の MRPC 検出器の電磁界シミュレーションを行った。その結果、基板上でのインピーダンス整合を取るため、基板設計に変更が加えられ、また初めて実グランドを配置するデザインが考案された (図 3 ~ 5)。



(図 3 : 新しく考案した基板のデザイン)

それを受けて、10月より基板の設計、発注を行い、筑波大学にて実機を製作した。12月、その実機を東北大学電子光物理学研究センターの GeV ガンマ施設に持ち込み、テストビーム実験を行なった。1月には、宇宙線による実測、また network アナライザや TDR を使って MRPC 検出器(基板) 自体のインピーダンス、シグナルの透過成分の実測を行なった。

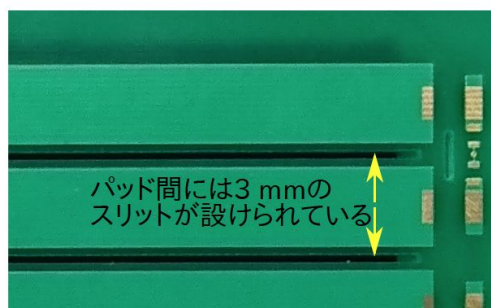
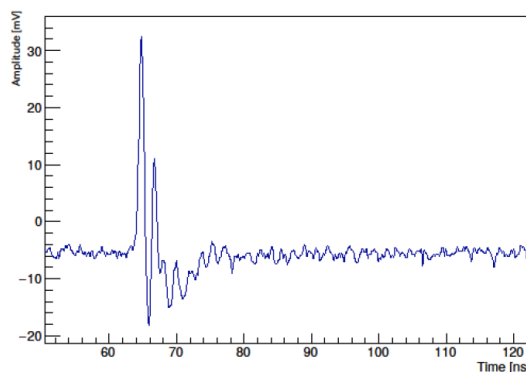


図 4 : 図 3 の拡大写真。クロストークを抑える目的でパッド間に 3mm のギャップを設けた)



(図 5) 図 3 の断面図

その結果、今回実グランドを配置した MRPC (シングルエンドタイプ) において、初めてシグナルが観測された (図 6)。時間分解能は 200 ピコ程度にとどまったが、その主な原因は前置増幅器におけるゲインの不足にあると考えられるため、ゲインを大きくすることで大幅な改善が見込まれる。さらに、MRPC のタイプを、1 段から N 段タイプの MRPC とした場合、時間分解能が、 $1/N$ でスケールすることが知られていることから、多段型での時間分解能向上が見込まれる。また、シグナルの透過やインピーダンス整合についても、デザインの変更によりほぼ予想通りの改善が見られた。今後は、これらが時間分解能にどのような影響を及ぼしているかを調べる予定である。



(図 6) 実グランドを配置した MRPC において観測されたシグナル(宇宙線)横軸は時間、縦軸は波高。

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)

〔学会発表〕(計 3 件)

加藤浩樹, 青山遼, 市沢大地, 稲葉基, 佐甲博之, 佐藤一輝, 佐藤進, 杉浦哲郎, 中條達也, 野中俊宏、飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber; 陽電子ビームを用いた読み出しパッド形状の最適化に向けた性能評価、日本物理学会 2017 年秋季大会、2017 年 9 月、宇都宮大学峰キャンパス(栃木県宇都宮市)

市沢大地, 青山遼, 稲葉基, 小沢恭一郎, 加藤浩樹, 佐甲博之, 佐藤一輝, 佐藤進, 杉浦哲郎, 中條達也, 野中俊宏、飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber(MRPC) の開発; J-PARC 実験に向けた 30×20cm² 大型試作機の性能評価、日本物理学会 2017 年秋季大会、2017 年 9 月、宇都宮大学峰キャンパス(栃木県宇都宮市)

T. Chujo, Fast MRPC TOF R&D at Tsukuba, Mini workshop on RPC at Univ. of Tsukuba, 2017 年 1 月 20 日、筑波大学(茨城県つくば市)

〔その他〕

ホームページ等

筑波大学高エネルギー原子核実験グループ

<http://utkhii.px.tsukuba.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中條 達也 (CHUJO, Tatsuya)

筑波大学・数理物質系・講師

研究者番号: 70418622

(2) 研究分担者

稲葉 基 (INABA, Motoi)

筑波技術大学・産業技術部・准教授

研究者番号: 80352566

佐甲 博之 (SAKO, Hiroyuki)

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 先端基礎研究センター・研究主幹

研究者番号: 40282298