

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17714

研究課題名(和文)K中間子原子核研究のための次世代型三次元飛跡検出器の開発

研究課題名(英文)Development of the Time Projection Chamber to search for Kaonic nuclei

研究代表者

市川 裕大 (Ichikawa, Yudai)

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・博士研究員

研究者番号：50756244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、高性能三次元飛跡検出器「HypTPC」の開発を行っている。本研究の目的は、これまでTPCが達成している 10^6 Hzのビーム強度耐性を一桁以上向上させることである。HypTPCは電子増幅部にGas Electron Multiplier(GEM)を使用している。本研究では、ビーム通過領域のみGEMを不感化できる不感化GEMを製作した。不感化GEMをHypTPCに組み込み、東北大学電子光研究センターにおいて、陽電子を用いた性能評価試験を実施し、不感化GEMが正しく動作していることを確認した。2018年7月には、HIMACにおいて陽子ビームを用いた最終の動作試験を実施する予定である。

研究成果の概要(英文)：We develop the Time Projection Chamber "HypTPC". The main goal of this research is to improve the high rate capability of TPC more than 10^7 Hz. We use the Gas Electron Multiplier (GEM) for the electron amplification. Here, we developed the new type GEM called as "Mask-GEM". In case of this "Mask-GEM" system, we can mask only the beam trajectory region. After installing the "Mask-GEM" to HypTPC, we carried out the test experiment at ELPH by using positron beam. Then, we confirmed that "Mask-GEM" worked well. In July of 2018, we will do the final test experiment at HIMAC by using proton beam.

研究分野：ハドロン物理

キーワード：ガス検出器 放射線検出器 飛跡検出器 ハドロン物理 ストレンジネス核物理 K中間子原子核

1. 研究開始当初の背景

反 K 中間子と原子核の強い相互作用による K 中間子原子核は近年活発に研究が行われているものの、その存否は未だ確定していない。生成断面積が小さい K 中間子原子核の存否を明らかにするには大強度ビームを利用した大立体角・高統計の実験を遂行し、スピン・パリティを決定することが重要である。そのためには、大きな有効領域で荷電粒子の飛跡をビジュアルに検出することができる Time Projection Chamber (TPC) を使用することが最適である。

しかし、既存の TPC では 10^6 Hz (個/秒) のビーム強度が動作限界である。申請者等は H ダイバリオン探索実験 (別実験) の為に HypTPC の開発を進めているが、H ダイバリオン実験では、J-PARC での期待されるビーム強度が 10^6 Hz 程度である K 中間子ビームを使用する。その為、H ダイバリオン実験の為に、 10^6 Hz 程度のビーム強度耐性で要求を満たしている。一方で、J-PARC では、K 中間子原子核分光実験で使用する π^+ 中間子ビームの場合には、 10^7 Hz 以上のビーム強度を使用できる。その為、 10^7 Hz 以上の大強度ビーム下で動作する TPC の開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、J-PARC における K 中間子分光実験を成功させるための要素技術である 10^7 Hz のビーム強度下で動作する TPC を完成させることである。申請者等が中心となって開発を進めている高性能検出器 HypTPC を改造し、強度耐性を一桁以上向上させることで、上記の新実験を実施する為の準備を整えることができる。

3. 研究の方法

HypTPC は電子増幅部に GEM (Gas Electron Multiplier) を使用する。GEM は $50 \mu\text{m}$ から数百 μm 厚程度の絶縁フィルムの両面を銅で被覆して電極とし、 $70 \mu\text{m}$ 程度の径の穴を無数に開ける構造になっており、この両面の電極に 300V 程度の電位差を与えることで穴を電子が通った際に電子増幅が行われる仕組みとなっている。本研究では、ビーム通過領域のみ GEM を不感化することで、より高強度のビームを利用できるように高度化する。

4. 研究成果

研究開始当初の予定では、ビーム通過領域だけ穴を塞ぎ、電子増幅をさせない GEM を製作することで、ビーム領域のみ不感化することを予定した。しかし、この手法では、GEM を作り直さなければ不感化領域を変更することができない。すなわち、不感化領域を微調整するのが難しいという問題点があった。さらに、不感化モードと全ての領域を有感とする通常モードの切り替えを行う為には、

GEM の交換が必要で、手間がかかる。そのため、 10^6 Hz のビーム強度耐性で十分な H ダイバリオン実験の為に HypTPC の開発と干渉してしまい、効率的に研究が進められないと判断した。

そこで、本研究では、高電圧をかける電極のパターンを細分化した GEM (不感化 GEM) を製作した。図 1 に示すように、ビーム進行方向と平行に細かく電極を分け、ビーム通過領域のみ印可電圧を電子増幅しない程度に電圧降下させることで、ビーム通過領域のみ不感化する仕組みを構築した。ここで、各電極に異なる電圧を印加するための高電圧分岐回路についても、本研究費を用いて設計・製作した。

この手法では、GEM を HypTPC に組み込んだ状態であっても、印可電圧を降下させる電極を変更するだけで、容易に不感領域を変更することができる。そのため、例えば、全ての電極に同じ高電圧を印可すると、通常の GEM としても使用することができ、HypTPC 実機に組み込むことが可能となった。

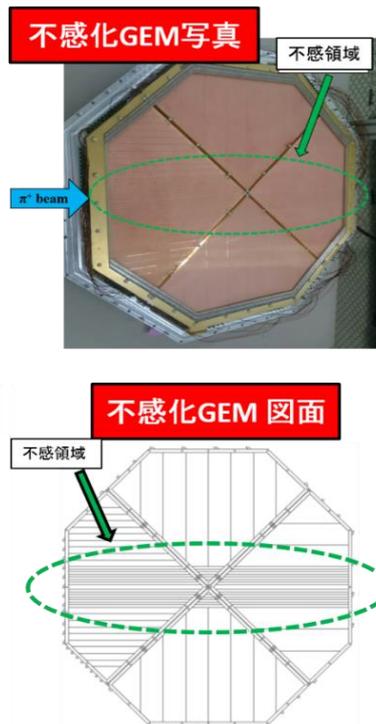


図 1. 不感化 GEM の写真 (上) と図面 (下)。ビーム通過領域のみ電極が細分化されている。印可電圧を降下させる電極を自由に選ぶことができたため、容易に不感領域を変更することが可能となった。

平成 28 年度中に不感化 GEM を製作し、HypTPC に組み込んだ後は、平成 28 年 11 月 7-9 日に東北大学電子光理学研究センター (ELPH) で、陽電子ビームを用いたテスト実験を行った。解析の結果、基本性能として、読み出しパッド方向及び、電子のドリフト方向に対する位置分解能はそれぞれ $400-500 \mu\text{m}$ 、 $500-600 \mu\text{m}$ と十分な性能が

得られていることを確認した (図 2)。

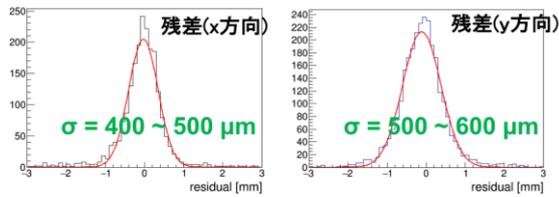


図 2. 読み出しパッド方向(x 方向)、及び、電子のドリフト方向(y 方向)の残差分布

また、全ての GEM の電極に同じ電圧を印可した場合には、正しく信号が出ている一方で、ビームが通過する部分のみ電圧を降下させた場合には、ビームが通過しているにもかかわらず全く信号が出ていないことを確認するなど、不感化 GEM が正しく動作している傾向をつかんだ (図 3)。これらの結果を物理学会で発表し、好評であった。しかし、ELPH の施設側の事情で、 10^3 Hz 程度の低強度ビーム下でしか試験することができなかった。

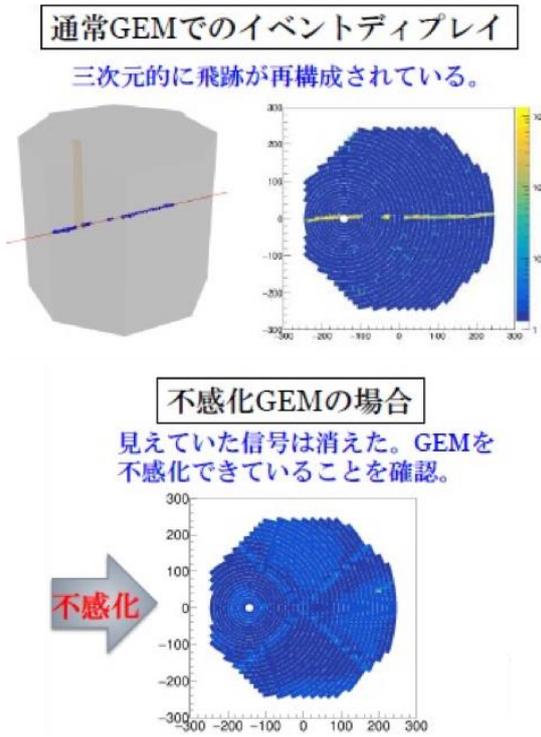


図 3.(上)全ての電極に電圧を印可した場合の HypTPC のイベントディスプレイ。(下) ビーム通過領域のみ電圧を降下した場合のイベントディスプレイ。

平成 29 年度に ELPH 実験のデータ解析を進めた結果、TPC によって得られた軌跡に系統的な歪みがある事がわかった。また、28 年度に製作した GEM は放電頻度が高く、ELPH での実験中に、放電により GEM の一部を破損してしまうという問題が起きていた。これらの原因を詳しく調べたところ、28 年度に製作した GEM は最大 2mm もたわん

でいることが判明したため (図 4 右上: Old GEM)、この点に改良を施した。具体的には、不感化 GEM の外枠の G10 フレーム (図 4 写真中の緑太線) への接着方法を改良すると共に、サポートフレームを追加した (図 4 写真中の緑点線)。これにより、図 4 の右下(New GEM)に示すように、GEM のたわみを 0.5 mm 以下に抑えることに成功した。また、放電頻度も劇的に下げることに成功し、大きな改善が見られた。

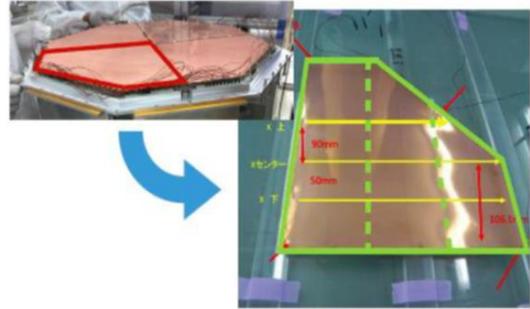


図 4. GEM のたわみ測定の様子と結果

上記のように、ELPH 実験の結果、GEM のたわみが判明したため、平成 29 年度はその対処に時間を要した。そのため、当初予定した高強度ビーム下での試験を当該研究課題中に実施することはできなかった。この高強度試験については、平成 30 年 7 月に放医研 (HIMAC) において、上記の改良した GEM を用い、実際に 10^7 Hz 以上の高強度陽子ビームを HypTPC に照射し、最終の HypTPC の強度耐性の実証試験を行う予定である (図 5)。既に、HIMAC には利用申請が受理されており、7/3,4 日にビームタイムがアサインされており、HIMAC での実験の準備を進めている。

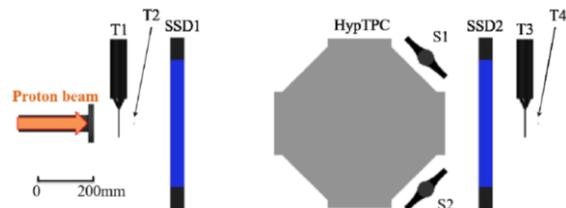


図 5. HIMAC での実験のセットアップの概略図

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 市川裕大、 π 中間子ビームを用いた K 中間子原子核の研究、原子核研究、査読有、第 61 巻、2 号、2017、57-69
- ② Kim S.H.、Ahn J. K.、Sako H.、Han Y.、Simulation Study for a Hyperon Time Projection Chamber (HypTPC) at J-PARC、JPS Conference Proceedings、査読有、第 17 巻、2017、1-2
<https://doi.org/10.7566/JPSCP.17.033009>
- ③ Sako Hiroyuki、Ichikawa Yudai、他、Baryon Spectroscopy in $(\pi, 2\pi)$ Reaction with 106 Hz Beam at J-PARC、Proceedings of Science、査読有、INPC 2016、2017、1-5
DOI: 10.22323/1.281.0266
- ④ Sako Hiroyuki、Study of Baryon Excited States in $(\pi, 2\pi)$ Reaction at J-PARC、JPS Conference Proceedings、査読有、第 17 巻、2017、1-2
<https://doi.org/10.7566/JPSCP.17.063004>

[学会発表] (計 5 件)

- ① 市川裕大、 $d(\pi^+, K^+)$ と $^{12}\text{C}(K, p)$ 反応で探る K 中間子原子核、ヘビークォークハドロンとエキゾチックハドロンの構造、2018 [その他]
- ② 佐甲博之、Study Baryon Excited States in High-statics $(\pi, 2\pi)$ Reaction at J-PARC、ECT* Workshop Space-like and time-like electromagnetic baryonic transitions、2017
- ③ 市川裕大、HypTPC で探るハドロン物理、第 6 回中性子核物質研究会、2017
- ④ 市川裕大、K 中間子原子核探索の為の次世代型三次元飛跡検出器の開発、日本物理学会第 72 回年次大会、2017
- ⑤ H. Sako 他、Study of Baryon Excited States in $(\pi, 2\pi)$ Reaction at J-PARC、26th International Nuclear Physics Conference (INPC 2016)、2016

ホームページ等

<https://asrc.jaea.go.jp/soshiki/gr/hadron/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 裕大 (Ichikawa, Yudai)

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・博士研究員

研究者番号：80757691

(2) 研究協力者

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