

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610063

研究課題名(和文)湾曲型GEMで実現する放射状電場タイムプロジェクションチェンバーの開発研究

研究課題名(英文) Research and development for the radial field Time-Projection Chamber using a curved GEM

研究代表者

西口 創(Nishiguchi, Hajime)

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：10534810

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：高エネルギー物理実験における粒子検出器の一つであるタイムプロジェクションチェンバー(TPC)は、入射粒子と同じ方向に電場を印可することで精度の悪化を抑制するが、逆にこれが入射頻度に制限を与えていた。今般実現された大強度陽子加速器施設(J-PARC)等の大強度ビーム環境では、従来より高頻度で事象を精度良く検出する必要があり、従来の電場方向とは異なる放射状電場を採用したTPCを実現し、大強度ビーム照射環境で運用可能な荷電粒子飛跡検出器の実現を目指した。特に読出センサーに用いる湾曲GEM(Gas Electron Multiplier)検出器の開発において大きな成果を挙げる事が出来た。

研究成果の概要(英文)：Time-Projection Chamber (TPC) is one of the tracking detector for charged particle in high energy physics experiment. Usually TPC employs an axial electric field in order to suppress any deterioration of position-detection accuracy. However this axial field limits the capability of high rate operation of TCP. Further high rate capability is strongly required for the future experiment in J-PARC, LHC, etc. In order to realize such a high rate TPC, we tried to employ a radial field instead of usual axial field enabled by curved GEM (Gas Electron Multiplier).

研究分野：高エネルギー物理実験

キーワード：素粒子実験 粒子測定技術 粒子検出技術 ガス検出器 タイムプロジェクションチェンバー 大強度陽子加速器実験

1. 研究開始当初の背景

放射線飛跡検出器の一種であるタイムプロジェクトンチェンバー (TPC) は、入射した荷電粒子の飛跡に沿って生成された電離電子を検出器に印加した静電場によってドリフトさせ、ドリフト電場を形成しているアノード面に到達した電子を検出することで入射粒子の飛跡の2次元位置情報を、更にドリフト電子の到達時間情報を追加することで飛跡を3次元情報として再構成することを可能にする。一般に TPC はソレノイド磁場と合わせてスペクトロメータとして入射粒子の運動量を測る。従って、ドリフト中の電子のガス分子との衝突に起因する拡散が位置測定精度を決定すると言っても過言ではないため、従来の TPC では磁場と並行にドリフト電場を印加して、横方向への拡散をローレンツ力により抑制する。これにより拡散の影響を抑えられる一方で、磁場方向に長い検出器である場合や、高入射頻度環境では、その長いドリフト距離が仇に様々な困難が生じる。例えば、拡散計数を抑える事が出来たにも関わらず長距離のドリフトによって最終的な拡散の影響が大きくなってしまったり、高入射頻度下でのドリフト電子の著しい重なり合い等が挙げられる。

近年実現した大強度陽子加速器実験施設等の大強度ビームを利用する実験では、非常に高頻度での事象生成が見込まれ、その利点を生かした各種実験が計画されている。一方、このような大強度ビーム環境下では、上記のような理由から TPC の利用に制限があり、飛跡検出器内部がほぼガスで充填されているだけという TPC の低物質検出器による恩恵を得られない。

2. 研究の目的

TPC に印加するドリフト電場を従来の磁場と同方向ではなく、これと垂直にすることで、前節に述べた問題を解決出来る可能性がある。図1に本研究における、従来 TPC の電場方向との違いを示す。図1(b)のように、即ち、ビーム軸方向電場ではなく、**放射状電場 TPC** (Radial TPC、以下略して **RTPC**) を実現することが出来れば、生成電子の移動距離を短くする事が出来、ドリフト電子の拡散の影響を抑える事が出来るのみならず、高頻度環境下での著しい飛跡の重なり合いを防ぐことも可能になり、従来型では不可能であった大強度ビーム実験における TPC の実用化に目処を着ける事が出来るかもしれない。

TPC は、有感領域内部に活性ガスのみが封入されている非常に物質量の低い検出器で、その特性ゆえクーロン多重散乱に起因する入射粒子飛跡検出精度の悪化を大幅に抑えることが可能で、大強度ビーム環境に加え比較的 low エネルギーでの精密測定 (ミュー粒子稀崩壊探索、二重崩壊、等) でも活躍が期待される。

本研究では、この RTPC の開発研究を推し

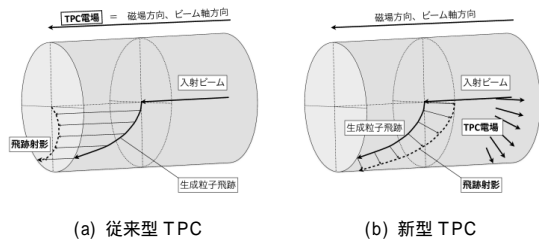


図1 TPCにおける電場方向の違い

進める事で、高頻度環境下での実用に耐え得る高分解能 TPC の実現を目標とする。

3. 研究の方法

本研究は、

- ・研究項目(A) : 湾曲形状の多層型 GEM 検出器を開発する
- ・研究項目(B) : 湾曲させた薄膜電極を用いて放射状電場を形成する

の二つの研究開発を進めることで、従来とは異なる放射状電場を持った斬新な TPC を実現し、低物質で高入射頻度に対応可能な高分解能飛跡検出器の実現を目指した。このアイデアを実現するためには、磁石の内壁に沿わせた陽極と、それと対を成す陰極を磁石内部

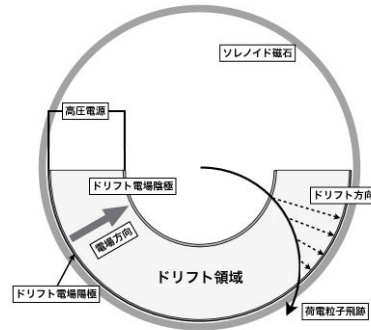


図2 RTPCのための電極構造

に設置する必要がある、図2のような電極構造で実現される。この電極構造を実現するためには、先に挙げた二つの研究項目が必須であり、本研究の開発要素はこの二つに尽きる。まず、陽極に到達したドリフト電子を検出するセンサーは、磁石内壁に沿って設置され、その場で電子を増幅して信号読み出しする必要があるため、本研究ではこれを湾曲させた GEM (Gas Electron Multiplier) で実現することを目指す。GEM は電極間が高分子ポリマー (主にポリイミド) により精度良く保持されるが、誘電体を挟むため一層当たりの増幅率を抑え多段構造にすることで増幅率を稼ぐ必要がある。本研究では GEM を湾曲させつつ多段のギャップ構造を極めて精巧に実現することが肝要で、例えば、先に挙げたミュー粒子稀崩壊探索実験等に採用することを考えた場合、30cm 程度の曲率半径で 100 μm 程度のギャップ精度が必要になる。研究項目(A) が実現された後、実際に放射状電場を精度良く発生させるため、研究項目(B) として図2にドリフト電場陰極として示されたよ

うな湾曲電極を実現することを目指す。入射粒子はこの陰極面を通過してドリフト領域に入るため、入射粒子の軌跡を阻害せぬよう電極は薄膜で作成する。薄膜電極を大面積(1~2mのオーダー)に亘って精密に湾曲させ、放射状の電場を精度良く実現することが、本研究実現のための第2の鍵となる。

以上のふたつの研究項目の試作機を独立に製作し、まずは独立に性能を評価する。その後、双方を組合わせて RTPC として動作させることを目指す。

#### 4. 研究成果

まず、研究項目(A)「湾曲GEM開発」に取り組んだ。ここでは、計画の通り、10cm×10cm寸のGEMフォイル(50μm厚)を曲率半径30cmで湾曲させた上で、この湾曲GEMを3層重ねた多層GEM検出器として実装することを目指した。フォイルを湾曲して検出器に実装するために、湾曲形状を維持出来るジグの製作及び接着手法の開発が必要になり、まずモックアップを用いてこれらの開発を進めた(図3参照)。

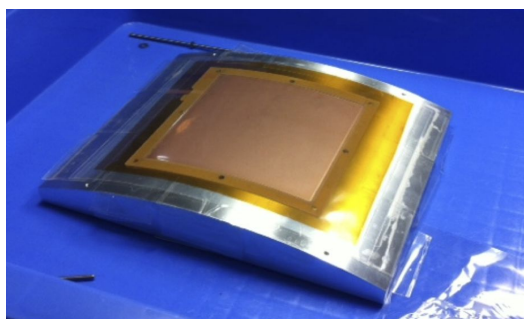


図3 湾曲GEM成形の様子

特に、フォイルを固定するためのネジを締めると、端部が湾曲しているために締めた途端にフォイルに皺が生じてしまう問題に直面し、この解決のためにフォイルに対する固定ネジの角度、締め付け方法等の最適化を行った。また、ジグの素材に応じて応力が異なり、皺の出来方にも影響を及ぼすため、素材選定も進めた。その結果、ニッカン工業社製 L-6535X が優れた特性を示し、これを採用する事にした。これらの開発研究の結果、3層重ねた際の穴形状の歪みを全体として1%未満に抑える事に成功した。

その後、実際にこの湾曲させた3層GEMフォイルを検出器として実装した。図4にその概観図、図5及び図6に完成写真を示す。図4に示した通り、この試作機では3層の湾曲GEMを内包するガスチャンバーにガスの入出ポート・各種電極を備え、3層GEMの裏には増幅した入射粒子の信号を読み出すためのシリコンパッドを実装した。ここでは、まず湾曲させてあっても通常と変わらない増幅が得られることを示すため、まずは位置分解

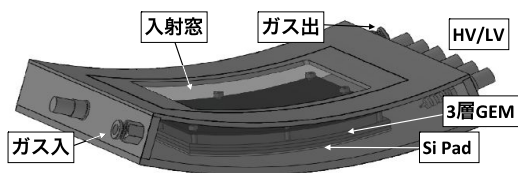


図4 湾曲GEM試作機(概観図)

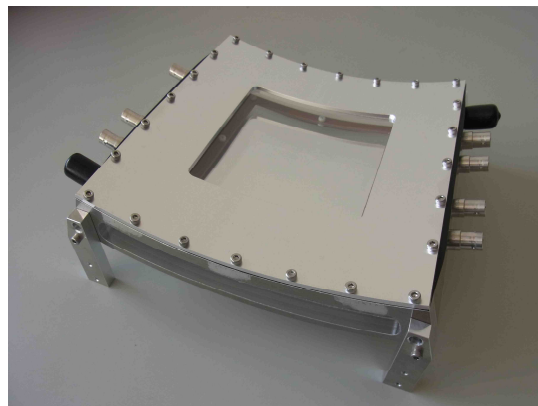


図5 湾曲GEM試作機(完成写真)



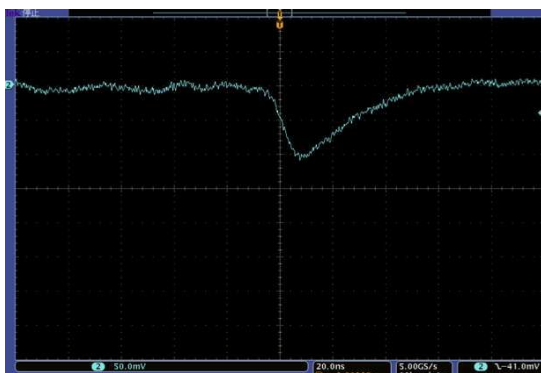
図6 湾曲GEM試作機(側面写真)

能度外視で大きなパッド(2cm×2cm)で実装した。本研究は研究期間2年間と限られた期間のため、本研究では上記の「湾曲形状でも通常と同等のガス増幅が得られる」事を示すことを目標とするが、本研究期間終了後にパッドは別のパッドに置換えられる設計にしており、更なる詳細研究(位置分解能評価等)が為される予定である。

完成した試作機には、Ar/CO2(50:50)混合ガスを導入し各GEMフォイル及びドリフト面に適宜高電圧を印加したところ、陰極であるシリコンパッドに誘起された信号を確認することが出来、湾曲形状でも通常のGEMと同等の信号増幅が得られる事を実証することが出来た(図7)。ここでは反転増幅アンプを通して得られた信号である。

研究項目(B)に関しては、残念ながら研究項目(A)のような大きな進展は得られなかった。特に、放射状電場の一様性を保証するために優れた加工性が求められるが、これを薄膜フォイルで生成する電極で実現すること

は大きな困難を伴い、本研究期間内に実現することは残念ながら叶わなかった。湾曲形状電極を保持するジグは本研究にて製作することが出来たので、本研究終了後においても湾曲形状薄膜電極の開発研究を鋭意進めたい。



**図 7 湾曲 GEM 試作機で得られた信号**

本研究期間において、研究項目(A)に関しては大きな成果を挙げる事が出来たが、残念ながら研究項目(B)に関しては成果を挙げる事が出来ず、結果として、RTPCの実証にまで到達することは出来なかった。今後、研究項目(A)については、信号読出シリコンパッドの細密化を実施した上で、位置分解能の評価を行い、学術誌に成果を投稿する予定である。また、研究項目(B)の開発もそれとは独立に進める予定である。

#### 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)

本研究期間内には成果発表に至らなかった。

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

西口 創 (NISHIGUCHI HAJIME)

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：10534810

##### (2)研究分担者

なし

##### (3)連携研究者

なし