J-PARC E16実験における GEM飛跡検出器の位置分解能と検出効率の評価

2024年9月19日 第79回年次大会(2024年) 東京大学/理化学研究所 村上智紀, for the J-PARC E16 collaboration.





□本研究の背景:ハドロンの質量起源

- □ J-PARC E16実験の概要
- □ GEM 飛跡検出器の概要
- □ GEM 飛跡検出器の較正
- □ GEM 飛跡検出器の位置分解能の評価結果
- 🗖 まとめ

1

本研究の背景:ハドロンの質量起源



□ハドロンの質量起源とされるカイラル対称性の自発的破れ

▶ 高密度環境では対称性が部分的に回復しハドロンの質量分布は 変化すると予言されている。

□ KEK E325実験では原子核中 φ 中間子の質量分布を崩壊先のe⁺ e⁻運動量

から再構成し、Cu原子核中の遅い中間子の質量が減少(3.4%)

▶ しかし、その背後の物理に関して統一的見解は得られていない。

□より決定的な測定にはさらなる高統計・高質量分解能な実験が必須。

J-PARC E16 実験



□ E325実験の100倍統計の $\phi \rightarrow e^+ e^-$ 反応を収集する。

- ▶ 大強度の陽子ビーム 1 × 10¹⁰ protons/spill (30 GeV)の利用。
- ▶ 10 MHzの高反応レートに耐える検出器群を開発。
- □ e⁺ e⁻の運動量測定には、高計数耐性を特徴とするGas Electron Multiplier (GEM)を用いたガス検出器、GEM Tracker(GTR)を用

いる。

GEM Tracker (GTR)



□ 3つのサイズ(100/200/300 mm四方)のGTRを並べて1モジュール。

□ GEMの枠を検出器外縁を一体化したこと、及びサポートフレームとして

CFRP* を採用したことで物質量を最大限に削減。 * Carbon Fiber Reinforced Plastics

□ 2020年以降の検出器調整ランRun0-a~dにて検出器/DAQの改良を重ね、

2024年4-6月のRun-Oeにて初のfull calibrationが可能となった。

□ 位置分解能設計值: 100 µm ⇔ 235 µm in Run-0c (2021)

GEM Tracker (GTR)



検出器の較正手法を新たに開発・確立し

実際のビームを用いてGTRの性能を評価した。

□ 位置分解能設計值: 100 µm ↔ 235 µm in Run-0c (2021)

GTRの較正手順と重要性、その困難な点



□以上の理由からデータを用いた較正が極めて重要だが、困難も多い。

- ▶ 薄く歪みやすいGEMの特性上、検出器個性が生じる。
- ▶ 磁場の値は位置依存のため、位置の関数でのローレンツ角補正が必要。
- ▶ 1つのGTRのローレンツ角を較正する際には、他のGTRで再構成した 飛跡を利用するため、他のGTRの未補正量を考慮する必要がある。

GTRの較正手順と重要性、その困難な点



数ミリ程度の影響。

補正すべき項、その量を慎重に見極め GTR個体ごとに丁寧に検出器較正を行う必要があった。

開発した較正手法1.ワイヤ標的を用いたジオメトリの較正



□ 4本のワイヤ標的(φ=100 μm)に磁場OFFの状態でビームを照射した。

□ ワイヤ標的とSTSのヒット位置から飛跡を外挿し、これとGTRのヒット 位置の差(residual)分布のmeanのずれを測定した。

□ジオメトリのズレはresidualのmeanの位置依存性として現れる。(右図) これを消すように3次元空間上で検出器座標をシフト/回転して較正した。

較正1. ジオメトリの較正結果



- □ 以降、一例として最前方GTR100の例。
- □ 最大約1.2 mm生じていた位置依存性をほとんどの点において 50 μm 以内に抑え込んだ。
- □ 検出器の端では検出器の複雑な変形がおきている可能性があり、
 現在も較正中。

開発した較正手法2.逆向き磁場を用いたローレンツ角の較正



□ 有感領域で生じた電離電子は、磁場の影響を受けて曲がる ため測定点から実際のヒット位置を補正する必要がある。

開発した較正手法2.逆向き磁場を用いたローレンツ角の較正



 「 有感領域で生じた電離電子は、磁場の影響を受けて曲がる ため測定点から実際のヒット位置を補正する必要がある。
 「 磁場を逆向きにしたデータを較正用に取得。ローレンツ角

の補正量は順方向磁場と逆方向磁場で対称に現れる。

開発した較正手法2.逆向き磁場を用いたローレンツ角の較正



順方向磁場データと逆方向データ磁場のresidual分布のmean を引いて2で割ったものが検出器座標xにおける

ローレンツ角由来の補正量。

(順磁場データのみではresidual分布のズレの由来が不明)



 □ beforeの時点で、ラフなローレンツ角の値は調整済み。
 □ 検出器位置に依存したローレンツ角による補正量をいれる ことで、ローレンツ角影響の位置依存性を~100 µm以内に 抑え込んだ。

GTR100の位置分解能の算出方法と結果



□ 4層でトラッキングした際のresidual分布の幅(σ¹_{4 layers})と

GTR100以外の3層時の幅(σ^{□□}_{3 layers})の幾何平均を分解能とした。

$$\sigma_{\text{resolution}} = \sqrt{\sigma_{4 \text{ layers}}^{\text{III}} * \sigma_{3 \text{ layers}}^{\text{IIII}}} = 120 \pm 10 \,\mu\text{m}}$$

□ 位置分解能を大幅に向上させることに成功し、来年度の物理実験において

十分な質量分解能を得られることが期待できる見通しを初めて立てた。

- J-PARC E16実験では、先行実験であるKEK E325実験の
 50倍の統計量の φ → e⁺ e⁻測定を目指す。
- □ 大強度のビームを用いるため、飛跡検出器としてGEMを用いたGTRを 開発した。
- □ 24年4-6月に行われた検出器調整ランで得たデータを利用し、 以下の較正手法を開発した。
 - ▶ 磁場OFFでワイヤ標的を用いたジオメトリの較正

▶ ローレンツ角の較正

□ GTRの位置分解能の評価を行い、 **120** ± **10** μm と評価した。

□ 来年度予定されている物理実験において十分な質量分解能を得られることが期待される。