

KEK 測定器開発テストビームライン共同利用実験成果報告書

2025年 4月 13日

1. 課題番号

2024ARTBL21

2. 課題名

改良版 Belle II CDC 読み出し回路の性能評価

3. 研究代表者

氏名：中澤 遊

所属機関：高エネルギー加速器研究機構

職名：助教

連絡先：2333

4. 実験参加者 氏名（所属機関、職名または学年）

- 中澤遊/KEK/助教
- 谷口七重//KEK/准教授
- Ma Yue/理研/専任研究員

5. ビームタイムの期間

(エリア内準備期間、ビーム使用期間、撤収期間がわかるように)

2025.3.12: エリア内準備

2025.3.12 and 15: ビーム使用

2025.3.15: 撤収

6. ビームの状況

3 GeV electron

7. 実験成果

【まえおき】

Belle II 実験の中央飛跡検出器グループでは読み出し回路の改良計画を進めている。そのために、タイミング用と信号弁別用の2つの閾値を設定可能な新しい ASIC を開発した。これにより、信号弁別用の閾値を高め設定して小さなノイズを排除しつつ、低めに設定したタイミング用の閾値で時間情報は精度良く取得することが可能となる。例えば、アナログ部分の利得は現行 ASIC の約 1/7 しかないが、2つの閾値を駆使することで高い時間分解能を保ちながら信号とノイズの弁別性能も高く保つ運用が可能となる。このチップを読み出し回路の試作機に実装し、8 レイヤー44 本のワイヤーが張られたドリフトチェンバーの信号を読み出すことで、チップ性能を評価する。また、ドリフトチェンバーの条件を揃えて現行の読み出し回路でもドリフトチェンバーやビームのコンディション、解析コードまで揃えた同様の測定を行い、性能を比較する。ドリフトチェンバーには 30- μm 金メッキタングステンセンスワイヤーと 126- μm アルミニウムワイヤーが張られており、運転時は 2.4 kV の電圧が印加される。ガスは He:C₂H₆=50:50 を用いる。本ビーム試験では 3 GeV の電子ビームを用いて測定を行った。

【解析】

今回の測定における解析手法について簡単に説明する。解析はイベント選別をしたのちに、飛跡再構成を実施し、最後に性能を評価する。イベント選別では、各レイヤーに信号が1つしかないことを要求し、非常にクリーンなイベントのみ抽出した。飛跡再構成は、粒子が通過したい時間(トリガー)とワイヤー信号の時間の差分からドリフト時間を計算し、この時間から適当な間形式により、ドリフト距離を求める。評価したいレイヤーを選択し、他の全レイヤーのドリフト距離を最も良く再現する線を粒子の飛跡として再構成する。この時、評価レイヤーにおいてドリフト距離とドリフト時間の関係式を更新できる。このように関係式を改善しながら、10回再構成を行う。最後に、セルの中心付近(ドリフト距離: 3-4 mm, ドリフト距離の最大値は約 8 cm)で位置分解能を評価する。詳細は省くが、これはこの位置分解能が最も良く、安定して評価できるためである。

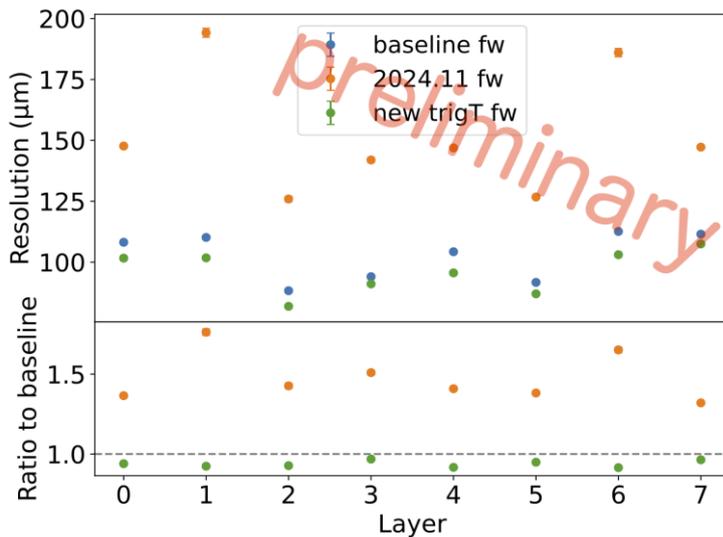
【本測定の目的】

同様の測定を 2024 年 11 月に実施したが、読み出し回路のファームウェアにおいて誤った処理が実装されていた。トリガーの時間とワイヤー信号の時間情報を 1 ns/LSB で取得する必要があったが、トリガーの時間情報のみ 8 ns/LSB で取得していた。その結果、現行の回路と比較して 1.5-1.6 倍悪い位置分解能となっていた。本測定では、主にこの処理を修正し、位置分解能が改善していることを確認する。

【測定の結果】

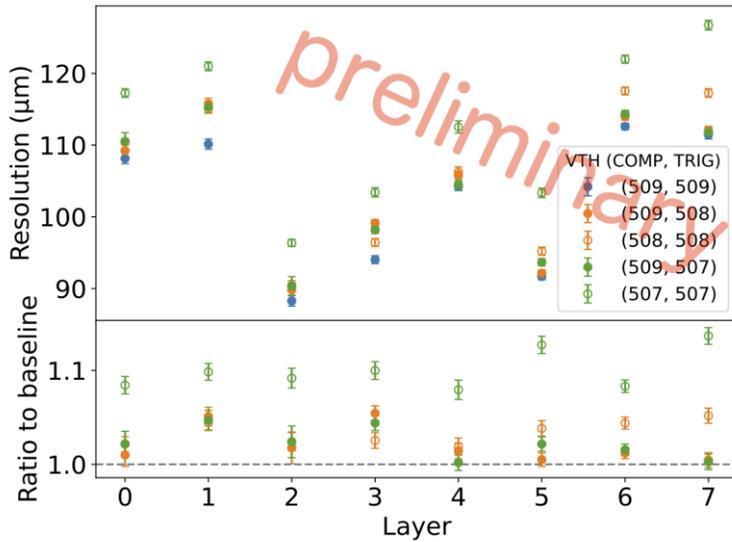
以下、暫定的な測定結果について報告する。

ファームウェアごとの位置分解能の違いについて調査した。その結果、2024 年 11 月のファームウェア (2024.11 fw) から大幅に位置分解能を改善できていることを確認した。以下の図では縦軸を位置分解能あるいは本測定のファームウェア (baseline fw) との性能比とし、横軸をレイヤーの番号とした。2024.11 fw の結果と比較すると位置分解能が 2/3 倍程度になっており、ファームウェアの修正がうまくできていることを確認した。新しいファームウェアではデータ取得パソコンとの通信状況に応じてトリガーを受け取るか判断していたが、トリガーの受信タイミングが 120 MHz の共通クロックと同期するのではと思い、この設定を外したファームウェア (new trigT fw) も開発した。結果として、このファームウェアは最も良い位置分解能を示すことがわかった。

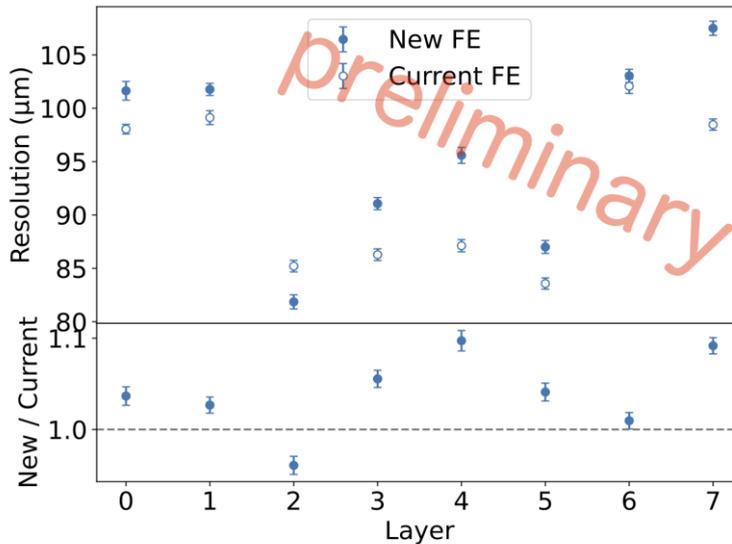


次に、2 つの閾値を変更しながら、分解能がどのように変わるかを確認した。タイミング用の閾値 (COMP) と弁別用の閾値 (TRIG) をそれぞれ 507 から 509 まで変えて測定した。本 ASIC のベースラインはおおよそ 511 であり、509 が最も低い閾値に相当する。また、ファームウェアは baseline fw を用いた。以下の図では縦軸を位置分解能あるいは (COMP, TRIG) = (509, 509) をベースラインとした性能比とし、横軸をレイヤーの番号とした。(COMP, TRIG) = (509, 509), (508, 508), (507, 507) の結果を確認すると、閾値が徐々に大きくなっているために位置分解能も悪化していていることが確認できる。

さらに、 $(\text{COMP}, \text{TRIG}) = (509, 509), (509, 508), (509, 507)$ の結果を確認すると、COMP を同様に変更したときと異なり、位置分解能がほとんど変化していないことがわかった。これは、2つの閾値が想定通りに動作していることを示す。



最後に、現行の回路と性能を比較した。新しい回路のファームウェアは `new trigT fw` を用いた。下の図では縦軸を位置分解能ある新しい回路と現行回路の性能比とし、横軸をレイヤーの番号とした。結果として、平均 5% の性能悪化が確認されたものの、2024 年 11 月の測定で見られたような大きな性能差は確認されなかった。 Belle II 実験では荷電粒子の多くは 1 GeV/c 以下の運動量をもち、物理測定において重要な運動量分解能は多重散乱の効果を強く受ける。そのため、この程度の位置分解能の変化の寄与は限定されると考えられる。 今後は、シミュレーションによりこれを確認していく。



8. 結果の公表予定

論文による結果の公表予定はない。コラボレーション内では結果を共有する。2025年4月3-4日に開催された第二回測定器開発テストビームライン研究会にて以上の結果を報告している。

9. 今後の要望

要望はありません。

以上