

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

2024年12月20日

1. 課題番号	2024ARTBL009
2. 課題名	ビームプロファイル測定 4
3. 研究代表者	氏名：岡崎 佑太 所属機関： KEK 職名：助教 連絡先： yuta.okazaki@kek.jp
4. 実験参加者 (氏名、所属機関、職名または学年)	<ul style="list-style-type: none">宇野 彰二 KEK 特別教授岡崎 佑太 KEK 助教田内 一弥 KEK 技術職員江成 裕二 KEK 准教授中野 英一 大阪公立大学 教授吉田 聖稀 大阪公立大学 修士1年
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)	2024年10月 30日 セットアップとビームを使った調整 31日 マシンスタディのためビーム無し。既存チェンバーを QS 上流に移動 11月 1日 トリガーの調整と QR スキャン 2日 3日 データ取得無し 4日 運動量依存性の測定、QS の効果の測定 5日 運動量依存性の測定、既存チェンバーを LG 上流に移動。QS スキャン。 6日 撤収
6. ビームの状況	エネルギー 5.0 GeV、電流 50 mA、寿命 500 min 程度、Target 位置 12.83mm という状況下において、3 GeV で、2.2 kHz 程度 (ビームライン上流のシンチ T0 と T4 のコインシデンス) であった。安定していたが、リングの不調により、11月5日まで電流が 50 mA に制限された。
7. 実験成果	

セットアップ

前期のビームテスト（課題番号 2024ARTBL001）で使用した最大ドリフト長が 8 cm の Jet Chamber（既存チェンバー）をビームダンプ（LG）直前の台に乗せた（図 1 左）。新たに製作したドリフト電場をより平滑にした Jet Chamber（新チェンバー）をステージの最上流の台に固定した（図 1 右）。トリガーは T0（シールド壁の外であるが、シャッターの前に設置されているもの）と T4 のコインシデンスとした。ただし、前期の測定から T4 の大きさがビームの拡がりよりも小さいことがわかっているので、この課題でのトリガーとしては、T0 を主に利用した（10msec の Injection veto 有）。ガスは前期と同じ P10（Ar/CH₄=90/10）を使用した。Jet Chamber の信号処理は、前期から使用を開始した新エレキボード（図 2）を合計 3 枚使用し、3 枚目のボードで LG の中段、中央の 3 つ信号の和の波形を、減衰させて取得した。

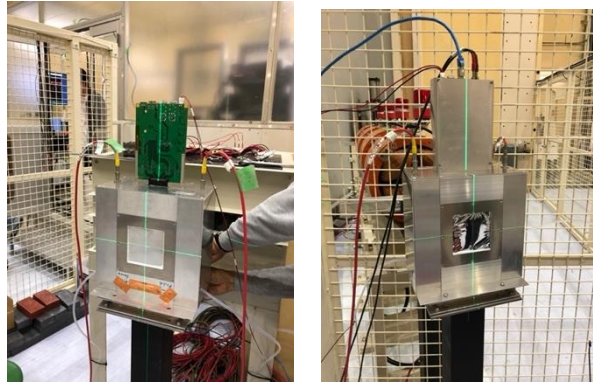


図 1 チェンバーの設置の様子。左：LG 前、右：ステージ最上流。



図 2 新エレキボード

Chamber からの信号を増幅、整形、波高弁別する ASIC として Belle II CDC の Upgrade として開発したものを採用した。また、この ASIC には、FADC も搭載されているので、波形情報を得ることもできる。読み出し基板は、東北大学で MPPC を使った読み出し用に開発した RAYRAW 基板をそのまま流用した。使用した読み出し基板に搭載された ASIC は、MPPC 用の ASIC とは異なるが、同じ Pin Assignment である Belle II CDC 用の ASIC を用いることで PCB 基板をそのまま流用でき、ASIC だけを付け替えた。TDC は、FPGA のファームウェアとして実装されているので、トリガー信号を入力すれば、デジタル情報が SiTCP の機能で PC へ直接送られることになるものである。今回は、基本的に、東北大学で開発されたファームウェアをそのまま借用したが、一部、期待通りに動作しない部分があった。

測定結果

● 複数台のエレキの同時読み出しのテストとビームのトラッキング

まず、2つのチェンバーを設置、エレキを接続した後、メンテナンスの日であったが、ボーナスのビームが出ていたため、ビームを当ててチェンバーの信号を読み出していることを確認後、それぞれのチェンバーで threshold scan を行い、最適な threshold の値を設定した。さらに、それぞれのチェンバーのデータを同時に取得し、チェンバー間での水平方向・垂直方向に関して位置と変位に相関があることを確認して、チェンバー間のイベント同期が取れており、ビーム粒子のトラッキングができることを確認した。

● ステージ上流(シールド-QSF間)のビームプロファイル測定

次に、QSFの上流のT1を外した台に設置して(図3)、QS前後でのビームプロファイルを測定した。

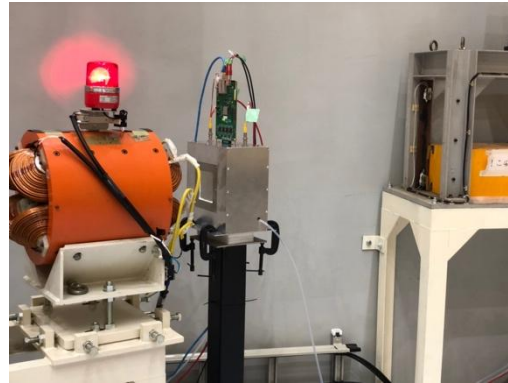


図3 QSF上流に設置したチェンバー

QRFの電流値を固定しながらQRDの電流値を変化させることで、QSF上流でのビームプロファイルがy方向に変化することと、シミュレーションで得られた結果と同様にQRD=20Aの時に最もy方向に細くなることを確認する。QRDを変化させた時のQSF上流でのビームプロファイルを図4に示す。

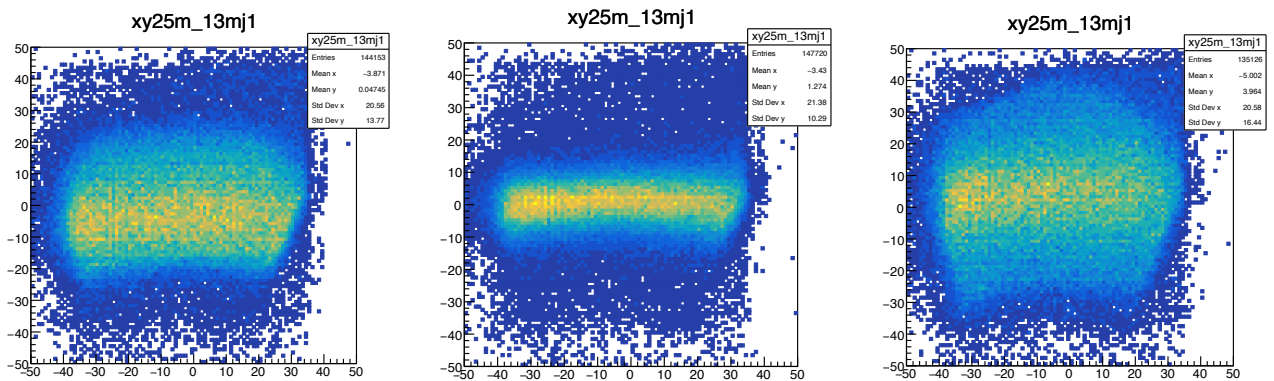


図4 QSF上流でのプロファイル。左: QRD=12.0 A、中: QRD=20.0 A、右: QRD=28.0 A

図5の左に、このビームプロファイルの分布の広がり、QRDへの依存性を、下流の広がりとともに示す。この時、QSはOFFにして、ビーム粒子が曲げられずにQS下流まで届くようにして、上流と下流でビーム粒子をトラッキングし、QSの内部でのそれぞれの粒子の通過位置を内挿した2次元プロファイルを推定した。上下方向(y)にもっとも狭くなったビーム軸に沿った位置(z)を求めた結果を図5右に示す。シミュレーションでの予想通り、ビームウェストはQRDに従って上流に移動することが確認できた。

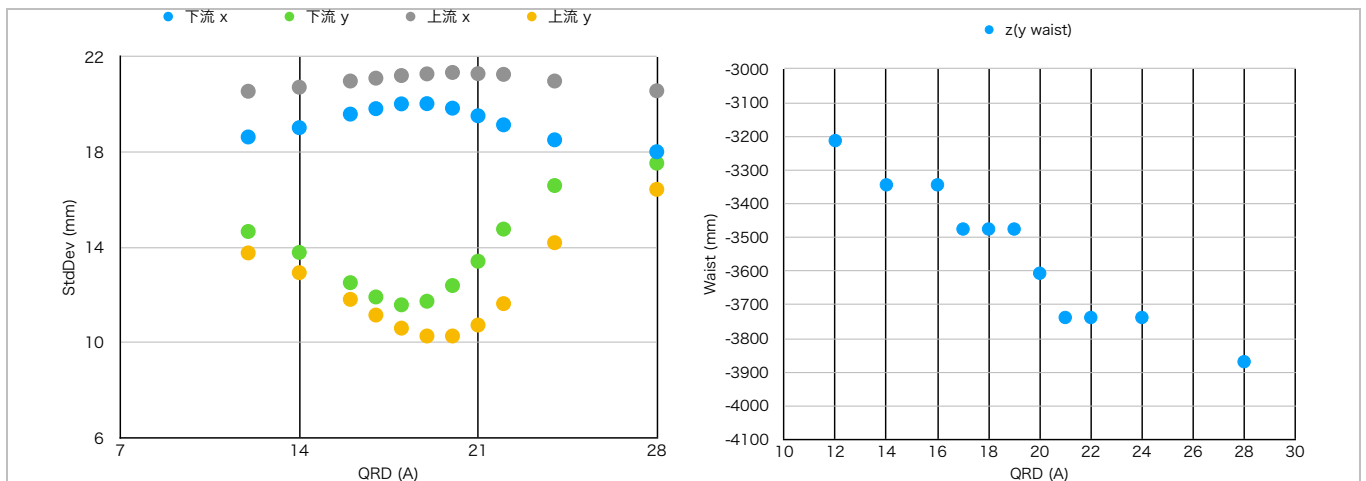


図5 左：測定したプロファイルの QRD 依存性、右：推定したビームウエストの位置 (z)。

次に、QS の ON/OFF で QS の下流に到達できる上流のビームプロファイルが変化することを確認した。図 6 に $p = 1 \text{ GeV}/c$ での違いを示す。

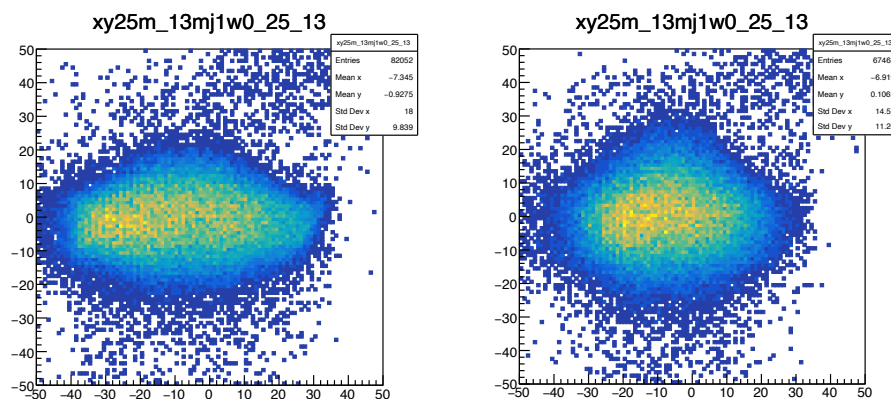


図6 QS 下流まで到達したビーム粒子の QS 上流でのプロファイル。左：QS ON、右：QS OFF

QS が OFF の場合には Q のポールが見えており、図面通りビームが削られている。また、ポールの外側の粒子も物理的に遮るものがないため、QS の下流まで到達する。QS が ON の場合には、シミュレーションと異なり、特に水平方向の Q のポールの外側の粒子も QS 下流まで運ばれている。これは前期のビームプロファイル測定試験で QSF の前に鉛のコリメーター(直径 40 mm)をおいた場合にレート減少率がシミュレーションよりも実測の方が大きかった原因である。

● 新エレキボードを用いた鉛ガラスの信号

さらに、QS 上流に設置していた新チェンバーをステージ上 LG の上流に設置し、ステージ上でのビームをトラッキングできるようにし、LG の波形も取得した。まず、ビーム運動量と LG の波高値の線形性を確認した。LG 表面の水平方向の位置は運動量に依存するため、波高値と相関がある (図 7)。

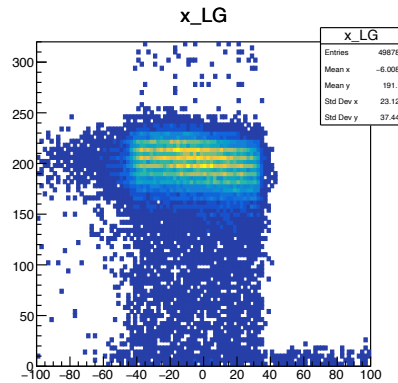


図7 LGの波高値のLG表面での水平方向の位置との相関 (QS OFF)

そのため、LG表面での2次元プロファイルを求め、もっともビームが当たっている部分1シグマの範囲内の波高値分布 (図8左) のピークとなる値と運動量の相関を求めたものを図8右に示す。

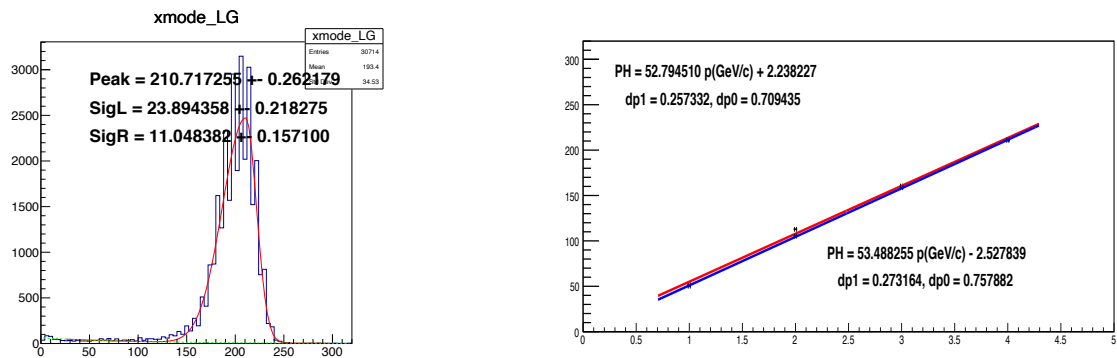


図8 左: p=4 GeV/cでの波高値分布、右: 波高値の運動量依存性。赤: QS ON、青: QS OFF

図8右に示すように、波高値分布のピークの値と運動量の線形性が確認できた。

● QSのスキャン

3 GeVのビームに対してQSFのスキャンを行った。2台のチェンバーで得られたビームの位置から内挿することでビーム軸上での各位置でのヒットプロファイルを求め、各位置での水平、垂直方向のビームの広がりを図9に表す。シミュレーションでの予想通り、水平方向の広がりにはQSFの強さに依らず、ステージ上の最上流で一番小さい。QSFが強いほど、ステージ上の最上流での広がりには小さいが、下流に行くほど広がっていく。垂直方向の広がりについてもシミュレーションでの予想通りであり、QSFが強いほどステージ上の最上流での広がりには大きく、最も細くなる位置は下流側に移動する。(図9)

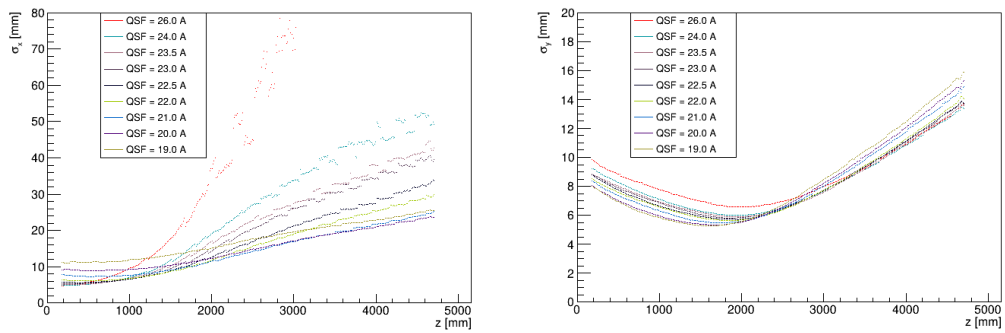


図9 左：x方向のビームの広がり。右：y方向のビームの広がり。横軸はステージ上の最上流の位置からの距離。

8. 結果の公表予定

春の日本物理学会で発表予定。

9. 今後の要望

今回得られたビームプロファイル測定の結果から QSF を上流に移動させた場合や BEND 磁石の下流側に収束用の Q 磁石を追加した場合にどれぐらいのビームレートの増加が見込まれるかの見積もりを行う。

以上