

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 5月27日

1. 課題番号

2024ARTBL001

2. 課題名

ビームプロファイル測定3

3. 研究代表者

氏名： 中野 英一

所属機関： 大阪公立大学大学院理学研究科

職名：教授

連絡先：nakanoe@omu.ac.jp

4. 実験参加者 (氏名、所属機関、職名または学年)

- 中野 英一 大阪公立大学 教授
- 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

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5月

- 10日 旧エレキセットアップ
- 13日 15:30 割り当てられたビームタイム開始。チェンバーの信号と Trigger 等の確認。
- 14日 リング内四極電磁石の極性を反転試験
- 15日 極性を元に戻して、再現性を確認
- 16日 新エレキに交換、エレキ調整と HV 調整
- 17日 四極電磁石の最適化
- 20日 運動量依存性の測定
- 23日 ビーム進行方向依存性の測定

6. ビームの状況

エネルギー 6.5GeV、電流 50mA、寿命 500min 程度、Target 位置 12.83mm という状況下において、3 GeV で、1.8kHz 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。これは以前の T1 と T4 のコインシデンスよりも 20%増しである）であった。特に大きな問題はなく、安定していた。5月16日に1回だけビームダンプがあり、1時程度ビームが出なかった。

7. 実験成果

セットアップ

前期のビームテスト（課題番号 2023ARTBL016）のセットアップをほぼ継続。8 mm×8 mmセルの Multi-Cell Proportional Chamber (MCPC)は、最上流で固定として、Drift length が 8 cmの Jet Chamberのみをビームラインの架台に載せ、ビーム進行方向に移動させて測定した（図1、左図）。上流の既設のシンチレーションカウンターのうちリング内に設置されていたが使っていなかったものを外した。前期にトリガーとして供給していたシンチレーションカウンターT1 と T4 のコインシデンスの代わりに今期から 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なった。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 と最下流に設置されている鉛ガラスの中央3本の合算信号とのコインシデンスを主に利用した（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、前期までのものに加えて、後半は、新エレキを採用した（図1、右図）。

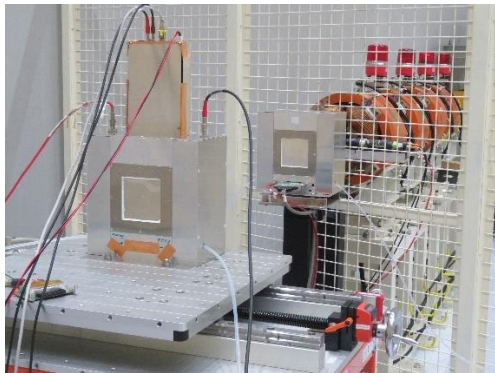


図1 セットアップの写真 (左図)。新エレキボードの写真 (右図)

新エレキ

前期までは Jet chamber のエレキとして、Chamber に設置した前置増幅器から出るアナログ信号をカウンティングルームまでケーブルで送って、後段アンプで受けた後、波形記録装置で読み出していた。波形記録装置の最大計測時間が $1\mu\text{sec}$ だったので、全ドリフト領域 (最低 $1.6\mu\text{sec}$ 必要) をカバーすることができなかった。そこで、新しい読み出し基板を導入した (図 1 右図)。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 (今回の測定では、ファームウェアが十分に準備できなかったので、利用していない)。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。MPPC 用の ASIC は違うものであるが、それは BelleII CDC 用の ASIC を改変したものであるので、Pin Assignment が同じであったので、基板はそのまま流用でき、ASIC だけを付け替えた。TDC は、FPGA のファームウェアとして搭載されているので、トリガー信号を入力すれば、後は、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り、機能をすべて利用することができなかった。

測定結果

まずは、リング内四極電磁石の極性を反転させて、ビームレートがどうなるかを調べた。それは、四極電磁石の標準設定では、上流が QF (水平収束)、下流が QD (垂直収束) であるが、四極電磁石の下流に設置されている偏向電磁石の垂直アパーチャーが 34 mm (ビームライン上で一番狭い) しかなく、先に垂直に絞った方がこの制限が緩和される可能性があるのではないかと考えたからである。反転後、四極電磁石の電流値を変えて色々と測定したが、結果としては、良くなる設定値は見つけられなかった。むしろ、悪くなり、最大でも 64% しかレートが出ないことが分かった。実はシミュレーションでも良くならないという結果は得られていたので、予想通りであった。なぜ、水平を先に絞った方が良いかはシミュレーションの結果をまだきちんと解釈しきれていないが、偏向電磁石でビームは水平方向に広がるが、それを拡大する方向は、ステージ上の四極電磁石の水平アパーチャーを考慮するとよろしくないということかと想像している。

次は、新エレキを使ったビームプロファイルの測定である。それをやるための準備として、前々回にやったのと同様に MCPC の 1 本ずつをトリガーとして要求することによって、TDC のカウント数と Jet

chamber 内の位置関係を求めた（ドリフト速度の測定）。結果は、ドリフト領域の真ん中で、X 方向が 4.3 cm/ μ sec で Y 方向が 4.7cm/ μ sec と違いが出てしまった。これは、X 方向は、角度分散が大きいためではないかと考えている。ビームの 2 次元プロファイルを図 2 に示す。左図が前回の測定であり、右図が今回のものである。今回の測定において、ビームプロファイルの全体が測定可能となっていることがわかる。右図の赤枠が、前回に測定できた範囲を示している。テイル部分がひし形に見えているのは、四極電磁石のポール形状であろう。右側と上側で切れているのは、Jet Chamber の大きさの限界である。

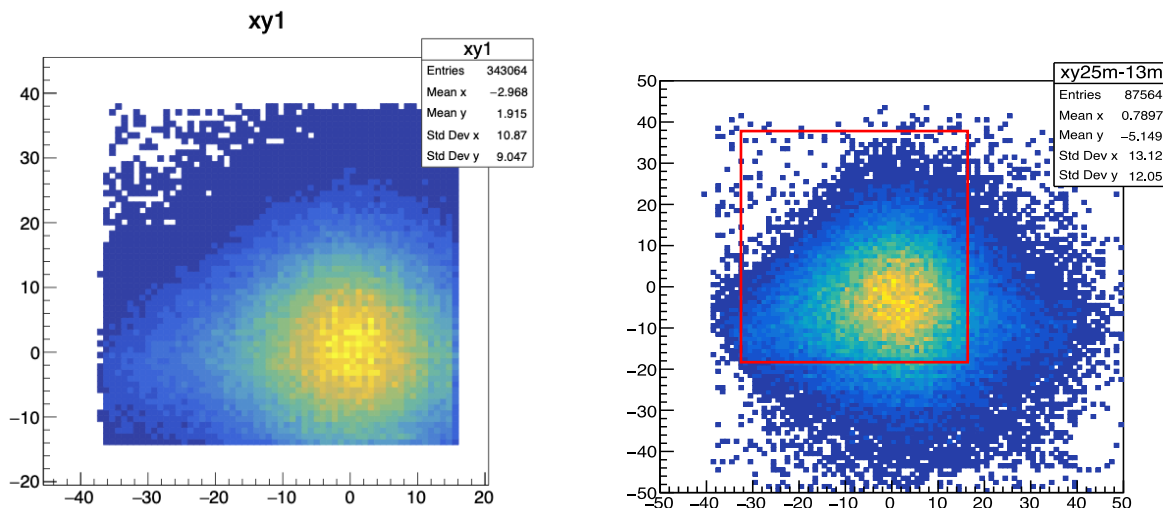


図 2 2次元プロファイル。左図が前回の測定。右図が今回の測定である。

次に四極電磁石の最適化を行った。今回は、シミュレーションの結果を参考にしながら、3GeV の運動量でのレート（上流のシンチレーションカウンターの T0 と T4 のコインシデンス）が最大になる設定値を探した。QRF と QRD に最大電流（50A と 28A）を流してから、まずは、QRD の電流値を下げて最大値を探す。そのあと、QRF の電流を下げて、どうなるかを調べて、その後、さらに QRD の電流値を下げるという方針とした。結果として、QRF は最大値の 50A が最もよいが、47.5A でも大差はないので（1%以下の違い）、47.5A を最適値とした。QRD は、20A が最大値となった（図 3）。この結果は、シミュレーションの傾向と一致していた。QSF,QSD も同様に、最大電流(28A と 28A)を流してから、ビームプロファイルをみながらよいところを探した。それで、QSF が 23.5A、QSD が 25A がよいという結果となった（表 1）。最終的なビームプロファイルを図 4 に示す。左図が前回の測定で最適とされた結果で、右図が今回最適とされた結果である。今回の方が、ビームが絞られていることが良く分かる。

QRF(A)	QRD(A)	QSF(A)	QSD(A)
47.5	20	23.5	25

表 1 3GeV に対して求められた最適な電流値

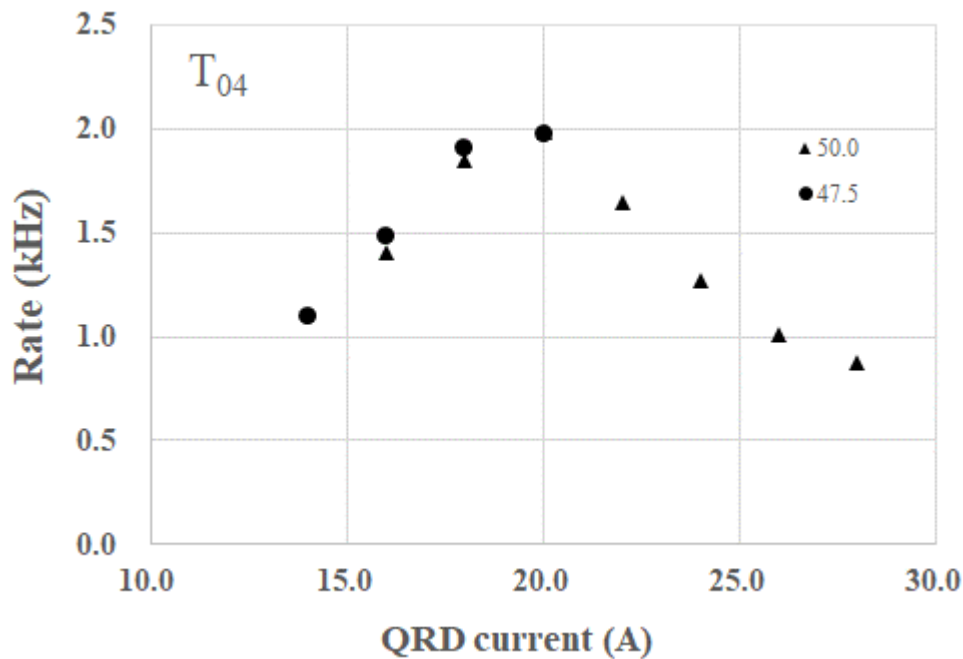


図3 ビームレートのQRD電流依存性、図中の50.0と47.5は、QRFの電流値を示す。

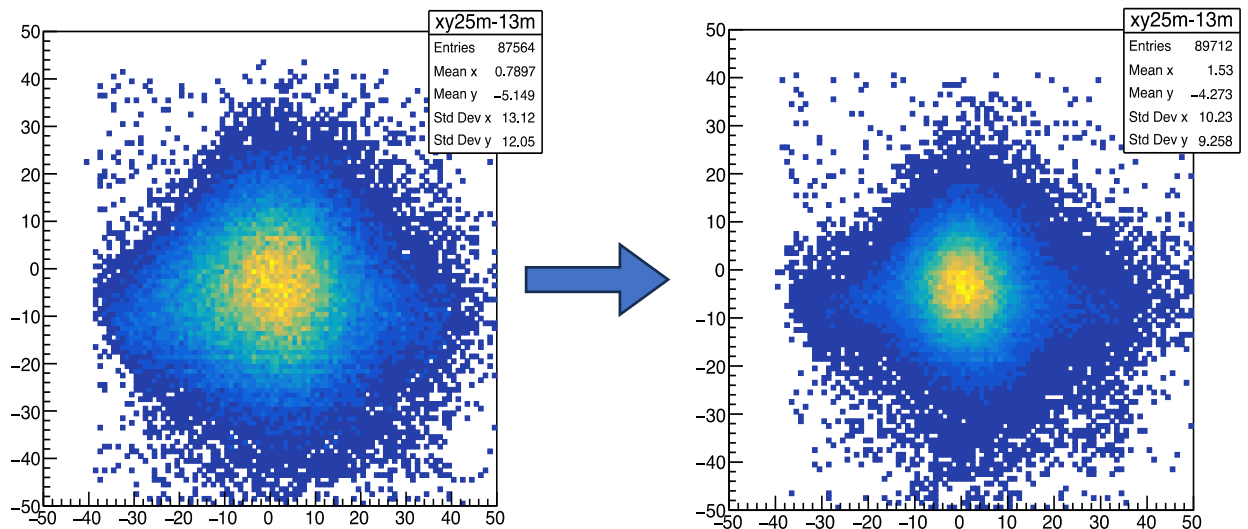


図4 得られたビームプロファイル。左図が前回の最適値での測定。右図が今回の最適値での結果。

この3 GeVで最適化された電流値で、他の運動量でレートがどうなるかを調べたのが図5である。他の運動量の時の電流値は、3 GeVの最適値に対して運動量に比例して電流値を決めるが、電流の限界値を超える場合は、限界値とした。図中のSumiは標準設定で、Okazakiは、今回得られた最適な設定値である。実は、ビームレートは標準設定とそれほど大きく変わっていないことがわかる。

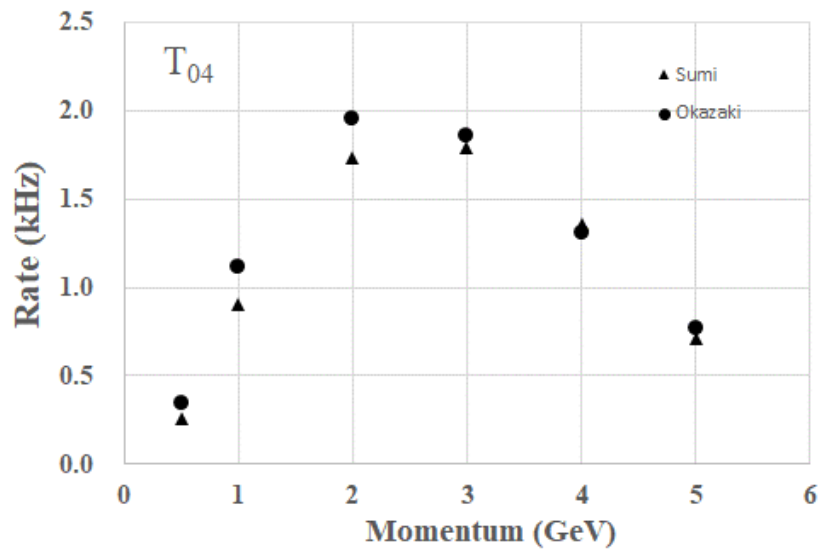


図5 ビームレートの運動量依存性

今回最適化された設定でビームが良く絞れていることを示す指標として、MCPCのXYそれぞれ真ん中の両1本から信号来ているレートの運動量依存性を調べた結果が図6である。この図からビーム中心のレートは大幅に改善していることがわかる。特に、最適化に使った3GeVでは、標準設定より2.6倍よくなっていることがわかる。

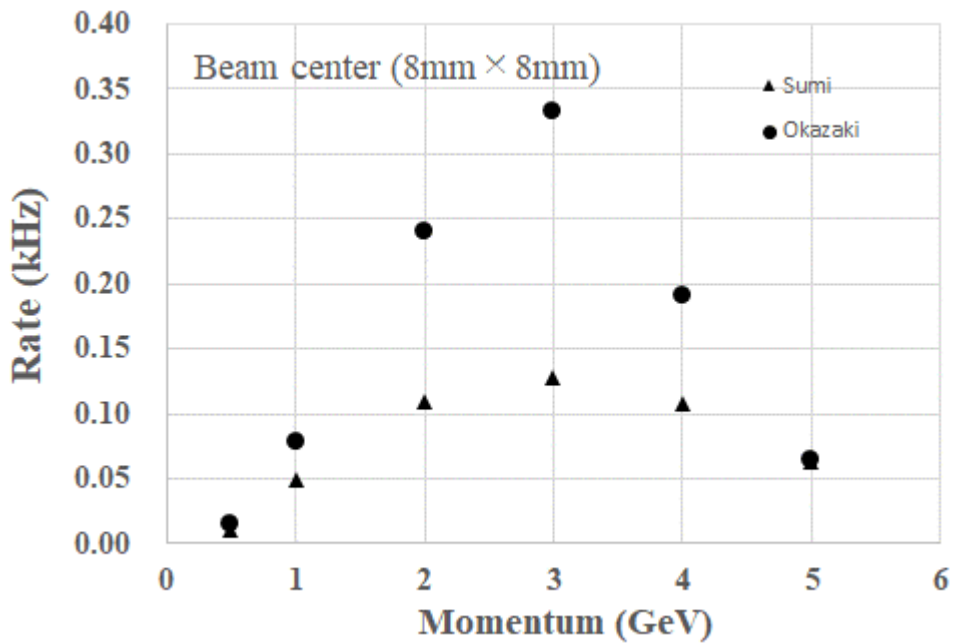


図6 ビーム中心のレートの運動量依存性

四重極電磁石の電流値を決定した後、ビーム軸方向のプロファイルを3点測定した。最下流に設置されている四重極電磁石の出口を $z=0$ として、 $z=0.65$ m、 $z=1.50$ mそして $z=2.50$ mにおけるプロファイル

を図7に示す。ARのビームエネルギーが6.5 GeV時には3点だが、5.0 GeVの時は上流2点のみとした。

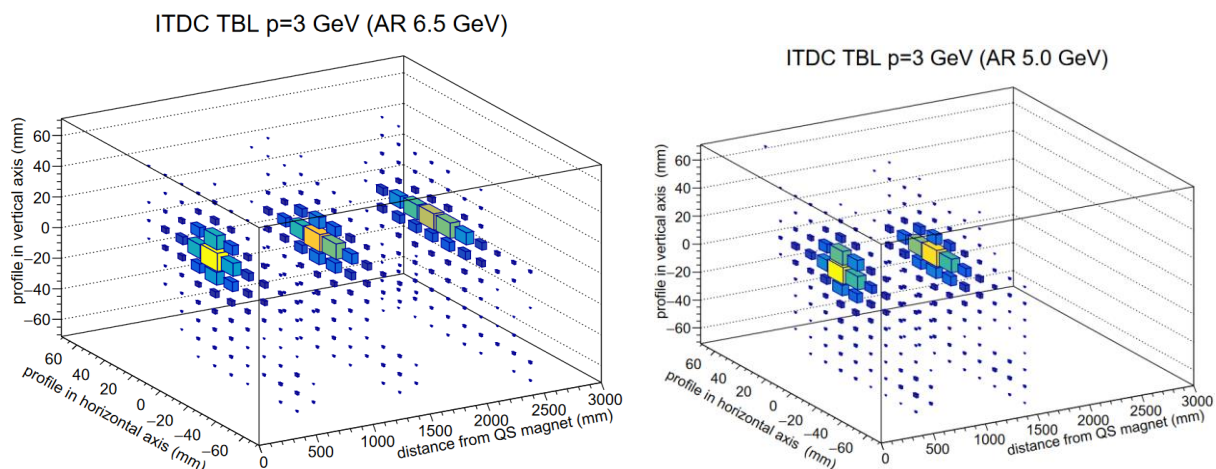


図7 ビームプロファイルのビーム軸方向依存性。四重極電磁石の出口を $z = 0$ として、 $z = 0.65$ m、 $z = 1.50$ m そして $z = 2.50$ m における運動量 3 GeV (Okazaki 設定) のプロファイルを表示している。
(左) AR 6.5 GeV 時 (右) AR 5.0 GeV 時

表2にビーム中心付近を抜き出し、ガウス分布でFitした時のSigmaをまとめた。垂直方向の焦点は $z = 2.5$ m より後ろにあり、下流に行くほどビームが細くなっている。水平方向は二重極磁石で運動量選別をしているため、幅広のビームでどんどん広がっている。センサーのテストにはできるだけ上流で行うのが良いことがわかる。

ビーム幅 (Gauss fit の sigma)	$z = 0.65$ m	$z = 1.50$ m	$z = 2.50$ m
$p = 3$ GeV (AR6.5 GeV) 水平方向	10.0 mm	12.9 mm	14.8 mm
$p = 3$ GeV (AR 5.0 GeV) 水平方向	10.2 mm	12.8 mm	---
$p = 3$ GeV (AR6.5 GeV) 垂直方向	8.8 mm	7.1 mm	5.2 mm
$p = 3$ GeV (AR5.0 GeV) 垂直方向	8.9 mm	7.0 mm	---

表2. ビーム幅のビーム軸方向依存性

8. 結果の公表予定

秋の北海道大学で行われる日本物理学会で発表予定。

9. 今後の要望

以上