

FLYING WIRE BEAM PROFILE MONITOR AT THE J-PARC MR

Susumu Igarashi^{1,A)}, Dai Arakawa^{A)}, Kotoku Hanamura^{B)}, Yoshinori Hashimoto^{A)},
Masaki Teshima^{A)}, Takeshi Toyama^{A)}

A) High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

B) Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

A flying wire beam profile monitor has been assembled and installed at the main ring of the Japan Proton Accelerator Research Complex. The monitor is to measure the horizontal beam profile using a carbon fiber of 7 $\mu\text{m}\phi$. The fiber crosses the beam with the speed of 10 m/s. Secondary particles from the beam-wire scattering is detected using a scintillation counter. The scintillator signal as a function of the wire position is to be reconstructed as a beam profile. The high scanning speed and the minimum material are necessary for the accurate beam profile measurement. The monitor has been operated in the beam commissioning run of the main ring. The beam profile data have been successfully acquired after the reduction of the beam background.

J-PARC MR フライニングワイヤービームプロファイルモニター

1. はじめに

フライニングワイヤーは、KEK PS^{11, 2)}等の円形陽子加速器で使われているビームプロファイルモニターであり、ビームを横切るようにワイヤー形状のターゲットを動作させ、そのときの散乱粒子を観測することによってビームプロファイルを再構築するモニターである。その散乱によりビーム分布が変化するようにでは正しいプロファイル測定にならないので、ターゲットとしては細いカーボンファイバー等の物質の少ないものを使い、そのスキャン動作を速くすることで、ビームを破壊することなくプロファイルを測定するようにしている。また、ワイヤー位置の測定することにより、ビームプロファイルおよびビームサイズの絶対値測定を行う。

Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) の Main Ring (MR) の水平方向のビームプロファイル測定のためにフライニングワイヤーモニターを1台製作し、動作試験、ワイヤー位置校正を行い、ビームコミッショニングランにおいてバックグラウンド測定、プロファイル測定を行った。

2. モニターの製作

長さ90 mm、直径7 μm のカーボンファイバーを回転半径137 mmのアルミ合金製フレームに接着剤エレクトロダックで固定した。フレームは真空容器内の回転軸に固定し、その回転軸は磁性流体を使った真空シールユニットを通して大気中にあるDCサーボモーターに固定されている。真空容器内では、ワイヤー以外の物質、フレーム、回転軸、構造支持材が想定される大きさのビームにあたらないように設

計されている。また、その回転角度はポテンシオメーターにより測定され、回転動作のフィードバックおよびワイヤー位置の測定に用いられる。1回の動作は、回転角 θ が待機位置の -150° から $+150^\circ$ まで行き、また -150° に戻る動作を 0.2 s で行い、 θ は時間 t についての関数 $\theta(t) = -150^\circ \times \text{COS}(2\pi t/0.2)$ となるように制御している。フィードバック回路を含むモーター制御盤は、モーターから 30 m 離れたケーブル用のサブトンネル内に設置し、その制御盤に電源を供給する電源盤と制御信号を供給しワイヤー位置信号を受け取るコントローラーは、さらに 100 m 離れた電源棟に設置した。

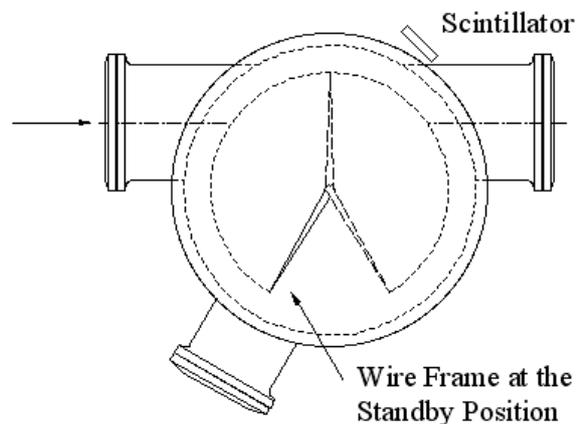


図1：フライニングワイヤーの平面図。

¹ E-mail: susumu.igarashi@kek.jp

真空容器の外に接するように、大きさ 5 cm × 5 cm で厚さ 5 mm のシンチレーターを設置し、ワイヤーとビームの散乱粒子をとらえるようにしている。シンチレーター光は光電子増倍管で電気信号とし、さらにその信号はプリアンプで 10 倍とし、130 m 離れた電源棟に同軸ケーブルで送り、ワイヤー位置信号とともにデジタイザーRTD720Aに接続している。

3. ワイヤー位置校正

MR内での設置位置の近くの水平台上にフライングワイヤーを置き、実際に使われるケーブルおよび読み出し回路を使用し、ワイヤー位置の校正を行った。 -150° から $+150^\circ$ まで 15° 刻みで停止するように電源棟でワイヤー角度設定を行い、トンネル内でセオドライトを使ってワイヤー位置を測定し、同時に電源棟でワイヤー角度読み出し電圧を測定した(図2)。セオドライトは測機舎製TM-1Aでマイクロメーター最小読取値は $1''$ 、望遠鏡分解能は $2.5''$ である。

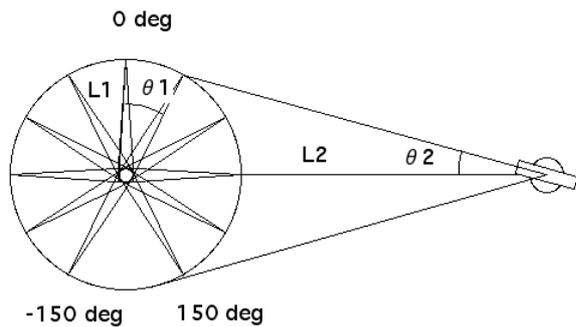


図2：セオドライトによるワイヤー位置の測定方法。

ワイヤー回転中心とセオドライトの距離 L_2 はワイヤーフレーム半径 $L_1 = 137$ mm (図面值) を仮定して求めた。セオドライトにより θ_2 を測定し、それから θ_1 を導いた。図3(上)にポテンシオメータ出力電圧とワイヤー角度 θ_1 の散布図を示す。直線フィットにより、ポテンシオメータ出力電圧からワイヤー角度への変換定数が 105.5 となった。 -150° の測定値は最後に測ったもので、履歴効果でずれがあると思われるフィットから外した。また、図3(下)に直線フィットと測定角度の違いを $x = 137$ mm \times $\cos(\theta_1)$ の値のずれで示した。ヒストグラムには x が正のものだけをプロットしている。RMSが 0.2 mm であることより、校正した変換値を使うと、この程度の精度で、ワイヤー位置測定ができることがわかる。

Wire Position Calibration with 50Ω terminator Wire Angle(deg)

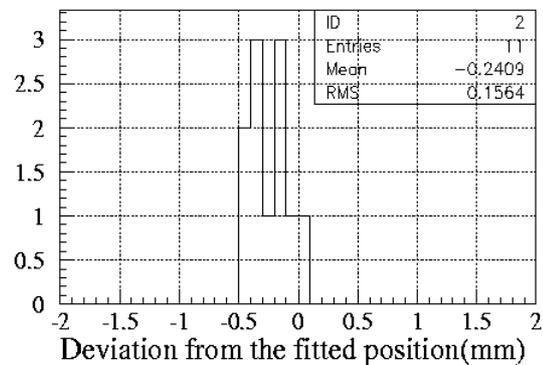
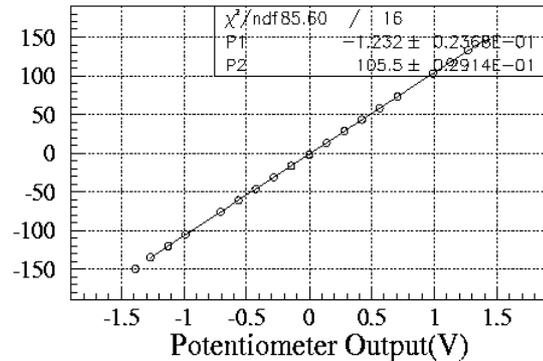


図3：(上)ポテンシオメータ出力電圧とワイヤー角度 θ_1 の散布図。(下)直線フィットと測定角度の違いを $x = 137$ mm \times $\cos(\theta_1)$ の値のずれで示す。

4. ビームバックグラウンド

ビームコミッショニングの初期ではビームロスが大きく1 s 間で約 1/4 しか生き残らない状態であった。全周ビームロスモニターによると、入射直線部のコリメーターで大きなビームロスが観測されていた。フライングワイヤーはコリメーターの後方にありロス分布の端となっていた。この状態でシンチレーター信号を見ると、プリアンプがオフの状態でも非常に大きなバックグラウンドが見えた。時間的には入射直後より 0.2 s までは入射セプタムの漏れ磁場等の影響で非常に大きなロスがあり、0.8 s 以降はダンプセプタムの影響で大きなロスが観測された。0.2 s から 0.8 s の間は比較的ロスが少なくなっている。その間でもロスの比較的少ない入射後 0.6 s にワイヤーを動作させたが、ワイヤーによる散乱粒子を観測することはできなかった(図4)。その後水平方向チューンを22.27、垂直方向チューンを20.78と設定することより1 s 間でのビームの生き残りが 90% となり、ロスが顕著に少なくなった^[3]。

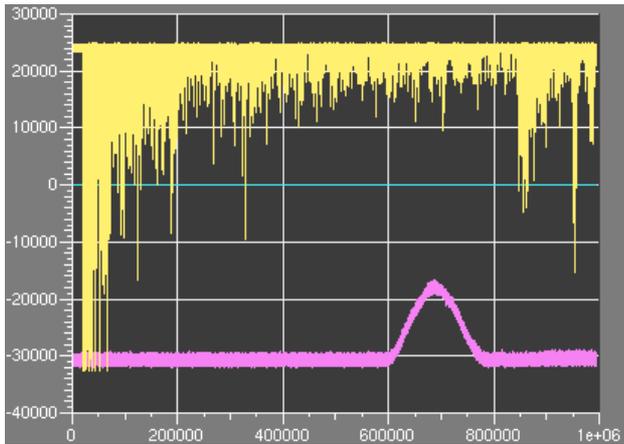


図4：シンチレーター信号（黄色）の時間変化（縦軸はarbitrary unit、横軸は0 s から1 s の時間を1MHz サンプリングで取ったときのサンプリング数を示す。）とワイヤー角度読み出し電圧（紫色）の時間変化（0.6 s から0.8 s の0.2 s 間で、角度読み出し電圧が-1.5 V から+1.5 Vとなり-1.5 Vに戻る変化で、ワイヤー角度が-150° から+150° となり-150°に戻る動作を示す）。

5. ビームプロファイル測定

ワイヤー動作開始トリガーはビーム入射後 0.56 s と設定した。また、ビーム入射後 0.62 s をデジタルタイザRTD720Aのトリガーとし、シンチレーター信号およびワイヤー角度信号のデータを 20 ns のサンプリングで取得した。これはワイヤーがビームを4回横切るうちの2回目のデータをとることとなる。ワイヤーがビームを1回目に横切るときより2回目に横切るときの方がビーム散乱粒子に対するシンチレーターの立体角が大きくなり、信号の対ノイズ比が良いと判断した。それぞれ 1 Mサンプルのデータを 10 kサンプルごとの平均値を 100 の配列として、シンチレーター信号と角度から変換したワイヤー位置の散布図を図5に示す。この時、ワイヤーがビームを横切る相対速度は一定ではなく、ビーム散乱はその相対速度に逆比例すると仮定して、ワイヤーの相対速度による効果は補正した。

得られたビームプロファイルについてガウス分布を仮定してフィットを行うと、標準偏差 σ は 14.1 mm であった。また、モニター位置でのベータatron振幅関数の計算値 40 m を仮定すると、 2σ エミッタンスは 20π mmmrad であった。同じビーム条件で 3ショットのデータを取得したが、 σ は 14.1 mm ~ 16.8 mm であり、また 2σ エミッタンスは $20 \sim 28\pi$ mmmrad となった。ただし、これらの結果はまだ暫定的なもので、特にビームを使ったワイヤー位置の校正が必要である。

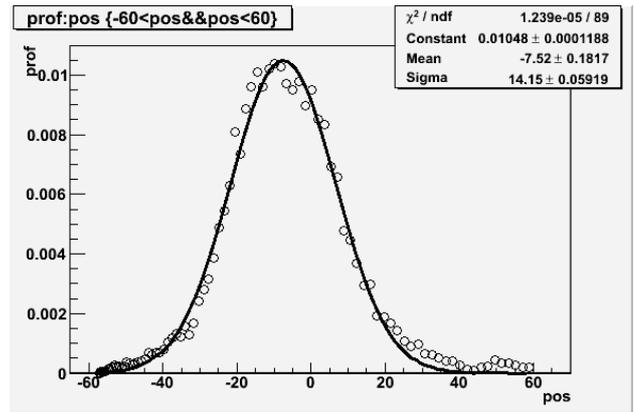


図5：水平方向ビームプロファイル。縦軸はarbitrary unit、横軸は mm単位のポジションを示す。

6. まとめと課題

フライングワイヤーモニターを製作し、J-PARC MR の水平方向ビームプロファイル測定のために設置した。ワイヤーがラン中に切れることもなく、安定な動作を確認した。当初、ビームバックグランドが予想以上に多く、ワイヤーとビームの散乱粒子によるシンチレーター信号の同定に困難があったが、チューニングによりビームロスが減った結果、散乱粒子信号が確認できるようになった。ただし、バックグランド量の測定、さらに信号対バックグランド比を良くするための検討が必要となる。ワイヤー位置の測定も、ビームを使った校正が必要で、今後の課題となる。

謝辞

フライングワイヤーモニターの製作および設置に際して真空グループのご協力を頂きましたことを感謝します。デジタルタイザのオンラインプログラムを作成して頂いたアクモス株式会社の根本弘幸さん、ファンクションシンセサイザーの制御プログラムを作成した関東情報サービスの飯塚上夫さん、フライングワイヤーコントローラーの制御プログラムを作成した制御グループの小田切淳一さんに感謝します。また、オフラインプログラムのフレームワークを作成して頂いた山田秀衛さんに感謝します。

参考文献

- [1] K. Koba, et al., "Fast Wire Scanner at the KEK PS" Proceedings of the 10th Symposium on Accelerator Science and Technology, Hitachinaka, Japan, 1995, p. 260.
- [2] S. Igarashi, et al., "Flying Wire Beam Profile Monitors at the KEK PS Main Ring" Nucl. Instrum. Meth. A482:32-41, 2002
- [3] 小関忠. "J-PARC MRのビームコミッショニング", in these proceedings.