

Calibration of Stripline BPM for ATF Linac

S. Kashiwagi, H. Hayano*

Department of physics, Faculty of education, Yokohama National University
 Tokiwadai 156, Hodogaya, Yokohama, Kanagawa, 240 JAPAN

*National Laboratory for High Energy Physics
 Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305 JAPAN

Abstract

Stripline type beam position monitor (BPM) is developed for the 1.54GeV Linac at the Accelerator Test Facility (ATF) in KEK. All BPMs were measured the relation between an electrical and a mechanical center, and their position detection sensitivities by using fast pulse transmission method with coaxial structure. The measurement system consisted of a fast pulse generator, a transmission wire of $\phi 50\mu\text{m}$ tungsten with gold plated and a signal-terminator. It was used laser sensor system to reduce initial alignment error of transmission wire to the mechanical reference position which is decided from reference planes of the standard support table. The results of measurement show that the BPMs have constant sensitivity coefficient within $\pm 1\text{mm}$ from the mechanical center. The uniformity of the BPMs are $\pm 10\mu\text{m}$ at that range. From these results, it was confirmed that all the BPMs have enough performance to required structures alignment accuracy of less than the $\pm 100\mu\text{m}$.

ATF リニアック用ストリップライン型ビーム位置モニターの校正

1. はじめに

リニアコライダのための試験加速器施設である ATF は 1.54GeV 電子リニアック、ダンピングリング、陽電子発生装置等で構成され、次世代リニアコライダのための各加速器コンポーネントの開発研究を行っている。リニアコライダではマルチバンチビームによる運転となるため、ビームの軌道制御および診断のための計測方法としては、何個かのバンチ通過の平均を測定する平均測定と、個々のバンチを識別し、個々のバンチ通過時に測定を行うシングルショット測定とが予定されている。ATF リニアックもマルチバンチビーム (バンチ数: 20、バンチ間隔: 2.8ns、1バンチ当りの電子数: 2×10^{10} 個) で運転される。その個々のビームの位置を測定するため、現在 80MeV 入射部においてマルチバンチビーム位置モニター (BPM)としてストリップライン型 BPM と高速サンプルホールド回路を組合わせたマルチバンチ BPM ビーム実験を遂行中である [1]。

そのストリップライン型 BPM の機械的中心と電気的中心とのオフセットを求める校正作業はワイヤーにパルス信号を与え、そのとき BPM より検出される信号を測定する方法で行った。その際用いるパルス信号用ワイヤーの基準位置 (機械的中心) への設置誤差を小さくするための、高精度三次元測定器およびダイオードレーザーセンサーを用いたワイヤー設置方法の開発を行った。本稿ではその校正作業の方法と測定結果について報告する。

2. ストリップライン型 BPM

ストリップライン型電極のビーム位置モニターは4つの電極に誘起する電荷量からビーム位置を測定する。そして、このストリップライン電極の場合、真空チャンバー内でビーム進行横方向にループ状のアンテナを構成するため、このループに入ってくる磁束の時間変化による誘導起電力の出力信号への寄与も考慮する必要がある。また、ストリップライン型 BPM の特長は低周波レスポンスにエンハンス効果があり、ベースバンド型の回路では比較的よい S/N 比が期待できる。ATF リニアックで使用されるストリップライン型 BPM のビーム進行横方向の電極寸法は電極のループにビームによる磁束が入り込まないよう、電極をチャンバー壁から奥に埋め込むような構造にした。この構造は、2次元静電磁場解析コード "POISSON" を用いて決定し

た。またストリップ電極の下流端は壁にショートしてあり、電極長はバンチ間隔や信号検出回路のスピードなどから 80mm とした (図 1)。

今回の測定では、出力電圧信号からのビーム位置変換には一次近似式 (1) を使用した。

$$x = k_x \frac{V2 - V4}{V2 + V4} \quad y = k_y \frac{V1 - V3}{V1 + V3} \quad (1)$$

なお、V1 ~ V4 は BPM 上方より時計回りにつけた番号の電極からの電圧値であり、 k_x 、 k_y は x (水平)、y (垂直) 方向の位置感度係数である。(2チャンネル対向型の回路を2個使用したので校正精度を上げるために、対向する2つの電極の電圧差を用いた。)

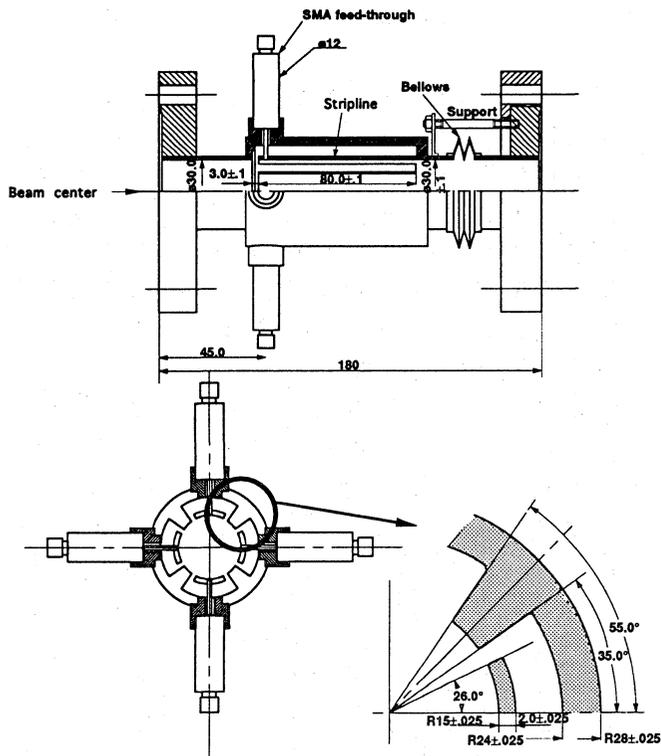


図1 ATF リニアック用ストリップライン型 BPM 寸法

3. 校正

3.1 概要

ATFリニアックではビーム進行横方向の加速器構成要素の設置は、架台上面のエッジ端面への押しつけによって行っている。(その精度は架台上面とエッジ端面の機械加工精度および各コンポーネントの支持架台の機械加工精度とエッジ端面押しつけ方によって決まる。)この場合、架台上面とエッジ端面から水平方向250mm、高さ400mmの位置に基準位置(機械的中心)が定義され、ここが実際のビームセンターに相当する。Qマグネットの中心は平面架台を介して、このBPMの機械的中心と関係づけられる。また、BPMの信号から直接得られる情報は、4つの電極の信号が等しくなる位置(電気的中心)である。そこでBPMからの情報でビームを制御するためには、この機械的中心と電気的中心の関係、つまりオフセットを求めておかなければならない。

今回の校正作業では、位置感度係数、オフセットの測定および機械的中心付近での位置感度の均一性を調べた。

3.2 校正方法

校正作業はワイヤー(φ50μm金メッキタングステンワイヤー)にパルス信号を与え、そのときBPMの4つの電極からピックアップされる信号を測定することにより行う。校正用の全体のセットアップは図2のようにになっている。パルス信号伝送用ワイヤーの両端は絶縁のためのマコール材で作られたV字型ブロック上に設置する構造とした。ワイヤーの一端はSMAコネクタに接続しパルス信号入力端とした。他端には100gのテンション用の重りを吊るし、50Ωの抵抗で終端することによって信号の反射がないようにした。このBPM信号の読み出し回路には、SLACのFFTB実験などで使用されているエレクトロニクス(pulse stretcher amplifier, Track & Hold circuit etc.)を用いた[2]。読み出し系の位置分解能は一回のパルス信号に対して2μm程度である。今回の測定では50ナノ秒の計測を行い、その平均値をワイヤー位置としたので、位置分解能は $\sigma = 2\mu\text{m}/\sqrt{50} = 0.3\mu\text{m}$ である。

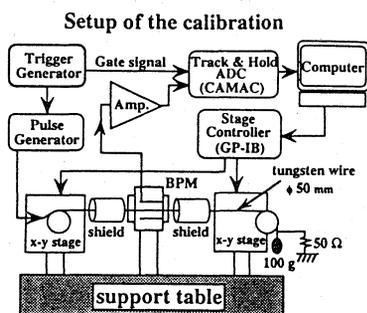


図2 校正用セットアップ

位置感度係数の測定は、パルス信号用ワイヤーを機械的中心を原点とするx軸上、y軸上を数百μmステップで移動させ、そして各位置での4つの電極からの出力電圧信号から求めるワイヤー位置とステージの移動距離(機械的中心からの距離)から位置感度係数kを求めた。このとき出力電圧信号とワイヤー位置、位置感度係数の間の関係式には(1)式を使用する。

オフセットの測定は機械的中心にパルス信号用ワイヤーを設置し、パルス信号を与え、出力信号よりオフセットを評価した。出力信号からの変換には(1)式を用い、位置感度係数は測定したものをを使用した。

また、機械的中心付近での位置感度の均一性を調べるため

に、x-yステージによりワイヤーをBPMの機械的中心付近でx、y方向それぞれ数百μmステップで移動させる。そして各位置での出力信号から求める位置を視覚化(マッピング)することにより均一性を評価した。

3.3 パルス信号用ワイヤーのセットアップ

3.2に示したようなパルス信号を用いた校正方法において、基準位置(機械的中心)へのパルス信号用ワイヤーの設置は顕微鏡などを使って行われているが、その際のワイヤー設置誤差は30μm程度とかなり大きい。そこで、パルス信号用ワイヤーをx-yステージ間の基準位置(機械的中心)に設置する際の設置誤差を小さくするために、基準ワイヤー支持台上に設けたワイヤー設置用の深さ20μm程度のV溝とワイヤーの位置を写し取るためのダイオードレーザーセンサーを使用した。このダイオードレーザーセンサーは発光部(レーザーダイオード)、受光部(フォトダイオード)と光学用のレンズからなり、レンズと受光素子の間に焦点が合うようにセットアップする。レーザーダイオードからの光(可視光λ = 670 nm)は広がり角が非常に大きいため、スリットを使い光の強度の強い部分をレンズで絞って用いた。そして、ワイヤーが焦点付近を横切ったときの光量の変化をフォトダイオードで検出し、ワイヤー位置を測定する。以下にそのパルスワイヤー設置手順を説明する。

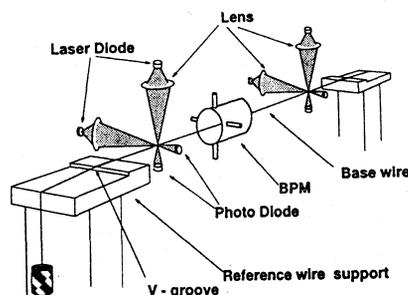


図3 パルス信号用ワイヤーセットアップ

まず、x-yステージ間にパルス信号用ワイヤーを設置する前に図3の基準ワイヤー支持台のV溝に、ワイヤーがきちんとはまる様に設置する。このときのワイヤーの基準面(架台上面およびエッジ端面)からの位置は3次元測定器を使用し、0.1μmの分解能で上面からの押しあて測定を行った。その結果、基準ワイヤーはV溝に繰り返し誤差(ε₀)3μm以下で設置できることを確認した。つぎに図3のレーザーセンサーをセンサー支持台に取付けたマイクロステージ(最小読み取り0.5μm)を使って、BPMの両端で2方向(x、y方向)ずつスキャンを行う(図3)。このとき、フォトダイオードで検出される光量(電圧値)は図4のようにワイヤーの位置で最小となる。この測定を複数回繰り返し光量が最小となる位置の分布より求めるワイヤーポジションにレーザーセンサーのステージを固定する。また、この基準ワイヤーのレーザーセンサーでの写し取り精度(ε₁)は約7μmであった。このあと、基準ワイヤーとその支持台を取り除き、パルス信号用のワイヤーをx-yステージに設置する。そして、レーザーセンサーで検出される光量が、上記の光量と等しくなるようにx-yステージを移動させワイヤーを機械的中心に移動させる。このときのパルス信号用ワイヤーのセンサーを介しての写し取り誤差(ε₂)は約5μmであった。また、パルス信号用ワイヤーのx-yステージに取付けられたV字マコールへのワイヤーの繰り

返し架け換え誤差(ϵ_3)は約7 μm 程度であった。以上より、パルス信号用ワイヤーの設置誤差 ϵ は、これらからの寄与を考慮して約12 μm 程度であったと考えられる。

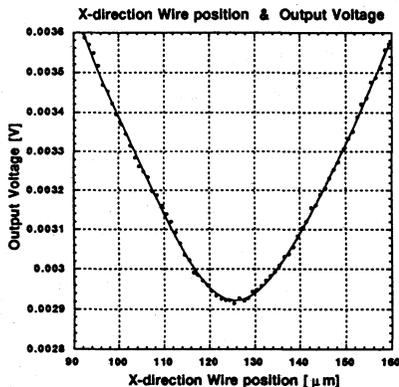


図4 ダイオードレーザーセンサーの出力電圧値

3. 4 測定結果

位置感度係数・オフセットの測定

x, y方向の位置感度係数 k_x, k_y は、x-y軸上の $\pm 500\mu\text{m}$ を50 μm ステップでワイヤーを移動させ、各位置での出力信号より求まる位置(Xpos, Ypos)とワイヤー移動距離(Xset, Yset)をグラフにプロット(図5)し、直線フィットをすることによって、その傾きから求めた。

オフセットの測定には、上記のように求めた位置感度係数 k_x, k_y を用いて行った。こうして得られた10台のBPMについてのオフセット分布を図6に示す。

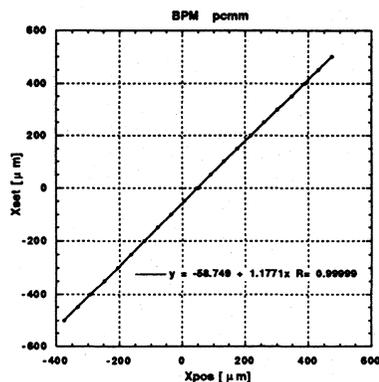


図5 x軸上のワイヤーによるスキャン

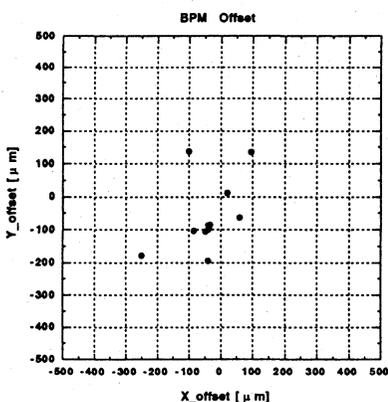


図6 電氣的中心のオフセット分布

この分布からx, y方向に対するオフセットの平均値および標準偏差は $X_{\text{offset}} = -41\mu\text{m}$ 、 $Y_{\text{offset}} = -58\mu\text{m}$ 、 $\sigma(x, y) = 43\mu\text{m}$

であった。測定したBPMの中には、平均値より著しくはずれたものはなかった。また、これらのオフセットの値は測定の誤差と製作精度から期待されるものと一致している。

マッピング

マッピングは-1500 μm から1500 μm の間を250 μm ステップで、バックラッシュの影響を抑えるためにステージを常に同じ方向から移動させて行った。また、ワイヤーの移動による振動も考慮にいれ、1回のワイヤー移動に振動減衰時間も含め5秒程度をとった。図7はこうして得られたマッピングデータである。機械的中心から大きく離れたところでわずかに歪みがみられるが、これは先に示した位置変換の関係式が1次の近似式のため、中心から離れるにしたがって近似が悪くなるためである。しかし、結果は全てのBPMで機械的中心付近での位置感度均一性は $\pm 10\mu\text{m}$ 以内であった。このことから、実際ライナックの運転でビーム重心の軌道は中心より $\pm 1\text{mm}$ 以内であると考えられるため、ビーム位置の測定には先に示した位置変換式を用いてもなんら問題がないことがわかる。

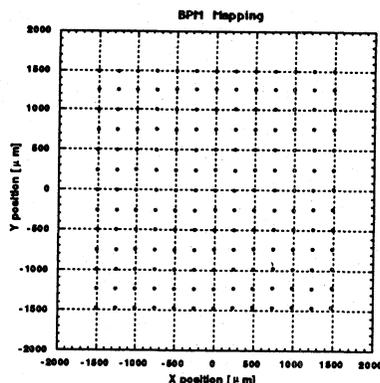


図7 ワイヤーによるマッピングデータ

4. まとめ

ATFリニアック用に開発されたストリップライン型BPMについて、オフセットの測定および機械的中心付近での位置感度の均一性の確認を行った。今回、校正に用いるパルス信号用ワイヤーの設置誤差を小さくするためにレーザーセンサーを用いた。その結果、従来の顕微鏡などでの設置誤差よりも十分小さい12 μm という誤差でワイヤーを設置することを可能にした。今後、レーザーの温度安定性、校正用の架台や支持台の熱による膨脹およびレーザーセンサー内の光学的アライメントなどを詳細に解析すれば、さらに設置誤差を小さくすることが可能だと考えられる。

謝辞

今回の測定作業等に当り、ATFグループの諸氏に大変お世話になりました。ここに改めて感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Hayano 本研究会
- [2] H. Hayano et al.; KEK Preprint 92-118
H. Hayano et al.; SLAC-PUB-5691