

SYSTEMATIC CALIBRATION OF BEAM POSITION MONITOR AT J-PARC LINAC

S. Sato^{1, A)}, T. Tomisawa^{A)}, F. Hiroki^{A)}, S. Lee^{B)}, Z. Igarashi^{B)}, M. Ikegami^{B)},
A. Ueno^{A)}, Y. Kondo^{A)}, K. Hasegawa^{A)}, T. Toyama^{B)}, J. Kishiro^{A)}

N. Kamikubota^{B)}, M. Takagi^{C)}, M. Tanaka^{D)}, H. Akikawa^{A)}, H. Sakaki^{A)}, H. Yoshikawa^{A)}

^{A)} Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 300-0801

^{C)} Kanto Information Service Co., LTD, 8-29 Bunkyo-machi, Tsuchiura, Ibaraki, 300-0045

^{D)} Mitsubishi Electric System & Service Co., LTD 2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

As a joint project of KEK and JAERI, a MW class of high intensity proton accelerator (J-PARC), consisting of Linac, 3 GeV-RCS, 50 GeV-MR, is under construction. For this accelerator, it is required to minimize the beam loss (typically, lower than 0.1~1 W/m at the linac). To achieve the requirement, beam trajectory needs to be controlled with accuracy of some 100 μm . The first stage of the acceleration (up to 181 MeV during the first stage of construction) is done by linac. The beam position monitor (BPM) in the linac utilizes 4 stripline pickups (50 ohm) on the beam transportation chamber. In this paper, systematic calibration of the BPM is described.

J-PARC LINAC用ビーム位置検出器の較正

1. はじめに

現在高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所の共同プロジェクトとして、1 MWクラスの大強度陽子加速器 (J-PARC) の建設が進んでいる。このような大強度加速器においてはビームの加速中での損失を0.1%程度以下に抑えることが必須である。それを実現するため、ビーム軌道は数100 μm 程度以下の精度で、計測し制御することが要求される。本論文は、ビーム位置検出器 (BPM) の系統的な較正について議論する。

2. BPM電極の設計

J-PARCの初期加速 (第一期計画では181MeV) は linacによって行われる。ビーム位置検出器 (BPM) としては、ビーム輸送用チャンバー内にストリプライン型ピックアップ電極 (50 Ω) を設置した構造を用いる。省スペース、高位置精度の為、4極磁石の電極で支持する構造とした。このとき、反射を防いだり、電極間の信号バランスをとるために、電極のインピーダンス整合が大切である。linac上には、上流から内径で、37.7, 40, 70, 85, 120mmの5種類のビーム輸送用チャンバーがあり、口径の小さなもの2種に関しては、構造の比較的単純な、平板電極を採用した[1]。大口径の3種に関しては感度 (対ノイズ信号比) を上げるために電極の立体角 (電極幅) を大きく取り、内径に沿った曲面電極を検討している。

図1は、電極板のインピーダンス計算をする為に

用いているPOISSON[2]で描いた、設計中の電極周りの電界の様子である。ビーム軸方向に垂直な断面図であるが、対称性があるので、4分の1のみ描いてある。左が平板電極、右が曲面電極の例である。

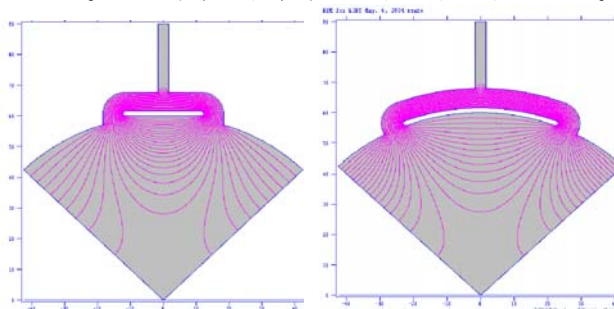


図1 : BPM電極のインピーダンス計算に用いているPOISSONで描かせた、設計中の電極周りの電界の様子 (左) 平面電極の例, (右) 曲面電極の例。

3. BPMの較正

このBPMの較正は2段階で行われる。① (ビーム模擬用に加速周波数324MHzを印加した) ワイヤを用いた較正台による、設置前スキャン、② ビームを用いた設置後スキャン (Beam Based Calibration = BBC) の2段階である。

設置前スキャンでは、ワイヤを用いてビームを模擬し電極の電氣的ゼロ点を測定する。設置後スキャンでは、実際のビームを用いて4極磁石の中心と、BPM電極中心との位置の差を較正する。

¹ E-mail: susumu.sato@j-parc.jp

3.1 較正台を用いた設置前スキャン

鋼鉄製のワイヤーに324MHzの定在波を印加することにより、ビームを模擬して電極の電氣的ゼロ点を測定する。図2は、BPMを較正台に設置した状態（横から見た図）の設計図と写真である。BPM自身を中心に設置して下から固定してある。真空ダクトを模擬した連通用パイプを左右両側に配置しそれぞれ下から固定している。BPMと連通用パイプの中にビームを模擬するため、324MHzを印加するワイヤーをはる。ワイヤーはその更に外で、N型コネクタ芯線に導通させ、片側は高周波源につなぎ、反対側は終端する。連通用パイプは電極板を介してN型コネクタの外線に導通してある。ワイヤーをチェンバー断面の約80%の領域で駆動させ、信号の読み出しスキャンを行う。既に、ワイヤー移動試験を行い、動作確認を行った。

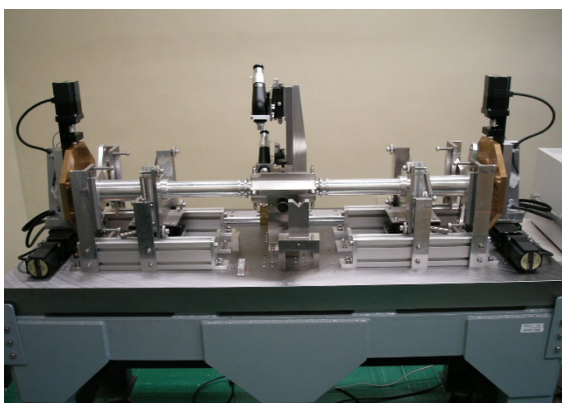
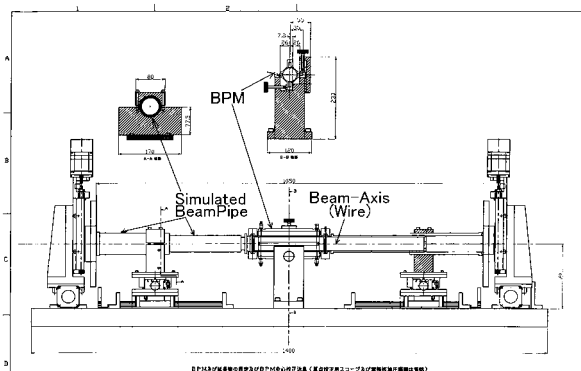


図2：(上) BPM較正台の概観設計図（幾何学的配置を計測するための、光学顕微鏡は省略してある）(下) BPM較正台の写真。共に、中央に設置してあるのがBPMである。

3.2 ビームを用いた設置後スキャン

実際に4極磁石内に設置した後、ビームを用いて4極磁石の中心と、BPM電極中心の位置誤差を較正する。手法は、

(i) 上流にある4極磁石中のステアリング用コイルを用いてビームを振り、

(ii) (i) のそれぞれのビーム位置に対して、BPMの配置されている4極磁石の磁場を通常値から数%程度振る。

(iii) (ii) で磁場を変化させても下流のBPMで位置変化が観測できなければ、(ii) で着目している4極磁石の中心をビームが通過しているということである。下流のBPMで位置変化がゼロにならなくても、その変化率から(i)でどの程度ビームを振ったときに4極中心にきているかが分かる。

(iv) (iii) でゼロになったときの、(ii) で注目している) BPMの読みが、4極磁石とのずれに相当する。

(v) (i) ~ (iv) とは独立に、読み出し回路(ログアンプ+ADC) 入力を上下(或いは左右) 入れ替えて読み出し系のゼロ点も測定しておく。

この手法をKEKでコミッショニング中のMEBT(RFQとDTL1の間) でテストした。4極磁石(8台)の配置を示したものが図3である。BPM(8台)はそれぞれの4極磁石内に配置されている。ステアリング用のコイルは4極磁石1, 2, 4, 6内に配置されている。

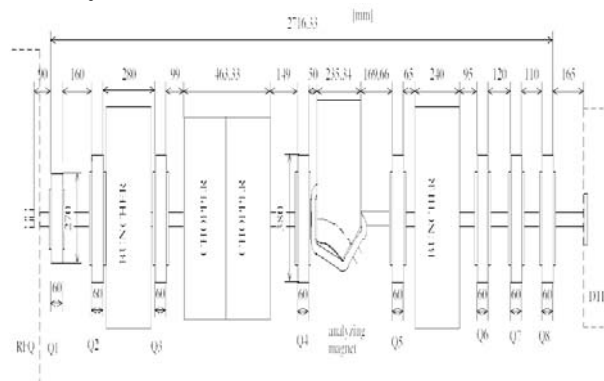


図3：MEBTの配置図[3] (BPMはそれぞれの4極磁石内に配置されている。ステアリング用のコイルは4極磁石1, 2, 4, 6内に配置されている)。

ビームを用いた較正は、SAD[4]と呼ばれる加速器設計・コミッショニング用のコード群を用いて行った。後段の円形加速器との連続性を考慮してSADを基礎とした。ステアリング磁場、4極磁場のふり幅、絶対値を注目すべき領域に限定し、かつ自動的にスキャンするようにしたので、1台のBPMあたり約15分で測定することが可能になった。この測定の自動的な進み具合は、既存のデータ表示アプリケーションでも概観をモニターしておくことが出来る[5]。図4は、左が手順(i)~(ii)を、右が手順(iii)~(iv)を、あるBPM(上流から6番目のもの。ステアリングは4番目、検出用BPMは8番目) に対して表示したものである。

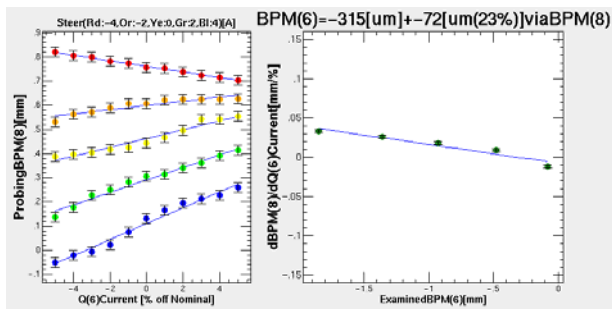


図4 : Beamを用いた、BPMの(4極磁石内における)位置較正の様子。「左のグラフ」上流のステアリングコイル(この場合4番)でビームを振りながら(赤橙黄緑青の順に、ステアリング磁石の電流を-4、-2、0、+2、+4 [A]と変化させた)、縦軸:下流のBPM(この場合BPM8)の示す位置[mm]、横軸:4極磁石(較正しようとしているBPMが内部に設置されている)の電流値[典型値からのずれを%で表したもの]。「右のグラフ」縦軸:左のグラフの傾き[mm/%]、横軸:較正しようとしているBPMの(電流値が典型値の時の)示している位置[mm]

既に初期的な実験を開始しており、その結果をまとめたものが表1である。数十 μm 程度の精度で磁場中心とのずれが評価可能である事がわかる。検出用BPMに関しては、較正しようとしているBPMのすぐ下流に設置されたものでなくても、小さな誤差が得られることが分かる。

較正するBPM番号	垂直水平の別	ステアリング磁石	検出用BPM	中心値[μm]	誤差[μm]
BPM2	V	1	5	29	93
	H	1	5	-265	109
BPM3	V	2	4	36	32
	H	2	4	-313	222
BPM4	V	2	6	379	76
	H	2	6	-442	292
BPM5	V	4	8	-371	126
	H	4	6	-185	-
BPM6	V	4	8	-315	72
	H	4	7	-46	-
BPM7	V	4	8	100	88
	H	6	8	17	-

表1 : ビームによるBPMの位置較正結果

3.3 較正結果の利用

また、この較正值を使って、TRACE3D[6]と呼ばれるビーム軌道シミュレーションと、データを比較したものが図5である。パラメーターとして、ビームの初期位置(a)、初期角度(b)、それぞれの4極磁石

に対する設置位置ずれ等からくるキック角(c(1~8))、の3種類を用いて、ビーム軌道の傾向の理解を試み始めた。図5では、シミュレーションとデータとの差や、キック角に対応する磁石設置位置のずれ、がまだ数十 μm より大きいものがあるので、パラメーターの最適な組{a, b, c}を求めるための手法を最適化することを試みている。

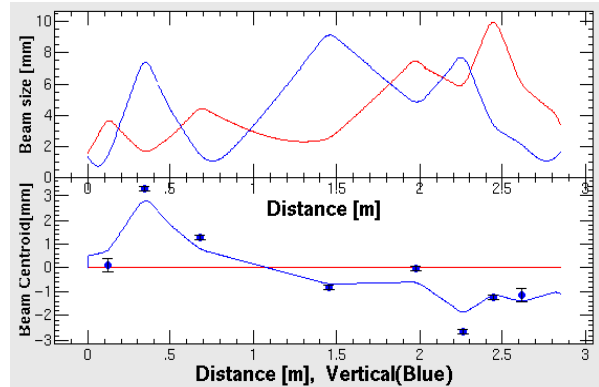


図5 : 較正後ビーム位置とシミュレーションTRACE3D)との比較。(上)ビームサイズ(シミュレーションのみ)(下)ビームの中心軌道(垂直方向のみ表示してある)である。青は垂直、赤は水平。丸印がデータである。

4. まとめ

ストリップライン型ピックアップ電極を持つJ-PARC LINAC用位置検出器(BPM)を、実際のビームを用いて位置較正した。数十 μm 程度の精度で磁場中心とのずれが評価可能である事がわかった。位置較正結果を用いてビーム軌道をシミュレーションと比較をし、軌道の概略理解を行った。較正台を用いて電極の電氣的ゼロ点を自動測定する準備を進めている。今後は、この較正台による電氣的ゼロ点測定、ビーム軌道のシミュレーションとの比較の精度向上、を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Tomisawa, et al., Design of 4-Stripline Beam Position Monitors of the J-PARC LINAC SDTL., This proceeding.
- [2] Poisson Manual, J.Billen, L.Young, LANL, LA-UR-96-1834.
- [3] J-Parc Design Report (JAERI-Tech 2003-044, KEK Report 2002-13) Fig. 3.1.2.3.10より。
- [4] SAD ManualとSAD home page <http://acc-physics.kek.jp/SAD/SADTKinter.pdf>とsad.html
- [5] M. Takagi, et al., Beam-monitor Software at the KEK 60-MeV Proton Linac, This proceeding(Fig4はBBC中の表示).
- [6] Trace3D Manual (3rd ed.) K.Crandall, D.Rusthoi, LANL, LA-UR-97-886.