

EMITTANCE MEASUREMENT WITH WIRE SCANNERS AT J-PARC LINAC

H.Akikawa^{1,A)}, Z.Igarashi^{B)}, S.Lee^{B)}, K.Hasegawa^{A)}, F.Hiroki^{A)}, M.Ikegami^{B)}, J.Kishiro^{A)}, Y.Kondo^{A)},
K.Nigorikawa^{B)}, T.Ohkawa^{A)}, H.Sakaki^{A)}, S.Sato^{A)}, M.Tanaka^{C)}, T.Tomisawa^{A)}, T.Toyama^{B)}, A.Ueno^{A)},
H.Yoshikawa^{A)}

A) Japan Atomic Energy Research Institute, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195, Japan

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

C) Mitsubishi Electric System & service Co., Ltd, 2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045, Japan

Abstract

Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) is being constructed. The beam tests and the R&D of the monitors for J-PARC linac are being performed at KEK. In this paper, we report the measurements of the beam size and the emittance with wire scanners at J-PARC linac which is under commissioning at KEK. The measurement with bias voltage for wires is also discussed.

J-PARCリニアックにおけるワイヤースキャナーを用いたエミッタンス測定

1. はじめに

日本原子力研究所 (JAERI) と高エネルギー 加速器研究機構 (KEK) の統合計画として、大強度陽子加速器 (J-PARC) の建設が行われている^[1]。J-PARC のリニアック 部は H⁺ イオン源、RFQ (3 MeV)、DTL (50 MeV)、SDTL (191 MeV)、ACS (400 MeV) から構成されるが、RCS 入射のための高品質なビームを生成するため、ビーム電流やプロファイルなどを測定するビーム診断系の役割は重要である。ビームサイズおよびエミッタンスの測定のために検討が進められている検出器のひとつにワイヤースキャナーがある。現在 KEK において DTL1 までのコミッションングが行われており、RFQ と DTL を繋ぐ部分である MEBT1 の四箇所にワイヤースキャナーを設置して試験が行われている。図1に MEBT1 のレイアウトとワイヤー

スキャナーの設置位置を示す。

2. ワイヤースキャナー

セラミックのフレームに対して ±45° 傾けた二本のワイヤーを張り、X 方向・Y 方向のワイヤーとする。これをパルスモーターを用いて 0.1mm 刻みで駆動し、ビームに対して垂直に、水平方向に対して 45° の傾きで挿入しながらワイヤー電圧を記録した。H⁺ ビームがワイヤーに当たる際に H⁺ 中の電子が流れ込むことで電圧が発生するため、ビーム電流に比例した信号が得られる。図2にセラミックフレームの写真を示す。AD 変換には YOKOGAWA の WE7116 を使い、各点ごとに 1 μs のサンプリング周期で 1ms の波形記録を行った。現時点では、ワイヤーの移動時間も含め最大 5Hz のテイキングレートでデータを取

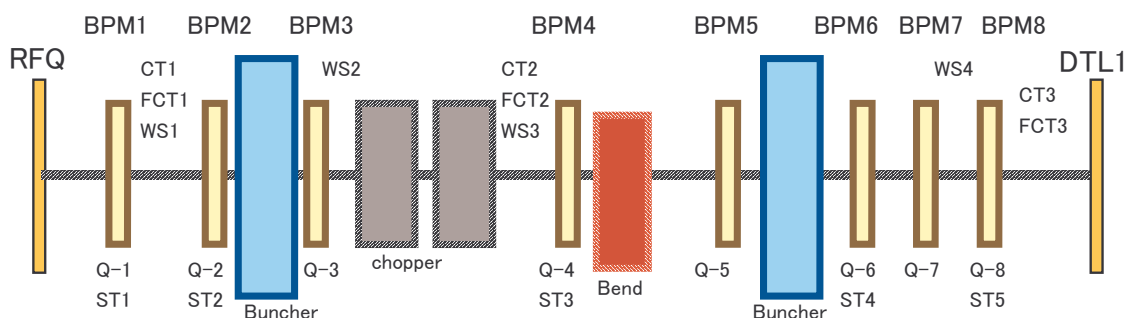


図1: MEBT1のレイアウトと各種モニターの配置 (WS=ワイヤースキャナー)

¹ E-mail: akikawa@post.j-parc.jp

得できている。

当初ワイヤーには直径 $50\mu\text{m}$ のタングステンを用いたが、タングステン中の H^- の飛程は $20\mu\text{m}$ 程度であるため、ワイヤー中で停止するビーム粒子による熱負荷に耐えられず溶断してしまっただ。現在はよりエネルギー損失の少ない直径 $7\mu\text{m}$ のカーボンファイバーを用いている。



図2: ワイヤースキャナーのセラミックフレーム

3. ビーム測定

3.1 ワイヤースキャナーの信号

実験はビーム強度 $5\text{mA}\sim 25\text{mA}$ で行った。図3にワイヤースキャナーの信号波形の典型を示す。上図はワイヤーがビーム中心付近にある場合の波形の時間変化を、下図はワイヤーを動かしながら各点での信号の時間平均(幅 $30\mu\text{s}$)をプロットすることでビームプロファイルを求めた結果である。

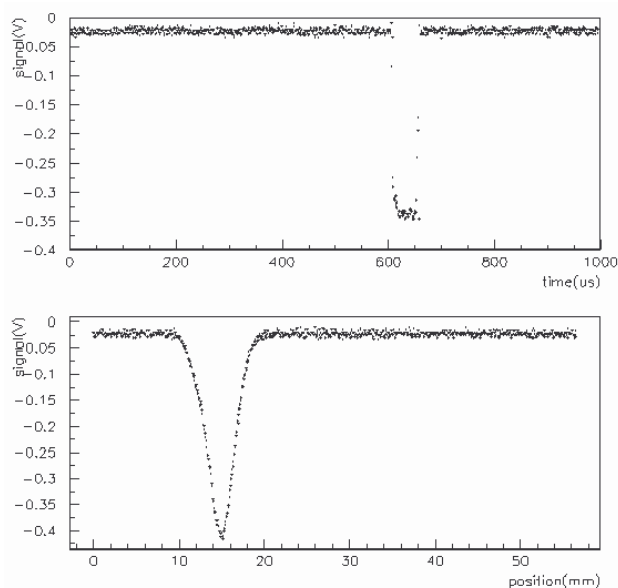


図3: ワイヤースキャナーの信号波形

3.2 バイアス電圧の印加

H^- ビームに対するワイヤースキャナーの挙動にはまだ不明な点も多い。測定器に対する理解をより深

めるため、ワイヤーにバイアス電圧を印加したデータも収集した。図4はビーム電流 5mA においてバイアス電圧を変化させた時の、ビーム中心での信号の大きさをプロットしたものである。正負両方のバイアスに対して信号が得られ、符号が途中で反転する現象が観測された。バイアス無しおよび正電圧印加時には H^- ビーム中の電子がワイヤーに流れ込むため負の信号が得られるのに対し、負電圧印加時にはワイヤーからの二次電子の流失が信号の主原因となるため正の信号が得られるものと考えられる。

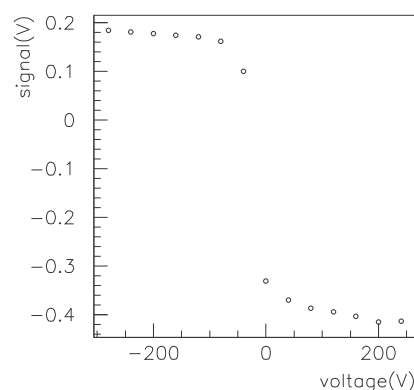


図4: バイアス電圧に対する信号の大きさの変化

図5はバイアス電圧 $0, -240\text{V}, +240\text{V}$ の三条件に対してビーム電流を変化させた場合の信号の大きさの変化である。電流の違いによりビームプロファイルも変化するとと思われるため、ワイヤーの移動量に対して信号電圧を積分した値をプロットした。バイアス 0V および -240V では信号の大きさがビーム電流にほぼ比例するのに対し、バイアス $+240\text{V}$ のケースではビーム電流が大きくなると信号電圧が加速的に大き

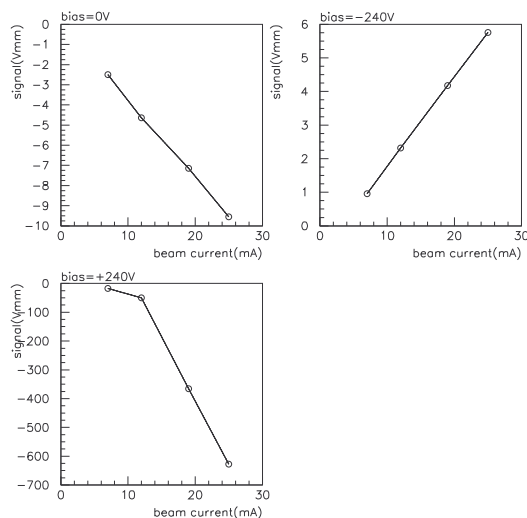


図5: 各バイアス電圧でのビーム強度に対する信号の大きさの変化

くなり、信号強度の比例性が崩れる現象が観測された(図6)。ワイヤーに流れこむ電流が大きくなりすぎるため発生する磁場がビームを乱している可能性があると思われる。

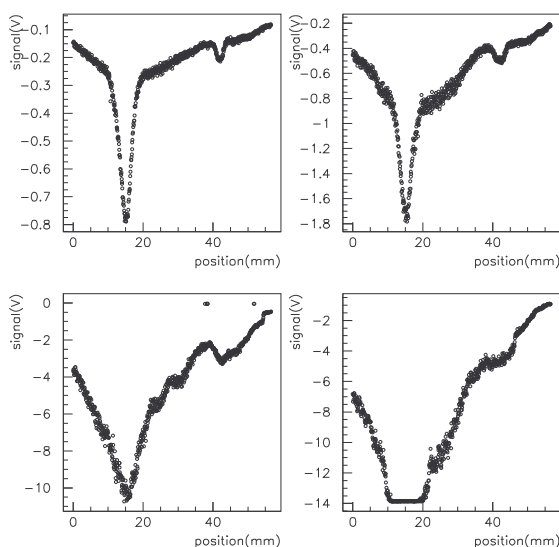


図6：バイアス電圧+240V時の測定プロファイルの変化。ビーム電流は順に7mA, 12mA, 19mA, 25mA。15mm付近のピークはビームを、40mm付近の小さいピークは同じフレームに張られたもう一本のワイヤーによる散乱を示している。

4. 計算との比較

2002年にRFQ出口においてスリット型のエミッタンスモニターで測定したエミッタンス^[2]を元に、TRACE3D^[3]を用いてビーム電流5mAの場合の各ワイヤースキャナー位置での予測ビームサイズの計算を行った。その値をバイアス電圧無しワイヤースキャナーでの測定ビームサイズと比較したのが表1である。数値的には最大で20%程度のずれが見られるが、両者の傾向は概ね一致している。

ワイヤースキャナーの測定データからTRACE3D

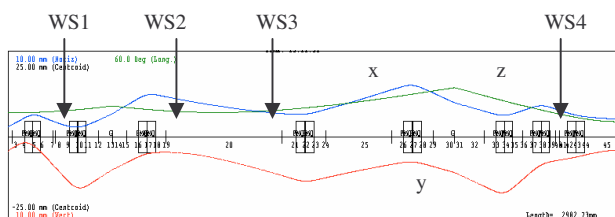


図7：TRACE3Dによるビームサイズの計算

のELLIPSEコマンドでエミッタンスを求め比較したのが表2である。水平方向、垂直方向共にエミッタンスは十数%程度の差異で一致した。

表1：ビームサイズの測定値と計算値。Twissパラメータの計算値も示した。

		測定値	計算値		
		rms (mm)	rms (mm)	α	β (mm/mrad)
WS1	X	0.83	0.77	1.38	0.27
	Y		1.61	-7.63	1.07
WS2	X	1.61	2.09	2.04	2.02
	Y	0.77	0.81	-0.02	0.27
WS3	X		1.21	0.45	0.68
	Y	1.72	2.02	-2.61	1.68
WS4	X	1.45	1.45	2.34	0.97
	Y	1.04	1.25	1.01	0.65

表2：非規格化rmsエミッタンスの測定値と予想値

	測定値 (π mm mrad)	予想値 (π mm mrad)
ϵ_{rmsx}	1.87	2.17
ϵ_{rmsy}	2.17	2.43

5. まとめ

KEKで稼動試験中のJ-PARCリニアックにおいて、Hビームを測定するためのワイヤースキャナーの基礎データ収集とビームサイズおよびエミッタンスの測定を行った。バイアス電圧によってワイヤースキャナーの信号が大きく変化すること、特に正負双方のバイアス電圧に対し信号が得られ、その符号はバイアス電圧の極性によって反転することが確認された。正電圧に対してはビーム強度によっては信号の比例性が崩れることも確認された。バイアス電圧無しでの測定から求められたビームサイズとエミッタンスには、20%程度の誤差で計算との一致が見られた。今後はより大きなビーム電流での動作試験やより高速な動作の実現に向けて取り組んでいきたい。

参考文献

- [1] Y.Yamazaki (eds), "Accelerator Technical Design Report for J-PARC", KEK-Report 2002-13; JAERI-Tech 2003-044, <http://hadron.kek.jp/member/onishi/tdr/index.html>
- [2] A.Ueno, et.al. "Beam Test of a Front-end System for the JAERI-KEK Joint (JKJ) Project", Proc. Of LINAC2002(2002)
- [3] T.Weiland, Part.Accel., 17, 227,(1985).