

Multi-Wire Beam Profile Monitor for J-PARC 3-50 BT and MR

Yoshinori Hashimoto^{1,A)}, Suguru Muto^{A)}, Takeshi Toyama^{A)}, Dai Arakawa^{A)}, Masahiko Uota^{A)}, Yoshio Saito^{A)},
Masashi Shirakata^{A)}, Youichiro Hori^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}, Daisuke Ohsawa^{B)}, Teruhisa Morimoto^{C)}, Minoru Mitani^{D)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba Ibaraki, 305-0801

^{B)} Kyoto University

Radioisotope Research Center, Kyoto University, 606-8501 Kyoto

^{C)} Morimoto Engineering

13-102 Iruma-River-Side, 603-1 Bushi, Iruma Shi, Saitama, 358-0053

^{D)} Minotos Engineering

1-16-28 Naka, Kunitachi, Tokyo, 186-0004

Abstract

For injection beam on main ring (MR) of Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC), multi-wire type beam profile monitors (MWPM) was made. MWPMs were located into the injection beam line of 3-50BT and injection point of MR. Their targets were 32 or 64 channel array of gold coated tungsten (W) wire of which diameter was 30 micron. Secondary electrons emitted from the target caused by proton beam hitting were measured on each wire. It is feature that charges are transmitted with no amplifier about 400 meters maximum from the target to a signal processing module located in local control room. Then, signals are amplified, integrated, and converted into digital of ten bits depth by the module consists of 32 channels.

This paper will be described about manufacturing methods for the equipment mainly, and also first beam measurements.

J-PARC 3-50 BTとMRのマルチワイヤービームプロファイルモニター

1. はじめに

大強度陽子加速器であるJ-PARC MRのビームトランスポート（設計ビーム電流： 4×10^{13} ppb）において、ビームプロファイルを計測するための簡便かつ確実な方法として、マルチワイヤータイプの2次電子計測モニターを採用した。破壊型ではあるが、ビームが一回通過であり、またターゲットでのエネルギー損失が大きいので運転中に常時使用できる。

大強度の場合、ビームロスによる真空中の発熱を考慮し、ターゲットの材質には金属もしくは無機質の物質が使われる。2次電子の放出率は、材質によって数倍程度の差異であるので[1, 2]、静温時と発熱時とのヒートサイクルでの変形によるダメージを受けないような物質を使う必要がある。耐熱性の観点からは、高い融点を持つことが望ましく、タングステン（融点：3387°C）などのワイヤーや、チタン（融点：1675°C）などの数ミクロンの薄いフォイルが使われる。ロスを少なくする観点からは、原子番号の小さな物質が良い。また、金属薄膜などをリボン化することで、出射される2次電子の量がワイヤー型に比べて大きく取れる。このためビーム周辺の密度の低い領域までの計測が可能となる。使用するワイヤーやリボンは、エミッションが均一である必要がある。J-PARC MRでは、カーボンリボンを候補にして、開発を進めているが、今回のビームコミッショニング(DAY-1)には、250 mm 四方以上の大きなサイズの製作が間に合わなかったため、

KEK-PSやNMLビームラインで実績のある30 μm ϕ のタングステン(W)ワイヤーを用いた。

2. MWPM装置の配置

インストールされたMWPMは計6台であり、全長230 mの3-50 BTラインでは、上流部のRCSからの入射ビームのための2台(#1, #2)、コリメータ直後に#3、下りのスロープを終え下流の水平部に#5、入射直前に#9の計5台である。完成時には全9台となる予定である。MRの入射地点では、3-50 BTからの入射ビームとMRを周回してきたビーム（1回に限る）を計測する#INJが1台である。配置概略を図1に示す。

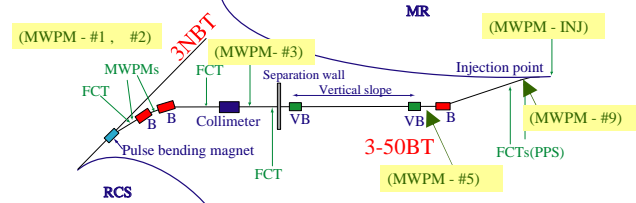


図1:3-50 BT及びMR入射点のMWPM配置概略図。

3. MWPM装置

3.1 真空容器と駆動機構

3-50 BTの標準的なMWPM装置図を図2に示す。ビー

ムパイプ内径は200 mmφであり、ストロークは250 mmである。3-50-#1とINJが例外で、3-50-#1では、ターゲットチェンバーのビームパイプ内径が230 mmφで、ストロークが300 mmである。INJは、ストロークが430 mmである。

駆動には直線導入機を用いており、これは将来に1 μm程度の薄いターゲットを取り付けるために、移動時の衝撃などを極力避けたいことと、動作中に真空内のケーブルが動かないようにするためである。

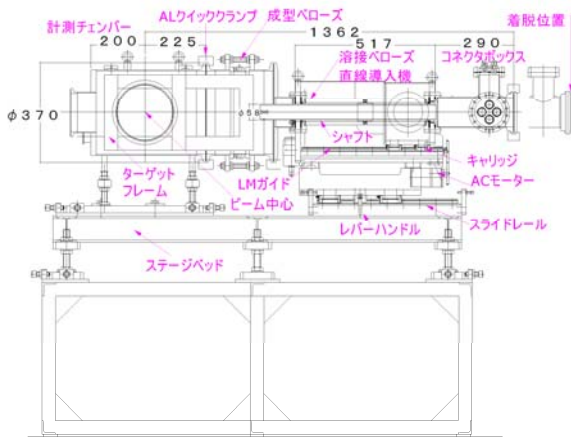


図2: 標準型の3-50BTのMWPM装置

ステージベッドの上に、計測チェンバーと直線導入機が載る構造である。直線導入機は、スライドレールに載っており、メンテナンス時には、計測チェンバーと成型ベローズ間のクイッククランプを外し、200 mm程度着脱位置まで引き出し、吊り上げて外す。取付時は逆であり、脱着の再現性が高く、微調整は不要である。伸縮部には耐久使用回数10万回の溶接ベローズが使用されており、レイデント皮膜（防錆）を施したLMガイド上をターゲットを連結したシャフトは直線動作する。ボールネジのベアリング類には、耐放射線を考慮し、モレスコグリスを使用した。動力には、KEKで実績のあるサーボレスACモータを用い、速度は、約1 mm/sである。

表1. 各MWPMとターゲットパラメータ

MWPM Name	Dir.	Ch.	Pitch [mm]	Beam Size [mm]
3-50 BT #1	H	32	4.0	40~120
	V	64	3.5	80~180
3-50 BT #2	H	32	3.5	50~101
	V	32	4.5	67~133
3-50 BT #3	H	32	2.5	35~43
	V	32	3.5	71~87
3-50 BT #5	H	32	4.0	73~115
	V	32	2.5	50~81
3-50 BT #9	H	32	4.0	90~126
	V	32	2.5	36~73
INJ	H	64	4.5	60
	V	32	5.5	100

3.2 リボンピッチ

リボンピッチは、各MWPMの位置でのビームサイズから決定した。チャンネル数は、処理回路に合わせて32chを基本とし、広範囲なプロファイルが必要な場所で、2倍の64chとした。表1に、各MWPMのch数、ピッチ、予想されるビームサイズをまとめる。

3.3 ターゲットフレーム

3-50 BT用の標準的なターゲットの写真を図3に示す。セラミック基板サイズ(H×V)は、外300×280、内200×200 mm²であり、H用ワイヤー。電子収集膜(Ti-foil:1.2 μm)、V用ワイヤーの3枚が、額縁型のアルミフレーム(写真一番奥)の上に、10 mm間隔で構成されている。

ターゲットフレームは、セラミックス(Al₂O₃:99.6%)、厚み3 mmであり、焼結後の平坦度は、0.1mmである。ワイヤー用ターゲットのフレーム表面の電極とリード線のパターンの焼成材質は、AgPtとAuである。AgPtをメインの配線部に使用しているのは、ワイヤー電極部の半田付けでの熱負荷がかかる場合でも、セラミックスに対する付着強度が高いためである。ケーブル接続部では、Auを使用している。金メッキした燐青銅のコンタクトピンのセラミックスコネクタで、圧接するためである。

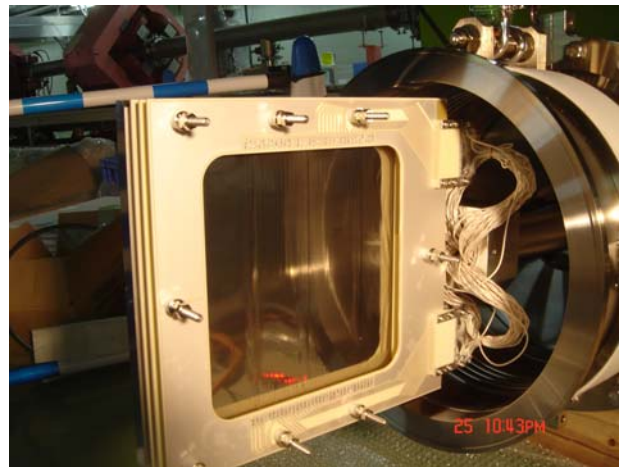


図3: 3-50BT用MWPMの標準的なターゲット基板。

今回のような比較的大きな300 mm程度四方のフレーム型セラミックス基板に、AgPtとAuのパターンを焼成するには、いくつかの技術が必要である。厚膜印刷したAgPtでは、850°Cの温度にて、酸素リッチな雰囲気中での焼成(約10分)が必要であるが、昇降温時には急激な温度変化を避けなければならない。残留応力のためコーナー近辺にクラックが発生するためである。約1 m³程度の内容積をもつ電気炉を用いて5L/min程度の酸素ガスを供給しながら、約30時間をかけて昇降温させて製作した。また、AuとAgPtの接合部では、Auの異常拡散により接合部が収縮し、パターンが破断する問題が生じていたが、Auを印刷、乾燥させた後、AgPtを印刷し、一度に

AgPtの焼成温度850°Cで焼成することができた。

3.4 タングステンワイヤー

30 μ m ϕ のAuコートしたタングステン(W)ワイヤーは、直径のばらつきが $\pm 4\%$ 、Auコート厚みが0.3 μ m である。ビーム照射を行うとAu部は飛んでしまい、Wだけの状態となる。Auは、接合部での異種金属との半田等の接合をなじませる役割をもつ。予めHIMACのビームによる使用したワイヤーのエミッションのばらつきを測定したが、2%以下と良好な値を得た。フレーム上のAgPt電極との接合には、真空中での使用を考慮し、InSn合金をフラックスなしで超音波半田付けとした。ワイヤーへの張力は、50g とした。

3.5 真空内の信号ケーブル、コネクタ

ターゲットフレーム上のパターンは、セラミックコネクタでケーブルに接続される。ターゲットを含めてチェンバーとは絶縁を取っている。信号は、断面積0.22 mm²のセラミック(40%)・シリコンヤーン(60%)の被覆をもったツイストペアケーブル約1.1m と、複数のバーンディータイプ22極のセラミックフィードスルーを通して大気側に導かれる。このケーブルのガス放出率は1 m 長さあたりで、排気開始から100時間後に4 $\times 10^{-8}$ [Pa \cdot m³/s] であり、実際の使用時には、各MWPMチャンバ近傍で圧力は10⁻⁶ Pa のオーダーであった。内径58 mmのシャフト内のケーブル占有率は、凡そ1/3(H, V共に32ch)または1/2(H, Vいずれか64CH)程度である。

4. 信号ケーブル、処理回路

信号用の34chの多芯同軸ケーブルは、今回のためにフジクラが製作した1.5D-QEBZ \times 34C EM-MCX-TAZE (外径37mm ϕ) である。微弱な電荷(DAY-1では、pCオーダーもしくはそれ以下)を計測するために遮蔽を強化してあり、電磁遮蔽に0.6 mm²の電磁鋼帯を2枚、その内側に静電遮蔽に0.7 mm²のアルミニウムコルゲートを用いた。1.5Dの各同軸信号線には縦添えのアルミナイズドテープを巻き、100kHzまでの範囲で漏話特性は-60dBである。使用長さ最長約400 mで処理回路と装置を結ぶ。MRトンネル内には、前置処理回路を置く場所は設けていないためである。

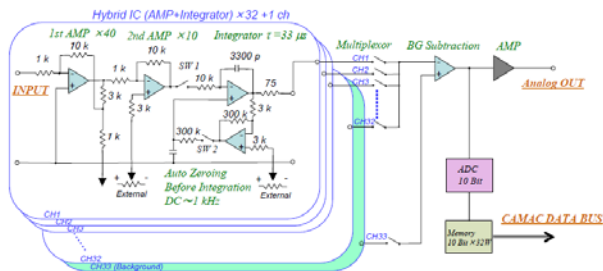


図4：CAMAC-MWPMモジュール。

信号処理回路(図4)には、KEK-NMLビームラインで

使用されていた10bit-32ch のADCを搭載したCAMAC-MWPMモジュールを転用した。入力部は2段のアンプ(400倍、入力抵抗1k Ω)と積分器(時定数33 μ s)で構成されたハイブリッドICである。積分処理後に、マルチプレクサを通して、ターゲットワイヤーの一番端に張ってあるBG計測用のワイヤー(32ch目)からの信号との差を取った後に、AD変換される。信号ケーブルの電気容量は数10nFに上るため、電荷信号がケーブルから放電される時定数は、100 μ sのオーダーを持つ。このため積分ゲート時間は、500 μ s程度としている。

ノイズ対策は十分にはできていないが、特に入射時刻のパルス機器からの影響が大きい。処理回路のACラインをノイズカットトランスで完全に絶縁し、信号ケーブルのアルミコルゲートを装置側と処理回路側の両端で接地することでかなり影響を受けにくくできることがわかってきた。ケーブル外側の電磁鋼帯は、処理回路側での接地が効果があり、現在はA種の接地点に接続している。

5. ビームプロファイル

5月と6月に行われたMRのはじめてのビームコミッションにおいて、3-50BT MWPM-#1で計測された水平方向のビームプロファイルを図5に示す。ビーム強度は、4 $\times 10^{11}$ ppb であり、設計値の約1/100であった。またビームエミッタンスは、20 π mm.mrad程度であり、設計の81 π mm.mrad よりもかなり小さかった。計測は、MWPMモジュールのアナログ出力をスコープ上で10回の平均を取ったものであり、全幅約20 mmであった。

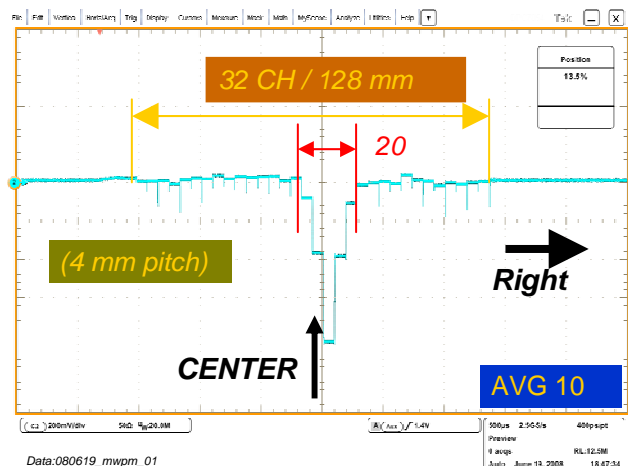


図5：3-50BT-#1-Hの最初のビームプロファイル。

6. 今後の課題

カーボンリボンターゲットへの置き換えと、ノイズ対策が今後の課題である。

参考文献

- [1] S. A. Blankenburg, et. al, NIM, 39(1966)303.
- [2] M. Plum, Beam Instrumentation Workshop, May3-6 2004, Knoxville, TN.