

DESIGN OF 4-STRIPLINE BEAM POSITION MONITORS OF THE J-PARC LINAC SDTL

T.Tomisawa^{1,A)}, J.Kishiro^{A)}, F.Hiroki^{A)}, S.Sato^{A)}, Z.Igarashi^{B)}, S.Lee^{B)}, K.Nigorikawa^{B)}, T.Toyama^{B)}

^{A)} JAERI, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195, Japan

^{B)} KEK, Tukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

In this paper, the present status of beam position monitors (BPM) for the SDTL is described. The impedance of strip line monitor have been adjusted in the construction of housing and electrodes of the BPM. The 4-stripline BPM has already been examined in the medium energy beam transport (MEBT) line. Preliminary results of beam position measurement for various beam conditions are reported.

J-PARC用リニアックSDTL部ビーム位置モニター的设计

1. はじめに

J-PARCリニアックは、水平・垂直方向4枚の電極によるストリップライン型のビーム位置モニター（BPM）を使用している。加速管径がビームエネルギーに応じて広がる領域は、電極半径もこれに応じて広がり、また、感度特性を最適化するため据付位置のビームエネルギーに合わせて電極長を調整する必要がある。観測精度はダイナミックレンジ30dBに対してビーム断面方向 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内が要求されている。この精度を確保するためには、信号処理回路や伝送ケーブルを含め、テストベンチによる較正やビームを用いた較正[1]が不可欠であるが、BPMの機械精度を高めることも必要不可欠である。簡便かつ低コスト、省スペースでこの要求を満たすためJ-PARCリニアックではBPMを四重極電磁石(Q-mag)の磁極で支持する構造としている。本論文ではビーム位置精度に大きく寄与する電極周辺部の設計とそれに伴うインピーダンス整合に関する検討結果について報告する。さらにKEK 20MeV DTL試験中にMEBTにおいて得られたBPMの試験結果についても議論する。

2. SDTL部BPMの構造

J-PARCリニアックのSDTL部は、32基の加速タンクを用いてビームエネルギーを50MeV～190MeVまで加速する。BPMは加速タンク間のダブレット（2個並びの四重極電磁石）を構成する前の磁石に設置する。上流部ではタンク間距離が短いため下流側の電極を50ターミネートしたストリップライン型を採用した。図1に電極ターミネート構造を示す。また、電極長はコスト及び感度評価を行った結果、SDTL部については3種類（100mm、120mm、150mm）で対応することとした。信号処理はAM-PM回路方式を予定している。

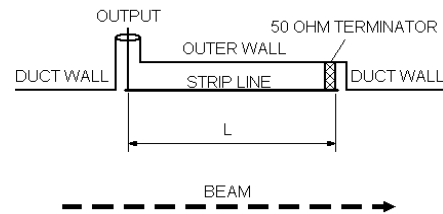


図1 BPM電極ターミネート構造

図2に断面構造を示す。SDTL部BPMは加速管径に合わせ内径を37.7mmとし、水平・垂直方向の電極が内接する構造となっている。電極は中心を見込む角度が小さいことから比較的製作が容易な板状電極としている。また、電極とBPMハウジング間に電極の設置精度を上げ、かつ接触と振動を防ぐためにセラミックスペーサを挟む構造とした。

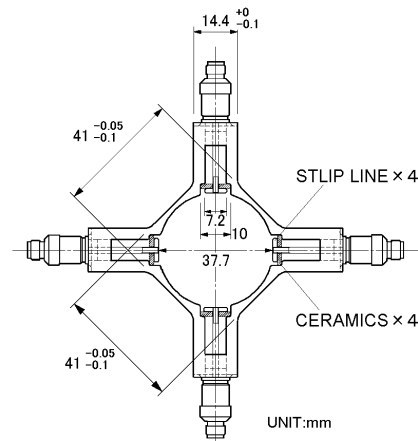


図2 SDTL部BPM断面構造

図2に示すBPMの公差に対し、Q-mag磁極径の公差は $\pm 30\ \mu\text{m}$ であることからBPM据付時の最大公差は上下左右45°方向共に $130\ \mu\text{m}$ となる。製作した

¹ E-mail: tomisawa@linac.tokai.jaeri.go.jp

BPMは全数寸法測定を行うが、溶接等によるねじれ成分も排除するためQ-magの最大公差を模擬した較正用治具を製作し、実際に据付可能であること及び誤差が公差内であることを確認した。治具にBPMを据付けた状態を図3に示す。BPMは各磁極において腕部分2箇所と胴部分1箇所計3ヶ所が接している状態になっている。機械的誤差と電氣的誤差は概略±0.1mm程度と期待されるが、さらに絶対位置精度を上げるため製作されたBPM全数に対して較正装置による信号バランスの確認と据付け後のビームを用いた較正[1]を行うことで±0.1mm以内の絶対位置精度を目指す計画である。



図3 SDTL用BPM模擬四極電磁石据付状態

3. SDTL部BPMインピーダンス測定

BPM加工精度を確認する溶接テストの際、BPM電極の接触防止（振れ止め）用セラミックの爪の部分が溶接歪により欠けたため、セラミック形状を再検討した。検討内容は図4に示すように、1)セラミックなし、2)従来どおりの形状、3)開口深さを伸ばしたリング形状、4)凹型サポートの4つの形状で、このうち構造上の利点を考慮し、3)の形状を採用した。

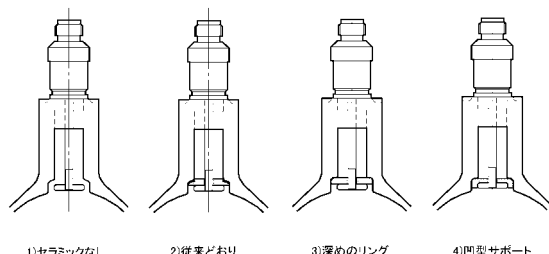


図4 セラミック形状検討内容

SDTL部BPM端子のインピーダンスを50Ωに設定し、この形状を用いてPOISSON CODEによるシミュレーションと試作品によるインピーダンス測定を実施している。電極厚さ1.5mm、内面開口幅10mmとした時、インピーダンスが50Ωとなる電極幅を求め

ると図5のようになる。シミュレーションでは7.2mm～8.6mmまで計算を行った。ここで50Ωを外挿すると約7.2mmとなる。シミュレーションの結果を参考にして、4つの幅(7.0mm、7.2mm、7.6mm、8.0mm)を持たせた電極を試作し、それぞれについてインピーダンスを測定した。試作品の測定結果から50Ωを内挿すると7.25mmとなり、結局加工精度の条件等からSDTL部BPMの電極幅を7.2mmに決定した。

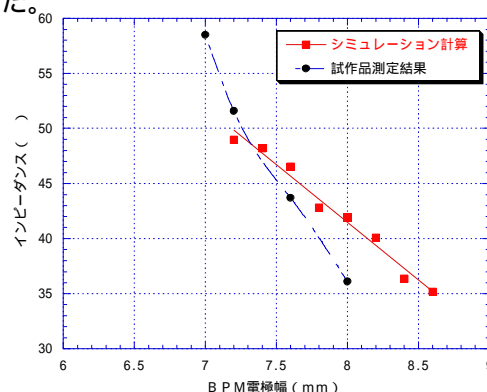


図5 BPMインピーダンス測定結果

4. MEBT部BPMとの比較

MEBT部BPMは、SDTL部BPMの設計の基礎となっているが、8基あるQ-magへの支持方法は、斜めから押える2点支持となっている。また、Q-mag構造の違いに合わせて3種類の内径(23.9mm×1個、35mm×5個、39.4mm×2個)のものを製作し、据付位置により前後の機器との取付寸法が異なるため、それぞれ個別に8個を設計・製作している。MEBT部BPMの場合も今回と同様数種類の幅の試作品を製作し、実際にインピーダンスを測定して加工寸法を決めている。この場合もPOISSON CODEを使用した評価を行ったが、今回と同様、計算値と測定値の結果の一致は見られなかった。形状モデルの再設定等により相関が取れていない原因を調査中である。MEBT部の電極厚さ1.5mm、内面開口幅10mmの条件はSDTL部と同じであり、内径23.9mmの電極幅は7mm、他は8mmとしている。

5. 最近の試験結果

KEK 20MeV DTL試験中にMEBTにおいて偏向電磁石を用いたビーム試験を行った。まず、最初の偏向電磁石(ST1)を振った時に通過するビーム位置の変化をどの程度正確に示すかBPMを使って測定してみた。図6にMEBT機器配置の概略構成を示す。

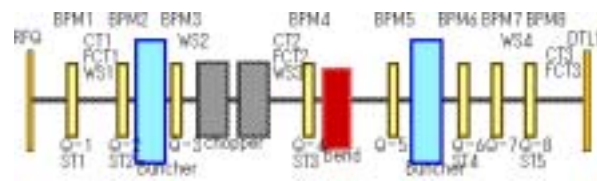


図6 MEFT機器配置概略構成

ST1の最大励磁電流は5Aでその時の偏向角は10.08mmrad(0.58°)である。ST1を垂直方向、水平方向それぞれに励磁電流を5A~-5Aまで1A毎に振った時のBPM2の位置指示とCT1の電流変化を図7に示す。BPM2はST1コア中心から約220mm下流に設置されており、最大励磁電流5Aでビームが振られたとすればBPM2の位置で2.23mm偏向する筈である。従って、マイナス側と合わせて4.46mmのビーム偏向が観測されなければならない。また、ビームがST1の中心を通っていれば、励磁電流0A時にBPM2は0mmとなる筈である。しかし、実験データを見る限りではビームはMEBT部に対し垂直方向に-0.87mmのオフセットを持っている。それは、角度にして-0.226°に相当する。CT1はST1から約100mm下流に設置されており、偏向されても通過する電流値が殆ど変化していない。BPM2は、垂直方向で6.3mm、水平方向で4.5mmのずれを観測し、ほぼ直線的に再現している。ゼロ点でクロスした計算値と比較すると水平方向は比較的計算値に一致しているが、垂直方向はマイナス側に大きくなっている。

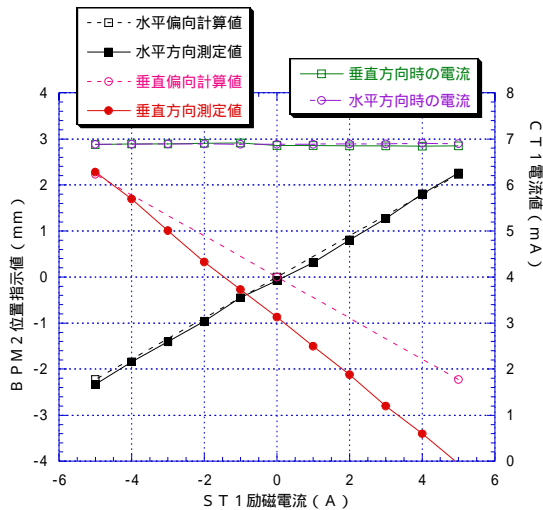


図7 MEBT部BPM2位置指示特性

図8に前述したST1と同様の手順、同様の条件によりMEBTのST3でビームを偏向させた場合の結果を示す。偏向角が大きくなったところで垂直方向測定時のCT3の電流値が途中から下がっている=ビームがロスしていることがわかる。BPM5はST3中心から約525mm下流に設置されておりST4の偏向角は最大励磁電流5Aで6.02mmrad(0.34°)である。ビームがST3の中心に入射したとすれば、BPM5の位置で3.12mm程度偏向するので、マイナス側と合わせて6.24mm程度のビーム偏向となる筈である。実際にはST3への入射角が水平・垂直方向共にマイナス側に振れていて振れ方向に傾きもずれていく傾向が見られる。

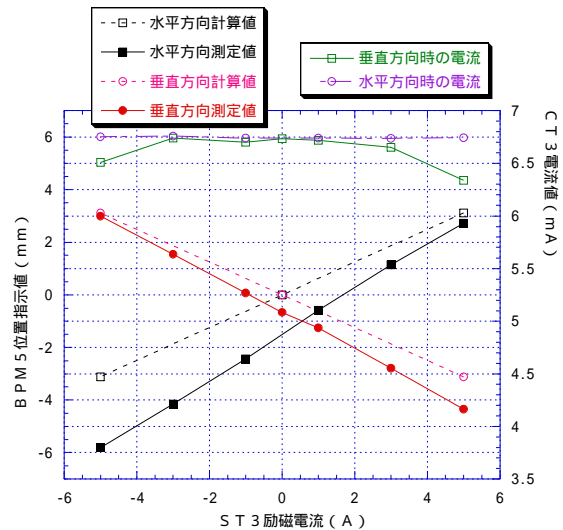


図8 MEBT部BPM7位置指示特性

6.まとめ

J-PARCリニアックに必要なビーム診断系としてSDTL部BPMの設計を行った。現在、A0BT部及びL3BT部に関しても開発・量産化を進めているが、電極半径が35mm、42.5mm、60mmと広がっていくに従ってピックアップできる電流が弱くなり、SDTL部と同一の電極形状では要求精度が得られなくなるのが予想される。このため電極幅を広げる、八橋形の加工を施す等の対策をしてBPMの感度を上げてゆく予定である。

本論文の5項目に実際の偏向電磁石(ST)を使ったBPMビーム試験結果を加えている。SDTL部ではないが、それ以前に同様の思想で設計・製作した製品の動作を確認することができた。

参考文献

- [1] S.Sato, et al., "Beam Based Calibration"
- [2] High-intensity Proton Accelerator Project "ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR HIGH-INTENSITY PROTON ACCELERATOR FACILITY PROJECT, J-PARC" KEK Report 2002-13/JAERI-Tech 2003-044
- [3] Proceeding of the 28 Linear Accelerator Meeting "TP-43 Beam monitor for J-PARC linac accelerator"