

[P8-34]

DEVELOPMENT OF HIGH RESOLUTION MULTI-BUNCH BPM

I.Yoshida,H.Hayano*

Department of Physics, Faculty of Science and Technology,

Science University Of Tokyo

Yamazaki 2641, Noda, Chiba, 278-8510, Japan

*High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

ABSTRACT

In the future JLC project, high resolution BPMs for multi-bunch beams are required to control beams as required for the main linac. The Stripline electrode is the most adequate pickup to detect multi-bunch beams without a long signal tail due to capacitive effect. Striplines in a BPM were formed on the inside of a ceramic tube by cutting out aluminized surface. The high resolution multi-bunch BPM was tested at the ATF linac end.

マルチバンチ用高分解能 BPM の開発

1、はじめに

ATF(Accelerator Test Facility)は、マルチバンチ低エミッタンスビームの実現を目指すための1.54GeVリニク、ビームトランスポートライン、1.54GeVダンピングリング、取り出しラインを有する施設である。

リニアコライダーではビームの繰り返しが少ないため、必要なルミノシティを得るためにはマルチバンチにすることが必要であり、また、マルチバンチビームを生成しても、wake fieldによってエミッタンス増大が起こるので正確な軌道制御が必要である。ビームを加速管の中心を通すことによってこの問題は解決できるが、本当に中心を通過しているのか、各バンチの位置を診断するための、マルチバンチ用高分解能ビームポジションモニターが必要である。現在のところ、シングルバンチ用の高分解能BPMは実用化されているが、マルチバンチ用のものをATFでは研究、開発している。1 μ m分解能、10 μ m絶対位置精度が目標である。

2、Stripline BPM

マルチバンチビームは、バンチ間隔が2.8nsecであり、光速で20個ものバンチが加速器内を通過するため、現在のところ各バンチを識別できる可能性が高いのは数cmのライン状の電極を有するStrip Line BPMである。

Strip Line BPMの長所は、ボタン型BPMに見られる、浮遊容量による波形のなまりが無く、マ

ルチバンチでも各波形が独立して表れる、という点である。

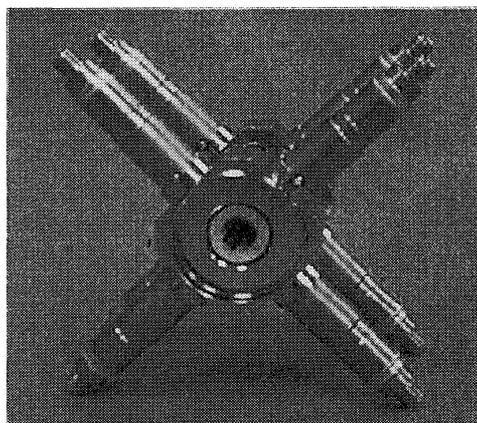


図1 測定に用いたBPM
白い部分がセラミック部で4本の
フィードスルーコネクタに支え
られている

一方、短所は電極とコネクタを接続する時に生じる設置位置精度の不安定性である。

3、新たに開発されたBPM

今回測定に使用したBPM(図1、2)は、円筒形のチャンパーと円柱形の誘電率9.8のセラミックを組み合わせて、更にチタン及びアルミニウムを

蒸着し、ドリルカットすることによって電極を作るため、従来型のストリップライン電極を作る時に生じる設置位置精度の不安定性を減少させることが出来る。逆に、チャンバーとセラミックを組み合わせる為に50 μ mの遊びが必要であり、セラミックと電極を、フィードスルーコネクタが固定しているが、それが原因となって生じる中心軸のずれの問題が後述するが、依然として残る。

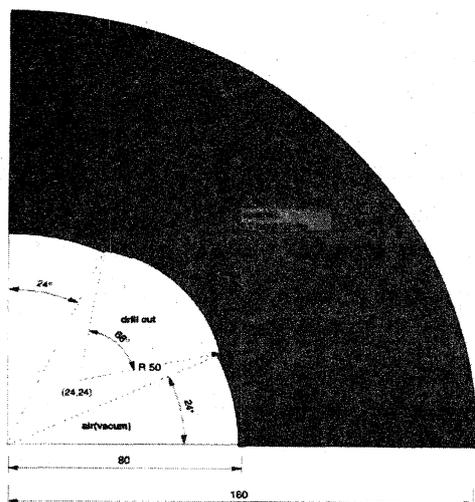


図2 BPMの4分の1断面図 (10:1)
灰色の部分がセラミックであり、中央がドリルカットの部分

4、位置分解能について

下式のように、対向電極の電圧シグナルおよび位置をV,Xで表し、誘起したシグナルの差分で位置を決める。

この時、Sを位置感度係数といい、ボア半径(対向電極の間隔)rを小さくすると、Sは小さくなり、ビーム位置をより感度よく伝える。なお、 $\Delta\Phi$ はビームからの見込み半角である。

$$X = S \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2}$$

$$S = \frac{r}{2} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\sin\Delta\Phi}$$

更に、信号処理系での熱雑音等による効果との畳み込みで位置分解能は決まる。

このタイプのBPMに限定すれば、如何にBPM本体でシグナルを稼ぎ、信号処理系でノイズを減らすかが、位置分解能を目標値に近づけるためのポイントである。今回の測定ではボア径を小さく(8mm)したことで感度を向上することが期待されている。更に、電極上の少しのミスマッチで起こる反射でも、共振して大きくなることや、他の電極のチャージをリングチャージが動かし後続バンチの波形を乱すという問題については、片方のコネクタを終端することで解決できると

考え、電極の両端にコネクタを付けられている。

また、2.8nsec (約90cm)間隔での信号処理系としては、8bitのflash ADCは各バンチシグナルのピーク一点でサンプルホールドするため、波形を伸ばすための850MHzのGaussian low pass filterが予定されており、このフィルターを用いた測定も行った。

3、3次元測定器によるBPMの形状測定

ビームテストの前に、ZEISS製の直径5mmのサファイヤプローブによる3次元測定を行い、チャンバーの中心と、4つの電極の中心のずれを測ったところ、オフセット調節は出来るものの、残念ながら目標である10ミクロンからは程遠い結果であった(図3)。図3は深さ5mmでの測定である。電極と外側のチャンバーの軸のずれは、X方向に39ミクロン、Y方向に88ミクロンであった。

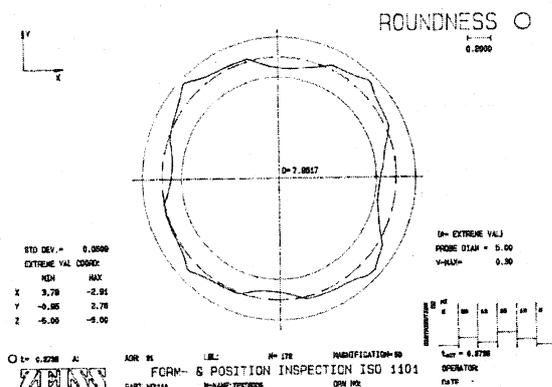


図3 3次元測定器による図
濃い実線がドリルカットされた
セラミックの表面を表す

4、インピーダンス測定

シュミレーションはPOISSONを用いて計算した。電極にポテンシャルを起し、電極のまわりの電場を調べ、横電磁波、つまりTEM波と仮定してインピーダンスを計算した。設定上の誤差はあるが、押し並べて43 Ω であった。

ビームテスト前にBPMのインピーダンスをTDR(Time Domain Reflectometry)法で測定したところ44 Ω であり、これは電極部のセラミックの誘電率の違い、電極の配置、SMAフィードスルーコネクタのミスマッチを合わせ込んだ結果である。これより、このBPMでは10%程度の反射波が生じることが予想される。

5、ビームテスト

ビームテストはATFリニアック最下流部で、サンプリングオシロスコープ、アテニュエーター、ガウシアンフィルター、スペクトルアナライザを用いて行った。測定の目的は、各バンチの識別についてが最重要項目であるが、それ以外には、10%片側終端によるリング効果の減少度の確認、周波数特性の測定等が挙げられる。

6、テスト結果

ビームテストの結果、図4、5のシグナルが得られた。

(ただし、シグナルは2Vで規格化している)
プラス波形が上流側電極で生じたシグナルであり、マイナス波形が下流側電極で生じたシグナルである。各バンチの不一樣性は入射部及びビームローディングによるものと考えられる。

更に電極の後方を終端したことで、リングングを十分に抑えられることが確認できた。また、周波数特性も図6に示すとおりである。

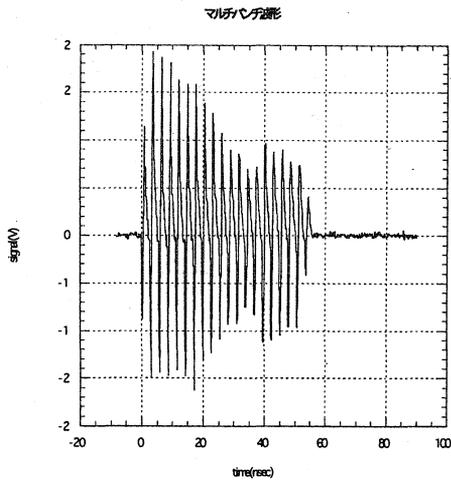


図4 マルチバンチビームの全波形

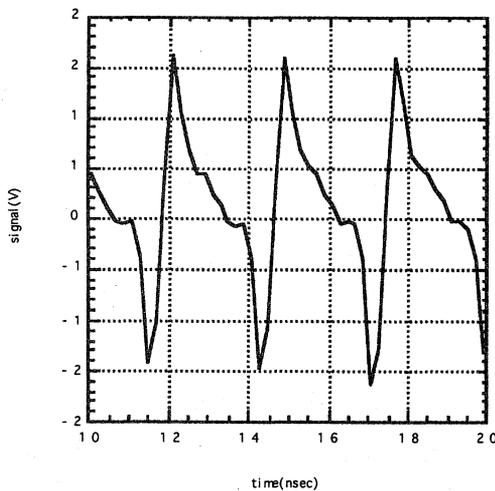


図5 マルチバンチビームの拡大波形

7、まとめ

新型のストリップライン型BPMについて報告した。BPM電極のインピーダンスはシュミレーション、測定共に $44\ \Omega$ 前後であった。加工等による電極の設置位置はチャンバーの中心軸からX方向、Y方向ともに数十 μm のずれがあった。

ATFリニアック最下流でマルチバンチビームを用いたビームテストを行ったところ、各バンチが識別出来、更に、信号処理系で用いるフィルター

を用いても、識別できた。精度良く各バンチが識別できたことは大きな収穫である。

BPMの後部電極を終端することで、リングングを減少することができた。僅かにあるリングングはインピーダンスのミスマッチにより生じたもの

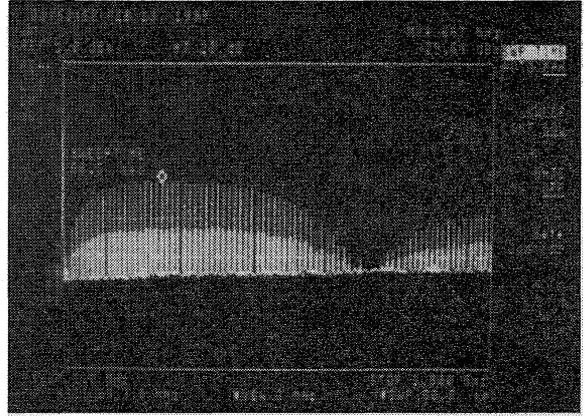


図6 BPMの周波数特性

である。

図5から推測して、BPM本体が $50 \pm 1\ \Omega$ に到達すれば、リングングは完全に消える。

8、今後の課題

電磁場解析、シュミレーション(MAFIA)によるインピーダンスマッチング及び、疑似信号による位置分解能の決定、ハードからソフトまでのシステム化が最優先課題である。

更に、電極長の最適化や、広帯域化、セラミック部とチャンバーの間の遊びによる設置位置精度や、それに付随したコネクタの接続方法をどのようにして改善するかが残された課題である。

謝辞

常時助言を下された、照沼氏(KEK)、阪井氏(京都大)、土橋氏(都立大)、今井氏(東京理科大)、及び、測定を手伝って下さったVogel氏(BINP)、奥木氏(KEK)、柏木氏(早稲田大)、武藤氏(東京都立大)に深く感謝します。

参考文献

- [1] 早野仁司, “ビーム診断” 94'FFIR, 熱海
- [2] Los Alamos Accelerator Code Group, “Reference Manual for the POISSON/SUPERFISH Group of Codes”, LA-UR-87-126.
- [3] 早野仁司 et al., “Development Of High Resolution Multi-bunch BPM”, Proc. of EPAC98(1998)1523, Stockholm.