

Development of the Cavity BPM for NLC

内藤 孝、R. Johnson*, S. Smith*, Z. Li*, J. Rifkin*, V. Smith*

高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 つくば市大穂 1 - 1

*SLAC, Stanford Linear Accelerator Center, 2575 Sand Hill Rd Menlo Park, CA 94025, USA

概要

Stanford Linear Accelerator Center(SLAC)では、将来加速器計画(NLC)の技術開発が進められているが、リニアックやビームトランスポートでのビーム位置を高精度に測定するためのビームポジションモニタ(BPM)も重要な開発項目のひとつである。我々は、 \times バンド周波数のキャビティ BPM を設計、プロトタイプを製作し、その特性を測定した。アンテナ信号の測定試験で 0.23micron の位置分解能を持つことを確認した。

1 . はじめに

Stanford Linear Accelerator Center(SLAC)で開発が進められている Next Linear Collider(NLC)計画は、全長 25km に及ぶ 2 つの対向する \times バンドリニアックにより構成される大規模加速器である。その実現のためには多くの開発項目があるがウェークフィールドによるエミッタンスの増大を防ぐために高精度のビームコントロールが要求される。ビームコントロールに不可欠なビームポジションモニタ(BPM)の位置分解能がその重要な役割を担う。現在、一般にリニアックで用いられている BPM にはストリップライン BPM がある。ストリップライン BPM の測定感度は、電極の長さ(L)の $L/4$ の波長の周波数に最大感度がある。測定回路は、周波数が低いほうが S/N 的に有利なので測定精度をあげるために電極形状を大きくせざるを得なくなる。SLAC の FFTB で用いられたストリップライン BPM は、1 ミクロンの分解能を持つが電極は 1 m にも及ぶ。NLC で要求される BPM は、分解能 0.2 ミクロンであり、リニアックの Q マグネットの位置に設置するにはスペース的にも小さい必要がある。SLAC では、ストリップラインに代わる BPM として \times バンド周波数の TM110 モードを検出するキャビティ BPM(CBPM)の開発を進めている。CBPM は、すでに幾つかの研究所で開発、テストされているが^{[1][2][3][4][5][6]}、その特徴は高感度であること、信号処理系に高周波(GHz 帯)の信号処理が必要なことなどである。NLC 用の CBPM の特徴は、位置依存性のある TM110 モード信号に対し、キャビティの基本モードである TM010 モードは測定エラーの原因になるが、キャビティに磁気

カップルの Wave-guide port を設け TM010 モードが出力信号にカップルしないように設計されている。

2 . CAVITYBPM の設計パラメータ

表 1 に CBPM の設計パラメータを示す。また、図 1 に CBPM の構造、外観を示す。

Parameter	Value
Dipole frequency	11.4 GHz
Monopole frequency	7.66 GHz
Wall Q	~4000
Beam aperture radius	6mm
Sensitivity	7mV/nC/ μ m
Bunch charge	0.7x10 ¹⁰ e
Required resolution	$\sigma=200$ nm

表 1 設計パラメータ

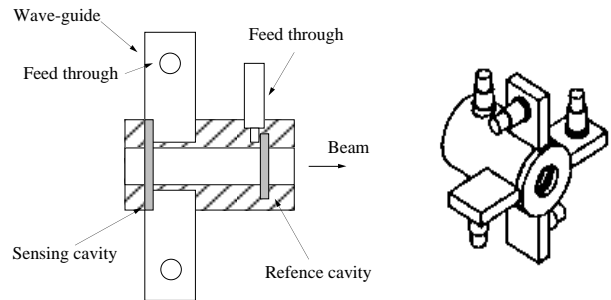


図 1 CBPM の構造

CBPM は、ビーム位置検出のための検出キャビティ、ビームの位相情報を検出するためのリファレンスキャビティから成る。検出キャビティには、TM110 モード信号にカップルするよう 4 方向に Wave-guide port が取り付けられている。信号を取り出しやすいようにフィードスルーによって同軸信号に変換している。原理的には、TM110 以外の信号による補正が必要なければ、X、Y、2 方向信号のみで測定は可能である。従って、X、Y それぞれの反対方向の出力ポートはダミーロードに置き換えることも可能である。リファレンスキャビティは、TM010 モードが 11.4 GHz であり、電場カップルによってフィードスルー同軸に信号を取り出す構造になっている。

3. 測定

本測定は、スケジュール的にテスト用 CBPM の製作が途中であったため、キャビティ部分のエンドキャップおよび Wave-guide は溶接されておらず、信号の取出には測定用のジグを製作し Wave-guide の役目をさせ、フィードスルーの代わりに WR-75 の市販の Wave-guide coax 変換アダプターを用いた。そのため、キャビティ部分の電気的接触、Wave-guide の電気的接触に問題があることを念頭において進められた。

測定は、図2に示すようなアンテナを製作し、入出力の応答をネットワークアナライザで観測することによって行われた。アンテナの位置を x, Y ステージで動かし励起した信号に対する TM110 モード信号の出力 port への振幅応答を見ると、アンテナの位置がキャビティの中心を最小値とした V 字カーブとなる。

3.1 周波数モード測定

図3にアンテナの位置を x 方向に 1 mm ずらした時の出力 port へ現れた周波数応答を示す。基本モードである TM010 が低く押さえられていることが解る。MAFIA による計算値と、各ピークから求められる各モードの周波数、Q 値を表2, 表3に示す。各モードの周波数は、計算値より僅かに低い概ね一致している。20GHz を越える周波数はネットワークアナライザの性能上測定出来なかった。また、計算では予想されない幾つかのピークが観測された。これは、Wave-guide 部の反射やキャビティ外側のフィールドによる信号と思われる。

Mode	Frequency	Q_0
TM01	8.72GHz	3629
TM11	11.4	4285
TM21	15.9	5131
TM31	20.2	5183
TM02	20.8	8470
TM12	23.8	-

表2 MAFIA による計算値

Mode	Frequency	Q_L
TM01	8.64GHz	~200
TM11	11.37	~350
TM21	15.28	~110
TM31	19.34	-
TM02	-	-

表3 計測値

Q 値に関しては、予想したとおり大きく下回っている。これは、前述の理由から電気的接触に問題があるためと思われる。Q 値に関して測定したのは Q_L であり、計算で求めた Q_0 を求めるためにさらに詳しい測定が必要であるが Wave-guide のカップリングが小さいことから Q_0 は Q_L と大きく変わらないと推測され、これ以上の測定は行わなかった。

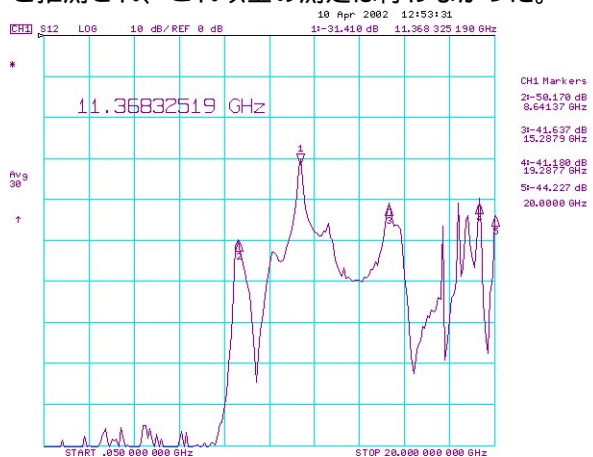


図3 周波数応答特性

3.2 位置応答特性

アンテナの位置を x, Y ステージで動かし TM110 モード信号の応答を測定した。測定された振幅特性は、最小値付近で湾曲している。(図4) これは、TM110 モードが非常に小さくても、外のモードのテールなどの信号が残っているためと思われる。この時、各アンテナ位置での振幅、位相の変化を見ると。

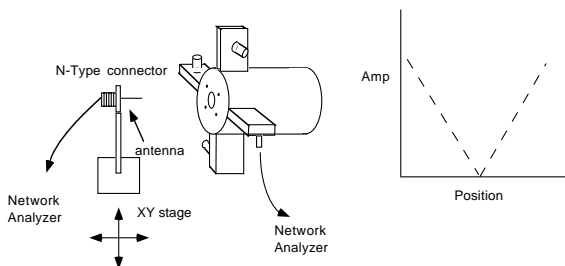


図2 CBPMの測定セットアップ

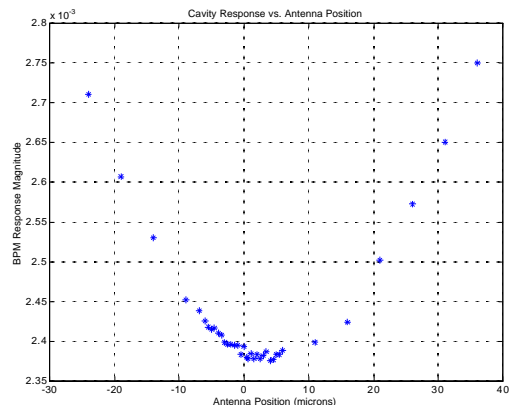


図4 アンテナ位置応答

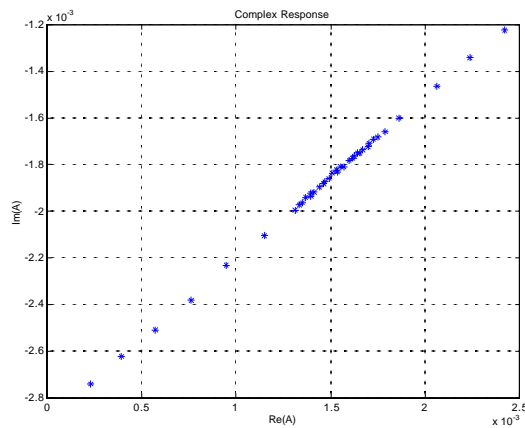


図5 振幅、位相特性

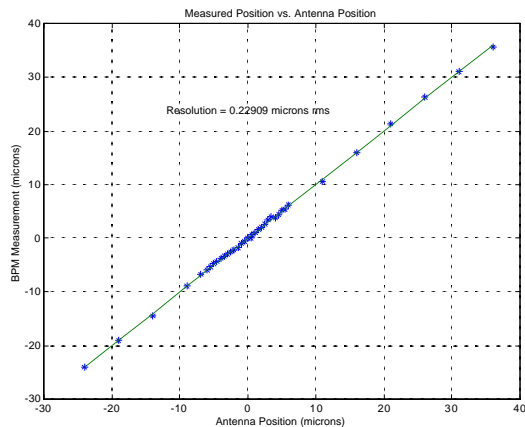


図6 振幅、位相信号による位置データ

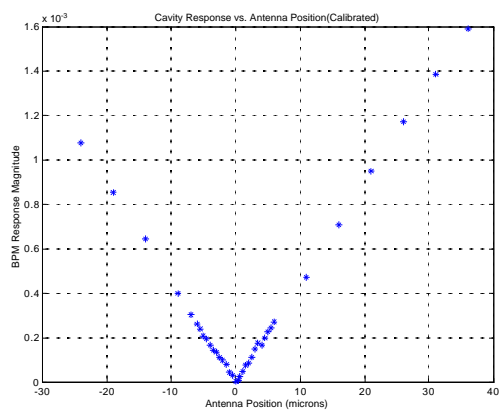


図7 補正による位置振幅特性

図5の様な関係が得られる。この値から各アンテナ位置での振幅、位相のデータが得られたので図4を補正することが可能である。信号はアンテナ位置に対してリニアな関係にあると仮定しているからリニアフィットに対するエラーから分解能が求められ、0.23micron と計算された。(図6) このデータか

ら図4の応答特性を補正すると図7が得られる。得られた分解能に関して、 x 、 y ステージの精度は0.1micronであり、位置を決めるマイクロメータの最小読み値は0.5micronであるため、エラーのほとんどはアンテナの機械的位置精度から来ているものと思われる。これ以上精度の高い測定をするためにはピエゾアクチュエータが必要になると思われる。

3.3 中心位置測定

3.2の測定では、信号がゼロになる点を仮定して補正することによって中心値を決めた。しかし、その点がCBPMの中心値である保証はない。最終的には、ビーム応答によって機械的エラーも電気的エラーも含めた中心値測定を行うことが可能であるが、アンテナの機械的位置を三次元測定器(CMM)で測定し、電気的中心と比較した。結果、約125micronの誤差が測定された。これは、CMMの測定がアンテナをキャビティから20mm引きだした状態で測定したため x 、 y ステージの設置精度から実際にアンテナをキャビティ内に挿入した状態での位置からずれる可能性があること。アンテナは片持ちであるため測定時に曲がってしまい、ちゃんと測定されなかった可能性があることなどから精度に疑問が残る。

4.まとめ

NLCで使用される予定のCBPMの特性測定を行い、TM010モードの抑制の確認とテストベンチ上で0.23micronの分解能を得た。この測定によりCBPMの基本的動作を確認することが出来た。今後、溶接後の特性測定、ビームテストなど予定されている。

参考文献

- [1] W. Schnell et. al., "CLIC Beam Position monitor developments", CLIC Note170, CERN SL/92/-33
- [2] J.P.H.Sladen et. al., "Measurement of the Precision of a CLIC Beam Position monitor", CLIC Note 189, 1993
- [3] V. Balakin et. al., "Experimental Results from a Microwave Cavity Beam Position Monitor", Proc. of the 1999 PAC, New York, 1999
- [4] T.Shintake, "Development of Nanometer Resolution RF-BPMs", Proc. of HEACC'98, Sep. '98, Dubuna
- [5] T.Shintake et. al., "THE FIRST WAKEFIELD TEST ON THE C-BAND CHOKE-MODE ACCELERATING STRUCTURE", Proc. of PAC'99, 1999, New York
- [6] T.Slaton et. al., "DEVELOPMENT OF NANOMETER RESOLUTION C-BAND FREQUENCY BEAM POSITION MONITORS IN THE FINAL FOCUS TEST BEAM", LINAC '98, Chicago, Aug.1998, SLAC-PUB-7921