

22 a-7

CALIBRATION OF BEAM POSITION MONITOR FOR ATF DAMPING RING

F. Hinode*, N. Terunuma, H. Hayano, M. Tejima, Y. Funahashi,
J. Urakawa, Y. Takeuchi, Y. Kanazawa** and T. Mimashi

National Laboratory for High Energy Physics

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

ABSTRACT

The first fabrication of the button-type Beam Position Monitors (BPMs) was completed for Accelerator Test Facility Damping Ring (ATF-DR) in June '94. ATF-DR will be operated to achieve extremely low emittance beams, which is the same as Main Damping Ring for Japan Linear Collider plan. BPM was designed to achieve the position resolution less than $3 \mu\text{m}$ in order to correct the dispersion in the long wiggler section of ATF-DR. A calibration of BPMs was carried out at KEK, which employed fast pulses with $\phi 50 \mu\text{m}$ tungsten wire. Results show a good uniformity of position detection and a reasonable distribution of offset values with respect to the reference plane of BPM. This BPM and calibration method also can be applied to LINAC.

ATF ダンピングリング用ビーム位置モニターの較正

1) はじめに

次世代リニアコライダー (JLC [1]) のための試験加速器装置である ATF [2] は、1.54 GeV の電子 LINAC、Damping Ring (DR)、Bunch Compressor、最終収束系、陽電子発生装置等で構成され、現在建設が進められている。ATF 建設の目的は、リニアコライダーのための各加速器コンポーネントを総合的システムとしてテストすることにあるが、そのなかでの DR の目標は、超低エミッタンスでかつ大電流のマルチバンチ電子ビームを生成することである。DR で実現する規格化エミッタンスは $\epsilon_x = 5 \times 10^{-6} \text{ rad m}$ 、 $\epsilon_y = 5 \times 10^{-8} \text{ rad m}$ と従来に比べ 2 桁程小さなものであり、これらの加速器の性能を十分に引き出すための本質的な部分がビームの診断・制御であるといえる。

ATF DR 用に開発されたビーム位置モニター (BPM [3]) に要求される性能としては、減衰用ウイグラー電磁石部における 3 mm の dispersion を補正するために数 μm 程度の相対分解能を有すること、coupling impedance が極力低いこと、600 mA という高いビーム電流に対しても安定に動作できること、そして多数の BPM が必要なことから安価であることなどが要求される。この BPM とその較正方法は LINAC にも適用できることから、本研究会においては、第一期製作分 (40 台) に対して行われた較正作業の結果について報告する。

2) BPM 概要

ATF DR 用 BPM は、上述の要求を満たすシンプルな構造であることから、ボタン電極型のものが用いられる。外観と寸法を図 1、2 に示してある。

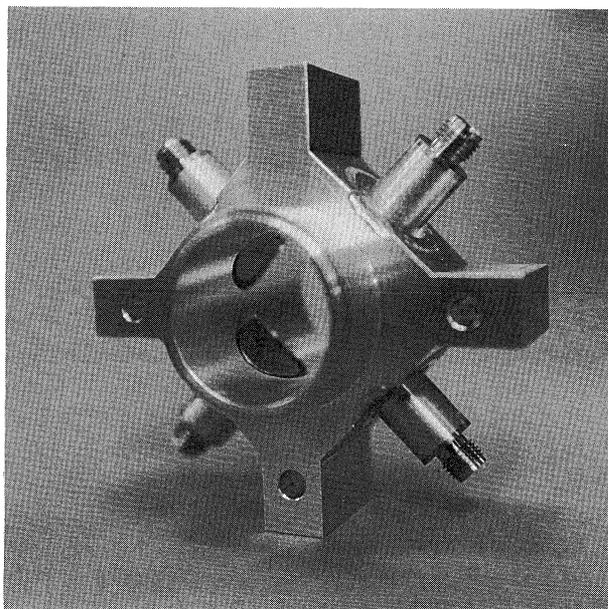


図 1) ATF DR 用 BPM の外観

* JSPS Fellowships for Japanese Junior Scientists

Present address : National Laboratory for High Energy Physics, Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

** ATC Co. Ltd., Namiki 36-7, Hachioji, Tokyo, 193 Japan

各電極は、誘起する信号をできるだけ大きく、なおかつ longitudinal impedance をできるだけ小さくするために、ビームパイプ内面に沿ったφ12 mmの形状をしている。またBPMの機械的中心は図2に示す基準面からの距離で定義される。

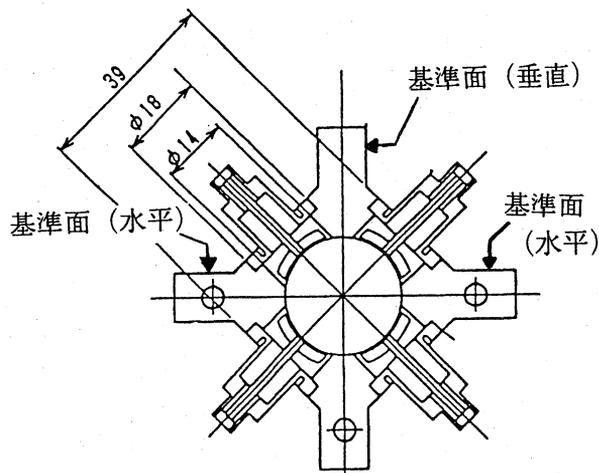


図2) ATF DR 用 BPM の寸法

3) 較正
3.1 概要

最終的に必要なビーム位置情報は、4極マグネットなどの磁場中心で定義される原点からの距離である。しかしBPMの信号が直接表すものは、4つの電極の信号が等しくなる位置(電気的中心)からのずれの大きさである。したがって、この電気的中心と磁場中心の間の関係を調べなければならない。この作業(較正)には2つのプロセスがあり、第1点目はBPMの機械的中心と電気的中心とのオフセットを求めることで、第2点目は機械的中心と磁場中心との位置関係を調べるものである。この第2点目は主に据えつけ作業時の測量精度に依存する。ATF-DRでは、この据えつけ精度はレーザートラッカーなどを使用することで20 μm程度に押さえられる。本稿では、第1点目のオフセットの測定について、電気的中心付近での位置感度の均一性などについて述べる。その他、最終的には実際のビームを用いてBeam Based Alignmentが行われるが、この際、k-modulationと呼ばれる手法により、電気的中心と4極マグネットの磁場中心との関係を直接決めることができる。しかし、これは先に述べた手法と相補的なものであり、ここでは省略する。

3.2 セットアップ

図3に、較正作業のセットアップを示す。中央のBPMには中心にφ50 μm、長さ約1 mのタングステンワイヤーが張られている。ワイヤーの一端はx-z stage上のマコールのV字ブロックを介して固定されており、他端には同様のブロックを介して100 gの重りが吊るされ、また、信号の反射を防ぐために50 Ωの抵抗で終端されている。

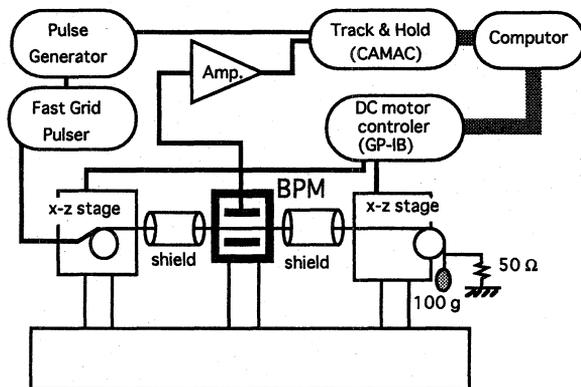


図3) セットアップ

x-z stageはPhysik Instrumente社の製品で、移動精度は0.1 μmである。stageの移動は、バックラッシュの影響を押さえるために、常に決められた方向から行われる。BPMの設置基準で定義される中心位置へのワイヤーの設置には、BPM基準面を模して作られたゲージブロックを用い、顕微鏡を覗きながら、ワイヤーをゲージの中心位置に移動させて行く。このときの設置誤差は約25 μmである。

BPM信号の読み出し回路には、FFT実験などで使用されているエレクトロニクス(pulse stretcher amplifier, Track&Hold circuit etc. [4])を用いた。この読み出し系の位置分解能は、3 μm程度である。

3.3 オフセットの測定

BPMの機械的中心にあるワイヤーにパルサーから信号を入力し、このときの各電極の出力からオフセットを評価する。読み出し信号から位置への変換は以下の式で与えられる。

$$x = \frac{\sqrt{2}}{2} (x' - y'), \quad y = \frac{\sqrt{2}}{2} (x' + y')$$

ただし、

$$x' = k \frac{(V2-V4)}{(V2+V4)}, \quad y' = k \frac{(V1-V3)}{(V1+V3)}$$

ここでkは位置感度定数である。このようにして得られたオフセットの分布を図4に示す。

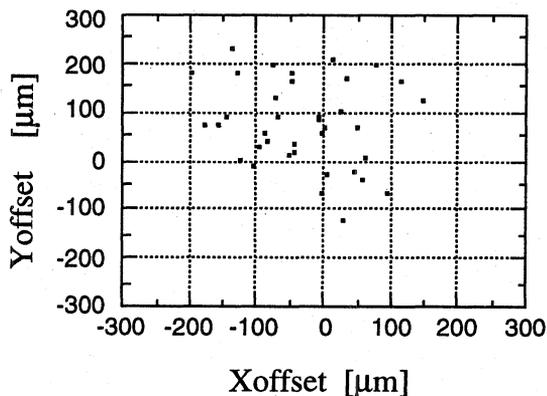


図4) 電気的中心のオフセット分布

このデータから、水平 (X) 及び垂直方向 (Y) に対するオフセットの平均値・標準偏差を求めると、 $X_{\text{offset}} = -33 \mu\text{m}$ 、 $Y_{\text{offset}} = 77 \mu\text{m}$ 、 $\sigma_{x,y} = 90 \mu\text{m}$ であった。しかし、この測定されたオフセットには、ゲージの製作誤差、読み出し回路の系統的誤差、x-z stage のゆるみやワイヤーの掛け替えによる非再現性などの誤差が含まれており、詳細は現在解析中である。

3.4 マッピング

次に、BPM の電氣的中心付近での位置感度の均一性について調べた。ワイヤーの移動は $300 \mu\text{m}$ step である。図5には、その一例を示してある。

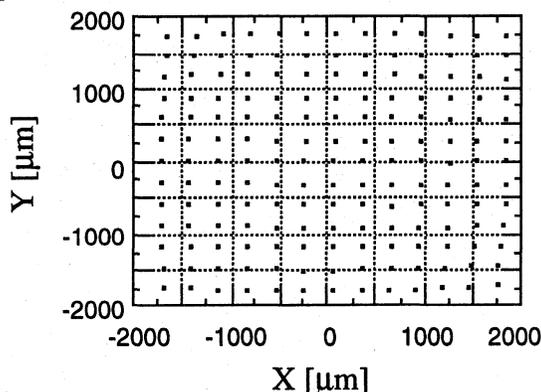


図5) ワイヤーによるマッピング

このマッピングによる評価で、著しくゆがんだ物は使用からはずされねばならない。結果は、全ての BPM で中心付近の均一性は $10 \mu\text{m}$ 以内であった。またワイヤーが中心から大きくずれると、測定された位置にひずみが見れるが、このひずみの量は理想的な BPM では、 2mm の位置で $100 \mu\text{m}$ と評価されており、測定値とよくあっている。また DR の場合、軌道補正無しでも、実際の COD は $\pm 1 \text{mm}$ 以内に収まるものであり、現実の加速器運転に対してなんら問題はない。

3.5 電気容量の測定

全ての BPM ブロックは、各4つの電極の出力信号のばらつきを押さえるために、ほぼ等しい電気容量を持った端子で構成されている。電極を BPM 本体のブロックに溶接する前と後で、電気容量の値がどう変化するかを測定した結果を図6に示す。溶接する前の段階で、この容量測定により著しくかけ離れた容量の端子は、不良品と判断し実際には使用されなかった。また、溶接の前後では、電極-ブロック間の容量の分だけ値が増えているが、各4つの電極のばらつきは変化していないことが確認された。

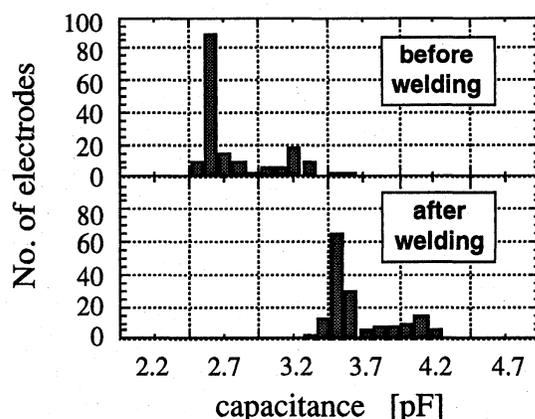


図6) BPM 端子の電気容量分布

4) まとめ

本年6月、ATF-DR 用に開発された BPM の第一期製作分 (40台) について、中心付近の均一性の確認及びオフセットの測定を、個々の BPM について行った。その結果、オフセットには $90 \mu\text{m}$ 程度のばらつきが見られたが、中心付近の均一性は $10 \mu\text{m}$ 以内と極めて良く、BPM の製作に問題のないことを確認した。しかし測定の設定アップでは、x-z stage のゆるみやワイヤーの掛け替えによる非再現性など信頼性に欠ける点があり、今後の改善課題となっている。今後は、本年12月に第二期の製作が終了する予定であり、今回の測定結果を参考にして、より高い性能・品質管理を目指す。なお、この BPM とその較正方法は、Storage Ring だけでなく、LINAC にも適用できるものである。

参考文献

- [1] JLC Group ; "JLC-I" KEK-Report 92-16
- [2] S. Takeda; Proc. of the Second Workshop on Japan Linear Collider (JLC), KEK, 1990, p.6~17
- [3] M.Teijima ; Procs. of the SLAC/KEK Linear Collider Workshop on Damping Ring, KEK proceedings 92-6,1992, p.126~132
- [4] H.Hayano et al. ; KEK Preprint 92-118, H.Hayano et al. ; SLAC-PUB-5691