

[13P-36]

Cavity BPM in ATF extraction line

T.Imai, H.Hayano*,J.Urakawa*,V.Balakin**,V.Vogel**,A.Bazan**and P.Lunev**

Department of Physics, Faculty of Science and Technology,
Science University of Tokyo
Yamazaki 2641, Noda, Chiba, 278-8510, Japan

*High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0810, Japan

**Branch of Inst. of Nuclear Physics (BINP)
142284,Protvino, Moscow region, Russia

Abstract

Cavity Beam Position Monitor was developed in collaboration with BINP. We installed one reference cavity and three sensor cavities in beam diagnostic section of ATF extraction line. Preliminary beam measurement with one sensor cavity was performed. As the result of the measurement, position resolution of the BPM was about 1.7 μ m in vertical and about 0.8 μ m in horizontal. Extracted beam from the damping ring had about 3.6 μ m vertical position jitter at the BPM. The BPM will be used for beam tuning in the Double Kicker system which reduce horizontal beam position jitter.

ATF ビーム診断部に用いる Cavity BPM

1. はじめに

ATF グループはロシア・BINP と共同で空洞型ビーム位置モニター (Cavity BPM) の開発研究を行っている。空洞共振器を利用したビーム位置モニターは 1960 年代 SLAC で使われて以来[1]数多くの開発研究が行われてきたが、電子・陽電子衝突型線形加速器 (リニアコライダー) で必要とされる高精度・高位置分解能については、CLIC[2]、VLEPP[3]、FFTB[4,5]等で成果が得られている。

本年 6 月のビームタイムに予定している本格的なモニターの性能評価を前に、取り出しラインのビーム診断部にインストールし、予備測定を行った。その結果について報告する。

2. 原理

Cavity BPM はビーム電流 (ビーム位相) を検出する基準空洞 (reference cavity) と位置を検出する位置検出空洞 (sensor cavity) によりビーム位置を測定する。

今回製作した位置検出空洞で使用する TM₁₁₀ モードについて考える。円筒形空洞 (半径 R、高さ l) に励起される TM₁₁₀ モードの電場分布は、円筒座標系において

$$E_r = E_\theta = 0$$

$$E_z = E_0 J_1\left(\frac{p_{11}}{R} r\right) \cos \theta$$

で表される。ただし、 J_1 は第一種ベッセル関数、 p_{11} は $J_1=0$ の 1 番目の解である。

ビームが Cavity 中心から軸に平行に Δ ずれて通過した場合、励起される電圧 V_c は

$$V_c = \omega(R/Q)M_b q$$

である (ビーム電荷: q)。ただし

$$(R/Q) = \frac{2Z_0 l}{\pi R p_{11}} \left(\frac{J_1(\max)}{J_1(p_{01})} \right)$$

$$M_b = \frac{p_{11} \Delta}{2R J_1(\max)} \frac{\sin kl/2}{kl/2}$$

$$k = p_{11} / R$$

$$Z_0 = 376.7 \Omega$$

つまり、通過したビームの位置 (Cavity 中心からのずれ) Δ に比例した電圧が位置検出空洞に励起される。

しかし同時に信号はビーム電流 I に比例し、中心からの変位方向により位相が反転するため、ビームモニターとして使用する場合には基準空洞を併用する。基準空洞では、中心付近でビームの位置によらずビーム電流だけで決まる TM₀₁₀ モードを選び、ビームの電荷量を測定する。さらに、出力の位相がビームと同期して常に一定であることを利用し、位置検出空洞で検出される信号との位相関係から変位方向がわかる。

製作した基準空洞、位置検出空洞 (図 1) はビームホールの径、空洞の大きさ、処理する RF 回路などを考慮して、共振周波数を 6.43GHz に選んだ。

3. ビーム測定

図2にビーム測定のセットアップを示す。アンテナで検出した信号をバンドパスフィルターを通してモード選別し、高周波アンプで増幅後検波し、さらにゲイン調整のための低周波アンプを通した後積分型ADCで信号処理する。なお、同期検波していないので検出信号は位置に対してV字型の応答をする。

空洞は基準空洞を最上流に、その下流に3台の位置検出空洞をベローズチェンバーで接続し、独立にアライメントが取れるように手動ムーバーステージに設置した。位置検出空洞を3台連結させているのは位置分解能評価のためである。評価後、各空洞を必要な位置に移動させて設置する予定である。

最も上流に設置した位置検出空洞(MM1X)について測定を行った。cavityより上流にある軌道補正用電磁石(水平方向についてはZH3X、垂直方向についてはZV6X)の磁場強度を変化させながらcavityを通過するビームの位置と出力信号との関係を調べた。その結果を図3・4に示す。通過したビームの位置(横軸)は、前後にあるストリップライン型BPM(ML9X、ML10X)で測定したビーム位置とビーム光学系のモデルから求めた。また、基準空洞の信号のノイズが多かったため、ML9Xで測定したビーム電荷量で出力信号を規格化している。

V字型応答の片側の傾きから、垂直方向では9.5[nm/ADCcount]、ADC pedestalの変動が177[count](50shot測定時)であったので位置分解能は約1.7 μ mと見積もることができる。同様に水平方向では5.1[nm/ADCcount]、pedestal変動159[count]より位置分解能は約0.8 μ mと推定できる。

また、ビームの垂直方向の位置変動量(ジッター)をMM1Xで測定した(図5)、200shotの測定では変動量(1 σ)がADCcountで379countだったので、上記の位置感度測定の結果よりビーム位置変動に換算すると約3.6 μ mと推定される。

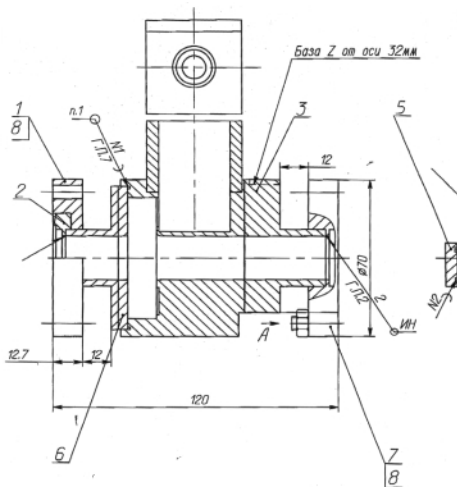


図1 位置検出空洞

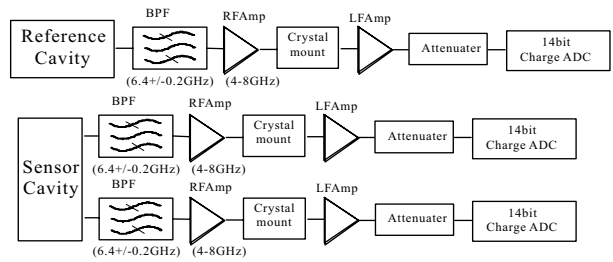


図2 ビーム測定のセットアップ

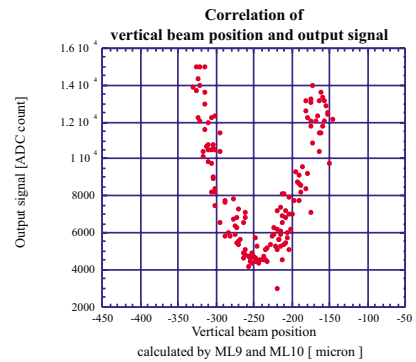


図3 ビーム位置と出力信号の関係(垂直方向)

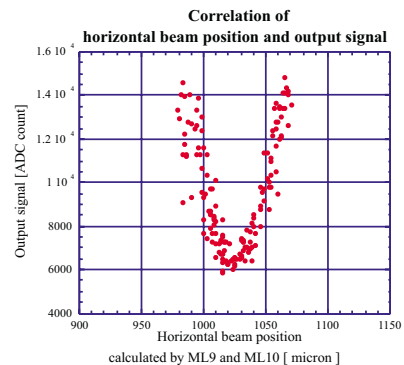


図4 ビーム位置と出力信号の関係(水平方向)

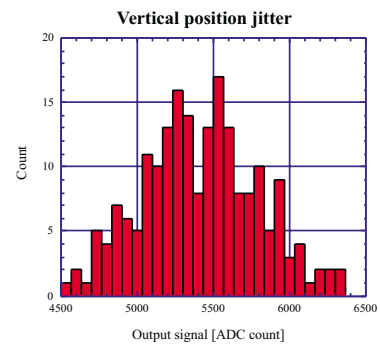


図5 ビーム位置変動分布(垂直方向)

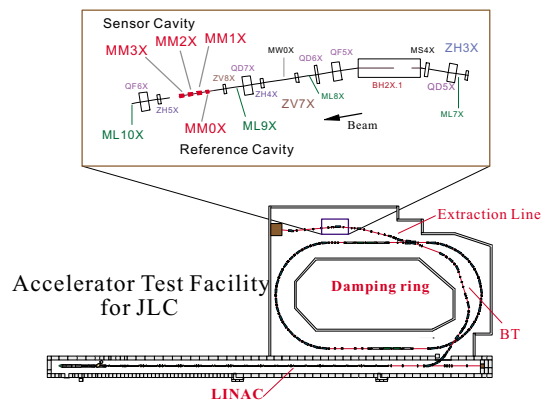


図6 ATF 取り出しラインビーム診断部

4. まとめ

ATF 取り出しラインのビーム診断部に位置検出空洞3台、基準空洞1台を設置した。

位置検出空洞 (MM1X) でビームを使用した性能評価を行った結果、位置分解能は約 $1.7\mu\text{m}$ (垂直方向) 約 $0.8\mu\text{m}$ (水平方向) であった。また、ダンピングリングから取り出したビームの垂直方向の短期的位置変動 (ジッター) は約 $3.6\mu\text{m}$ と測定された。

5. 今後の予定

6月のビームタイムでは、信号処理回路を同期検波を使用したものに変更し、すべての cavity の性能を評価する。

また ATF では、ダンピングリングで生成された超低エミッタンスビームを安定に取り出すためのシステム (ダブルキッカーシステム) の開発を行っており [6,7]、取り出しビームの位置変動の精密測定に高い位置分解能を持つこの Cavity BPM を使用する予定である。

6. 謝辞

BPM のインストールにあたり協力していただいた (有)イーキューブの方々には感謝致します。また、木原加速器施設長、高田加速器総主幹をはじめ関係者の皆様の本研究に対する御理解と御指導に感謝致します。

7. 参考文献

- [1] E.V.Farinholt, et al., "Microwave Beam Position Monitor", IEEE Transactions on Nuclear Science, June 1967
- [2] W.Schnell, et al., "CLIC beam position monitor developments", HEACC'92, Hamburg, July 1992
- [3] V.Balakin, et al., "Beam position monitor with nanometer resolution for VLEPP", Proc.International Workshop on Emittance Preservation in Linear Colliders, 1993
- [4] T.Slaton, et al., "Development of nanometer resolution C-band radio frequency beam position monitors in the Final Focus Test Beam", LINAC98, Chicago, August 1998
- [5] T.Shintake "Development of nanometer resolution RF-BPMs", HEACC'98, Dubuna, September 1998
- [6] 今井 他「ATFにおけるダブルキッカーシステム開発」第23回リニアック技術研究会 1998,p208
- [7] 今井 他「ATFにおけるダブルキッカーシステム開発 (II)」第24回リニアック技術研究会 1999,p350

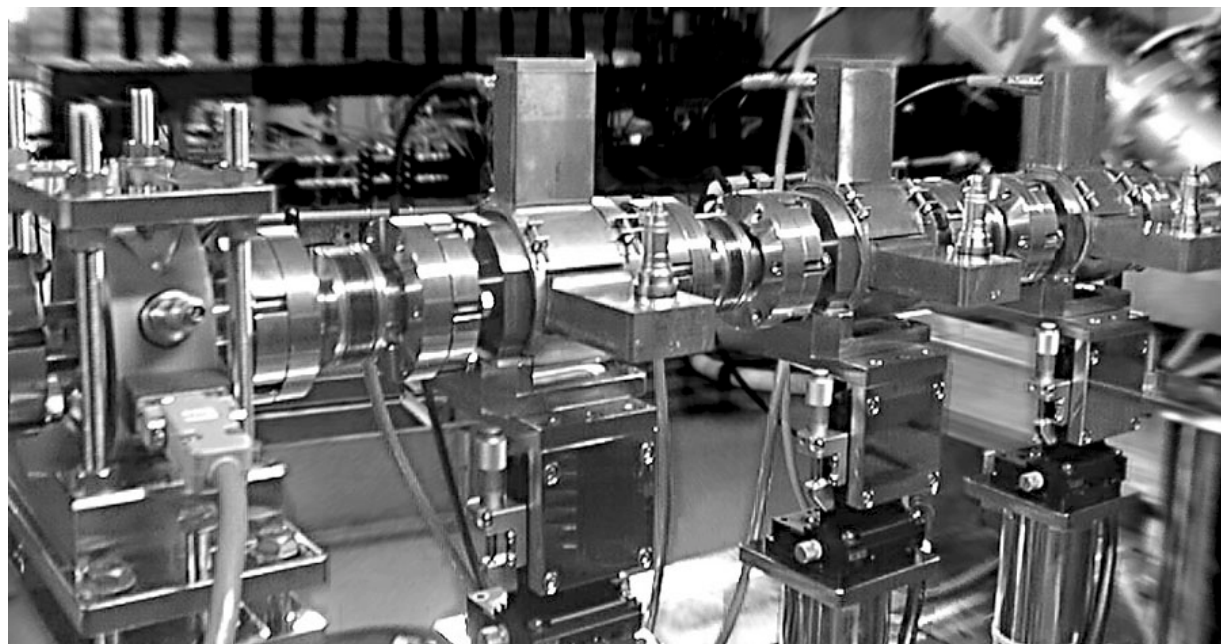


図7 インストールされた Cavity BPM (左端が reference cavity、右3台が sensor cavity)