

Position sensitivity test of IP-BPM

P.Doublet, T.Hino, Y.Honda, Y.Inoue, T.Nakamura

2006/6/9

概要

First beam test of IP-BPM was carried out in the ATF linac-end using the test model with a vacuum chamber. Position sensitivity was measured comparing with ATF2 Q-BPM. It was found that the relative sensitivity of Y-port and X-port with respect to Q-BPM were $\times 2$ and $\times 1$, respectively.

1 はじめに

IP-BPMはビーム角度感度を落とすために出来るだけ短い空洞長に設計された。そのままでは位置感度も同時に落ちてしまうが、代わりにビームホールを小さくしてインピーダンスを上げることで誘起される信号が同程度になるように設計されている。また、ポートのカップリングを強くし (Q_{ext} を下げる) 時定数を小さくすることで、取り出される信号のピーク電圧を上げるようにもしている。

今回は IP-BPM として新しい設計をした空洞の初めてのビーム試験である。設計どおりの位置感度が達成されているか、また、信号波形を観測し異常な形をしていないか、時定数は期待通りかななどの基本的な測定を行う必要がある。

2 セットアップ

今回はネジ止めタイプのテストモデルを真空チェンバーに入れてビーム試験することにした。取り出しラインにはスペースが無いので、リニアックの下流(ポジترونライン)で実験を行った。リニアックと取り出しラインのビームでは、ビームの安定度、ビームサイズ、パンチ長などに違いがある。このため、違うラインで測定した結果を直接比較することはできない。そこで ATF2 Q-BPM のプロトタイプ (dents model) もリニアック下流に並べて設置し、同じビームで2種類の BPM を相対的に比較することにした。

図1のように、適当な治具を用意し真空チェンバーのフランジ部に単一セルで組み上げた BPM を取り付けた。BPM のフィードスルーから真空チェンバー側面に付いているフィードスルーまでは SMA コネクタのついた短いケーブルで繋ぎ、チェンバー外側から信号がとれるようにしている。

図2が現在のリニアック下流部のレイアウトである。四極電磁石はオフにしてあるので、基本的にドリフトスペースである。2台のステアリング (ZV1P,ZH2P) でビームを Y,X 方向に動かし、実際のビームの位置は2台のストリップライン BPM(ML3P,ML2P) でモニターすることができる。

図3に BPM 付近の写真を示す。上流から、ATF2 BPM, X-band BPM, X-band BPM, IP-BPM の順に並んでいる。X-band BPM は昔の実験のセットアップの残りであるが、今回の実験では X-band BPM についている reference 空洞の信号を読みだして、ビーム強度モニターとして使用した。

図4に今回使用した回路系を示す。今回の測定では X,Y それぞれ片ポート読み出しで行い、使用しないポートはチェンバーのコネクタで 50Ω に終端した。IP-BPM 用に新たに製作した combiner モジュールをトンネル内に置き、バンドパスフィルタとして使用した。このモジュールは、X ポート用には $5.712\text{GHz}\pm 300\text{MHz}$ 、Y ポート用には $6.426\text{GHz}\pm 300\text{MHz}$ に設計されている。また、1 入力の

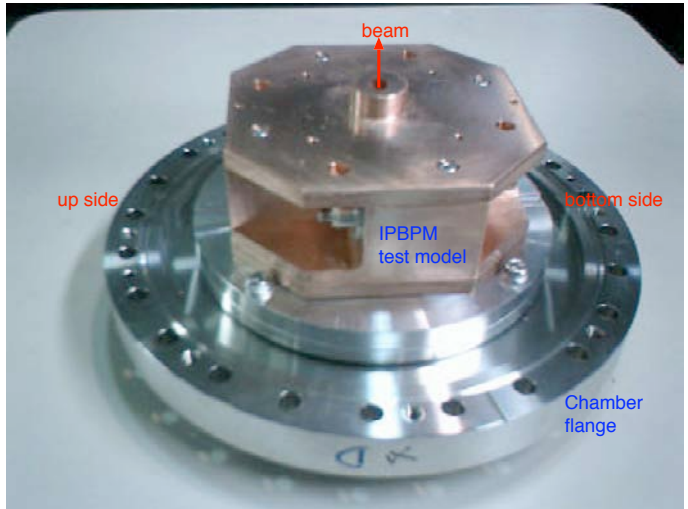


図 1: 真空チェンバーフランジ内側に BPM を取り付けられた様子

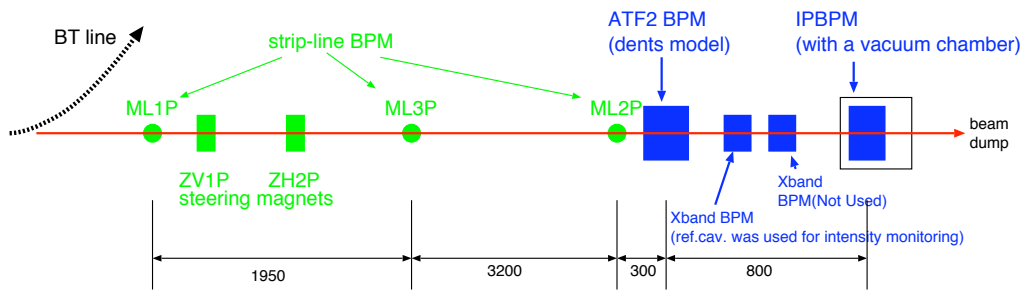


図 2: リニアック下流部のレイアウト

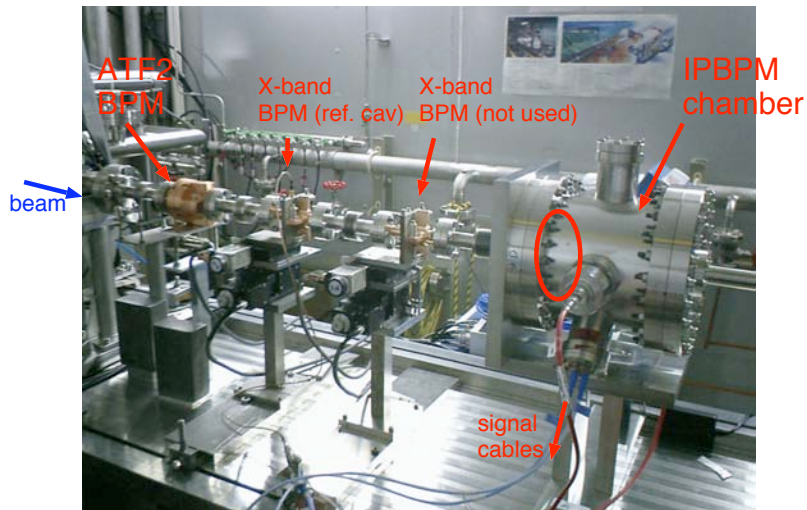


図 3: BPM 付近の写真

場合は約 4dB のロスである。トンネルの外まで約 10m、5dB 程度のロスのケーブルで伝送し、増幅した後ダイオードで検波しオシロスコープで測定した。

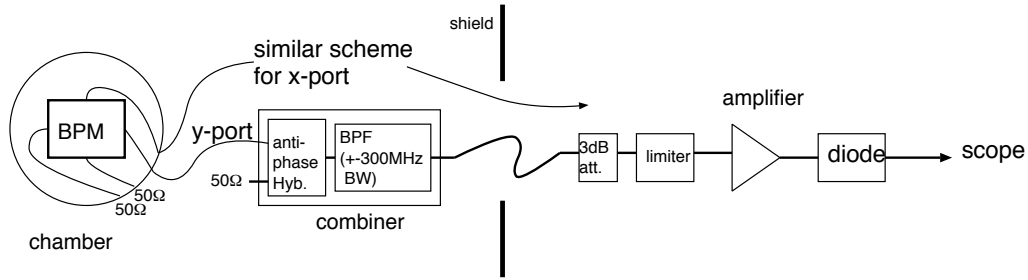


図 4: 読みだしの回路系

3 測定と結果

3.1 波形の観測

図 5 に観測された波形を示す。それぞれ ATF2 BPM と IP-BPM の X-port, Y-port である。Y-port に関しては、見た目では特に問題ない波形をしている。時定数は予定どおり短くなっていることが分かる。

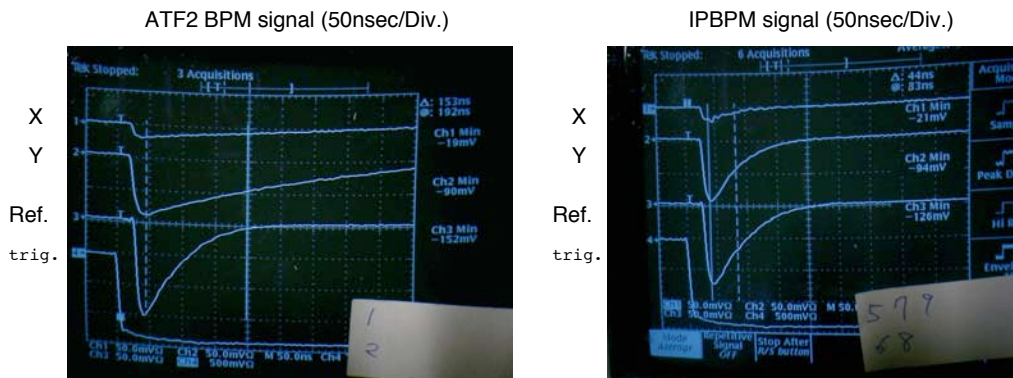


図 5: 検波後の波形

図 6 は X-port の信号があるときの波形である。基本的には減衰波形をしているが、小さく波打っているのが観測された。アンプやケーブルに問題無いかを交換して調べたりしたが問題なかったので、やはり X-port からの信号自体が波打っているらしい。このテストモデルの設計では、もともと X-port の導波管モードが空洞モードと重なっているという問題があることが分かっていたので、導波管モードとの干渉が波打ちの原因であると思われる。

3.2 位置感度

測定の始めにビームの安定度を ML2P を用いて測定したところ、ビーム位置の RMS が X 方向が 37.4 μm 、Y 方向が 61.5 μm であった。これは 2 週間前にテストした時より 2 倍程度悪い値である。



図 6: X ポートの波形

このため、オシロスコープでの波形が十分安定しなかったのでアベレージをかけて読んだ。LNE の ICT の読み値では、ビーム強度は約 0.4×10^{10} e/bunch であり、測定の間で 10~20% 変動した。

ステアリングでビームを動かしながら、オシロスコープで波形を測定した。ストリップライン BPM でモニターしたビーム位置を外挿して空洞 BPM の場所でのビーム位置を計算し横軸とし、オシロスコープで測定したアベレージ波形のピーク電圧を縦軸としてプロットした。図 7 が Y 方向の結果、図 8 が X 方向の結果である。Y 方向の測定の際は、X 方向の信号が最小になるあたりにビーム軌道を調整した後、Y 方向にスキャンした。X 方向も同様。

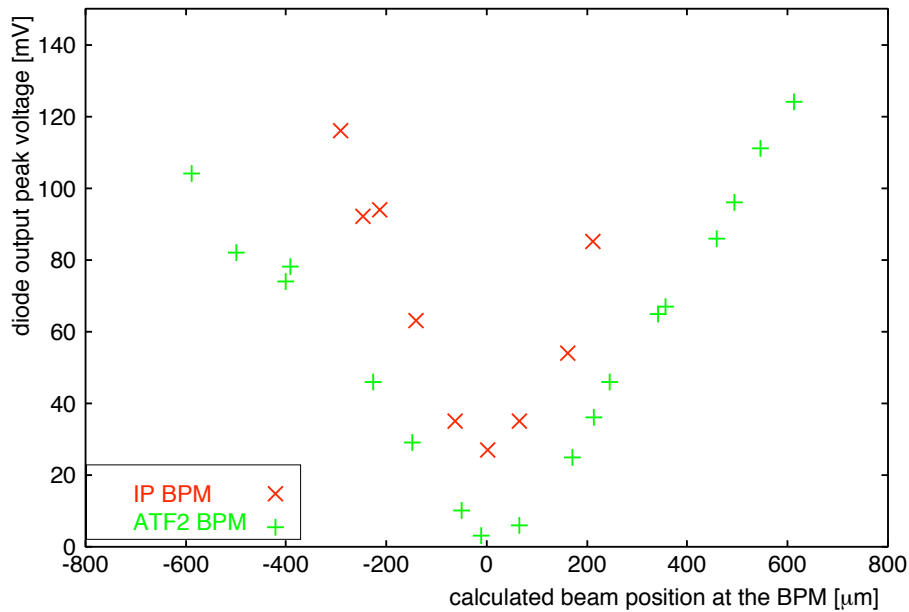


図 7: 位置感度測定 (Y 方向)

X 方向の感度は ATF2 BPM と同程度、Y 方向の感度は ATF2 BPM の約 2 倍であると見てとれる。V 字の先がまるまっているのは、ビームジッターの影響をアベレージをかけてみている為と思われる。

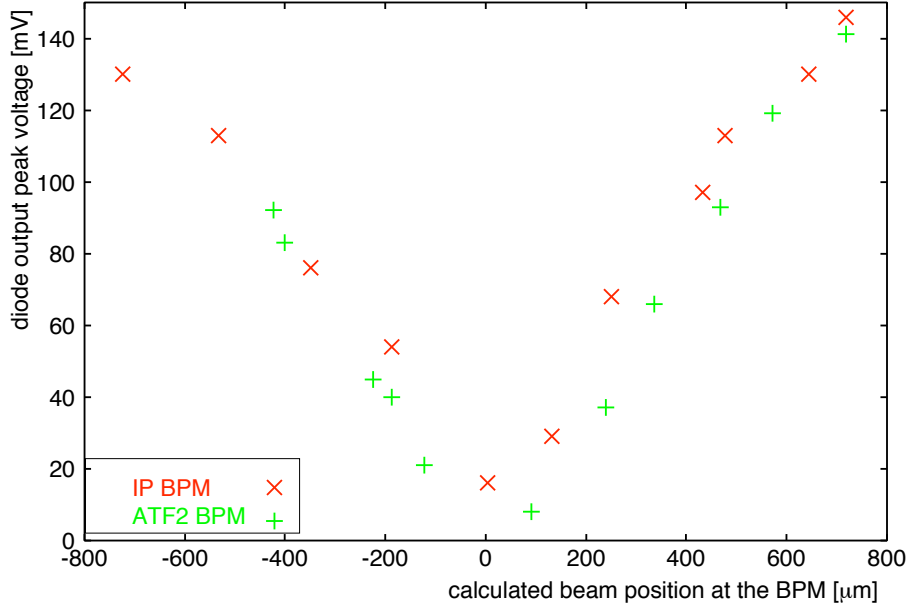


図 8: 位置感度測定 (X 方向)

4 考察

ポートから取り出される電圧 (V_{out}) は、モードの周波数 (f)、バンチ電荷 (q)、バンチ長 (σ)、空洞の形できるインピーダンス (R/Q)、同軸ケーブルのインピーダンス ($Z = 50\Omega$)、ポートのカップリング (Q_{ext}) を用いて、以下のように表される。

$$V_{out} = \frac{2\pi f}{2} \sqrt{\frac{Z}{Q_{ext}} (R/Q)} e^{-\frac{\omega^2 \sigma^2}{2c^2}} \quad (1)$$

同じビームで相対的に比較する場合、共通するものは省いて書くと、

$$V_{out} \propto f \sqrt{\frac{(R/Q)}{Q_{ext}}} \quad (2)$$

インストール後に測定した f, Q_{ext} の値と、MAFIA で計算した R/Q の値を用いて予想される相対的な感度を表 1 にまとめる。 R/Q は固有モードの電場を 1mm のオフセットを付けたライン上で線積分した値 (V_{line}) とモードの全エネルギー (U) から、

$$R/Q = \frac{V_{line}^2}{\omega U} \quad (3)$$

によって計算した。

表 1: Expected sensitivity

cavity	f (GHz)	Q_{ext}	R/Q (1mm offset)	relative sensitivity
ATF2 Q-BPM	6.422	25000	1.00 Ω	1.0
IP-BPM Y	6.422	2300	1.51 Ω	4.1
IP-BPM X	5.705	2400	0.48 Ω	2.0

測定結果と比較すると IP-BPM の感度は X, Y 共に計算の約半分である。ネジ止めモデルのため Q_0 が低いことの影響、小さなビームホールに対し、取り出しラインに比べて大きなビーム径のため、一部をロスしている可能性等を調べる必要がある。

5 まとめ

IP-BPM の位置感度を ATF2 Q-BPM と比較して測定したところ、Y-port は 2 倍、X-port は 1 倍であった。これは予想された感度の半分である。信号の時定数は設計どおり Q-BPM に比べて 1/3 程度であった。Y-port の信号は見るかぎりきれいな波形をしているが、X-port の波形には波打ちが見られた。