

Angle sensitivity of IPBPM

T.Hino, Y.Honda, Y.Inoue, T.Nakamura, S-H.Shin

2006/11/12

概要

Dipole mode excitation of a cavity BPM can be generated not only from a beam offset but also from a beam angle. IP-BPM was designed to be less sensitive to beam angle compared with KEK BPM. The sensitivity to beam angle was estimated with a simulation. We also carried out a beam test with a mechanically inclined BPM block, and observed the beam angle signal. Although there were some problems in the measurement, data and simulation seemed consistent in the overall characteristics.

1 はじめに

ビームの収束点ではビーム位置が安定化する代わりにビーム角度ジッターが大きくなってしまいます。IP-BPMはATF2の収束点に置かれ、ビーム位置の測定に使用される。出来るだけビーム角度に影響されない空洞に設計されている必要がある。空洞BPMの角度感度は空洞長に依存する。このためIP-BPMではKEK BPMやQ-BPMと比較して空洞長さを短く設計した。ところが空洞が短くなると位置の感度も減少してしまうので、これを補うためにビームホールを小さくしてインピーダンスを上げている。

取り出しラインに新しくインストールされたIP-BPMとこれまで使用してきたKEK BPMについて角度感度を計算と測定の両方で調べる。

2 角度感度の計算

2.1 空洞に発生する信号

ビームの通過によって空洞に発生する信号の振幅は、注目する固有モードについてビーム軌道で計算したR/Qの1/2乗に比例する。R/Qは、

$$R/Q = \frac{|\int \vec{E} d\vec{s}|^2}{\omega U} \quad (1)$$

で定義される。この積分をビームの速度で行わなければならないことに注意する必要がある。通常電子ビームは光速でz方向に進むと近似して良いので、

$$R/Q = \frac{|\int E_z e^{i\omega z/c} dz|^2}{\omega U} \quad (2)$$

を計算すればよい。この計算から自動的にTransit-time factorの効果がでて来ることになる。また、角度信号もこの位相シフトに起源する効果である。

2.2 計算機シミュレーション

KEK BPMとIP-BPMの空洞形状について、計算機シミュレーションによって空洞軸に対して傾いたビーム軌道についてのR/Qを計算した。HFSSでは位相シフトを加えながらの積分ができない

(ひょっとしたら出来るかもしれないが今のところやり方を知らない)ので、今回はMAFIAを用いることにした。MAFIAでは積分を行う際に速度(β 、今の場合 $\beta = 1$)を導入することができる。ただし、積分はメッシュ軸方向にしか実行出来ない仕組みになっている為、あらかじめ座標軸と傾けて形状を入力する必要がある。

2.2.1 形状の入力

それぞれのBPM空洞として入力した形状を図1に示す。スロットや導波管は省いて空洞本体とビームホールのみを入れた。また、細かい数字を合わせる必要も無いので大体の値を入れているし、IP-BPMのビームホールはレーストラック型であるがここでは簡単に長方形にしてしまっている。空洞の厚みに関しては正しい値、12mm(KEK BPM)及び6mm(IP-BPM)を入れた。

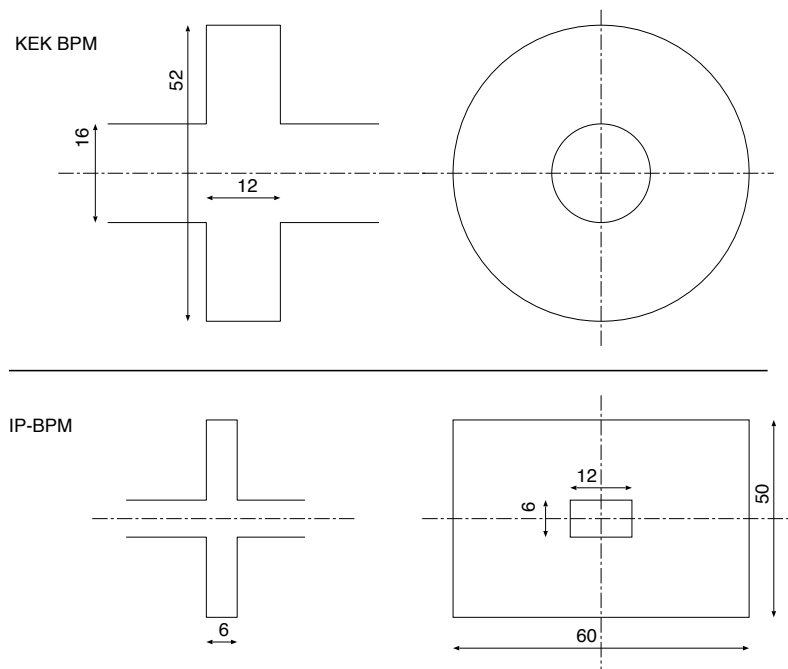


図 1: それぞれの空洞として入力した形状

軸方向と傾けて形状を入力しメッシュ生成した例を図2に示す。

2.2.2 R/Qの計算結果

ビーム実験の際と同様に、空洞にある傾きを与えた状態でビーム位置を平行に移動させながらそれぞれのビーム軌道に対するR/Qを計算した。ビーム位置0mmは空洞の中心を通過する場合を意味する。

図3はKEK BPMに対して3パターンの傾き角の場合について計算した結果である。 $\sqrt{R/Q}$ を縦軸にプロットしている。傾きが無い場合は尖ったV字になるところが、傾きをつけるとビームが空洞中心を通った場合でも角度信号が発生するためV字の先がまるまることになる。

同様の計算をIP-BPMにX方向の角度を与えた場合に行った結果が図4、Y方向の角度を与えた場合に行った結果が図5である。

これらの結果のposition=0mmの時の値を与えた傾きに対してプロットすると図6のようになり、角度に比例して角度信号が発生することが確かめられる。

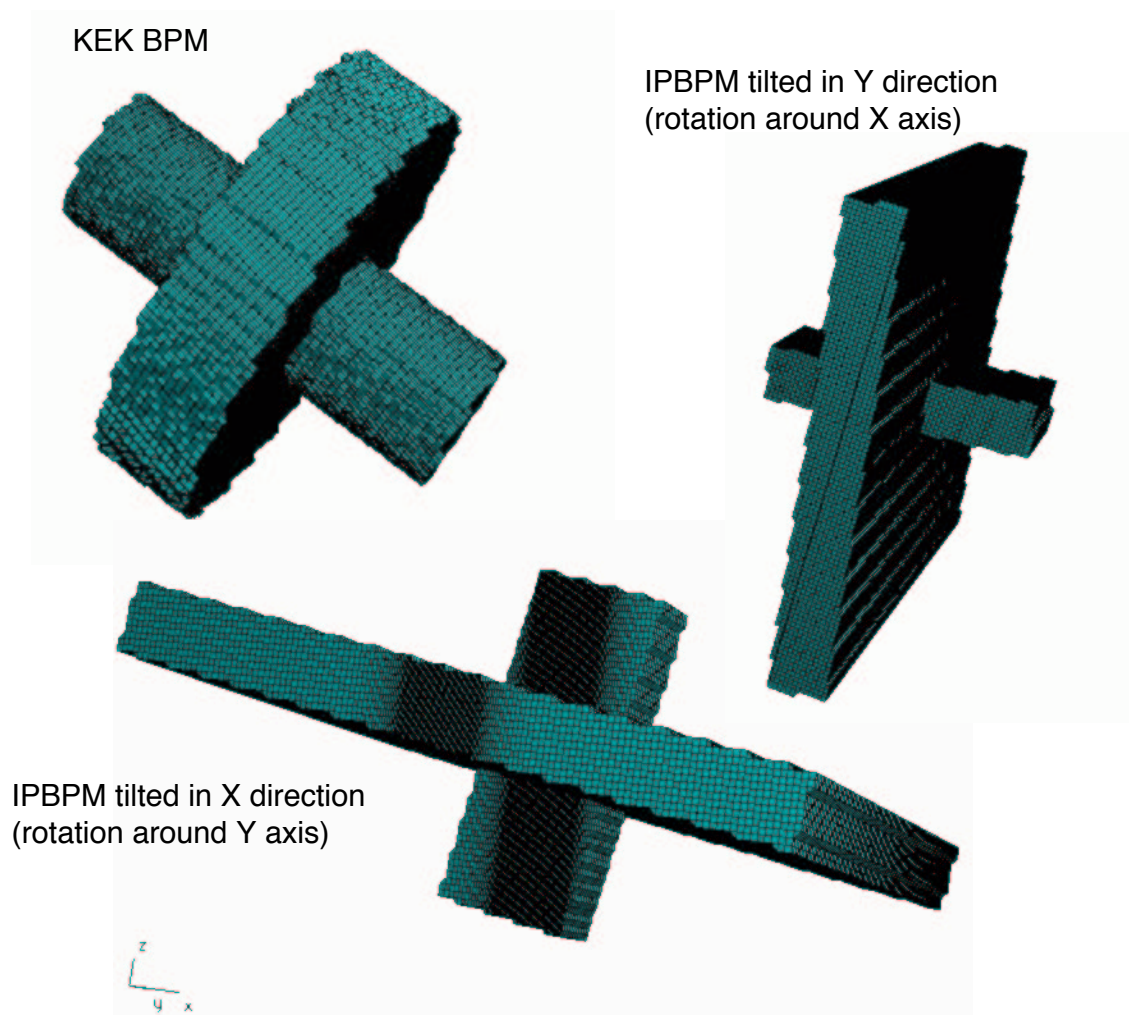


図 2: 空洞を傾けてシミュレーションした形状

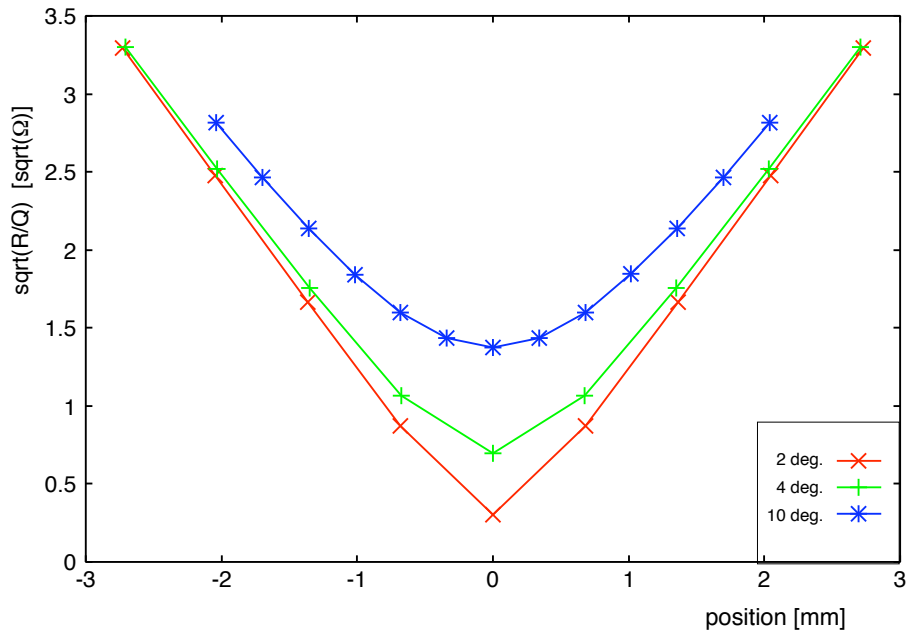


図 3: KEK BPM を傾けた場合の発生する信号

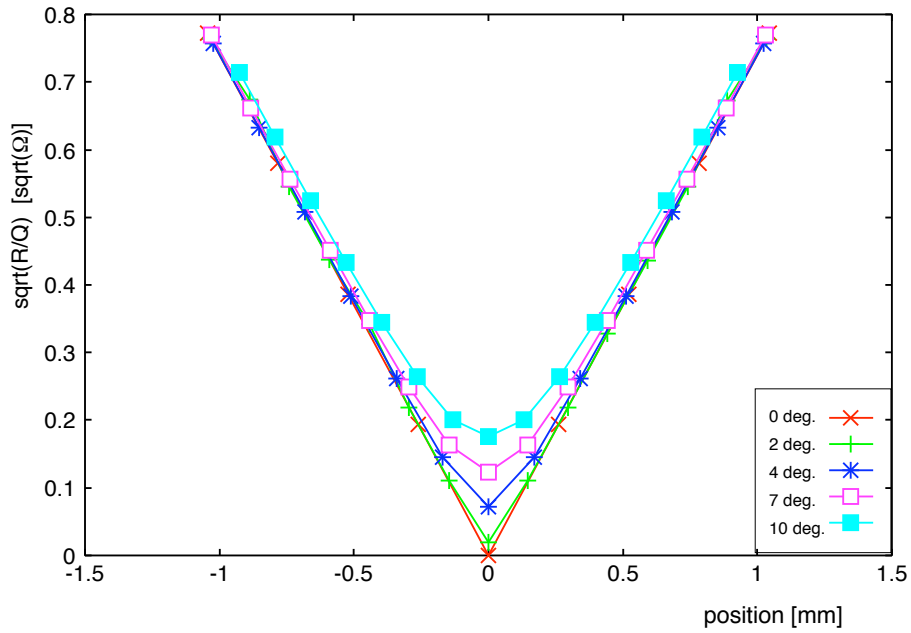


図 4: IP-BPM を傾けた場合の発生する信号 (X 方向)

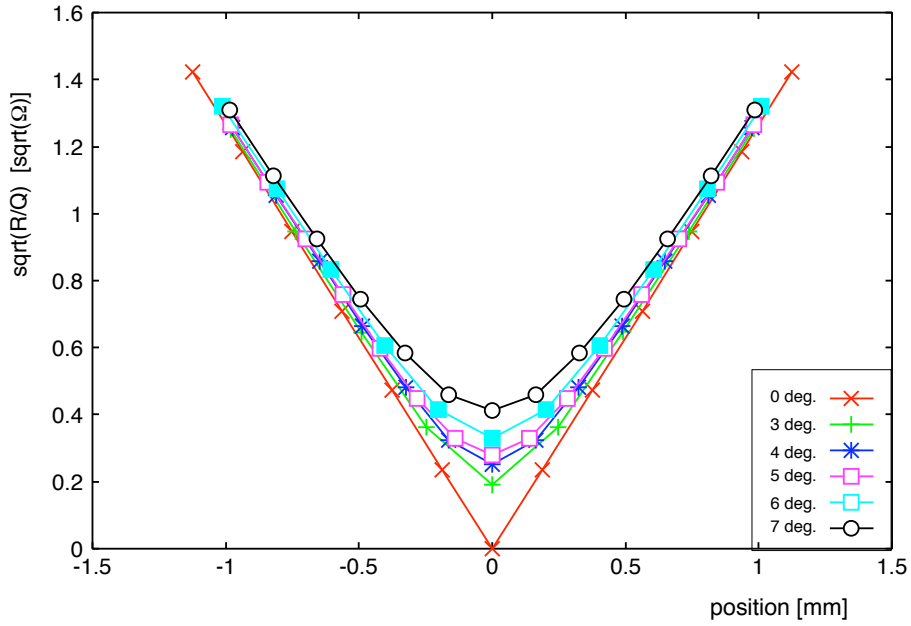


図 5: IP-BPM を傾けた場合の発生する信号 (Y 方向)

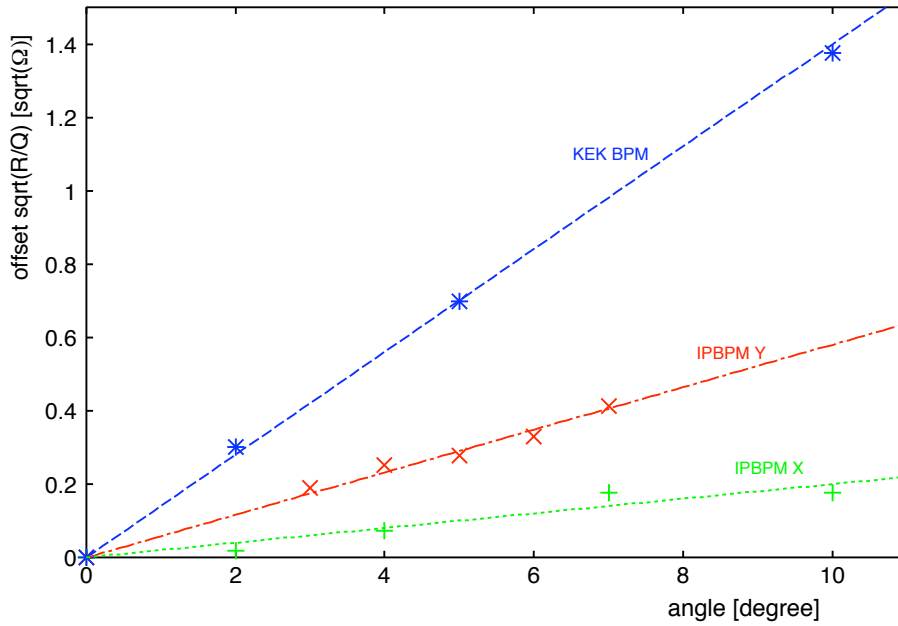


図 6: ビームが空洞中心を通った時の信号量と角度の関係

V字のスロープから位置信号の感度が読み採れるので、図6の縦軸を各空洞の場合について対応する位置信号に直して表したのが図7である。これによると位置信号と角度信号の感度比はIP-BPMではKEK BPMの40%~25%程度であることが分かる。IP-BPMは、もともとの設計思想どおりに角度信号の影響を受けにくい空洞になっていることがシミュレーション上で確認された。結果を表1にまとめておく。

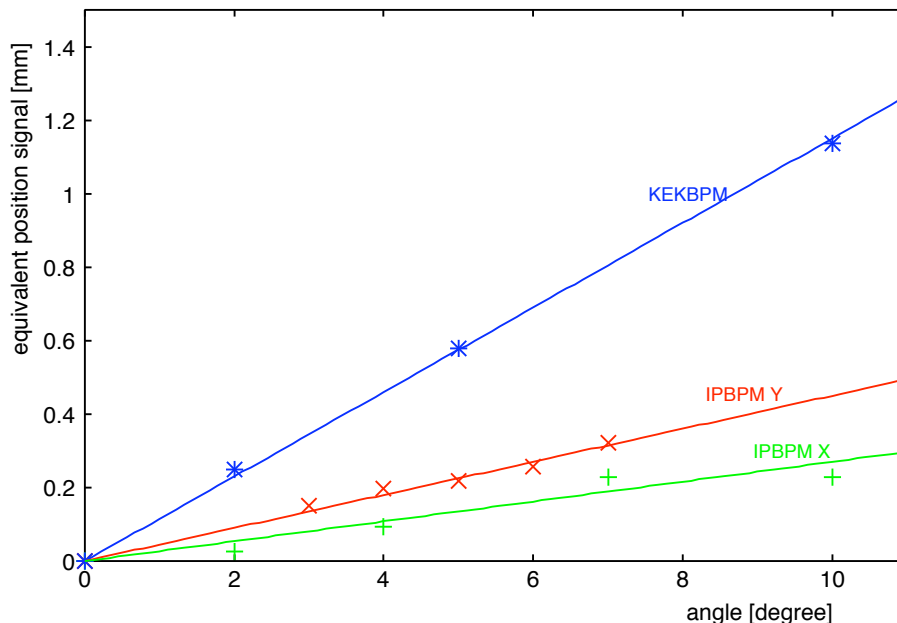


図 7: ビームが空洞中心を通った時の信号を位置信号に換算

表 1: 角度感度の比較のまとめ

	1 rad の角度信号に対応するビーム位置信号
KEK BPM	6.6 mm
IP-BPM X 方向	1.5 mm
IP-BPM Y 方向	2.6 mm

2.2.3 空洞の実効長に関する考察

それぞれの空洞のダイポールモードについて長手方向について電場の z 方向成分の強度分布を計算した。図8がその結果である。実効長をどう定義するのが適当かは議論が残るところであるが、IP-BPMはKEK BPMの大体半分と見てとれる。角度感度は空洞長の2乗に比例すると考えられるので、表1の結果の相対的な関係は概ね理解できる。

3 ビームテスト

取り出しラインにインストールされたKEK BPMとIP-BPMについて角度感度を測定した。以前のテストと同様に、ビームを大きく傾けて入射するのは難しいので空洞を傾けて設置して信号を観測した。

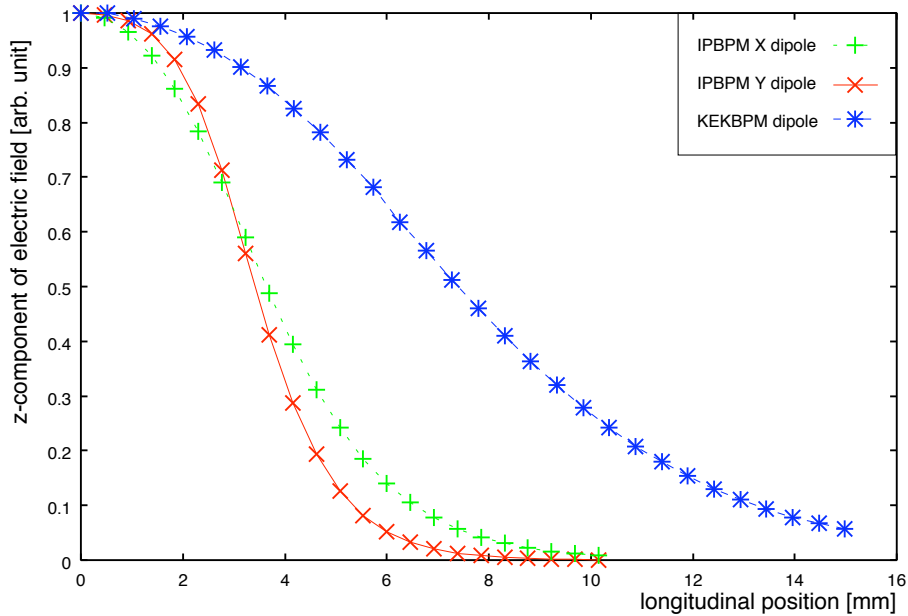


図 8: 空洞モードの実効長

3.1 セットアップ

3.1.1 空洞の設置

空洞とホルダーの間に 1mm 厚のアルミ板 (シム) を挟み込むことで空洞を傾けて設置することが出来る。KEK BPM のホルダー面は 45 度の傾斜面なので、シムの実効的な厚みは 1.414mm になることに注意する。KEK BPM の全長は 100mm なので、シムを挟んだとき 14.14mrad の傾きである。IP-BPM のホルダーの当たり面 (当たり面は空洞の全長より短い) の全長は 78mm なのでシムを挟んだとき 12.82mrad の傾きである。便宜上、ビーム進行方向の上流側にシムを挟んだときを+、下流側に挟んだときを-と定義した。ビームタイム中に何度もトンネルアクセスをして、シム+、シム-、シム無とセットアップをその都度変更した。

3.1.2 検出回路

図9にセットアップと検出回路のスキームを示す。測定対象の BPM はダイオードによる振幅検出を行った。同時にビーム通過位置をモニターする為に下流の IP-BPM を用いた。本番用回路のテストを兼ねて下流 IP-BPM の処理には新しく製作した converter 及び phase detector を用いた。また、せっかくなので新しく導入したビーム同期 L.O. を使用し、レファレンス空洞無しで位置を直接検出するスキームを組んだ。図には示されて無いが、上流に設置されているレファレンス空洞の信号強度も同時にモニターしており、ビーム強度の測定に用いている。以降の解析の際にはレファレンス空洞のデータによるカットを行い、ビーム電荷のばらつきを 10%以内に制限している。

3.2 結果と解析

下流の IP-BPM で測定したビーム位置を横軸に、測定対象の BPM の信号振幅を縦軸にプロットしたのが、図 10~ 図 12 である (ユニットはどちらも ADC の読み値)。下流の BPM のキャリブレーションは別途前後のストリップラインと比較して行い、X 方向は 2.7ch/ μm , Y 方向は 4.0ch/ μm と求

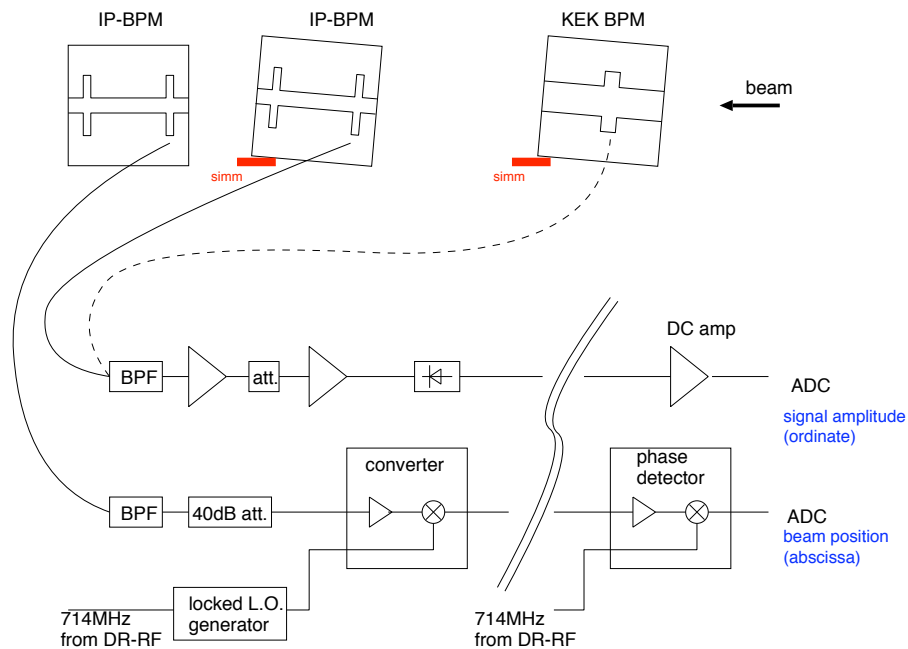


図 9: 検出回路

まっている。ステアリング電磁石を用いて V 字が全体的に描けるように測定中ビームをスキャンさせた。シムを挟まないセットアップ (0mrad) の時には V 字は下まで下がっているのに対し、傾けたセットアップでは V 字の先がまるまっている。IP-BPM X 方向の傾き+のデータのバラツキが異常に大きく良く理解出来ていない。(とりあえず今のところはこのデータは以後の計算には使用していない。) V 字の斜面の傾きから感度を校正し、傾けた場合の最小値はビーム位置信号に直すといくらに対応するか換算した結果を表 2 にまとめた。

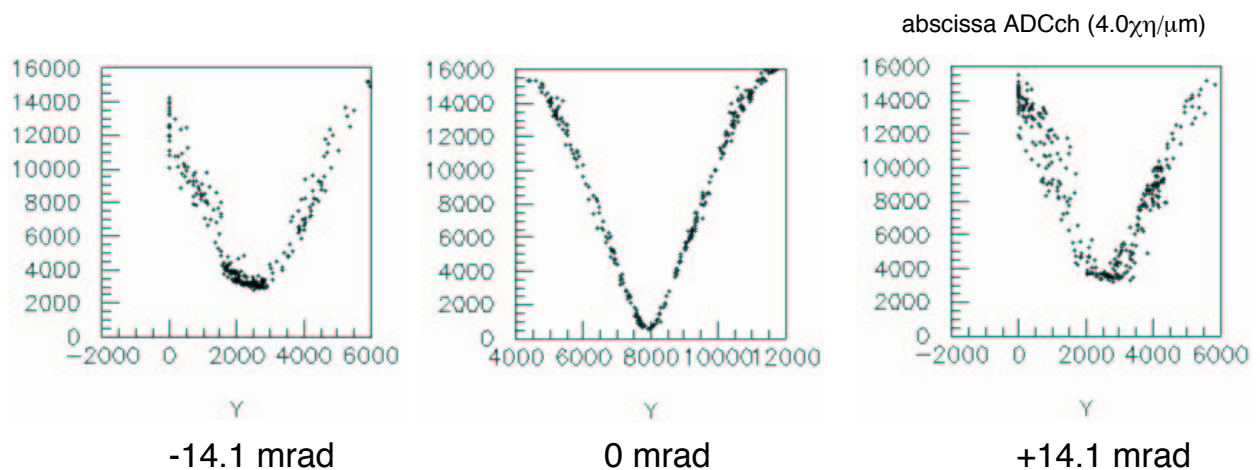


図 10: KEK BPM の結果

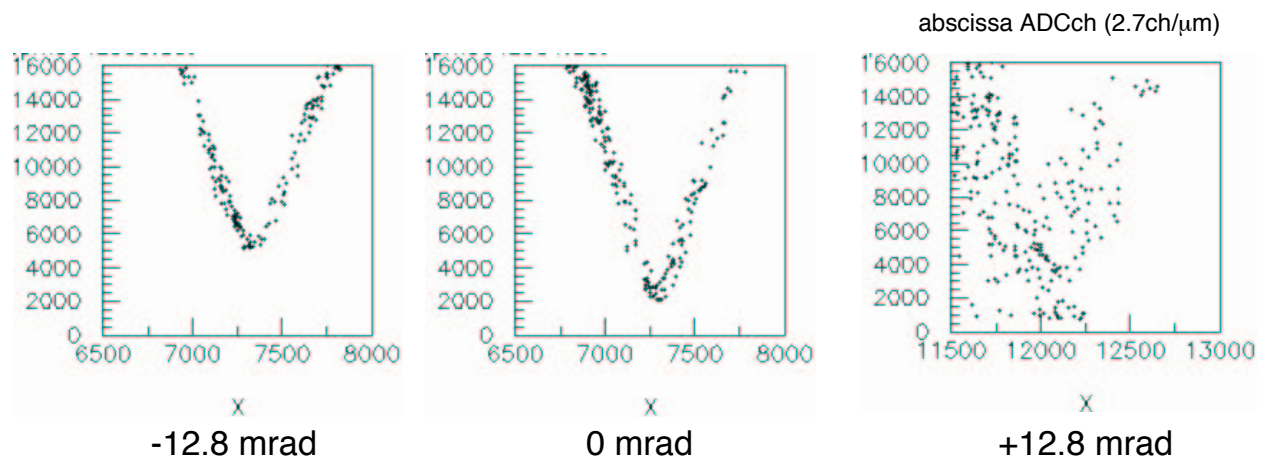


図 11: IP-BPM X 方向の結果

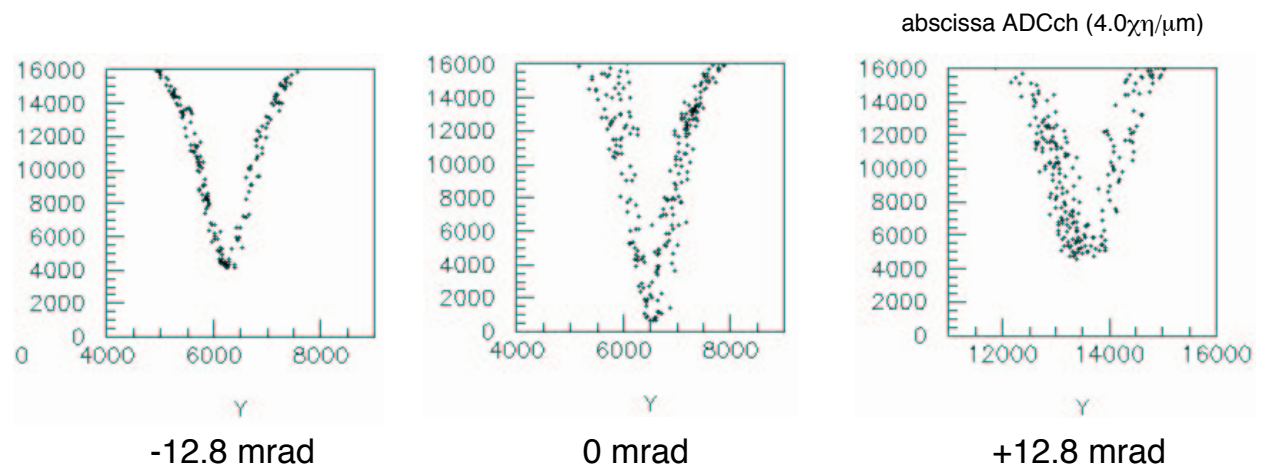


図 12: IP-BPM Y 方向の結果

表 2: ビーム測定の結果

	ベースラインシフト量	位置感度	1rad に対応する位置信号
KEK BPM	2470ch / 14.14mrad	21.2ch / μm	8.3 mm
IP-BPM X 方向	2850ch / 12.82mrad	108.0ch / μm	2.1 mm
IP-BPM Y 方向	3700ch / 12.82mrad	80.0ch / μm	3.6 mm

3.3 考察など

データ点の安定度がランによって異なっている、IP-BPM X 方向傾き+ のデータが特に不安定、等いくつか理解出来ていない点が残っている。

ある程度のビームジッターが有ったとしても下流の BPM でビーム位置をモニターした値を用いてプロットしているので影響は受けにくいはずである。ビーム軌道角度のジッターがあればデータ点のバラツキを生じるが、空洞間の距離は 20cm 程度なので結果を説明するには $50\mu\text{rad}$ の角度ジッターがなければならないことになる。通常のビーム条件ではこれは考えにくい但实际上にビーム自体に問題があるかもしれない。

今回はテストを兼ねてビーム同期 L.O. を試してみたが、ビームタイム中に位相調整がゆっくりとずれていくという問題があった。DR-RF からの基準信号の安定度の調査とレファレンス空洞を使用した位相検出の場合と比較してみる必要がある。

4 まとめ

KEK BPM と IP-BPM についてビーム軌道角度に対する感度を調べた。シミュレーションと測定はおおまかには合っている。測定結果の信頼性についてはまだ疑問があるので追試する必要があると思われる。