

Layout of IP-BPM

Y.Honda

2005/9/12

概要

An IP-BPM system measures the beam jitter at the beam focused point of ATF2. It has been proposed to use a BPM triplet consists of three individual BPMs. We reconsidered the layout of the BPM system and the number really needed. We propose to combine two BPMs into one block and measure the beam jitter basically only with the two. An additional BPM is also needed for calibration and monitoring the resolution during the beam measurement.

1 目的

ATF2の収束点でビームジッターを測定する目的で、高位置分解能でかつ角度に不感の空洞BPMを複数並べて使用する。IP-BPMの個数と並べ方について検討する。

2 はじめに

これまで、3台のBPMが必要ということになっていた。図1がもともとフォーゲルさんが提案していた配置。ただし、フォーゲル案ではBPMは1方向しか測定出来ない為、X,Yにそれぞれ3台必要ならば全部で6台になる。図2がFFTBで用いられた方式。

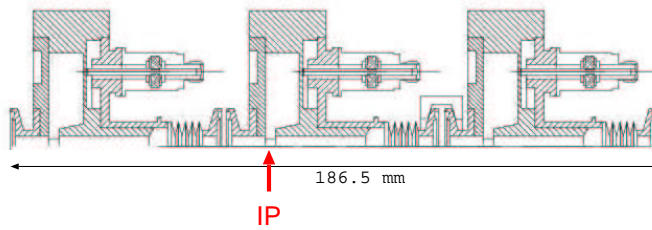


図 1: フォーゲル案 (ATF2 proposal)。

フォーゲルさんのアイデアを引き継いで位置感度、角度感度について見直した結果、空洞本体についてははだいたい同じパラメータに落ち着いた(別途レポート予定)。一つの空洞でX,Y両方読みだすようにし、読み出しを単純にすべきという考えでQ-BPMと同じ設計の導波管に変更した。図3に示す。

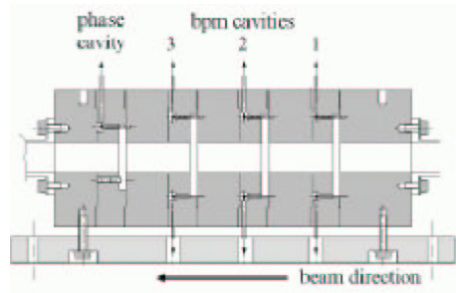


図 2: FFTB 方式。

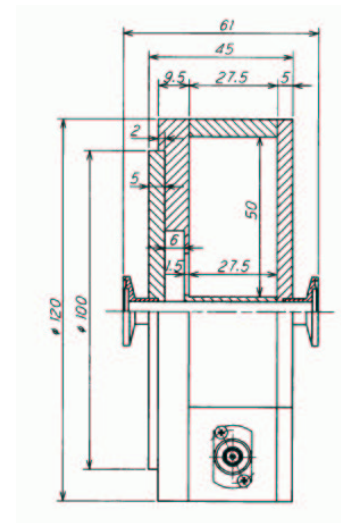


図 3: 新しく設計した IP-BPM(単体)。

3 個数について

3.1 1個

はじめからビームが安定で、焦点がぴったり合っている場合 (図 4(a))。ビームが安定であることを証明するには、実は 1 台でも可能。キャリブレーションは BPM を動かして行う。(キャリブレーションの間、ビームの平均的な位置は安定と仮定する。) 分解能はビームジッターこみの数値が数ナノ以下であることを示せば良い。ただし、ビームジッターが大きい場合 (図 4(b))、あるいは焦点がずれていた場合 (図 4(c))、混乱する。

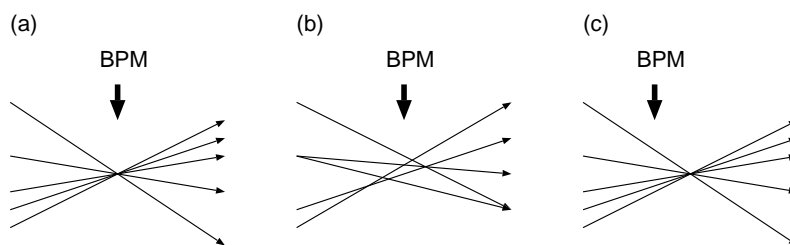


図 4: BPM が 1 個の場合。

3.2 2個

BPM が 2 個以上あると、ビーム軌道を測定可能なので焦点がずれている場合でも、それを測定し、あわせることが可能 (図 5)。あるいは、外挿、内挿して焦点でのジッターを求められる。この場合もキャリブレーションは BPM を動かして行う。得られた焦点でのジッターが BPM の分解能込みで求められる。

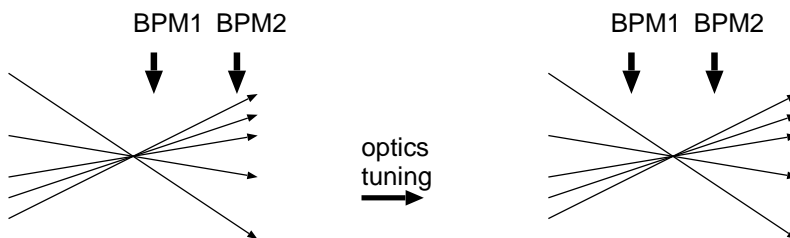


図 5: BPM が 2 個の場合。

3.3 3個

BPM が 3 個以上あると、3 台の測定値の一致をみることで、BPM の分解能が同時に評価できる。仮にビームジッターが大きい場合でも本当にジッターが大きいのか、BPM の分解能が悪いのか区別できる。

3 台の BPM の相対的キャリブレーションは、解析から最も確からしい相対スケール比を求めることができる。真ん中の BPM (y_2) を基準として、1 つ目 (y_1)、2 つめ (y_3) の相対スケールの比をそれぞれ α, β とすると、 $\alpha y_1 - 2y_2 + \beta y_3$ という評価関数のばらつきを最小にするような α, β を探せば良い。

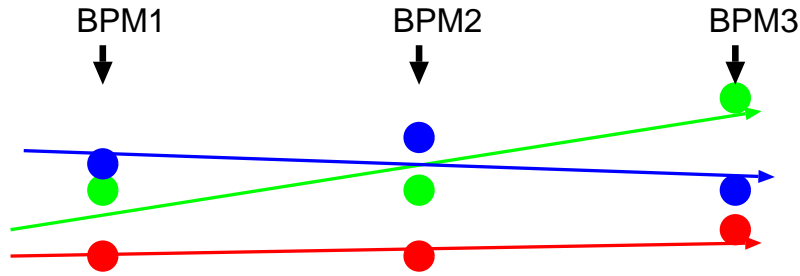


図 6: BPM が 3 個の場合。

3.3.1 固定式 (一体で可動)

FFTB 方式のように 3 台が固定していた場合、絶対的キャリブレーションは BPM 全体を動かして行うことになる。キャリブレーションの間、ビームの平均的な位置は安定である必要がある。BPM を動かす量はビームの安定度より十分大きい必要がある。

3 台の電気的中心が測定可能レンジ内で直線上にうまく並んでいけば良いが、ずれているとアテネータを入れてゲインを落とす必要が出て来るので分解能が悪くなる可能性がある。

固定式だと、独立に振動するとは考えにくいので機械的安定性によって分解能が悪くなることはない。また、全体をコンパクトにできるはずである。

3.3.2 独立可動式

3 つのうち、2 つを固定して、1 つを動かすとビームの安定度に依存しない絶対的キャリブレーションが可能。一つを動かしたときに評価関数 $\alpha y_1 - 2y_2 + \beta y_3$ が変化する量を見てスケールをつける。BPM を動かす量は分解能と同等で十分。実は、動かす BPM は 3 つのうちどれでも構わない (評価関数は同じ)。端の BPM を動かして残り 2 つからの外挿と比較しても、真ん中の BPM を動かして両端 2 つからの内挿と比較しても良い (図 7)。

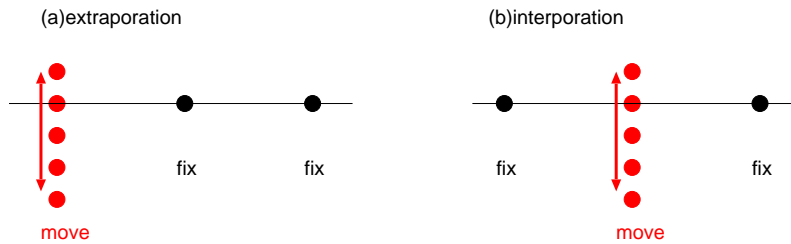


図 7: 独立可動によるキャリブレーション。

4 分解能とレンジ

数ナノの分解能を狙うとレンジは $10\mu\text{m}$ 程度に限られる (Q-BPM は 100nm 分解能で $500\mu\text{m}$ レンジ)。IP でのビーム角度ジッターが $200\mu\text{rad}$ とすると、 50mm あたり $10\mu\text{m}$ となる。BPM システム全体を 100mm 以内に作らないと角度ジッターの為に端の BPM ではレンジ外になってしまう。

5 空洞のカップリング

2つの空洞があまりに近付きすぎていると隣の空洞からもれてきた信号と結合するおそれがある。カットオフ周波数以下で一般にビームパイプの直径分だけはなれると-30dBになる、という関係から評価してみる。50mm 離れると8ビームパイプ径程度あるので十分減衰すると思われる。ちなみに、KEKの今のBPMで起こっているのは、reference 空洞のモノポールモードとのカップリングの問題であり、100dBも違う大きな信号との結合である。今の場合は、同じ程度の大きさの信号のカップリングなのでそこまで深刻ではないと思われる。

6 提案するレイアウト

6.1 前提

次のことを要求してレイアウトを考える。

- 一つの空洞で X,Y 両方測れるべき。
- BPM の間隔 100mm 以内。
- ビームの安定度に依らず、キャリブレーションするため、最低一つは独立に可動。
- BPM の分解能を同時に評価するため、全部で 3 台以上。
- ビームの測定には機能する BPM が 2 台あれば十分。
- BPM の機械的安定度を良くすることと、コンパクトにする為、一体化できるところは一体化したい。

6.2 レイアウト

2個+1個のレイアウトが必要十分と思われる(図8)。2個の中心を通る直線は必ず存在するので、2つを一体化してもかまわない。のこりの一つを動かして3台を直線上に合わせることができる。また、キャリブレーションのときも、こののこり1つを動かせば良い。キャリブレーションされたあとは、一体化されている2個でビーム測定をすれば良い。図9のように測定時はこの2個のあたりに焦点があるようにすると、想定されているビーム角度ジッターではBPM1,2の測定レンジ内に収まる。BPM3はBPMの分解能を同時チェックするのに用いるので、レンジから外れたビームがあっても構わない。レンジに入ったデータのみを使って分解能がおかしくなっていないかモニターする。

実際は二つ違うタイプをつくるのも煩わしいので、2個一体化のものを2つ作るのがいいのではないか。

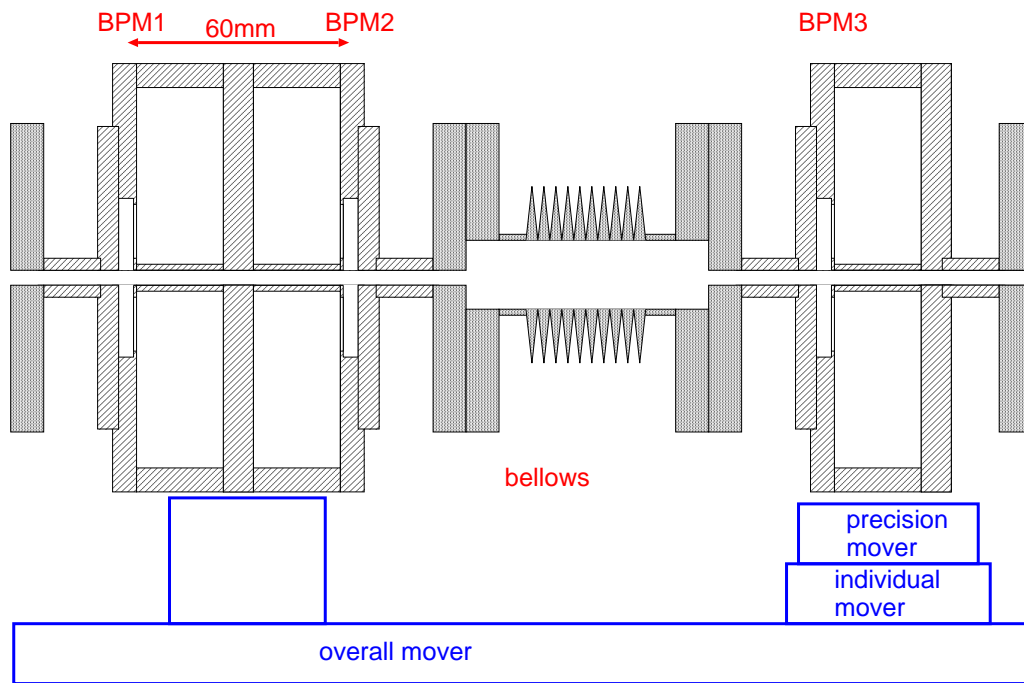


図 8: 最小限のレイアウト。

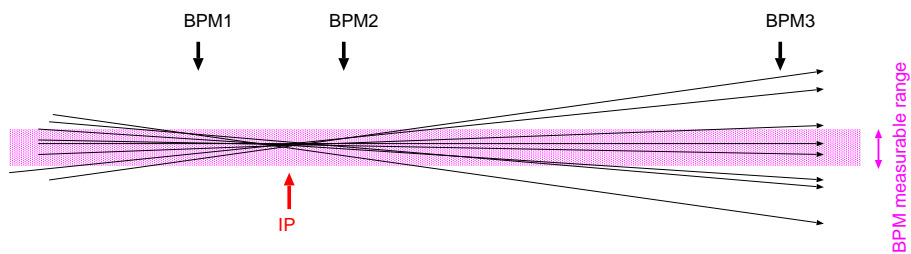


図 9: ビーム測定時の状況。