

# Understanding the Strange signal of KEK cavity BPM

Y.Honda

2005/9/7

## 概要

A strange pulse shape has been observed in the signal of KEK cavity BPM. The pulse shape is not symmetric with respect to the cavity center, and it can not be nulled even if a beam passes its center. The observed characteristics of the signal is summarized. It has been known that there is a small coupling between the reference and the sensor cavity of the KEK BPM. We modeled the sensor cavity coupled with the reference cavity by a circuit model and simulated the signal excited by the beam. Leakage from the reference cavity can reproduce the observed phenomenon.

## 1 目的

KEK 空洞 BPM は、空洞の中心付近のビームに対して奇妙な波形を出力する。まず、6月のビームタイムで観測された信号とその性質についてまとめる。奇妙な波形を発生する原因について考え、reference 空洞と sensor 空洞の結合でこれが説明可能か、回路モデルを用いて検証する。

## 2 観測された信号

ビームテストで観測された信号と、その性質についてまとめる。

### 2.1 ダイオード検波による測定

図1に示すような単純なセットアップで空洞 BPM からの出力信号を観測した。Y 方向のビーム位置用の二つのポートを独立に読み出し、それぞれオシロスコープで観測した。ステアリングマグネットを用いてビーム軌道を動かして信号が最も小さくなる位置を探した後、その付近で等間隔にビームを動かしながら波形を観測し、図2の(1)~(6)のデータを得た。ステアリングのキャリブレーションから見積もると、空洞 BPM の位置での軌道はこのとき約  $50\mu\text{m}$  ステップで動いている。完全に信号が無くなる場所は無く、二山の信号が残ってしまう。また、空洞中心に対して波形が非対称である。

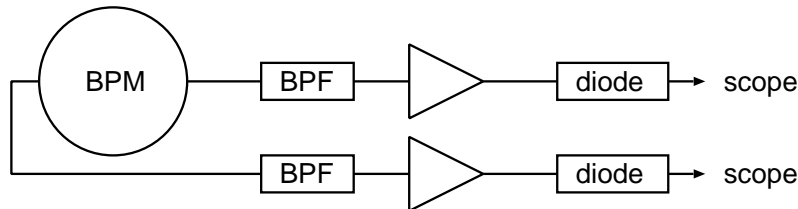
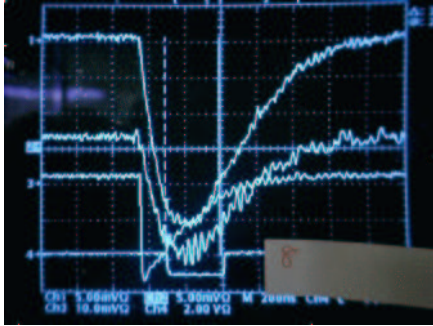
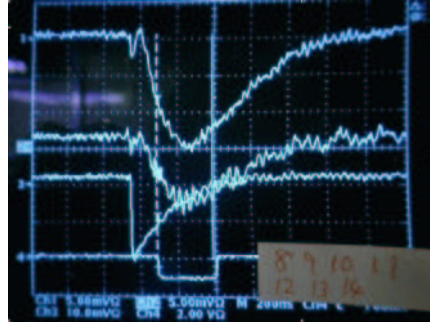


図1: ダイオードによる測定のセットアップ

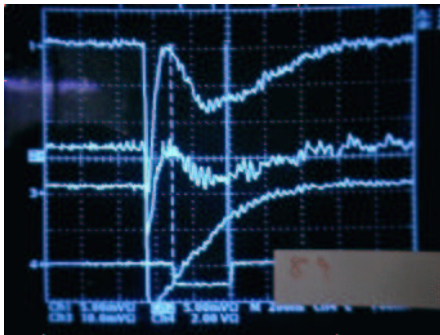
(1)



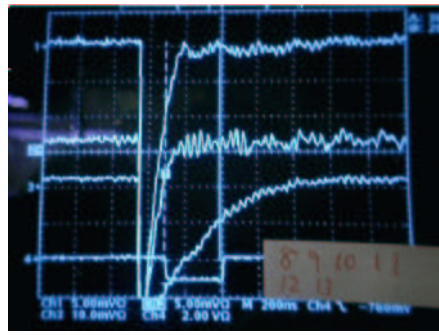
(2)



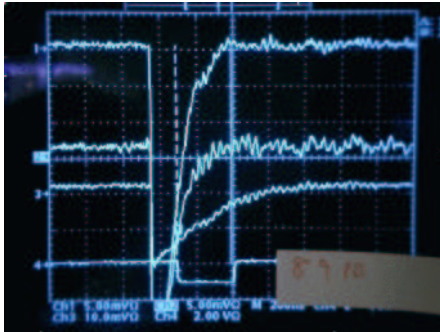
(3)



(4)



(5)



(6)

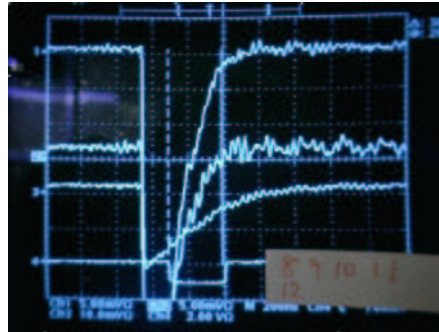


図 2: ダイオード検波によって測定された波形。ch1,2が BPM の二つのポートからの出力。(1)~(6)は順に約  $50\mu\text{m}$  ステップでビームを振っていった。

ダイオード検波の方法でいろいろと条件を変えて調べてみた結果、以下のような特性が分かった。

- コモンモードの影響を打ち消すため、コンバイナを用いて対面ポートの信号を合成したあと、BPF、アンプ、ダイオードで検出した。しかし、図2との明らかな違いは見られなかった。
- tilt 信号が影響しているか調べるため、ビーム軌道にわざと大きな角度 ( $\pm 1$  mrad) をつけてみた。しかし、図2との明らかな違いは見られなかった。
- X 方向の位置信号が影響しているか調べるため、X 方向の軌道に大きなオフセット ( $\pm 1$  mm) をつけてみた。しかし、図2との明らかな違いは見られなかった。
- KEK 空洞に特有の問題か、あるいは検出回路の問題かを明らかにするため、BINP 空洞 (SLAC 使用) でも測定してみた。通常の減衰波形がみられ、中心では信号が無くなった。

## 2.2 KEK 回路を用いた位相検出による測定

通常の KEK の位相検出方式の回路を用いたときにも同様の現象は観測されている。図3は、ビーム軌道を中心付近に合わせ、回路のアテネータを全て外したときの例である。左図は、3つの空洞の Y 方向の信号。本来、ユニポーラの信号になるべきなのが、バイポーラ信号になっている。3つの空洞全てについて同じような波形が出ている。対処療法として、チャージ積分のゲート幅を狭くして波形の一部だけをとるようにして測定を行っている。右図はビームを上下に少しずつ振ったときの様子を重ね描きしたもの。空洞の上下で非対称な信号であることがわかる。一応、信号全体にビーム位置に対する感度がある。

図4は、アテネータを 50dB 入れて回路の感度を落とした状態で図3と同様の測定をしたもの。ビームを動かしたステップはずっと大きい。この場合は、予想されるとおり減衰振動を LPF に通した波形をしている。空洞の上下で対称に見える。ただし、中心付近で僅かに非対称に見える部分がある。

図3を図4の測定にたいして、アテネータ以降の回路に対してはほぼ同じレベルの信号が入力されているので、回路が原因で非対称な波形が出力されるのでは無いと思われる。

大きなレンジでは目立たなくなることから、奇妙な波形の原因は位置依存の無い (少なくとも線形より依存性は鈍い) 現象と思われる。

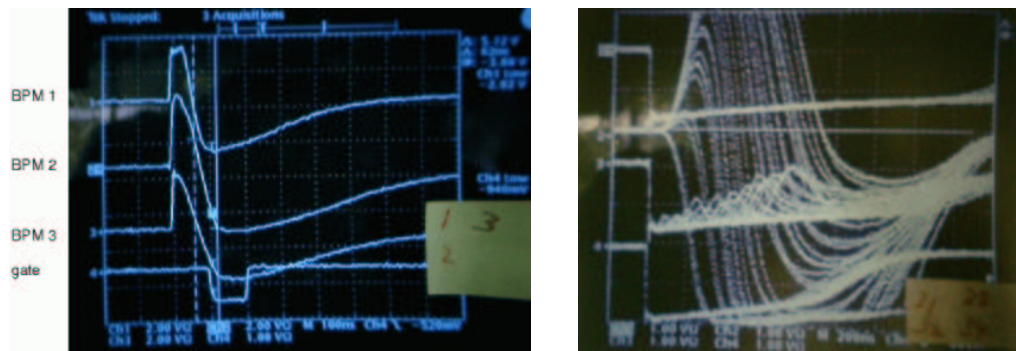


図 3: 位相検出方式による波形の観測。

## 2.3 観測された性質のまとめ

奇妙な波形の原因について考えられる性質をまとめると、

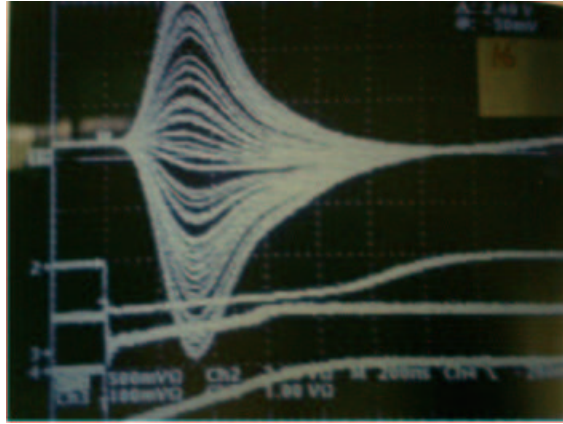


図 4: 位相検出方式による波形の観測。大きなレンジでの測定。

- Y 方向の位置に依存しない。
- コモンモードの影響では無い。
- 角度信号の影響では無い。
- X 信号の影響では無い。
- KEK の BPM には有るが、BINP の BPM には無い。

これらについて考慮すると、reference 空洞によって励振した sensor 空洞のダイポールモードが原因であるという説は矛盾しない。また、実際に reference 空洞によって sensor 空洞のダイポールモードが励振されることが検証されていて、約  $30\mu\text{m}$  程度の位置信号と同等の影響である。これは  $50\mu\text{m}$  ステップでビームを振ったときに影響が見られることと定量的にもだいたい一致する。

### 3 空洞のモデル

reference 空洞から sensor 空洞へのカップリングを等価回路で図 5 のように表現できる。空洞を  $R, L, C$  の並列回路で表す。周波数を  $L, C$  で  $6.5\text{GHz}$  に合わせて、減衰時間を  $R$  で合わせる。二つの空洞の結合の強さを  $R_c$  で表す。 $R_c$  は sensor 空洞の filling time をきめる。filling time は sensor 空洞の  $Q_L$  (時定数) からきめられる。ビームの通過によって、パルス状に空洞は励振される。

SPICE を用いて、この等価回路をシミュレーションした (図 6)。(a) は reference 空洞をビームによってパルスの的に励振したときの reference 空洞内の信号である。reference 空洞は、測定結果から  $Q_L=6500$  であることから振幅が時定数  $320\text{nsec}$  で減衰する通常の減衰振動。(b) は sensor 空洞のみをビームによってパルスの的に励振したときの sensor 空洞内の信号である。sensor 空洞は、測定結果から  $Q_L=8100$  であることから振幅が時定数  $400\text{nsec}$  で減衰する通常の減衰振動。(c) は reference 空洞のみをビームによってパルスの的に励振したときの sensor 空洞内の信号である。まず、reference 空洞が (a) のように励振し、それがもとになって sensor 空洞がじわじわと励振する。そのうちに reference 空洞内の信号が減衰していくので、sensor 空洞の信号も減って行く。結果としてこのような時間構造ができる。

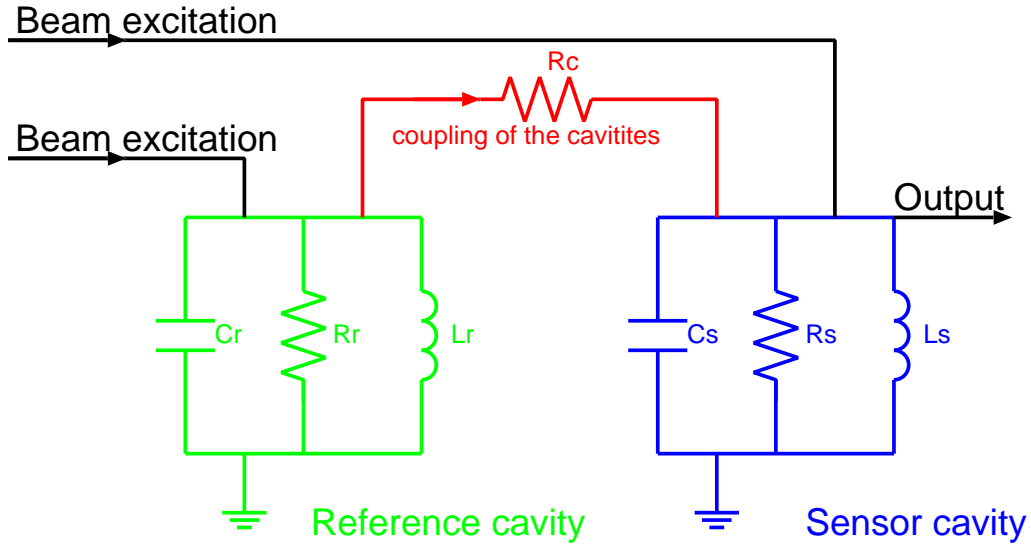
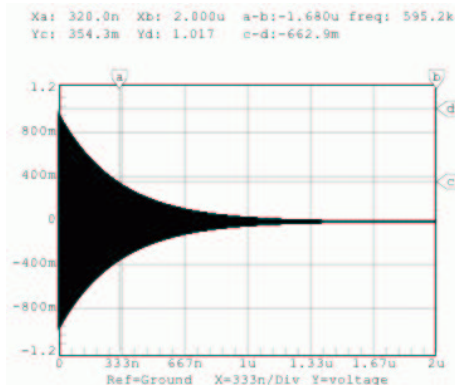
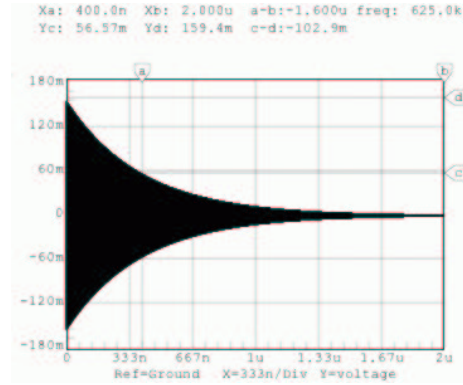


図 5: 回路モデルによる2つの空洞の表現。

(a) beam signal in the reference cavity



(b) beam signal in the sensor cavity



(c) signal in the sensor cavity  
excited by the rf in the reference cavity

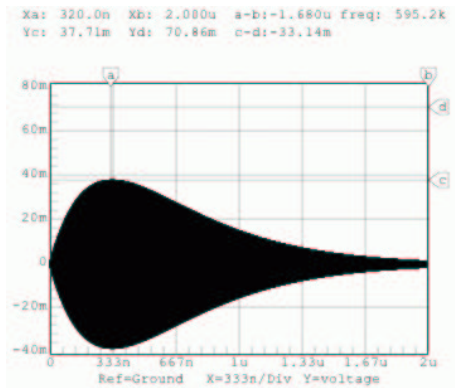


図 6: 空洞に励振する電場のシミュレーション。

## 4 シミュレーションによる再現

3のモデルを用いて、実験で観測された波形を再現してみる。空洞をビームが通過するとき、実際は reference 空洞も sensor 空洞もビームによって直接励振されるので、sensor 空洞からの出力は、直接の励振 (図 6(b)) と間接の励振 (図 6(c)) の線形重ね合わせである。ビーム位置が変わると、直接の励振の成分の振幅が変わる (空洞の反対側では位相が反転する) が、間接の励振の成分は変化しない。

### 4.1 生の RF 信号

直接励振の成分の振幅を等間隔で変えて行って間接励振の成分との重ね合わせの信号の変わる様子を示したのが図 7(二つの成分の相対位相は適当にあわせてある)。図 2 と対応した信号が再現できる。

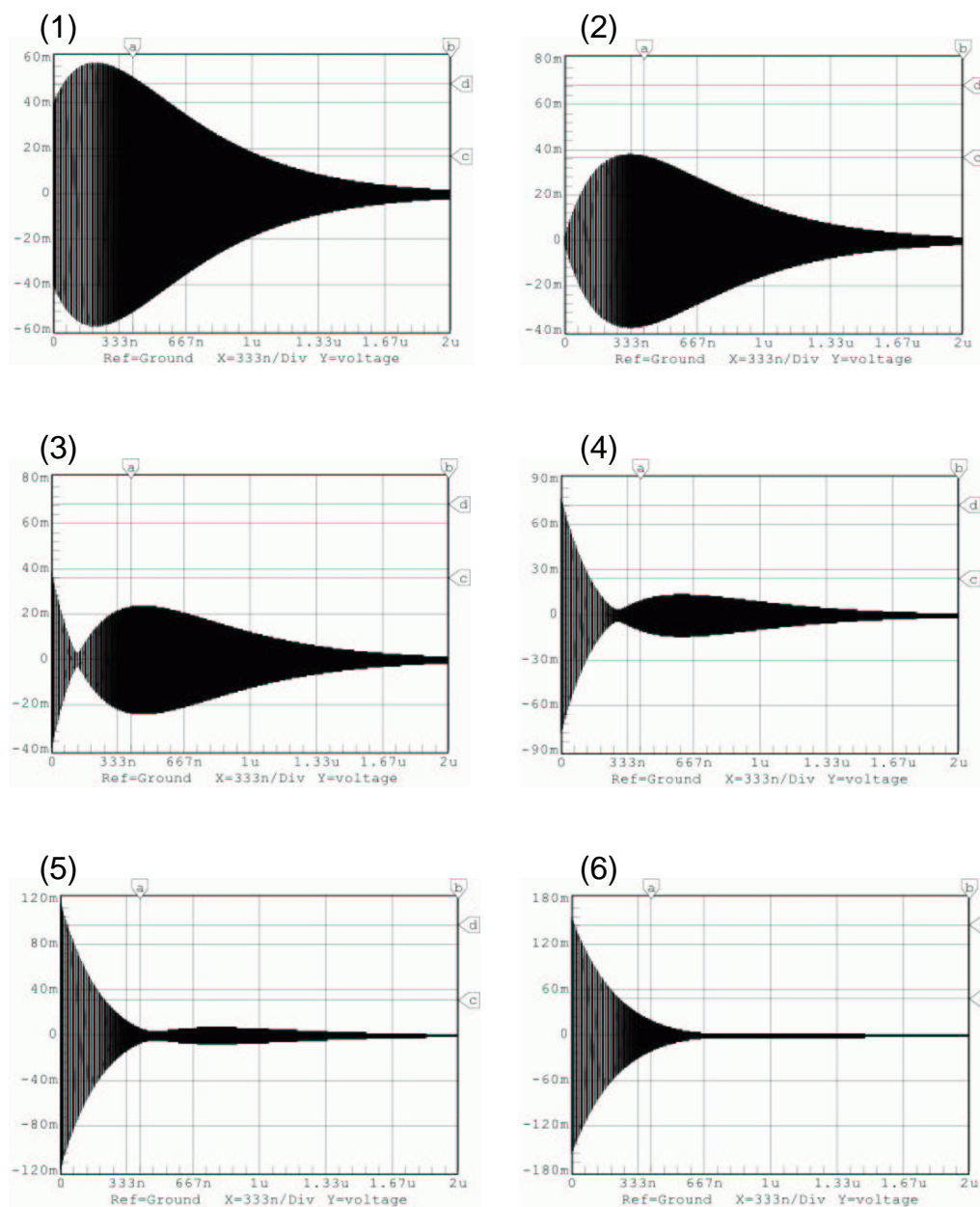


図 7: シミュレーションで再現した信号 (空洞内の RF)。

## 4.2 位相検波した信号

図7を位相検出すると図8ようになる。図3の観測結果を再現できる。

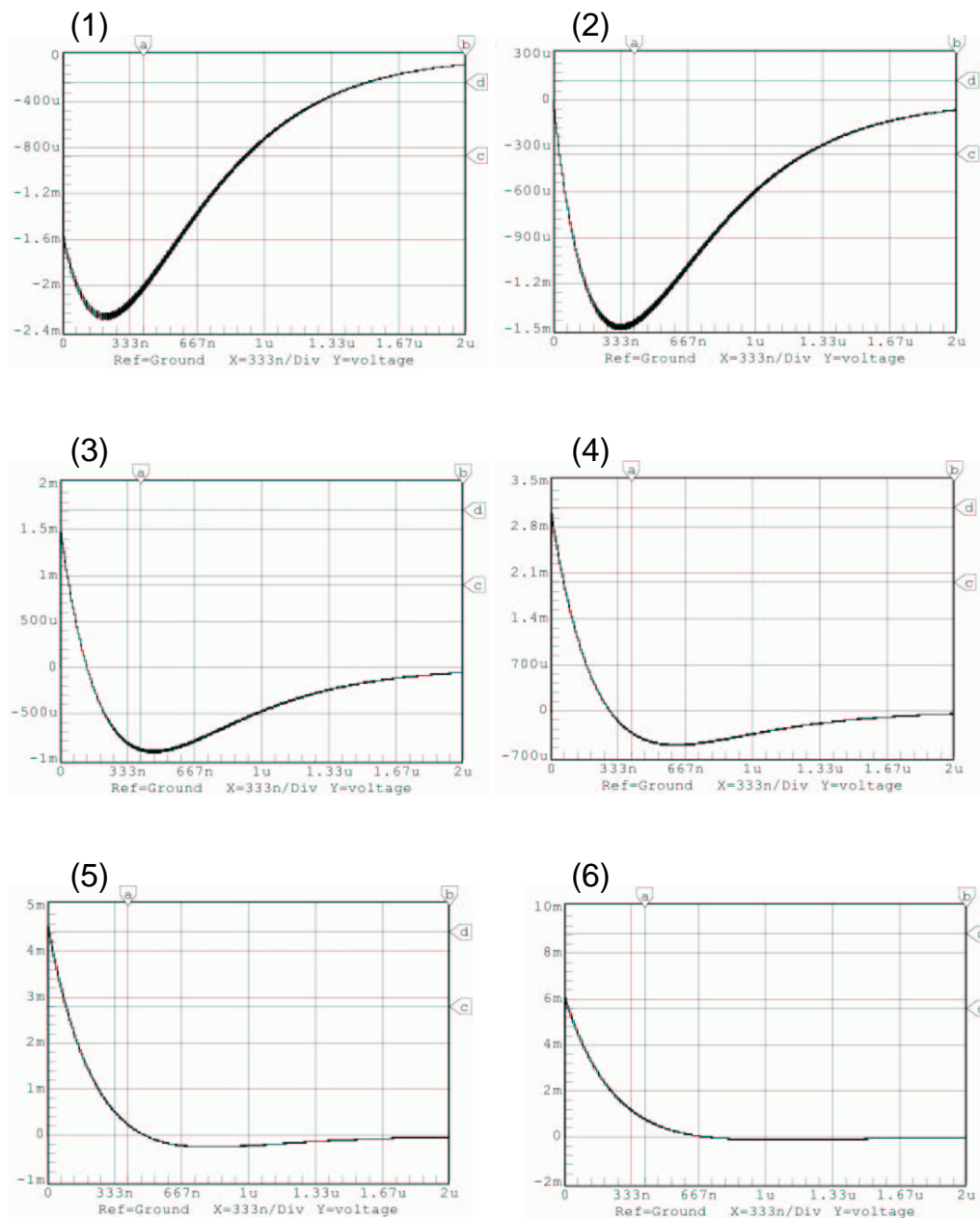


図 8: シミュレーションで再現した信号 (位相検出後)。

## 5 結論

KEK 空洞で観測された奇妙な波形は、reference 空洞から sensor 空洞へのカップリングが原因という説で説明できる。実験で検証する為に、reference 空洞を目隠しして一度ビームテストをしてみる。