

Gap length and Aperture of IP-BPM Cavity

Y.Honda

2005/9/13

概要

IP-BPM is required to have a few nm beam position resolution and, at the same time, a beam angle insensitivity. These features are basically determined by the cavity design, especially the gap length and the beam pipe aperture. We surveyed these parameters calculating the performance of the BPM. It was found that in the vicinity of (gap length=5mm and pipe radius=3mm) in the parameter space was an optimum solution.

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が必要とされる。これらの特性は基本的に空洞本体の設計で決まる。即ち空洞のダイポールモードの R/Q と実効長であり、これらは空洞長とビームパイプ径で決まる。今の BINP 空洞と同等の設計との比較をしながら、位置感度を落とさずに角度感度を出来るだけ落とすようなパラメータを検討する。

2 覚え書き

はじめに、このレポートの考察に用いた関係式を結果のみまとめておく。

ビームによって空洞内に引き起こされる信号のパワーは、

$$U = \frac{\omega}{4}(R/Q)q^2 \quad . \quad (1)$$

ちなみに、空洞から取り出される電圧 (インピーダンス Z のとき) は、

$$V = \frac{\omega q}{2} \sqrt{\frac{Z}{Q_{ext}}(R/Q)} \quad . \quad (2)$$

式1はバンチ長の効果が入っていない。有限のバンチ長 (σ) のときは、係数 $e^{-k^2\sigma^2}$ が掛かる。

ビームの位置と角度に対する感度の比は、空洞長 (L) の自乗でスケールする。

$$\frac{\text{position sensitivity}}{\text{angle sensitivity}} \sim \omega L^2 \quad (3)$$

3 空洞の形状

図1に示すような直方体空洞を前提として考える。X方向、Y方向を完全に分離する目的で直方体にした。ATFのバンチ長では6~7GHzが最も信号が大きいことから周波数は今までと同様に6.4GHzとする。これによって空洞の横方向のサイズ (a, b) が大体決まる。Y方向のダイポールモードを約6.4GHzにしたいとすると $b \sim 50\text{mm}$ になり、X方向をそれより約700MHz低くするには $a \sim 60\text{mm}$

になる。周波数の微調整は今の段階では重要では無いので、ここでは $a = 60\text{mm}, b = 50\text{mm}$ としておく。

残るパラメータは空洞長 (cl:cavity length) とビームパイプ径 (rt:radius of the tube) である。これらを色々変えながら、 R/Q と実効長 (L_{eff}) を計算した。ここで、実効長を図2に示すようにダイポールモードの軸方向電場が空洞中心の半分になるところまでの全幅で定義した。

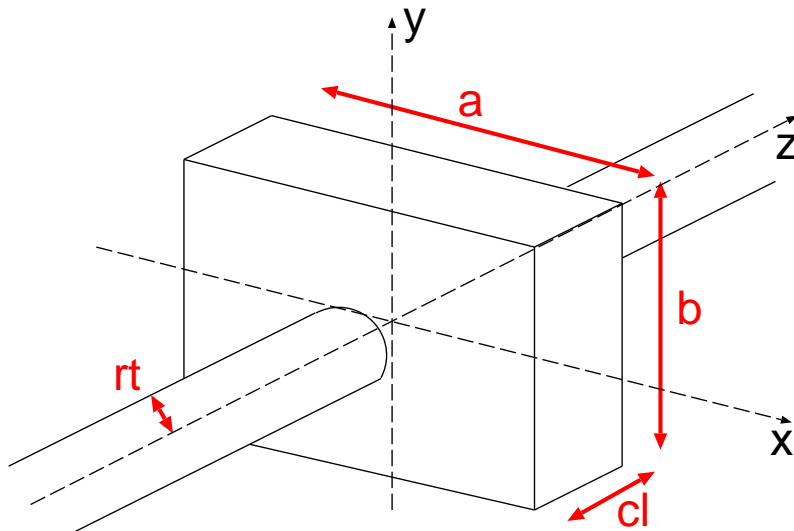


図 1: 空洞の形状。

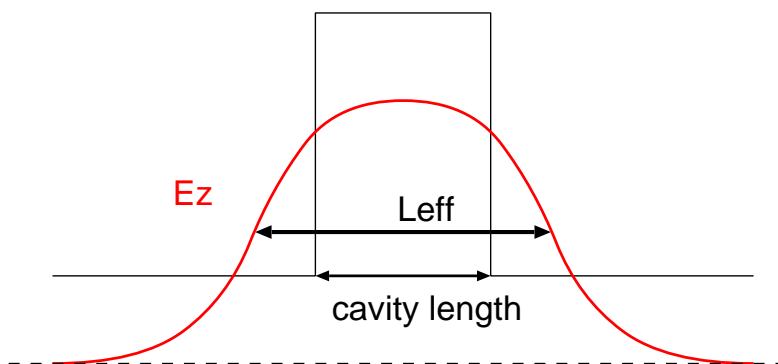


図 2: 空洞の実効長 (L_{eff}) の定義。

4 計算

MAFIA を用いて計算した。メッシュサイズを 0.5mm で形状を作成し、固有モード解析を行った後、各モードに対して軸方向の電場をビーム軌道に沿って線積分して R/Q を求めた。ダイポールモード (TM210(X 方向)、TM120(Y 方向)) については、空洞中心から 1mm のオフセットをもった軌道について計算し、コモンモード (TM110) については、空洞中心の軌道について計算した。表 1 にまとめるように、 $cl=12\text{mm}, 6\text{mm}, 3\text{mm}$ 、 $rt=10\text{mm}, 6\text{mm}, 3\text{mm}$ の場合について調べた。

今の BINP 空洞は円筒形状であるが、空洞長 12mm 、ビームパイプ半径 10mm なので、 $cl=12\text{mm}$ 、 $rt=10\text{mm}$ の場合に対応する。

表 1: cl と rt を変えて計算した結果

cl (mm)	rt (mm)	mode	freq (GHz)	R/Q (Ω)	L_{eff} (mm)
12	10	110	4.090	96.1	17.3
		210	5.564	0.810	14.9
		120	6.184	0.894	14.9
12	6	110	3.949	118.0	13.7
		210	5.743	1.02	13.0
		120	6.389	1.21	13.0
12	3	110	3.908	131.0	12.4
		210	5.815	1.00	12.4
		120	6.480	1.23	12.4
6	10	110	4.206	51.8	14.3
		210	5.459	0.53	11.2
		120	6.078	0.60	11.2
6	6	110	3.985	62.5	9.6
		210	5.682	0.71	7.9
		120	6.314	0.87	7.9
6	3	110	3.914	69.5	6.7
		210	5.805	0.65	6.4
		120	6.467	0.83	6.4
3	10	110	4.332	26.2	13.7
		210	5.379	0.30	10.5
		120	6.008	0.34	10.5
3	6	110	4.030	31.3	8.3
		210	5.608	0.44	6.4
		120	6.225	0.54	6.4
3	3	110	3.922	35.1	4.7
		210	5.787	0.41	3.8
		120	6.444	0.53	3.8

5 考察

5.1 信号強度について

検出系のノイズは、絶対温度 ($T = 300k$)、バンド幅 ($B = 3MHz$)、インピーダンス ($Z = 50\Omega$) とすると、 $\sqrt{4kTBZ}$ に限界があり、これは $1.57\mu V$ である。これにアンプの NF とケーブルのロスの影響が加わる。フォーゲルさんの資料によると、今の BINP 空洞は $1nm$ のビームオフセットに対して $2.5\mu V$ と評価されている (チェックする必要あり、SLAC の測定結果と違うという噂)。これが $cl=12mm$, $rt=10mm$ の場合 ($R/Q = 0.89\Omega$) に対応するとする。電圧は式 2 より $\sqrt{R/Q}$ に比例するので、信号を $1nm$ がノイズと等しくなるまで妥協するならば、 $R/Q > 0.70\Omega$ が分解能を維持するための条件になる。ただし、電圧は Q_{ext} 等にも依存する。

5.2 角度感度について

ビーム軌道角度に対する感度は式3によると L_{eff}^2 に比例するので、今の BINP 空洞 ($L_{eff} = 14.9$ に対応) に対して $1/10$ の感度を狙うとすると、 $L_{eff} < \sqrt{1/10} \times 14.9 = 4.7mm$ が要求される。

5.3 まとめると

TM120 についての計算値をまとめると図3のようになる。上で述べた二つの要求を満たすのは、 $cl=5mm$, $rt=3mm$ の付近である。フォーゲルさんの設計値もまあ、だいたいこのあたりになっている。

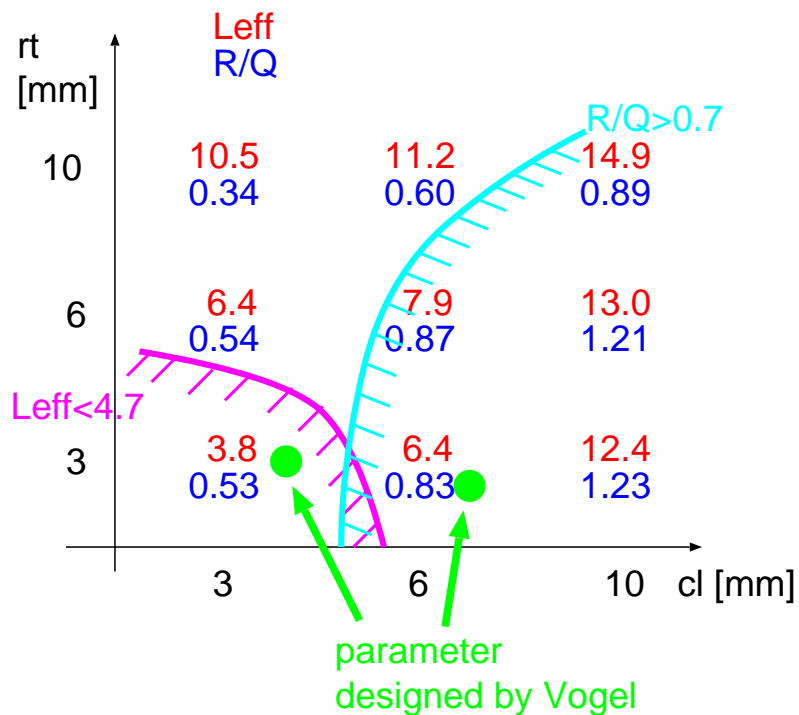


図3: TM120 についての計算値のまとめ

6 結論

空洞長 5mm、ビームパイプ半径 3mm あたりが良い。