

Optimizing slot position of IP-BPM

Y.Honda

2005/10/3

概要

The extracted signal intensity of a cavity BPM depends on the coupling of the port. It is determined by the dimensions of the coupling slot and its position. We optimized the position of the slot in order to realize the strongest coupling. The Q_{ext} and β were calculated. It was found to be possible to realize the target values of them.

1 目的

IP-BPMの空洞から導波管への信号取り出し部分(結合スロット)について設計する。スロットと導波管の位置関係、スロットと空洞の位置関係によって結合の強さは変化する。スロットの大きさは変えずに出来るだけカップリングを強く出来る位置を検討する。

Y方向ポートのカップリング(β)の設計値の目標は2.0である。最適化したスロットの位置でシミュレーションし、Q-BPMの時のスロットの形状のままこれが可能か調べる。

2 導波管とスロットの位置関係

導波管を伝搬するモードと、スロットから浸み出してくる信号の重なり具合によって、スロットから導波管へ結合は決まる。スロットの位置(導波管の終端からの距離)に対する結合の依存性を調べる。

2.1 シミュレーション

空洞全体をシミュレーションするのは非常に時間がかかるので、ここではスロットと導波管のみの系を考える。スロットの向こう側から磁場で結合する信号を模擬するために、図1のようにスロットの向こう側に導波管を配置し、TEモードで信号を入力した。スロットの形状は実際と同じく、長さ13.0mm、幅1.5mm、深さ1.5mmとした。導波管部は図1右に示すように高さ8.0mm、幅30.0mmである。終端部は、内壁角をR3.0mmに丸めた形状を入れた。導波管の反対端を出力として、信号の透過率(S21)を計算した。

2.2 結果

導波管の終端からスロットの中心の距離(図1中、sp: slot position)を変えながら計算を繰り返し、透過率の変化を調べた。今、興味ある周波数は、Y方向の信号である6.426 GHzとX方向の信号である5.712 GHzである。これらの周波数に対するS21の計算結果を図2にまとめる。

実際はビームパイプがあるため、スロットから導波管終端までの距離は制限がある。図2中、矢印で示した範囲が構造的に可能な領域である。この範囲では、出来るだけspを大きくとるようにした

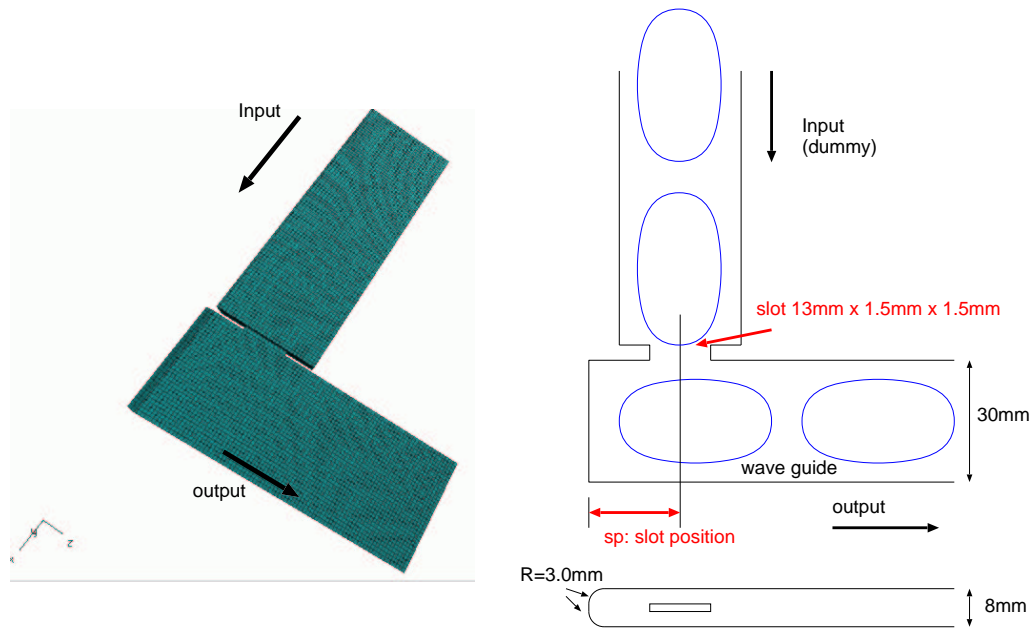


図 1: スロットと導波管の結合を調べるセットアップ。

ほうが良いことが分かる。つまり、導波管は出来るだけビームパイプ近くまで削るように設計するのが良い。

3 空洞、ビームパイプ、導波管の設計

空洞は、断面 $60.0\text{mm} \times 50\text{mm}$ 、厚み 6.0mm の直方体型である。周波数を合わせる為、微調整が必要であるが、今の段階では $60.0\text{mm} \times 50\text{mm}$ で計算を行う。ATF の取り出しラインでのテストを考えると、ビームパイプ径をあまり小さくするのは問題があると思われる。垂直方向の直径 6.0mm は必須であるが、水平方向は多少分解が悪くなくても構わない。水平方向の径を 12.0mm にしたレーストラック型のビームパイプとした。導波管の終端は出来るだけビームパイプに近付けた方がよいので、ビームパイプ外径からの導波管終端までの距離を 2.0mm とした。導波管の幅は 30.0mm 、高さは 8.0mm 、終端は $R3.0\text{mm}$ で丸くした。図 3 にまとめる。

4 空洞とスロットの位置関係

空洞に対するスロットの位置、図 3 中にしめた s_{px}, s_{py} の最適値について調べるスロットから導波管との結合についてはこれらの値が大きくなるほうが良いことが結論されたが、一方、空洞内の信号は空洞中心に近いほうが強いので、これらの値は小さいほうが良いことになる。空洞、導波管は固定して、スロットの位置 (s_{px}, s_{py}) を変えてシミュレーションを行う。

4.1 シミュレーション

図 4 にシミュレーションのセットアップを示す。X-port, Y-port の計算をそれぞれ対応する二つの導波管だけを付けて行った。空洞の Q が高過ぎると計算に非常に時間がかかるので、ここでは、スロットの幅を 6.0mm (実際は 1.5mm) に変えてシミュレーションを行った。その他、スロットの長さ、

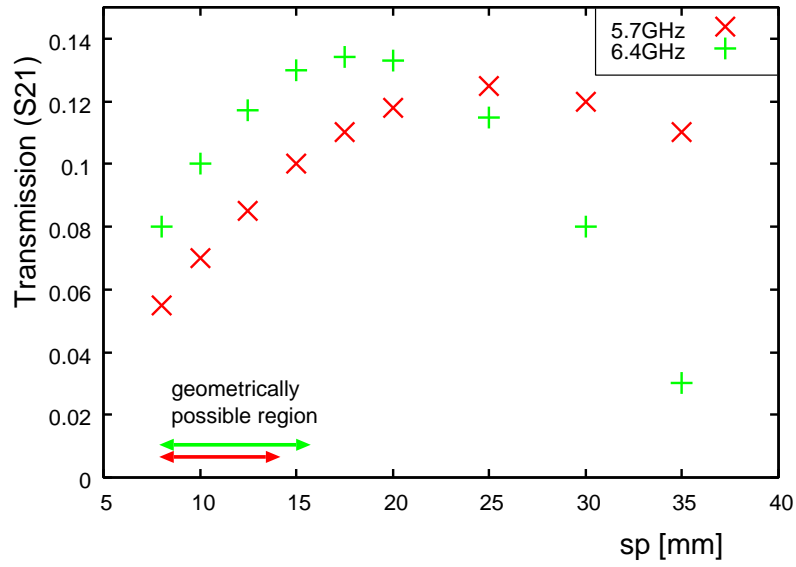


図 2: スロット位置 (sp) に対する透過率の計算結果。

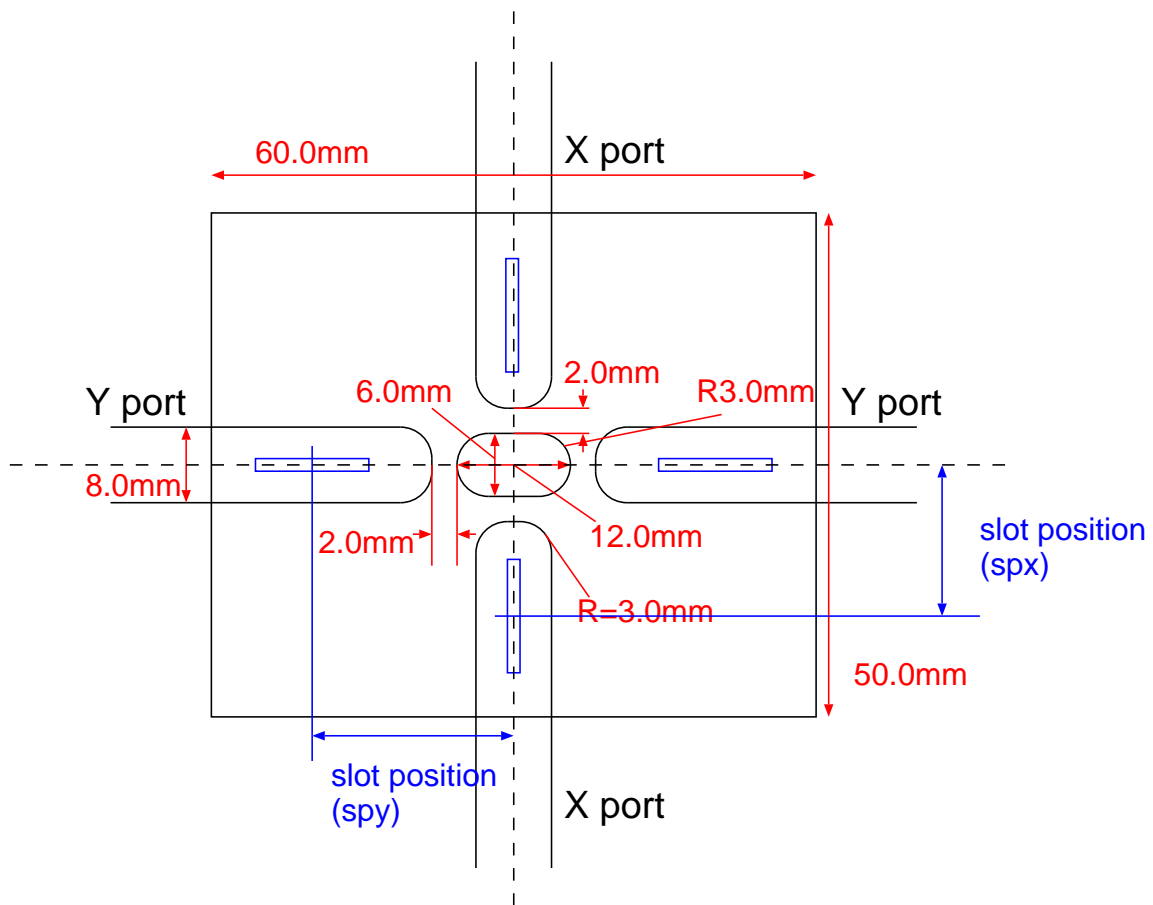


図 3: 空洞、ビームパイプの設計。

深さは変えていない。片方の導波管の端から TE モードで信号を入力し、もう片方からの透過を計算した。スロットの位置を変えながらポート間の透過率 (S21) を計算し、 Q_{ext} を調べた。

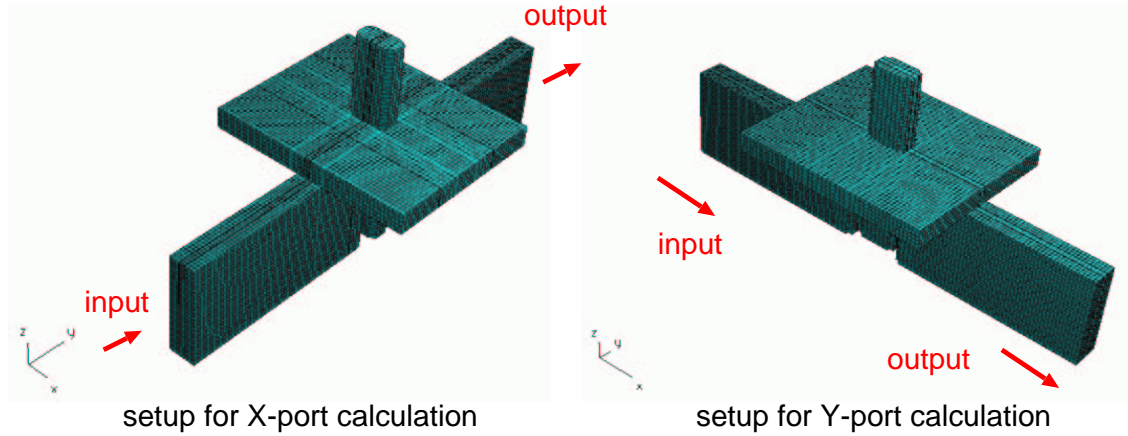


図 4: スロット位置の最適値を調べるためのセットアップ。

4.2 結果

図 5 が X-port についての計算結果、図 6 が Y-port についての計算結果である。 Q_{ext} が小さい程結合が強いことを意味する。spx=16.0mm, spy=17.5mm あたりが最適値である。

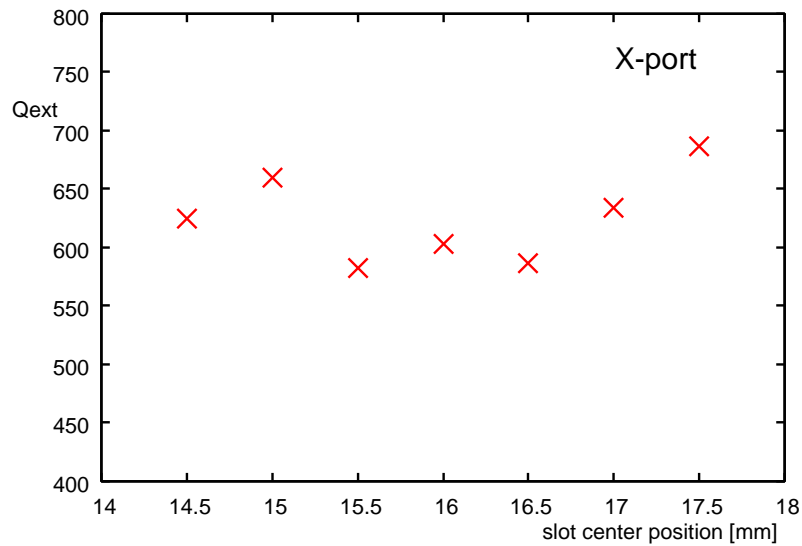


図 5: スロット位置と Q_{ext} の関係 (X-port) の計算結果。

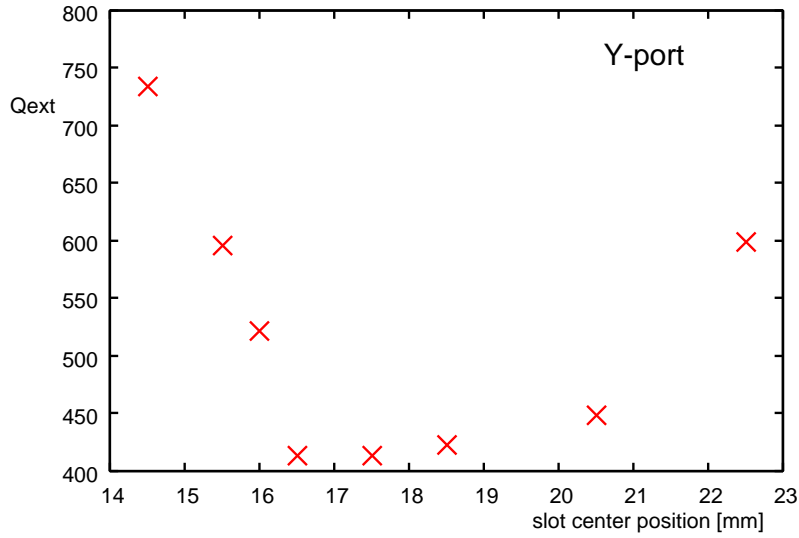


図 6: スロット位置と Q_{ext} の関係 (Y-port) の計算結果。

5 Q_{ext} , β の計算

5.1 Q_{ext}

spx=16.0mm, spy=17.5mm と決めた後、スロットの幅を実際の値 (1.5mm) に戻して Q_{ext} を計算した。この計算には 10 時間程度かかる。図 7 にそれぞれ X 方向、Y 方向について得られた透過率の結果を示す。これを高さ 1 の共鳴曲線、

$$S_{21} = \frac{f/(2Q_{ext})}{\sqrt{(\frac{f}{2Q_{ext}})^2 + (x - f)^2}} \quad (1)$$

f (共鳴周波数) と Q_{ext} がフリーパラメータ、でフィットして Q_{ext} を導出した。

Q_{ext} は、X-port が 3900、Y-port が 2400 と求まった。

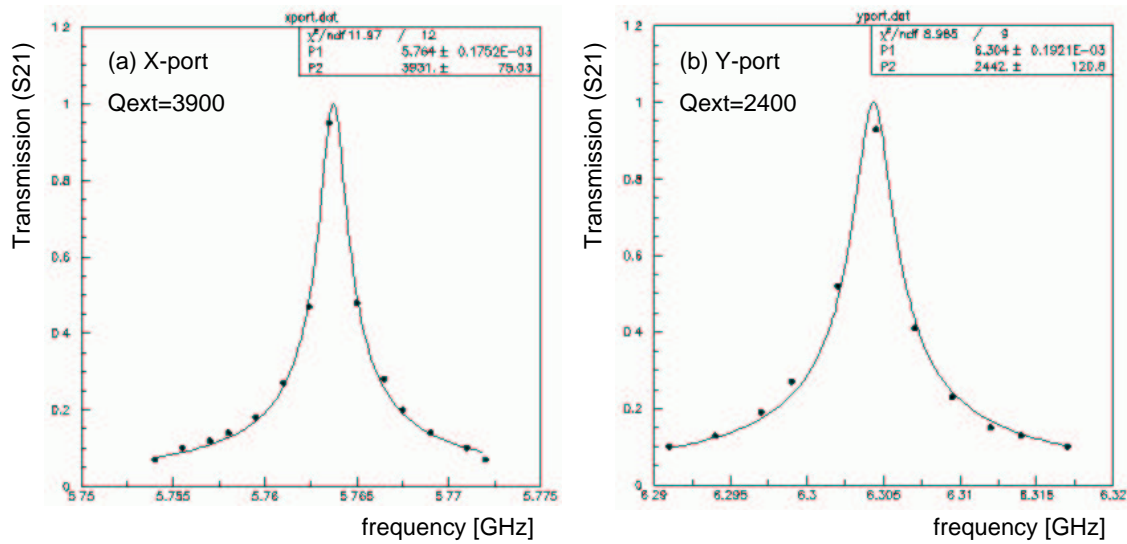


図 7: Q_{ext} の計算結果。共鳴曲線をフィットして Q 値を得る。

5.2 β

空洞とビームパイプのみのセットアップで固有モードを計算し、銅の伝導率、 5.8×10^7 S/mを用いて空洞壁でのエネルギー消費を計算した。空洞内の電磁場のエネルギー (U) と壁でのエネルギー消費 (P) の比から、

$$Q_0 = \frac{\omega U}{P} \quad (2)$$

により Q_0 を求めることが出来る。計算された値より 20%低い値を現実的な Q_0 として β の計算に用いることにする。

カップリング (β) は、

$$\beta = \frac{Q_0}{Q_{ext}} \quad (3)$$

により計算できる。

表 1 に計算結果をまとめる。

表 1: Q_0, β の計算結果

mode	frequency(GHz)	Q_0	$Q_0(\text{realistic})$	Q_{ext}	β
common mode	3.93	4979	4000		
X dipole mode	5.78	6658	5300	3901	1.4
Y dipole mode	6.34	6103	4900	2442	2.0

6 まとめ

ビームパイプ、導波管の形状を決め、その上で、空洞、スロット、導波管の位置関係を結合が最大になるように最適化した。 Q_{ext} を計算し、設計上目標とした β が実現可能であることが分かった。