

Effect of frequency split on xy-isolation of a cavity BPM

Y.Honda

2005/11/06

Abstract

Cavity BPMs to be used in ATF2 have an artificial frequency split in dipole modes of x and y directions. The frequency split is realized by two dents placed on one axis. It is expected to align the axis of eigen modes. We confirmed the effectiveness of the dents design by a simulation. We calculated xy isolation with a model which has an error at undesirable position. It was found that factor 10 stronger effect than the error is needed to realize the target value of isolation.

1 目的

ATF2 用 Q-BPM の設計では、X-Y アイソレーションを改善するために二つのダイポールモード間に周波数差を導入している。空洞部の円周上に対角に2つ設けられた窪みによってこれを実現しているが、期待される効果について考察する計算をおこなう。

空洞製作のエラー(主にロウ付けによると思われる)によって、縮退したダイポールモードの固有モードの軸が決定される。人工的な窪みは、偶発的に発生する製作エラーよりも十分大きなエラーを与えて、固有モード軸を強制的に X 軸、Y 軸方向に向けることを意図している。

シミュレーション上で製作エラーを入れて、XY アイソレーションが人工的な窪みによってどのように改善するか調べる。

2 セットアップ

ネットワークアナライザでポート間測定をするのと同様の計算を MAFIA によるシミュレーションで行う。一つのポートから信号を入力し、残りのポートへの透過を計算する(Sパラメータ)。 Q_{ext} が大きいと時間がかかりすぎるので、計算はスロットの幅を実際よりかなり広くして(実際は 1.5mm のところを 6mm)行った。これで一つのセットの計算が1時間程度になる。

図1に形状を示すように導波管までの形状をいれた。本質的に関係しないのでビームパイプや同軸ケーブル部は省いた。空洞半径も正確である必要はないので、周波数を大体あわせる程度(27mm)にしてある。

メッシュのサイズは 1mm 程度である。有意なシミュレーションを行うために、このメッシュサイズより大きな形状変化を入れる必要がある。そこで、図2に示すような製作エラーを与えた。最も望ましくない方向(45度方向)にエラーとして円筒形の窪みが付いたとした。それに対して、X軸方向に直方体型の人工的窪み(dent)を付けた。図中に示すようにその長さ、幅を a,b として与えた。シミュレーションでの実際の形状を図3に示す。

3 シミュレーション

はじめに、製作エラーのみを入れて固有モードを計算した。図4に計算された二つのダイポールモードを示す。45度方向に入れたエラーの為に固有モード軸が45度方向に向いている。この二つのモードの周波数差は、30 MHz である。

3.1 人工的窪みを導入する場合

X 軸方向に長方形の人工的窪みを導入する。アイソレーションは、

$$\text{isolation(dB)} = 20 \log \frac{S_{31}(\text{peak})}{S_{21}(\text{peak})} \quad (1)$$

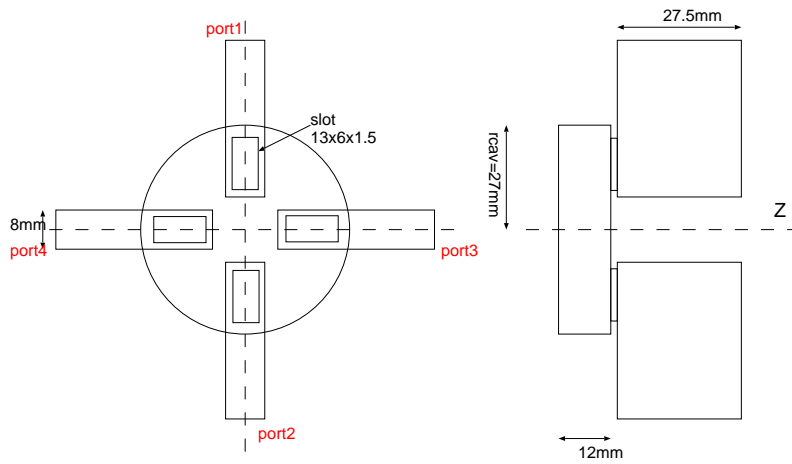


Figure 1: 計算に用いた形状の概観。導波管の端をポートとし、ポート間のSパラメータを計算する。計算時間の節約の為に、スロットの幅を拡げている。

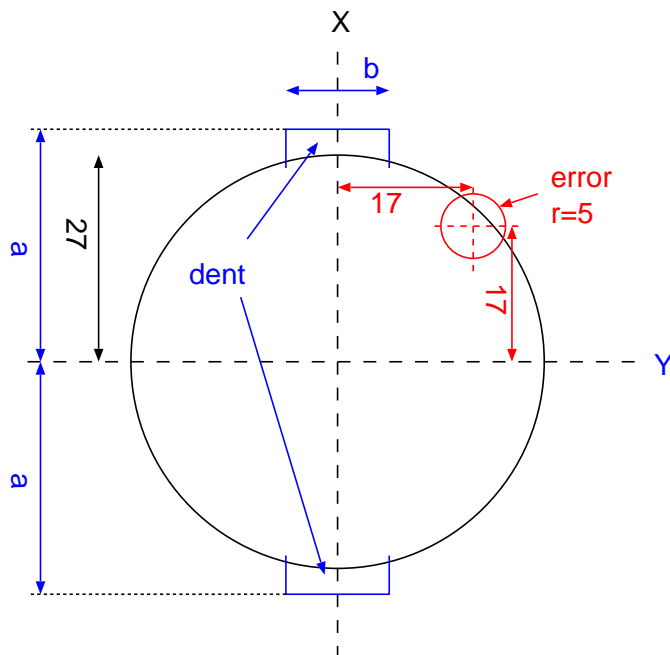


Figure 2: 空洞部の形状。45度の位置に製作エラーとして円筒型の窪みを設けた。X軸方向に人工的な窪みを長方形で設けた。

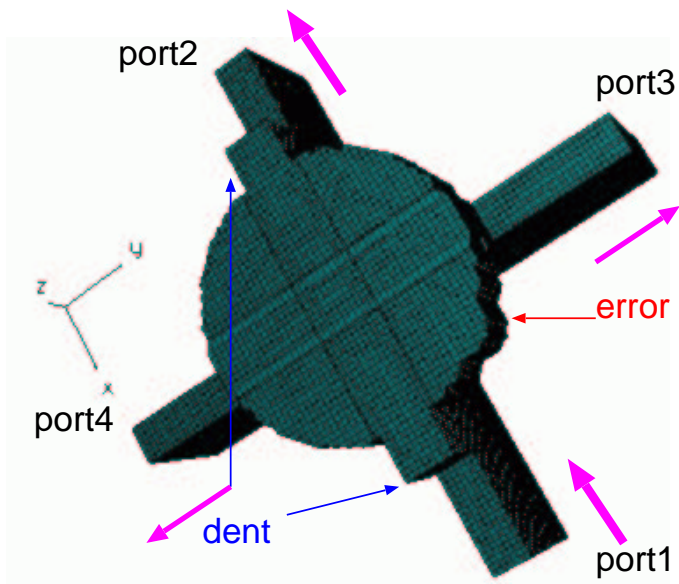


Figure 3: MAFIA で計算する 3 次元形状。

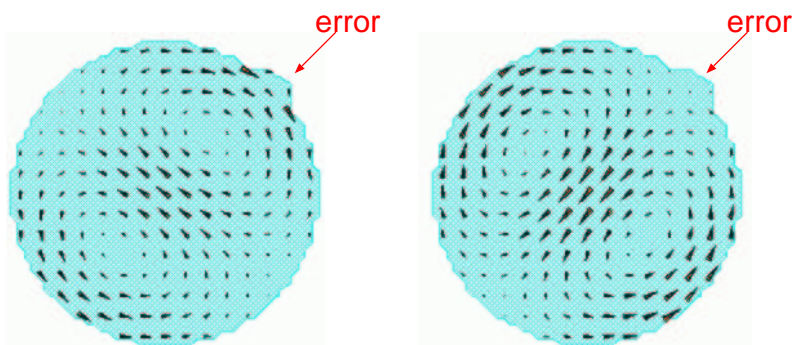


Figure 4: 製作エラーのみの場合の固有モード。エラーによって固有モード軸方向が決まる。

で定義する。

a,b を変えることで導入する周波数差を変えていき、アイソレーションを計算した。結果を表 1 にまとめる。表 1 の D の場合の固有モードを図 5 に示す。固有モード軸が強制的に軸方向に向けられているのが分かる。導入する周波数差を大きくしていくにしたがって、アイソレーションが改善していくのが分かる。

Table 1: アイソレーションの計算結果

setup	a (mm)	b (mm)	frequency difference (MHz)	isolation (dB)
A	33	18	280	-27.0
B	29	15	110	-18.8
C	50	10	50	-13.7
D	35	10	50	-13.7
E	30	10	38	-11.1
F	28	10	15	-5.8
G	no dents		<1	-2.3
H	no dents, no error		<1	-45.6

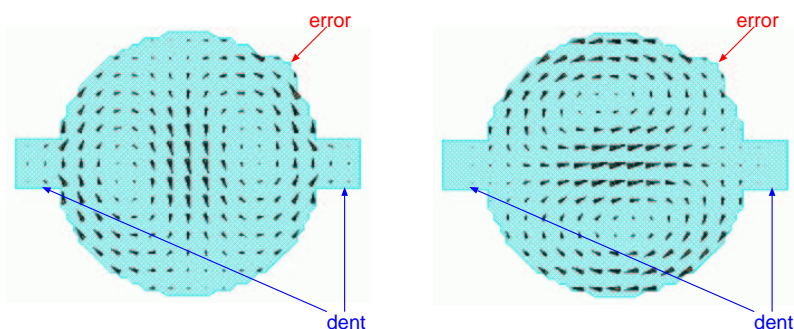


Figure 5: 人工的窪みを導入した場合の固有モード。(D のセットアップ。) 固有モード軸が XY 軸方向に近づく。

3.2 チューナーを用いて補正する場合

アイソレーションを改善するもう一つの方法は、空洞製作後にそれを補正する様に空洞壁を調整することである。これは、図 6 に示すように、製作エラーによるモード軸回転の影響を打ち消すように軸に対して対称な位置に同等のエラーを導入すると思えば良い。補正を施したときの固有モードを計算した結果が図 7 である。固有モード軸は XY 軸方向を向き、アイソレーションは -29.3dB に改善した。

4 考察

PAL のプロトタイプ BPM(with dents model) のポート測定結果によると、ロウ付け後、アイソレーションは -21 dB、dents による周波数差は 700 kHz であった。アイソレーションの値に注目すると、この状況は、表 1 の B の場合に近い(やや良いくらい)。

今回、シミュレーションで製作エラーとして与えた窪みは周波数差として 30 MHz のものである。表 1B の場合は dents によって 110 MHz の周波数差を設けて -18.8 dB のアイソレーションを実現した。つまり、エラーの 3.6 倍(=110/30)の影響を導入したことになる。また、A の場合で大体目標のアイソレーション(-27 dB)であるが、このときはエラーの 9.3 倍(=280/30)の周波数差を導入している。

プロトタイプの状況にこの関係を当てはめると、dents の影響である 700 kHz がエラーの 3.6 倍と考えて、製作エラーは 200 kHz 相当である。-27 dB のアイソレーションを実現する為にはエラーの 9.3 倍の周波数差(200 kHz×9.3 = 1.9 MHz)が必要であると見積られる。

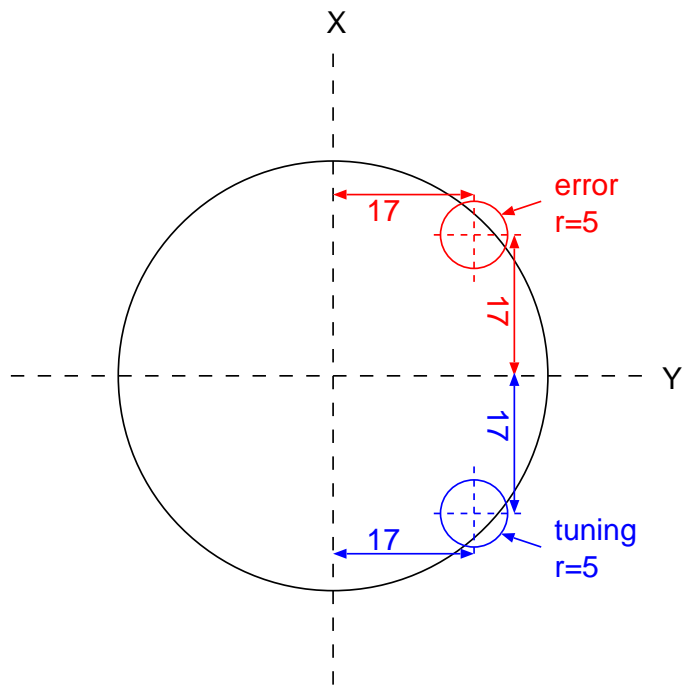


Figure 6: 空洞壁のチューナーによる製作エラーの補正。

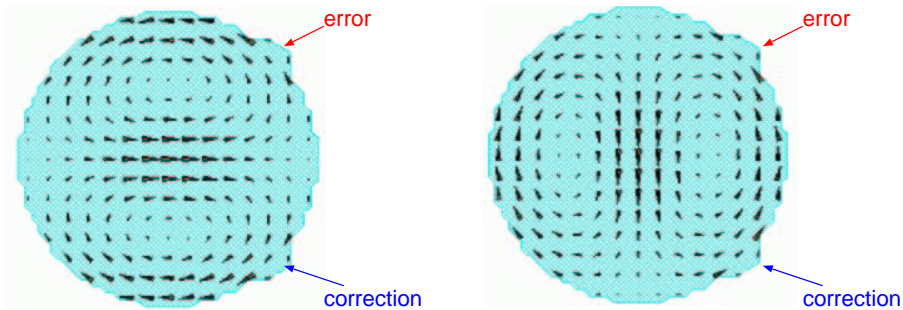


Figure 7: チューナーによるエラーの補正後の固有モード。

5 まとめ

空洞にエラーを入れた形状に対してポート間の S パラメータを計算した。軸方向に人工的に導入した窪みによる周波数差の導入により XY アイソレーションが改善されることが確認された。-30 dB のアイソレーションを実現するには誤差の 10 倍程度の周波数差を導入する必要があると思われる。また、チューナーを用いてエラーを打ち消す誤差を与える方法での XY アイソレーションの改善も有効であることが確認された。