

新竹モニタ用 IP-BPM 設計変更案

中村友哉

2007年7月9日

概要

新竹モニタの真空チェンバーに IP-BPM を組み込むために、wave guide length L の変更を検討した結果、X で $L = 45$ mm、Y で $L = 42$ mm を提案する。

1 動機

新竹モニタ用 IP-BPM は、新竹真空チェンバー^{*1}の中に収まるように小型化するほうがベターだと判断した。真空チェンバーの直径は $\phi = 203$ (mm) であるが、IP-BPM ブロックは横方向に $140\text{mm} \times 140$ mm であり、対角線をとると 196 mm である。ぎりぎりチェンバーに収まるが、ケーブルの付け外しなどの作業がやりにくい可能性がある。現在のブロックのサイズを決定しているのは事実上 wave guide であるので、wave guide の長さを短くすることを検討する。

2 Wave Guide の固有モード

現在の設計では、IP-BPM の wave guide は X で $30 \times 8 \times 60$ (mm)、Y で $30 \times 8 \times 57$ (mm) となっている。ただし旋盤で加工する都合上角は $R = 4$ の丸みをつけている。カットオフはおよそ 5 GHz であり、今回の設計ではブロックの小型化のために wave guide length L (図 1 参照) を小さくすることを考える。

ここで注意が必要なのは、wave guide とはいえ有限の L を持つので、固有モードが存在することである。8 mm の方向には共振周波数が高くなるので考えなくてよいが、 30 mm \times L で決まる固有モードはセンサー Cavity からのダイポールモードに近い周波数が存在する。この wave guide のモードが混入すると正しくダイポール信号を取り出せなくなってしまうので、wave guide のモードが空洞からのダイポールモードの近くにいないことが条件となる。

wave guide は角で R を持つてはいるが、固有モードは直方体空洞のモードからだいたい推測できる。直方体空洞の共振周波数は、

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{l\pi}{L}\right)^2} \quad (1)$$

と書ける。今 $a = 8$ mm、 $b = 30$ mm とすると、注目すべきは b - L 方向のモノポールモード f_{011} (図 2 参照) であり、現在の設計では X wave guide でおおよそ 5.59 GHz、Y wave

^{*1} 新竹チェンバーの詳細については別途レポート『末原モニタの真空容器設計 0 次案』(Y. Honda) を参照。

guide でおよそ 5.65 GHz である。これは L を短くしていくとより高周波になるが、 L をあまり短くすると空洞からのダイポールモードと wave guide のカップリングが小さくなるので、せいぜい $L = 40$ mm 程度が限界であると考えられる。このとき f_{011} はおよそ 6.4 GHz となり、Y ダイポールモードと重なってしまう。したがって、 f_{011} がちょうど X ダイポールモード (5.712 GHz) と Y ダイポールモード (6.426 GHz) の中間あたりになる $L = 45$ mm (X)、42mm (Y) がよいと思われる。このとき f_{011} は X で 6.01 GHz、Y で 6.15 GHz である。

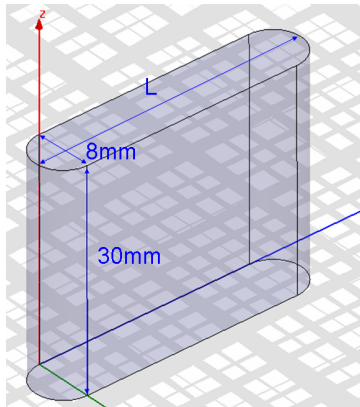


図1 wave guide design

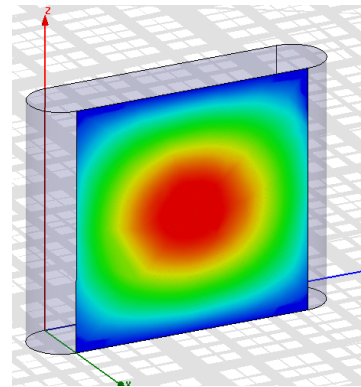


図2 Wave Guide mono-pole mode

3 HFSS シミュレーション

シミュレーションには HFSS ver9.1 を用いた。Driven mode でビームパイプの両端と、アンテナ 4 つを wave port として、そこから RF を励振し、各ポートの透過・反射の S parameter を求めた。使用したのは fast mode で、このとき lambda refinement パラメータを 0.1 とした。これは、fast mode の solution frequency (sweep する周波数の中央値) の 1/10 の長さで正四面体のメッシュを切ることになる。Sweep には以下の 3 つを設定した。

- Sweep1: 5.1 ~ 7.0 GHz、200 kHz ステップ (X、Y ダイポールモード周辺全体をモニターするため)
- Sweep2: 5.69 ~ 5.73 GHz、5 kHz ステップ (X ダイポールモードを見るため)
- Sweep3: 6.42 ~ 6.46 GHz、5 kHz ステップ (Y ダイポールモードを見るため)

ただし、同じ fast mode と lambda refinement でも、solution frequency やステップが変わると、結果にずれがある。共振周波数でおよそ 2~3 MHz 程度のずれが見られた。

3.1 Default State

まず、現在の設計の状態でのシミュレーションを行い、昨年行った測定やシミュレーション結果の再現をまずは試みた。その結果を図 3~8 に示す。それぞれ透過と反射を示し、特にダイポールモード部分を Sweep2、Sweep3 で拡大し、gnuplot でフィットして Q_{ext} を求めた。データ数が多かったので、自分のプライベート PC のメモリを心配してフィットは 1/10 のデータで行った (fit every 10 コマンドを使用)。おおむね、共振周波数・ Q_{ext} とも昨年の測定・シミュレーションを再現した。

デフォルトの設計だと、5.65 GHz 付近にいるはずの wave guide のモードが見えなかった。

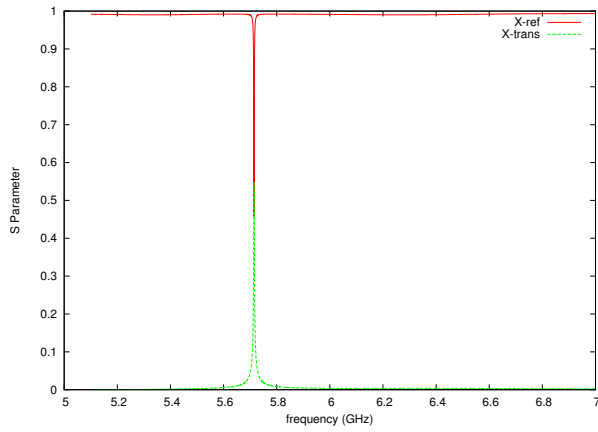


図 3 Sweep1 X

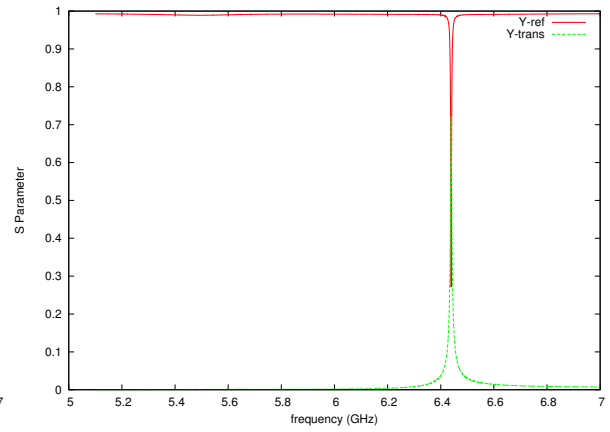


図 4 Sweep1 Y

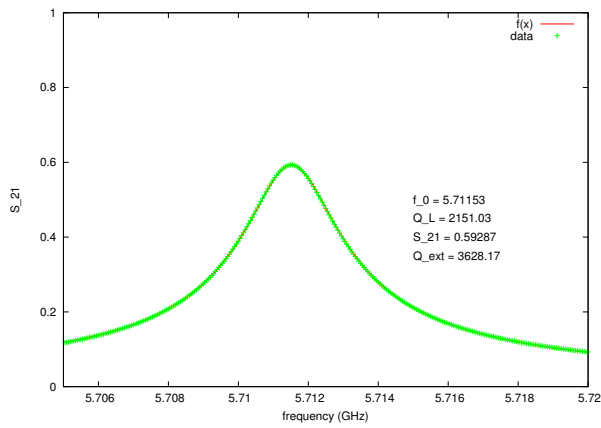


図 5 Sweep2 transmission

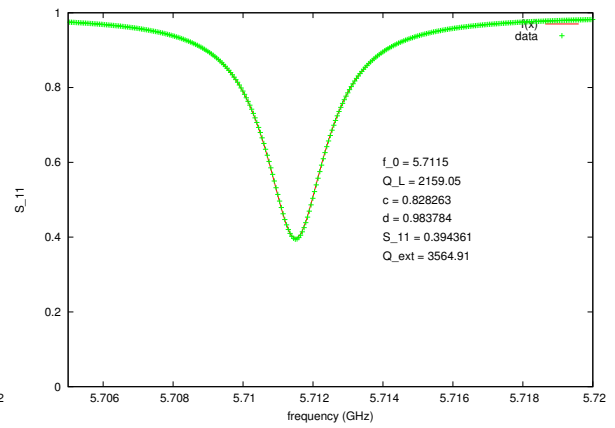


図 6 Sweep2 reflection

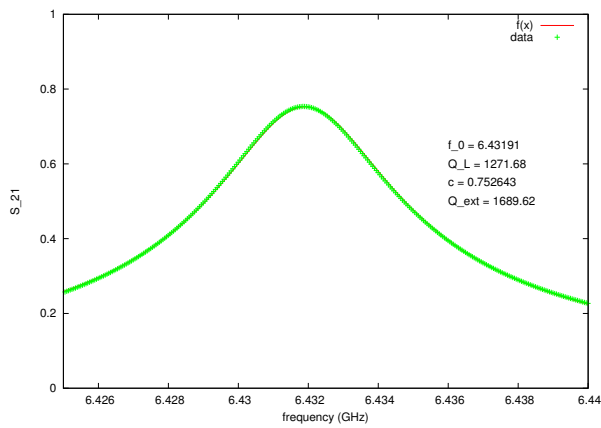


図 7 Sweep3 transmission

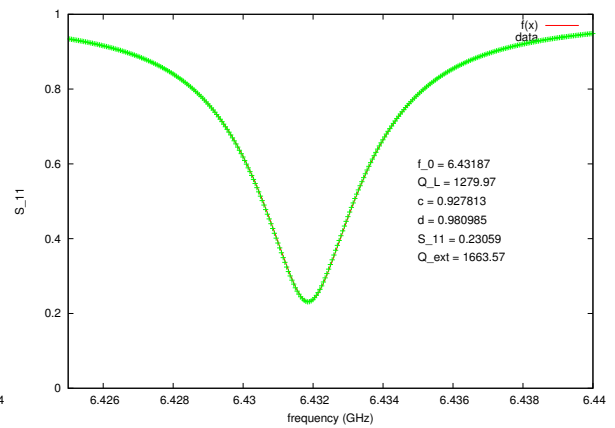


図 8 Sweep3 reflection

これはアンテナと wave guide のカップリングが強いためと考えられるので、実際の設計とは異なるが wave guide のモードを評価するためにアンテナの長さを変更してカップリングを弱め、再びシミュレーションを行った。その結果を図 9、10 に示す。カップリングが弱まったためダイポールモード信号も弱くなっているが、代わりに wave guide のモードが立っているの

がわかる。Y では wave guide のモードが十分離れているので反射にしか現れていないが、X では比較的近いので、wave guide のモードも透過していると思われる。

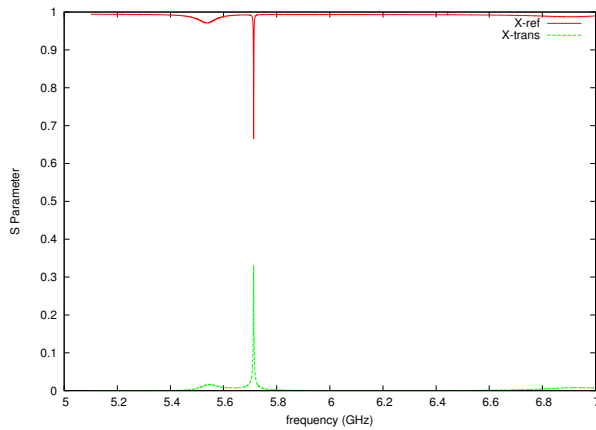


図 9 Sweep1 X

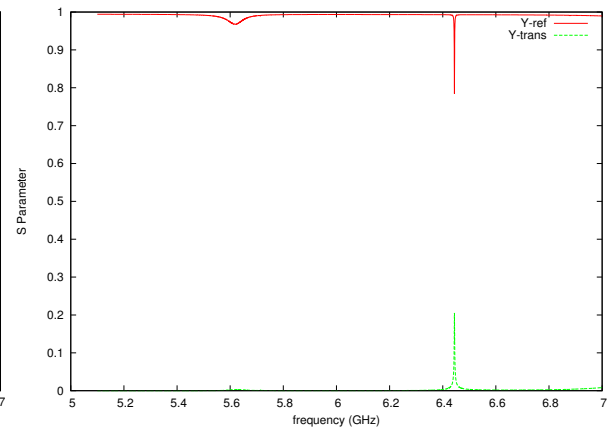


図 10 Sweep1 Y

3.2 Contamination State

この wave guide モードが、空洞からのダイポールモードと重なるとどうなるかをシミュレーションしたものが図 11、12 である。このとき $L = 41$ mm (X)、 $L = 38$ mm (Y) であった。図 10 との比較から明らかなように、Y ダイポールモードは wave guide モードの混入のために Q を正しく再現していない。

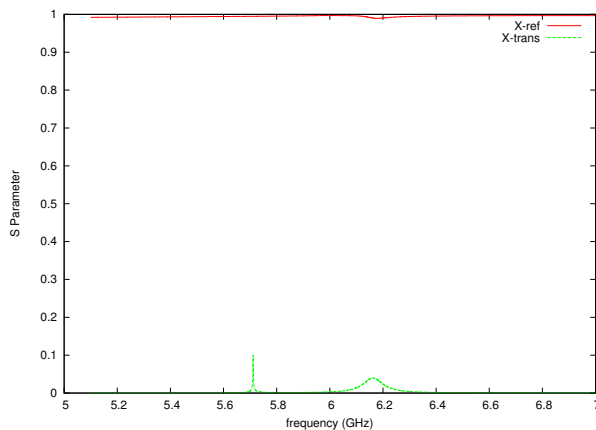


図 11 Contamination Sweep1 X

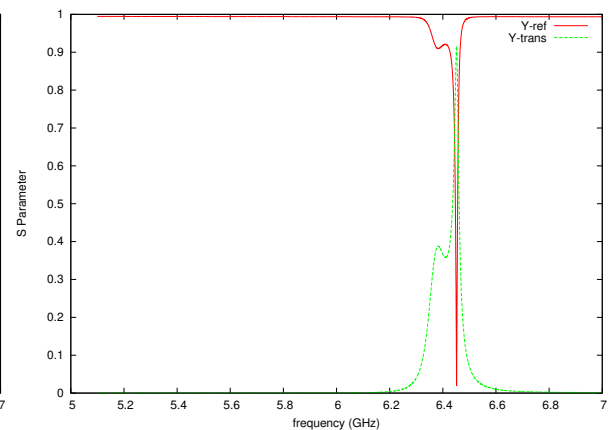


図 12 Contamination Sweep1 Y

3.3 Alternative State

変更案として $L = 45$ mm (X)、 42 mm (Y) でシミュレーションしてみた結果が図 13、14 である。この設計ならば wave guide のモードは X、Y どちらのダイポールモードからも離れており、混入の心配はない。

これまでは wave guide のモードを見るためにあえてアンテナと wave guide のカップリン

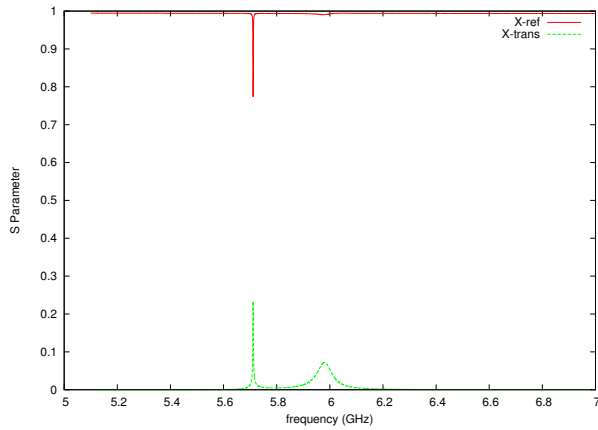


図 13 Alteranative Sweep1 X

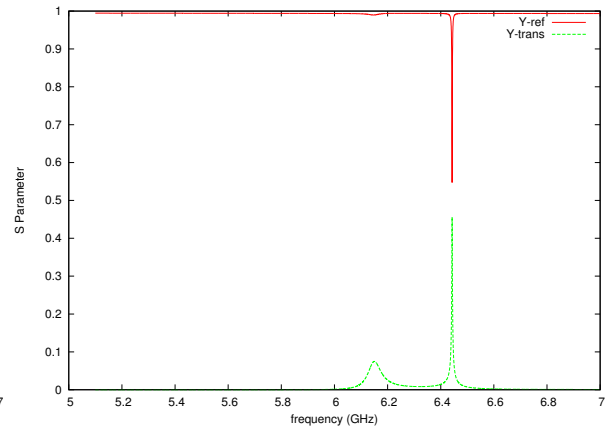


図 14 Alteranative Sweep1 Y

グを弱くしていたので、ここでアンテナのパラメータをデフォルト通りに戻し、この変更案での Q_{ext} を評価した。その結果を図 15~18 に示す。このとき、Default State と Q_{ext} 、カップリング β を比較したものが表 1 である。表 1 から、Y に関しては特に目立った変化はなく、X についてはカップリングがやや強くなっており、この設計で問題ないことがわかる。

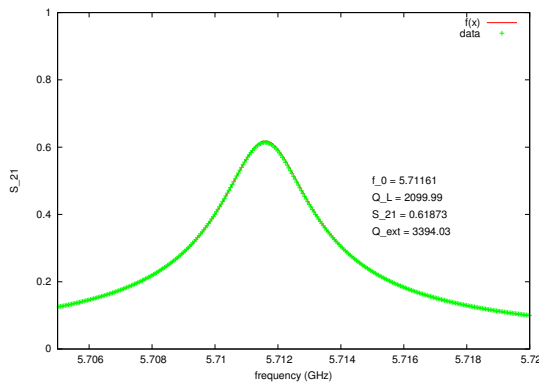


図 15 Alteranative Sweep2 transission

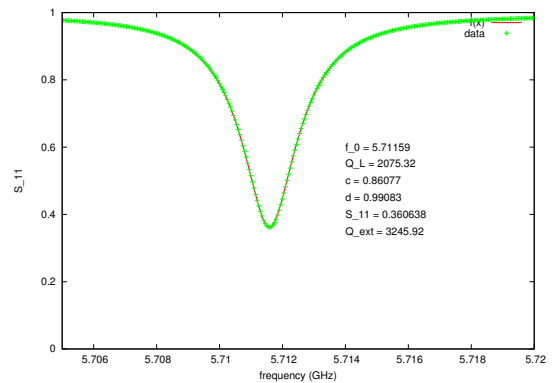


図 16 Alteranative Sweep2 reflection

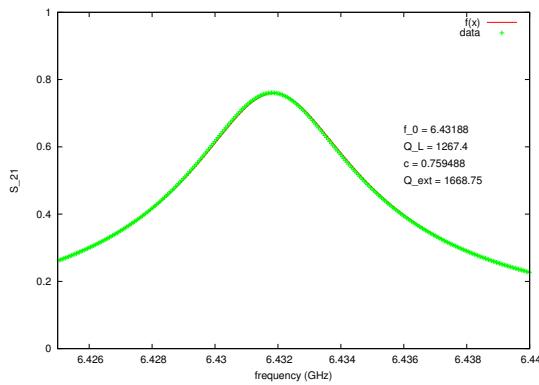


図 17 Alteranative Sweep3 transission

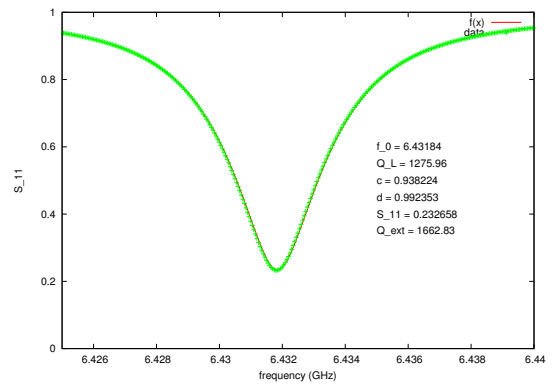


図 18 Alteranative Sweep3 reflection

		State	
		Default	Alternative
X transmission	f_0 (GHz)	5.712	5.712
	Q_{ext}	3628	3394
	β	1.456	1.623
X reflection	f_0 (GHz)	5.712	5.712
	Q_{ext}	3565	3246
	β	1.536	1.773
Y transmission	f_0 (GHz)	6.432	6.432
	Q_{ext}	1690	1669
	β	3.041	3.158
Y reflection	f_0 (GHz)	6.432	6.432
	Q_{ext}	1664	1663
	β	3.337	3.298

表 1

4 まとめ

新竹用 IP-BPM では、wave guide length L は $L = 45$ (X)、 $L = 42$ (Y) がよい。他は特に変更は必要ない。