

末原モニター用 IPBPM の RF 測定

Y.Inoue, Y.Honda

2008/3/4

概要

In order to measure beam orbit as close as possible to the IP, we decided to install IPBPM inside the vacuum chamber of Suehara-monitor. A brand new IPBPM block has been fabricated with a little modification of the wave guide length from the existing ones. We did basic RF measurement with a network analyzer. It was confirmed that resonant frequency was fine. Q_{ext} value for X-port seems lower than calculation.

1 はじめに

末原モニターに内蔵して使用する IPBPM を新たに製作した。これは、レーザーとの衝突位置に出来るだけ近づいて測定するために、図 1 に示すように末原モニターの真空容器内部に取り付けられる。具体的には、図 2 のようにフランジに取り付けられる。真空容器内に入れるので、BPM 自体は真空仕様である必要はないので、銅の部品、SMA フィードスルー等をネジで止めて構成される。信号は、真空容器内を短い同軸ケーブルで接続し、フランジに設けた SMA 端子を通して外部に取り出される。空洞の設計としては、これまで取り出しラインで試験してきたものから変更する必要は無いが、真空容器内のスペースの問題で小型化するのが望ましい。そこで、導波管部の長さのみを既存のものより短くした設計になっている (設計について詳しくは中村レポート、新竹モニタ用 IP-BPM 設計変更案を参照)。

IPBPM ブロックの製作が完了したので、大気中で RF 測定を行った。

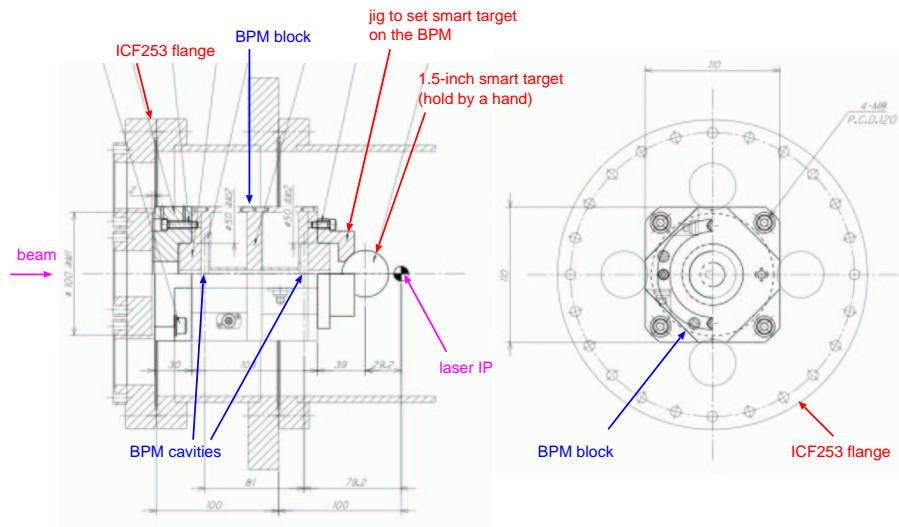


図 1: 真空容器

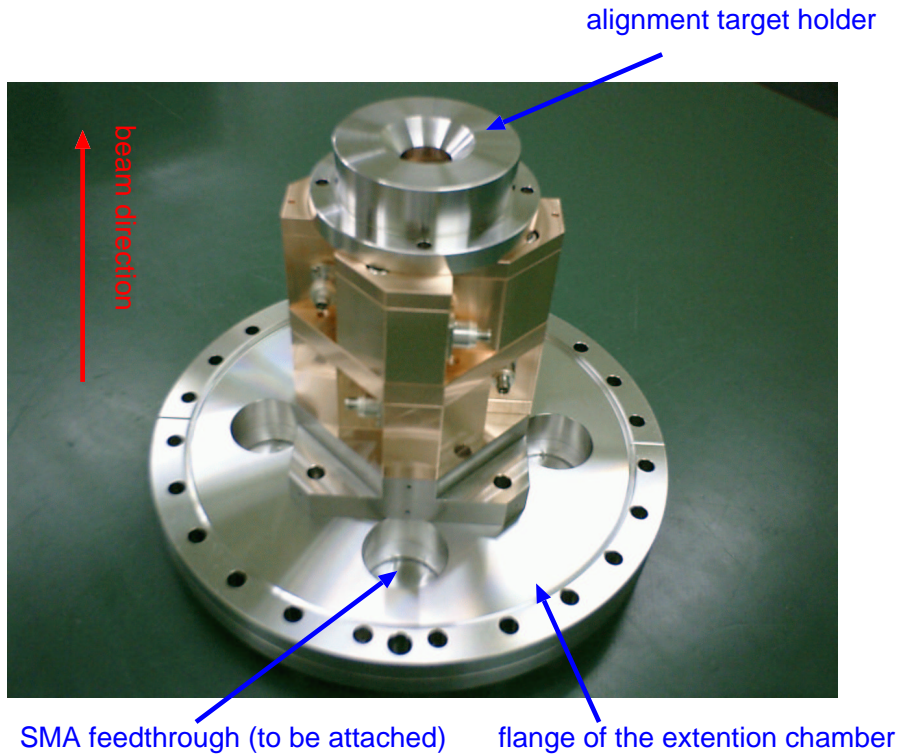


図 2: フランジに BPM を取り付けた様子

2 測定

いつもと同じ手順でネットワークアナライザを用いて、1ポート反射測定、2ポート透過測定を行った(図3)。使用しないポートは50Ωで終端した。ダイポールモードの周波数(f)、全幅(Δf)、共鳴ピークでの反射係数(S_{11})、透過係数(S_{21})を測定し、それらを用いて、 $Q_L = \frac{f}{\Delta f}$ 、 $\beta = \frac{1-S_{11}}{S_{11}} = \frac{S_{21}}{1-S_{21}}$ 、 $Q_0 = (1+\beta)Q_L$ 、 $Q_{ext} = \frac{Q_0}{\beta}$ を計算した。

測定時の室温は20.1度、湿度は41%。

BPMのポートの名前付けは図4のとおり。ポートをA,B,C,Dと名前付けし、A,CはX-port(5.7GHz)、B,DはY-port(6.4GHz)である。ブロック1とブロック2は中の構造が反転しているため、ポートの向きが反対周りになっている。2を上流、1を下流側と仮定した。

反射測定からの結果を表1に、透過測定からの結果を表2にまとめる。

表 1: 反射測定の結果

Cavity-Port	f(GHz)	Δf (MHz)	S_{21}	Q_L	β	Q_0	Q_{ext}
1-A	5.7086	4.24	0.366	1348	1.73	3682	2126
1-C	5.7086	4.19	0.370	1363	1.70	3686	2162
2-A	5.7084	4.28	0.364	1335	1.74	3662	2100
2-C	5.7088	4.12	0.330	1387	2.03	4198	2072
1-B	6.4257	3.82	0.443	1683	1.25	3796	3022
1-D	6.4257	3.77	0.414	1705	1.42	4120	2911
2-B	6.4258	3.64	0.431	1766	1.32	4102	3102
2-D	6.4257	3.67	0.376	1751	1.66	4652	2808

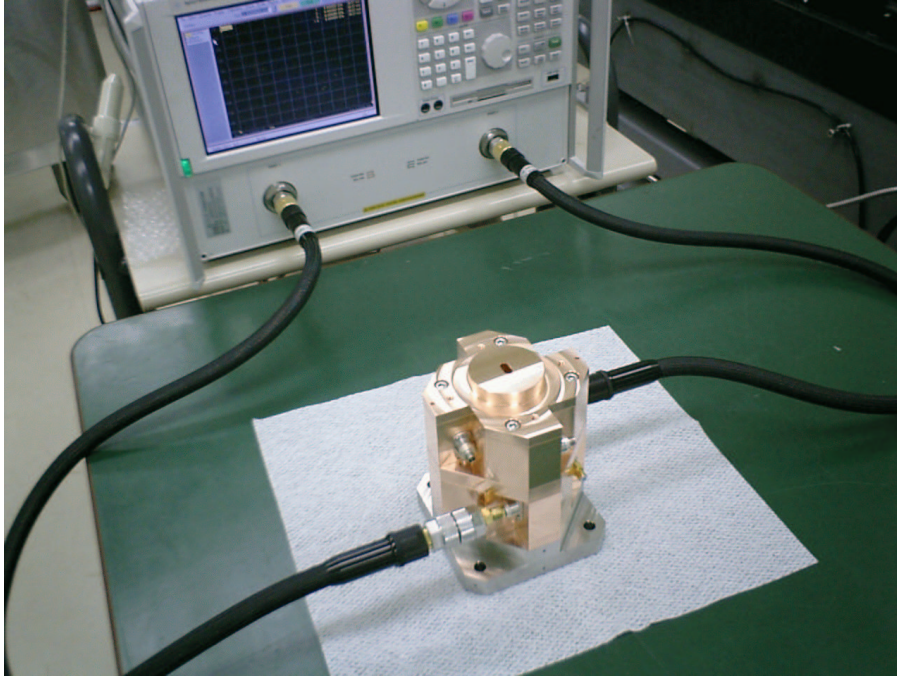


図 3: ネットワークアナライザによる測定のセットアップ

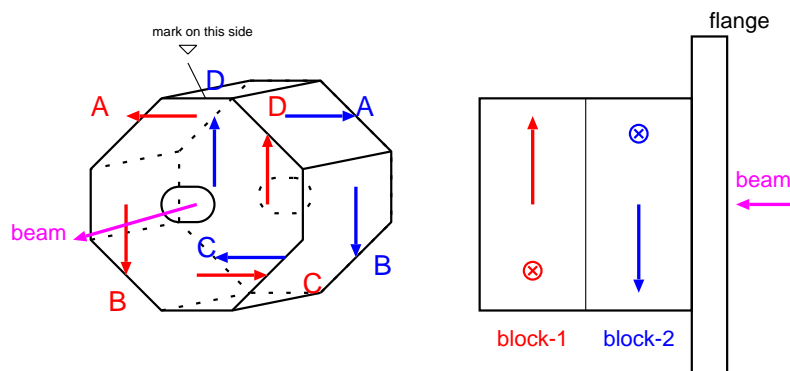


図 4: BPM ポートの名前付け

表 2: 透過測定の結果

Cavity-Port	f(GHz)	Δf (MHz)	S_{21}	Q_L	β	Q_0	Q_{ext}
1-A to 1-C	5.7085	4.85	0.689	1178	2.21	3787	1710
1-B to 1-D	6.4255	4.04	0.575	1592	1.35	3742	2770
2-A to 2-C	5.7084	4.87	0.716	1173	2.53	4136	1637
2-B to 2-D	6.4257	4.01	0.612	1603	1.58	4134	2618

3 考察

HFSS を用いた計算による今回の BPM の設計値を表 3 に示す。

表 3: 今回の設計値

Cavity-Port	f(GHz)	Q_L	β	Q_0	Q_{ext}
X (simulation)	5.712	2100	1.62	5508	3394
Y (simulation)	6.432	1267	3.16	5271	1669

チェックすべきは周波数と Q_{ext} である。

周波数は真空中では 2MHz 程度高くなることを考慮すると、目標値 5.712GHz(X), 6.426GHz(Y) に 2MHz 以内で一致する。ネジ止めの構造のため Q_0 は理想的な場合より低くなってしまっているので、設計値と比較は出来ないが、 β が十分 1 より大きいので得られるビーム信号のエネルギーには大きな差は無いはずである。

Q_{ext} の測定値が設計値より低いのが気になる。我々が 2006 年に最初の IPBPM のコールドモデルを製作したとき、X ポートの Q_{ext} が設計値の 45%程度で、導波管のモードと空洞のモードの干渉が問題になり、実際にビーム信号にも波打ちが見られた。そのときの RF 測定の結果を表 4 にまとめる。今回も同じような問題が起こっているかもしれない。これがビーム信号にどの程度影響するかは実際にビームを通してみないと分からない。

表 4: 最初の IPBPM コールドモデルの測定値

Cavity-Port	f(GHz)	Q_L	β	Q_0	Q_{ext}
X (design)	5.712	2208	1.4	5300	3901
Y (design)	6.426	1633	2.0	4900	2442
X (measured)	5.7037	880	1.33	2050	1541
Y (measured)	6.4208	1065	0.64	1747	2730

現在取り出しラインで使用中の IPBPM では導波管の長さを変更して、この問題を解決し、表 5 にまとめるように計算と概ね一致するものが製作出来ている。今回も一応、導波管のモードを評価した上で設計したはずであるが、評価の仕方に誤差があったのかもしれない。

導波管から同軸ケーブルへの接続が不完全で反射がおこるために導波管のモードが現れる。今回、シミュレーション上で導波管のモードを評価するのにアンテナの長さを少しずらして計算を行った。実際に反射が起こっているのが実効的にアンテナの先であれば、この手法で計算した導波管モードの周波数で正しいと思われるが、もし、実際の反射がフィードスルーのセラミック部で起こっている

とすれば、計算が変わって来ると考えられる。この辺りの理解をもう少し深める必要があると思われる。

表 5: 現在取り出しラインで使用中の IPBPM での測定結果

Cavity-Port	f(GHz)	Q_L	β	Q_0	Q_{ext}
X (simulation)	5.7086	2070	1.58	5337	3382
Y (simulation)	6.4336	1207	3.15	5015	1590
X (measured)	5.7073	2146	1.38	5116	3695
Y (measured)	6.4202	1200	3.03	4834	1595

4 まとめ

末原モニター内蔵用の IPBPM の RF 測定を行った。周波数は設計どおりであったが、 Q_{ext} が設計と 50%程度異なっている。最初にインストールする分にはこれでいいとは思っているが、後に問題があった場合、導波管の設計の見直しも検討する項目である。