

# Electrical center measurement of PAL BPM

Y.Honda, Y.Inoue

2005/11/22

## Abstract

We measured the difference of the electrical center and the mechanical center of the prototype BPM fabricated in PAL. The measurement was done with the antenna device which has been developed in KEK. In order to reduce the systematic error, the measurement was repeated changing setups. The offsets of two directions were measured to be  $5.8 \mu\text{m}$  and  $0.3 \mu\text{m}$ , and proved to be better than the requirement.

## 1 Introduction

### 1.1 目的

PALで製作された ATF2用プロトタイプ空洞 BPM の電気的中心測定を行った。BPM の外径を基準とした機械的中心と、アンテナを挿入し空洞モードの励振を調べることで測定される電気的中心が一致するか調べる。この結果は、空洞パーツの加工、組み上げ精度、ロウ付けの影響等を全て含んだ BPM の出来具合の指標となる。

今回測定したのは、ビームラインに入れていない”without dents”モデルの方。チューナーによる空洞の調整を行う前、基本的には納入された状態のままである。測定は、井上アンテナ装置を用いて行った。

### 1.2 原理

BPM をある向きに取り付けてアンテナスキャンを行い、V 字応答を測定して電気的中心を求める。これは、BPM のある面の外径を基準とした電気的中心の位置である。続いて、BPM の向きを回転させて再び V 字応答測定を行うことで、BPM の反対側の面の外径を基準とした電気的中心が分かる。2回の測定による電気的中心の差の 1/2 として機械的中心と電気的中心のずれが求まる。

アンテナは固定し、BPM を回転させて測定すると、アンテナの傾きによるシステムティックな影響は反対に表出するので機械的-電気的中心のずれを導出する際に自動的にキャンセルされる。夏以降に装置をこの方式に切替えて系統誤差が大きく減少し、 $10 \mu\text{m}$  程度の信頼性で測定が可能となった。通常、装置の最下部の回転ステージを使用して BPM の回転を行っている。

BPM を回転させる際に回転ステージを用いる場合、このステージの回転軸の角度変動によって BPM のマウントされる面の角度が変わる可能性がある。この影響はキャンセルされないで結果に影響し得る。BPM の装置への取り付けの向き自体を実際に変えて測定を行えば、システムティックなエラーをさらに減らすことが可能であると思われる。

## 2 Setup

単に、これまで井上実験によって確立されてきた手順に忠実に従って装置の調整を行い、測定を行った。

### 2.1 setup

図 1 の写真に示すように BPM を装置に取り付けた。

回転ステージの状態は 4 種類 ( $-90\text{deg.}$ ,  $0\text{deg.}$ ,  $90\text{deg.}$ ,  $180\text{deg.}$ ) あり、それらを図 2 に示すように定義する。空洞の X,Y ステージについているステッピングモーターの軸を見れば回転ステージがどの状態にあるか分かる。

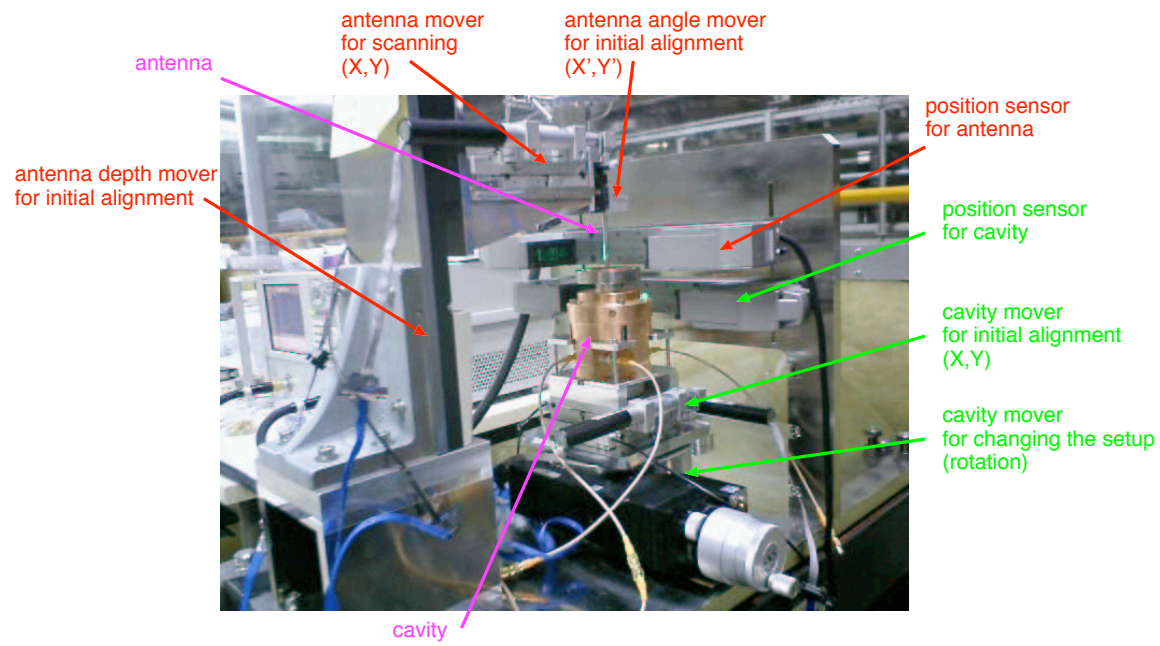


Figure 1: セットアップの写真

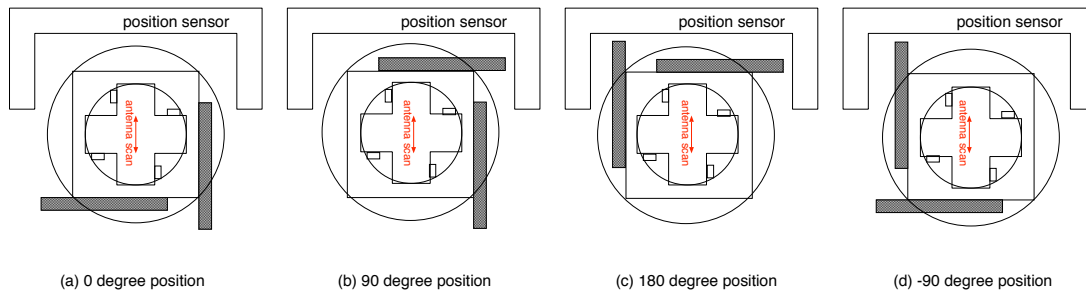


Figure 2: 回転ステージの角度の定義

BPMの取り付け方向を図3に示すように回転させた4通りで測定を行った。BPMの導波管部にはA,B,C,Dと刻印がしてある。ここでは4通りのセットアップをそれぞれ1st, 2nd, 3rd, 4thセットアップと呼ぶ。

実は、1st, 2ndの測定と3rd, 4thの測定は違う日に行われており、その間に空洞位置センサとアンテナ位置センサの位置が若干変わっている(アンテナセンサの足の長さを変えた為、ゼロ点が変わっている。空洞の外径を測る位置が変わっている。原理的には測定結果には影響しないはずであるがプロットを見ると注意。)

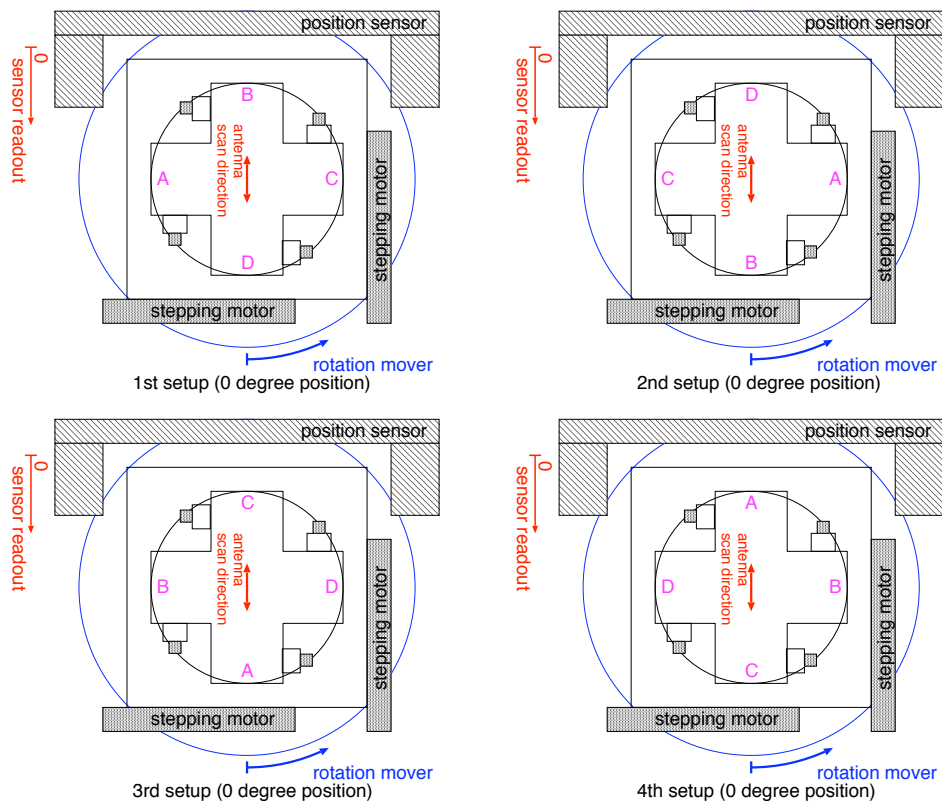


Figure 3: 4通りの方向でのBPMの取り付け

## 2.2 procedure

いつもどおりの手順で、空洞の軸出し、アンテナの深さ調整、アンテナの角度調整、アンテナの位置調整の順に行った。

### 2.2.1 空洞の軸出し

空洞の軸出しの後の空洞位置の測定結果を表1にまとめた。各セットアップについて回転ステージの状態ごとの空洞位置センサの読み値である。空洞を回転ステージで回転させてもその位置の変動を最大 $10\mu\text{m}$ 以内におさめることが出来た。空洞の真円度と回転ステージの軸ぶれで軸出しの限界は決まると思われ、この程度が限界である。

1st, 2ndセットアップと3rd, 4thセットアップは径が違うように見えるが、これはセンサの位置を変えたため測定している位置が違うことによると思われる。

アンテナスキャンを行う度に空洞位置も測定するので、その結果を用いて補正すれば軸が完全に合っていないでも原理的には測定精度には関係しない。

### 2.2.2 アンテナの深さ調整

アンテナ側の反射をネットワークアナライザで測定し、空洞のTM010モードに対応するディップの周波数変化をモニターしてアンテナ深さを決める。アンテナが入ったことでTM010の周波数が $50\text{MHz}$

Table 1: Cavity axis alignment

setup	-90deg.	0deg.	90deg.	180deg.	peak-to-peak
1st	15.6430 mm	15.6406 mm	15.6394 mm	15.6438 mm	4.4 $\mu\text{m}$
2nd	15.6448 mm	15.6486 mm	15.6424 mm	15.6462 mm	6.2 $\mu\text{m}$
3rd	15.7412 mm	15.7464 mm	15.7408 mm	15.7508 mm	10.0 $\mu\text{m}$
4th	15.7386 mm	15.7428 mm	15.7358 mm	15.7450 mm	9.2 $\mu\text{m}$

下がるところにセットした(いつもどおり)。

### 2.2.3 アンテナの角度調整

アンテナに角度が付いていると V 字の先がまるまってしまう。アンテナ支えに付いている角度ムーバーを調整して、V 字の最小値が出来るだけ下がるように合わせる。横方向の角度は横方向のポートを見ながら、縦方向の角度は縦方向のポートを見ながら。

### 2.2.4 アンテナの位置調整

直交方向の信号が混ざるとやはり V 字がまるまるるので、最初に、アンテナの横方向位置は横方向のポートを見ながら、アンテナの縦方向位置は縦方向のポートを見ながら、信号が最小になる場所を探す。

## 3 Result

測定は各ポートについてステージを回転させて 2 通り、BPM 取り付けのセットアップを変えて 4 通りを行った。使用しないポートは終端してある。

アンテナの位置のモニター値に対して、ネットワークアナライザで測定されたピークの高さをプロットする。双曲線でフィットした結果を線で重ねて示してある。

1st セットアップについての結果が図 4,5,6,7。2nd セットアップについての結果が図 8,9,10,11。3rd セットアップについての結果が図 12,13,14,15。4th セットアップについての結果が図 16,17,18,19。

双曲線でデータをフィットし、その中心の値を求めた。表 2,3 に結果をまとめる。回転ステージを動かしたそれぞれの場合で、V 字の中心の値 (center)、および、測定の最中の空洞位置のモニター値 (cavity position) である。これらのデータを用いて、機械的中心からの電気的中心のずれを計算したのが最後の列 (e-center) である。即ち、cavity position の値を用いて center の値を補正した後、180 (-90) degree のときの結果から、0 (90) degree のときの結果を引いたもの、の 1/2 である。

Table 2: Summary of the result (A-port and C-port)

setup and port	0 degree		180 degree		e-center ( $\mu\text{m}$ )
	center	cavity position	center	cavity position	
1st, A-port	14.075 mm	15.643 mm	14.091 mm	15.646 mm	6.5
1st, C-port	14.076 mm	15.643 mm	14.089 mm	15.644 mm	6
2nd, A-port	14.094 mm	15.651 mm	14.080 mm	15.645 mm	-4
2nd, C-port	14.095 mm	15.650 mm	14.079 mm	15.646 mm	-6
	90 degree		-90 degree		
3rd, A-port	28.403 mm	15.739 mm	28.408 mm	15.739 mm	2.5
3rd, C-port	28.404 mm	15.740 mm	28.407 mm	15.739 mm	2
4th, A-port	28.399 mm	15.742 mm	28.432 mm	15.747 mm	14
4th, C-port	28.403 mm	15.747 mm	28.432 mm	15.747 mm	14.5

Table 3: Summary of the result (B-port and D-port)

setup and port	90 degree		-90 degree		e-center ( $\mu\text{m}$ )
	center	cavity position	center	cavity position	
1st, B-port	14.074 mm	15.642 mm	14.085 mm	15.642 mm	5.5
1st, D-port	14.073 mm	15.641 mm	14.084 mm	15.642 mm	5
2nd, B-port	14.078 mm	15.643 mm	14.085 mm	15.645 mm	2.5
2nd, D-port	14.078 mm	15.642 mm	14.088 mm	15.645 mm	3.5
	0 degree		180 degree		
3rd, B-port	28.406 mm	15.748 mm	28.421 mm	15.748 mm	7.5
3rd, D-port	28.403 mm	15.747 mm	28.420 mm	15.747 mm	8.5
4th, B-port	28.408 mm	15.743 mm	28.417 mm	15.744 mm	4
4th, D-port	28.404 mm	15.742 mm	28.417 mm	15.744 mm	5.5

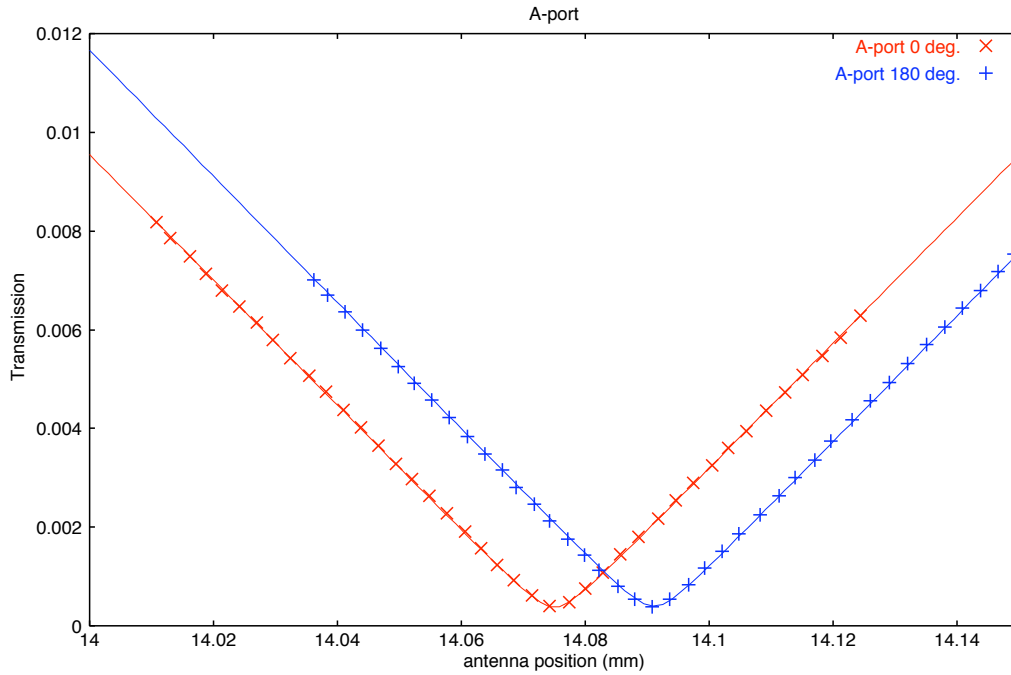


Figure 4: Result: A-port, 1st setup

## 4 Consideration

表 2,3 の結果はどの場合も  $15\mu\text{m}$  以内であり、少なくとも、BPM の機械的中心と電気的中心のずれは  $15\mu\text{m}$  以下であることは分かる。

但し、測定された値が本当に電気的中心を表しているならば、例えば 1st セットアップと 2nd セットアップ、あるいは 3rd セットアップと 4th セットアップで結果が正負反転するはずである。しかし、実際にはそうはなっていない。何らかの系統誤差が測りたい量と同じ程度残っていると考えられる。

A ポートと C ポート、B ポートと D ポートはそれぞれ同じものを測定しているとする、4つのセットアップ、2つのポートで、計 8 回同じものを測定していることになる。今回は、とりあえずはこれ以上系統誤差の原因を追求せず、単に 8 つの独立した測定の平均をとって結果とする。正負の符号を揃えて表 2,3 のデータをプロットしたのが図 20 と図 21 である。平均値を示す直線からの  $\chi^2$  が 1 になるように各データ点にエラーをつけた。平均値とその誤差を図中に示している。

測定結果の電気的中心の位置を図 22 に図示した。A,C ポートで見られるずれは B,D ポート方向であり、B,D ポートで見られるずれは A,C ポート方向であることに注意。

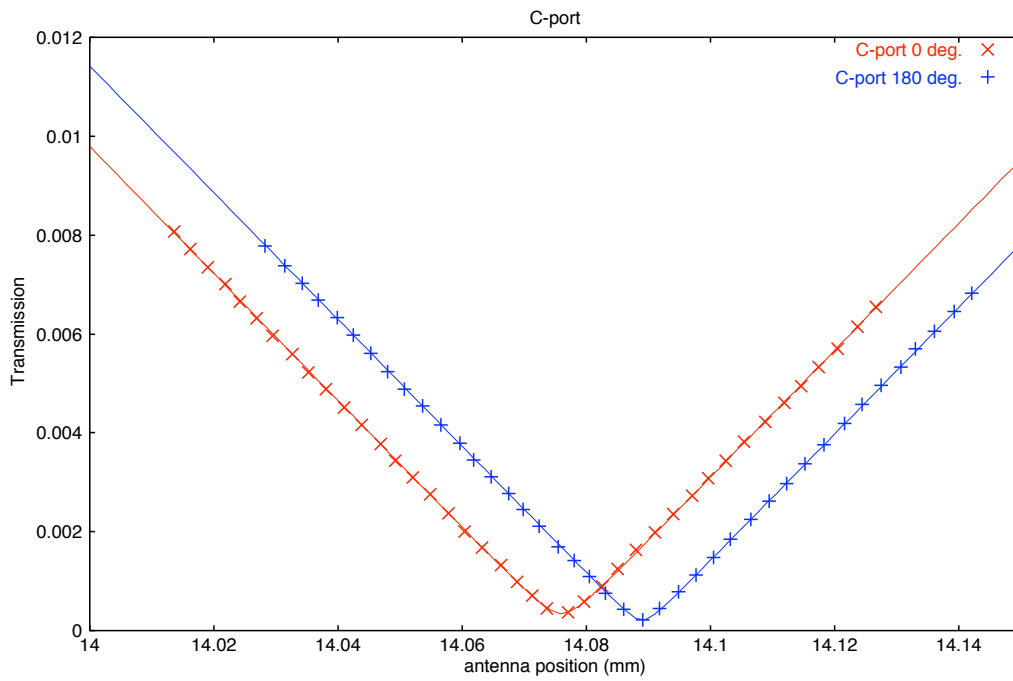


Figure 5: Result: C-port, 1st setup

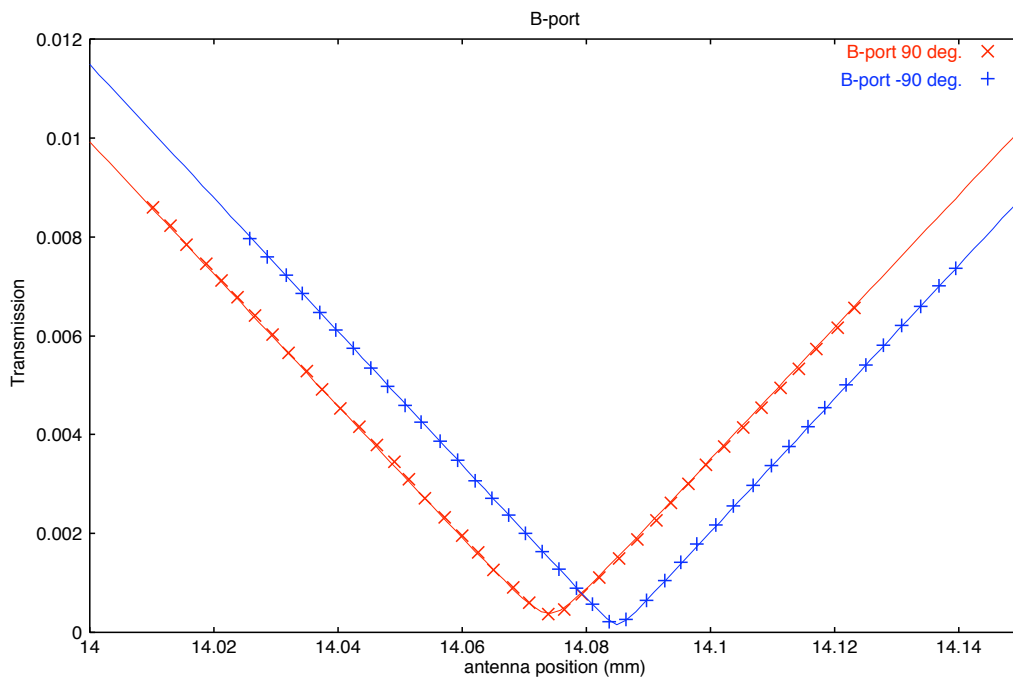


Figure 6: Result: B-port, 1st setup

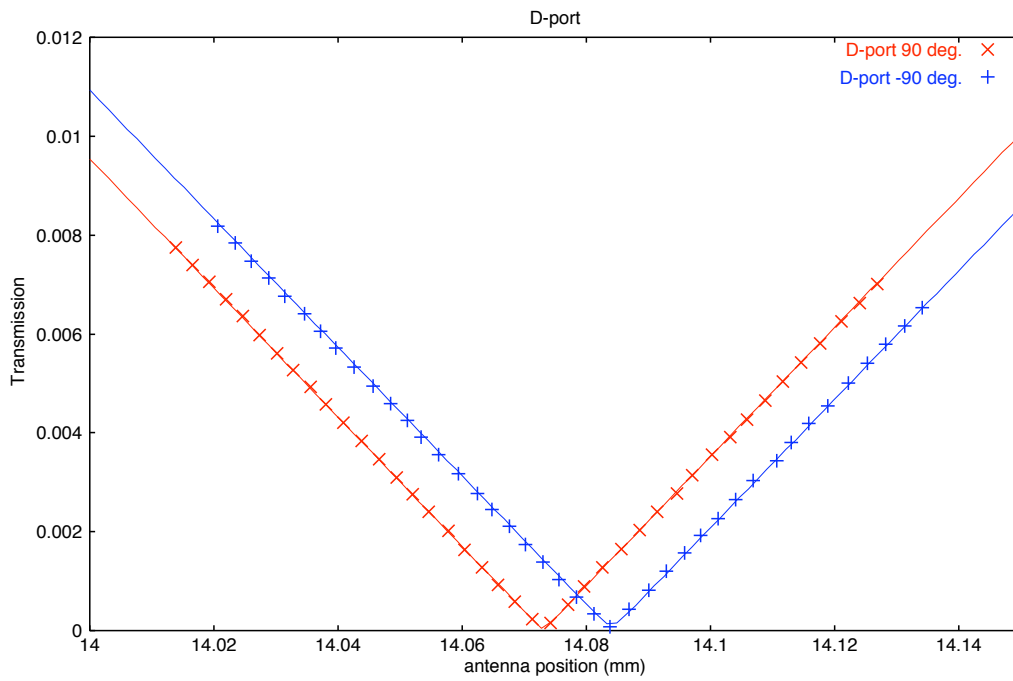


Figure 7: Result: D-port, 1st setup

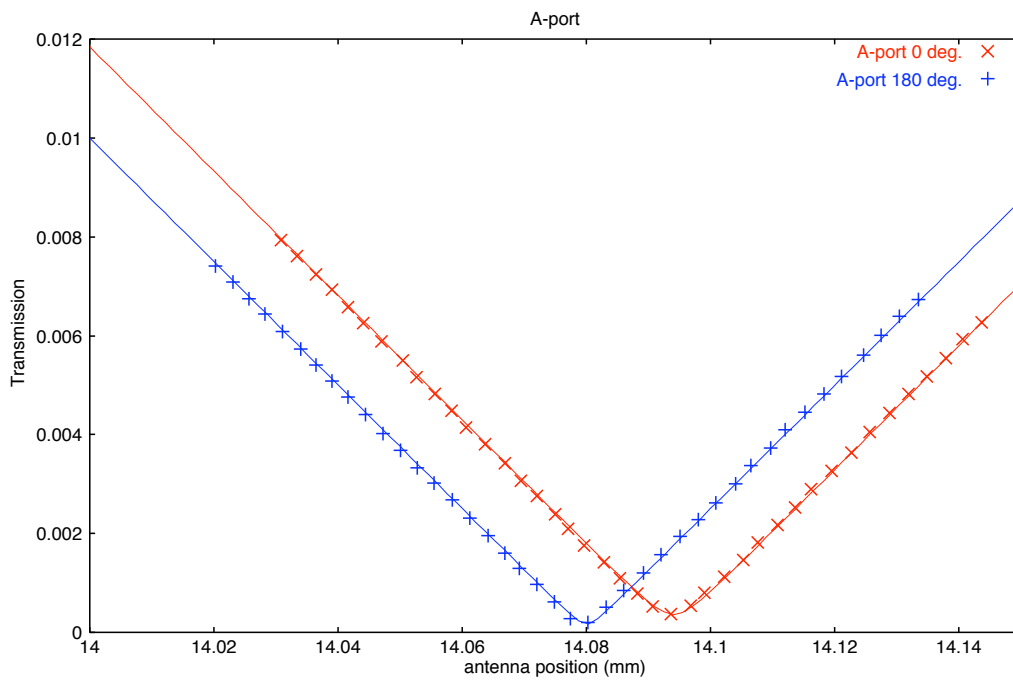


Figure 8: Result: A-port, 2nd setup



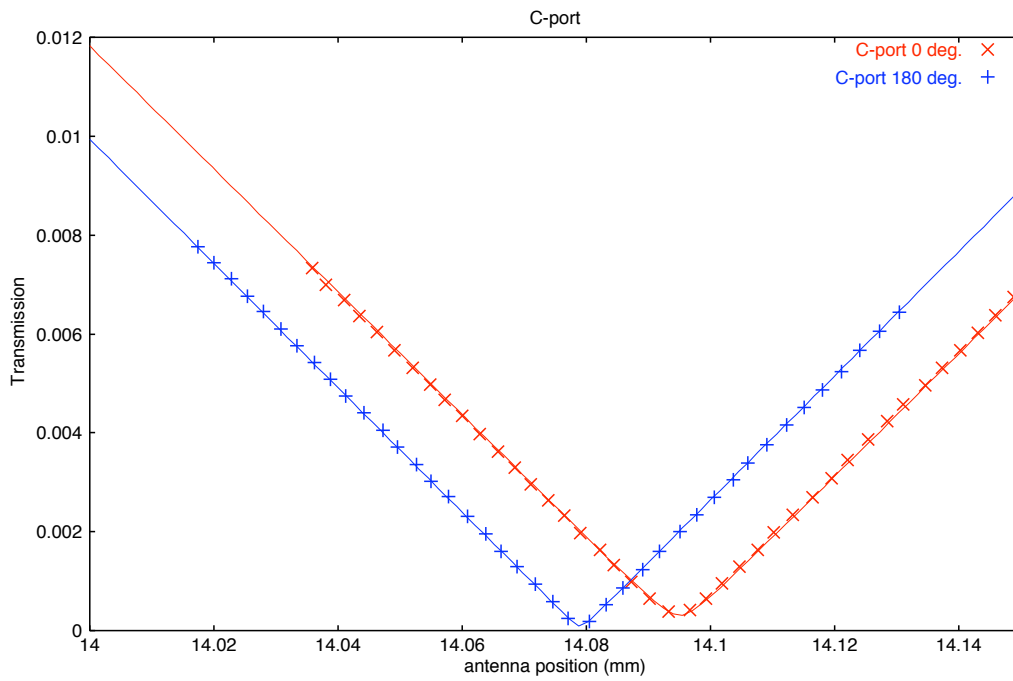


Figure 9: Result: C-port, 2nd setup

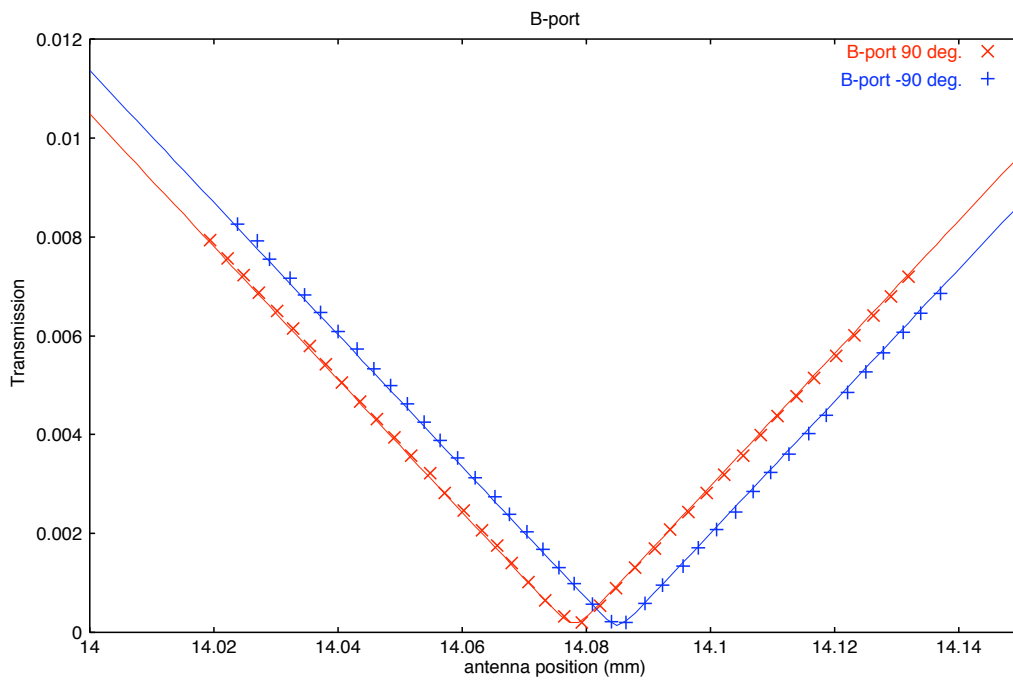


Figure 10: Result: B-port, 2nd setup

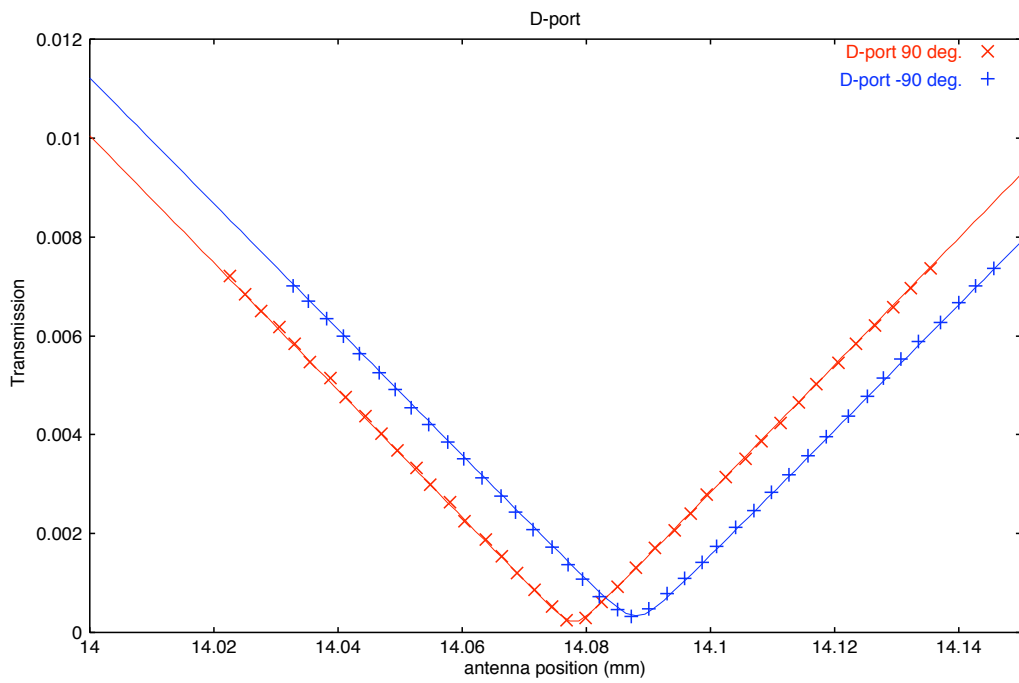


Figure 11: Result: D-port, 2nd setup

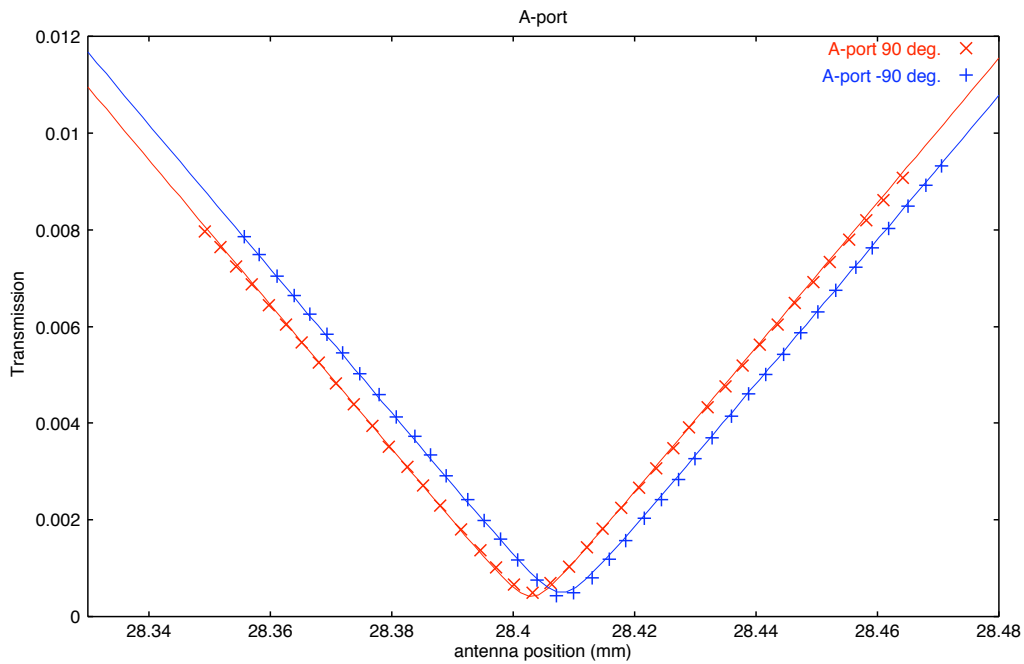


Figure 12: Result: A-port, 3rd setup

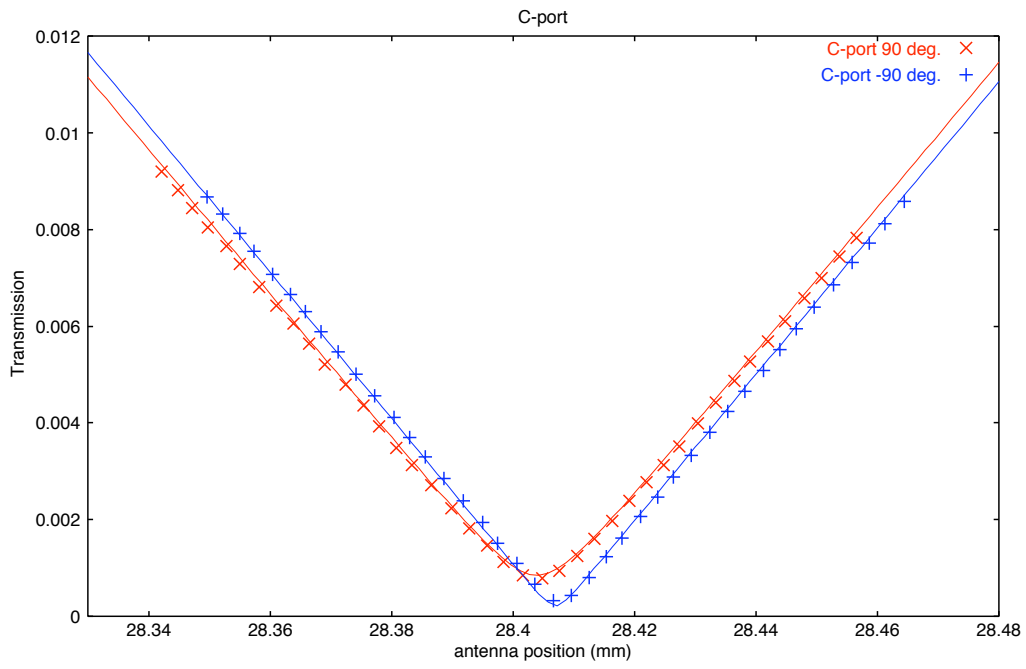


Figure 13: Result: C-port, 3rd setup

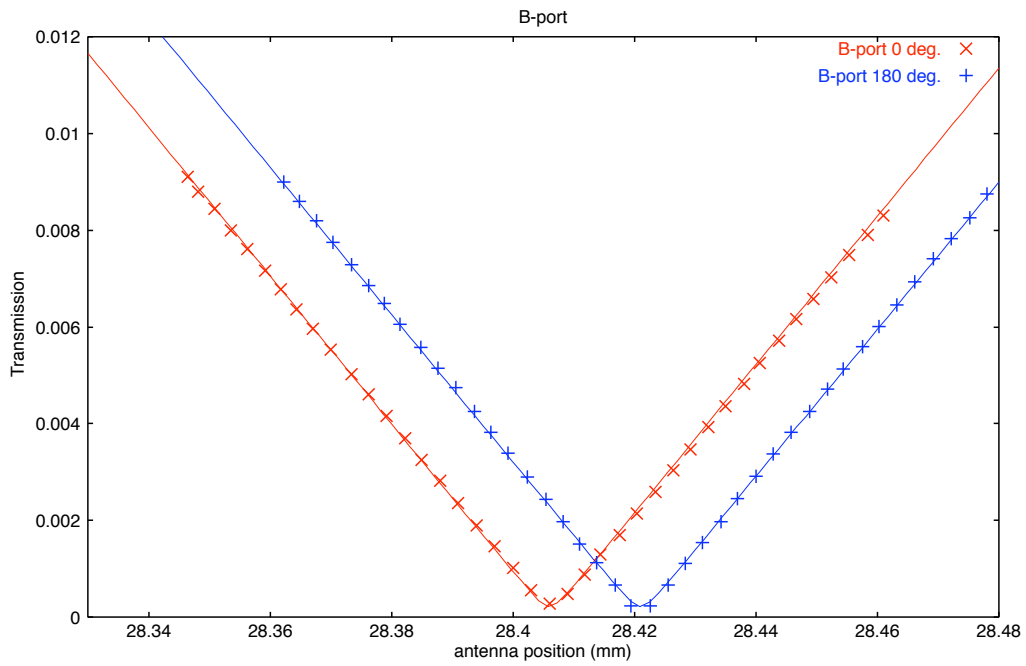


Figure 14: Result: B-port, 3rd setup

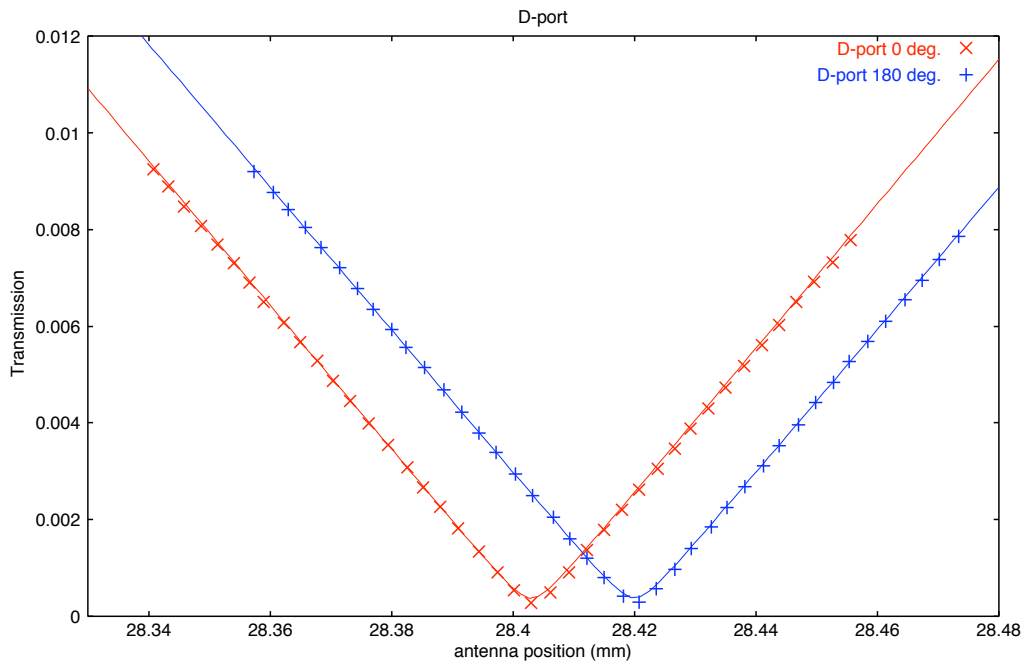


Figure 15: Result: D-port, 3rd setup

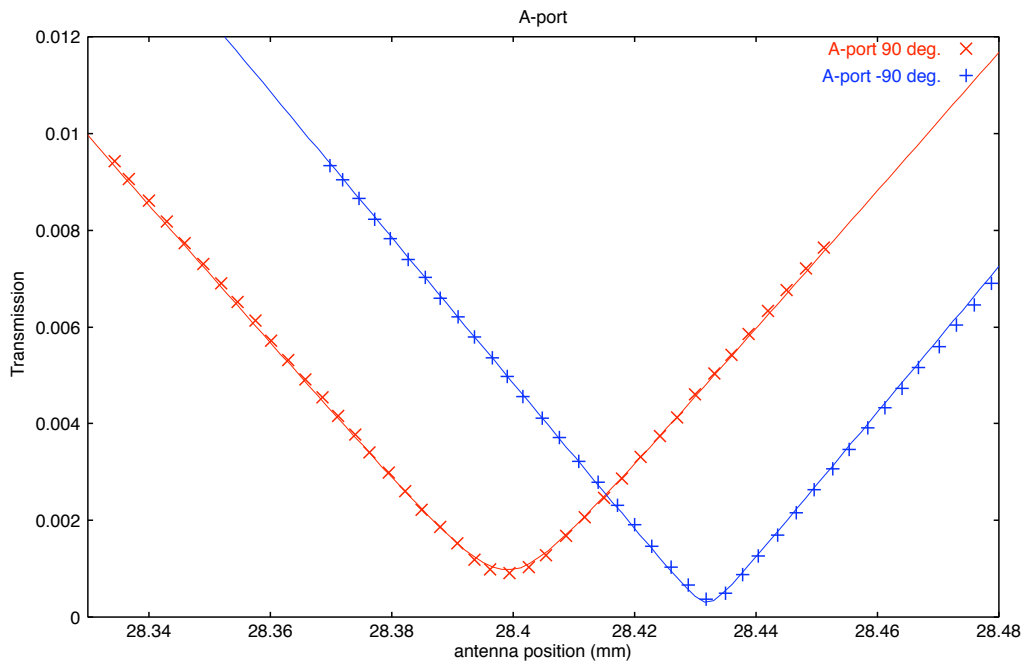


Figure 16: Result: A-port, 4th setup

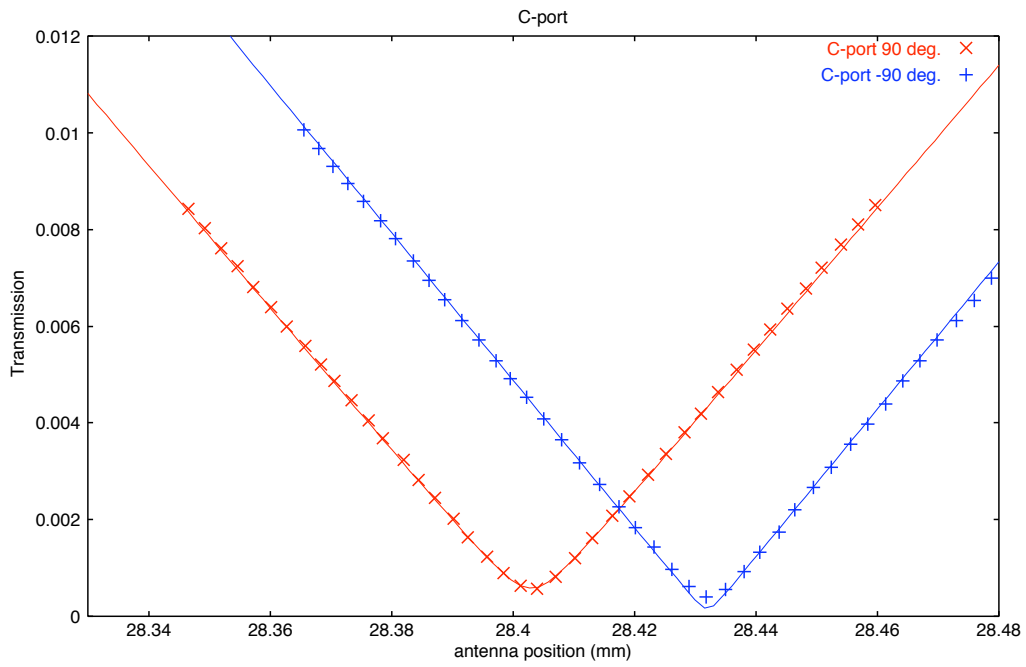


Figure 17: Result: C-port, 4th setup

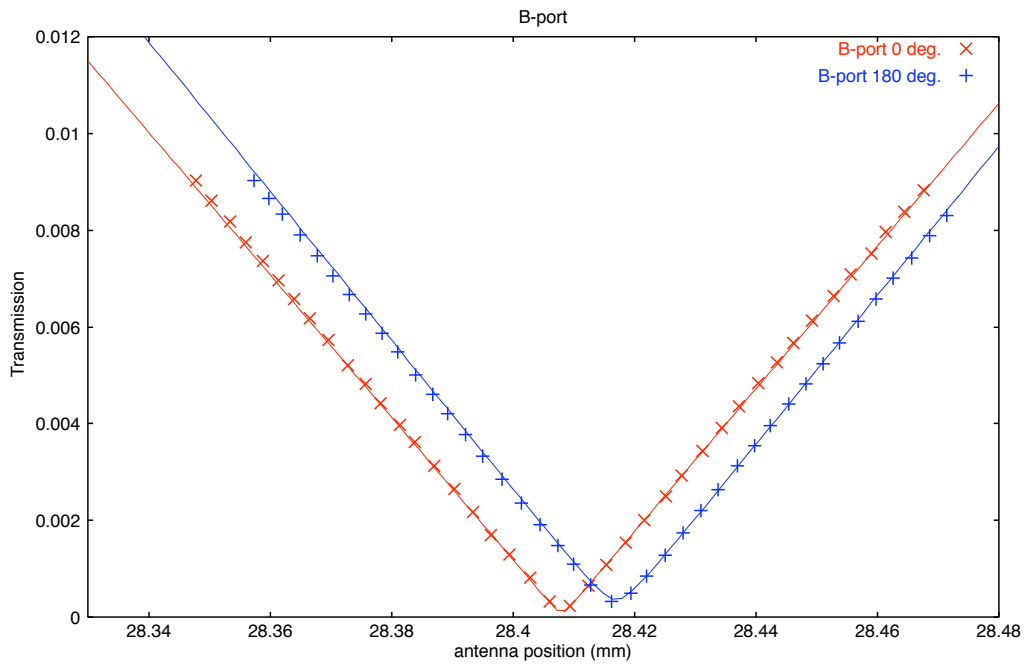


Figure 18: Result: B-port, 4th setup

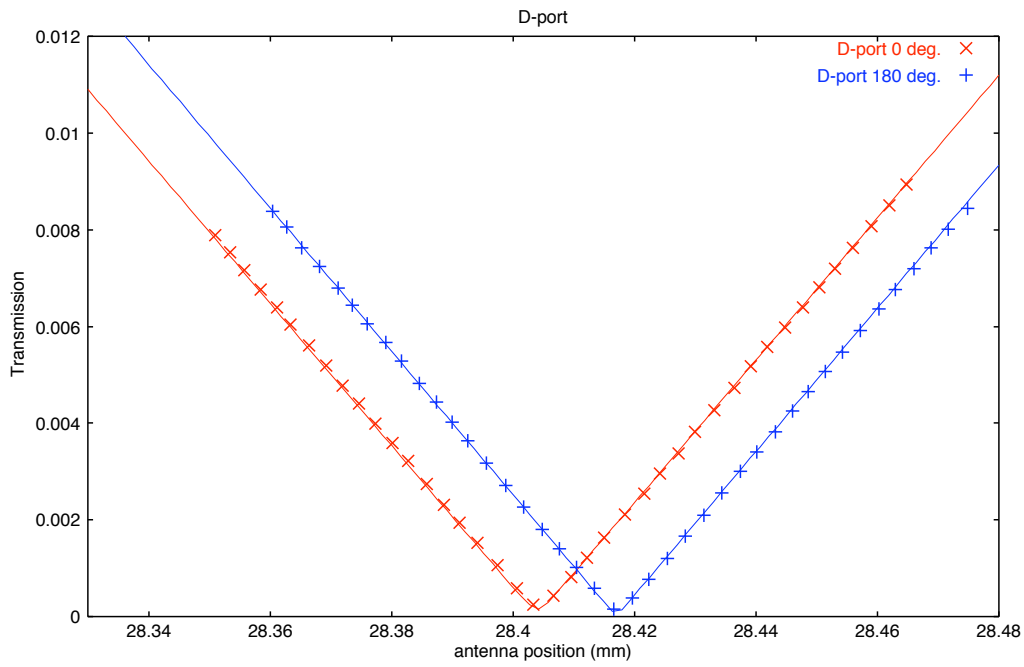


Figure 19: Result: D-port, 4th setup

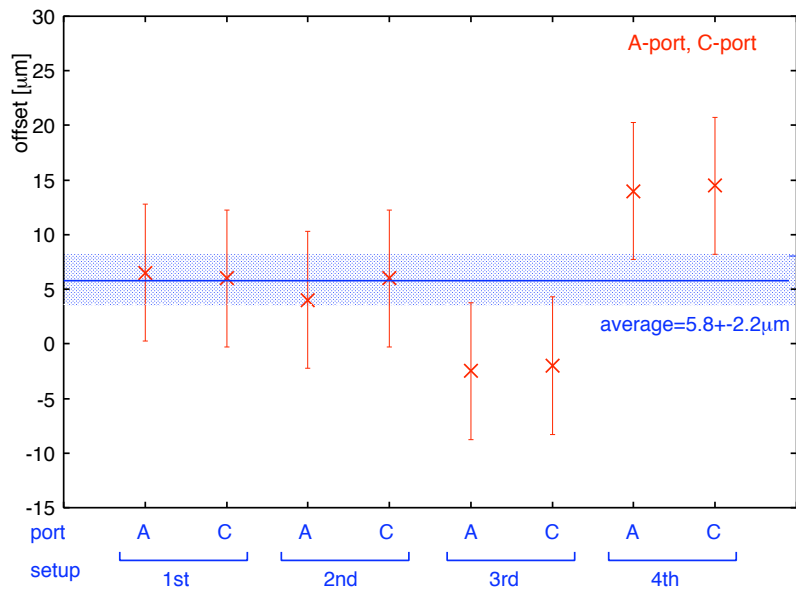


Figure 20: Summary of A and C port measurement

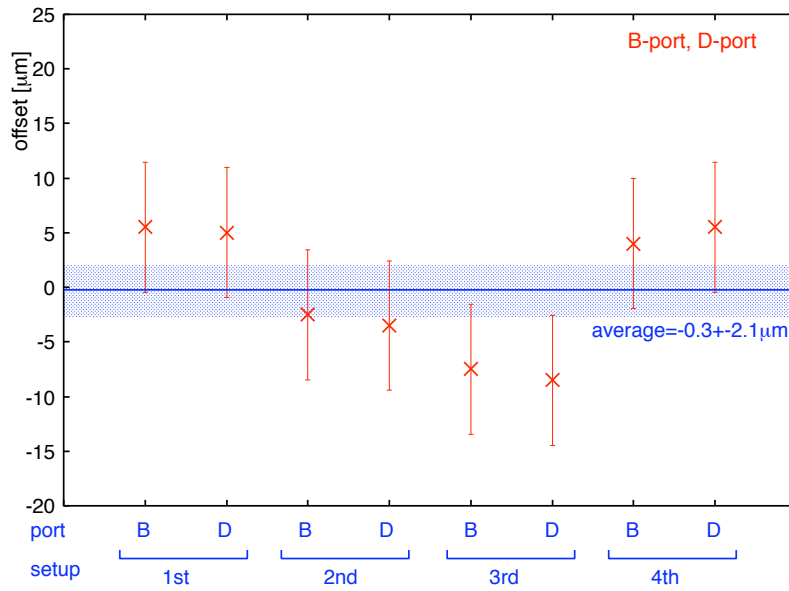


Figure 21: Summary of B and D port measurement

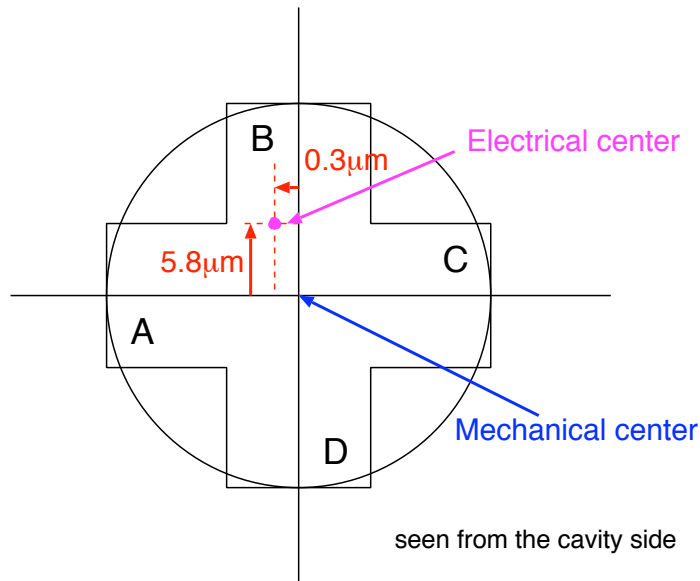


Figure 22: Summary of the result

## 5 Summary

プロトタイプ”without dents”モデルの電気的中心は十分良く機械的中心と一致している。