

# 空洞型ビーム位置モニターの中心位置の高精度測定

井上 洋一<sup>1,A)</sup>、樋口 正人<sup>A)</sup>、早野 仁司<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 東北学院大学工学研究科応用物理学専攻  
〒985-8537 宮城県多賀城市中央1-13-1

<sup>B)</sup> 高エネルギー加速器研究機構  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

## 序論

電子陽電子衝突型加速器(リニアコライダー)の開発が世界各国で行われており、アジア地域ではACFAのもとにGLC(Global Linear Collider)が提案されており日本が中心となってリニアコライダー開発研究が進められている。

GLC 加速器のための試験加速器であるATF(Accelerator Test Facility)では、GLC主リニアックで使用される高分解能ビーム位置モニターとして空洞型ビーム位置モニターをロシアのBINP研究所と共同で開発を進めてきており、現在、実用段階にある。得られている分解能は $0.2\mu\text{m}$ とGLCにおける要求を同程度に満たすものであるが、設置時に必要となる絶対位置精度については評価できない構造となっており研究が必要である。高分解能でモニターを使用するためにはビームをモニター空洞の中心付近でとらえなければならず、アライメントの絶対位置精度として $10\mu\text{m}$ 程度以内にQマグネットの中心に収める必要がある。そのような高精度に加工された空洞の機械的中心と電気的中心の一致精度を研究することは重要である。

## 1. 目的

空洞型ビーム位置モニターは円筒状の構造をしており加工面で機械的中心位置を出しやすいものである。ところが電気的にその中心を測定するには高精度に作成されたアンテナを高精度に空洞中心軸に合わせなければならない。本研究の目的は、その機能を実現する測定装置の作成と評価、絶対位置精度の評価法の確立、そして実際に試験空洞を用いた実験を行うことである。本報告では、測定装置の概要と測定方法を述べ、現在までに得られている中心位置一致精度と誤差の評価について述べる。

## 2. 絶対位置精度の重要性

空洞型ビーム位置モニターはビームが中心を通過した場合にのみ信号が最小であり、中心から離れるに従って距離に比例して大きくなる信号が出てくる。したがってビーム位置測定の分解能を上げようと回路のゲインを上げていくと回路のダイナミックレンジのため測定範囲が中心付近 $100\mu\text{m}$ 程度以下にまで狭まってくる。常に高分解能で位置測定するために

はモニター設置位置を数 $10\mu\text{m}$ 程度の精度でビーム運転時の軌道すなわちQマグネットの中心に合わせる必要があり、そのためには空洞外側の基準面を使用しQマグネットなどの中心に合わせられて設置される必要がある。この事を考えると空洞外側基準面と機械的中心、さらにはそれと電気的中心位置のずれの精度は $10\mu\text{m}$ 程度以下が目標値として上げられる。

## 3. 中心位置偏差の測定装置

円筒型空洞や円筒型アンテナのそれぞれの機械的中心を合わせる方法として、高精度な回転ステージ上に円筒型空洞や円筒型アンテナをX-Yステージを介して取り付け、その円筒周辺部分の外部からの距離が回転に対して不変となるようにX-Yステージを調整する事とした。外部基準から回転する円筒部分の距離を計る装置として、図1に示すような平行光を発する投光部と受光部間の測定物の位置を光の端部からの距離( $l$ )として測定できるデジタル寸法測定器(キーエンス、LS7030)を使用した。また、円筒空洞や円筒アンテナの位置決めをするためのX-YステージにはPI(M-013.00)のものを使用した。

ここで測定精度は回転ステージの芯ぶれによる機械的中心の設置誤差が $2\mu\text{m}$ 以下、空洞下部やアンテナ下部のX-Yステージの設置誤差が $0.1\mu\text{m}$ 、デジタル寸法測定器の測定誤差が $0.2\mu\text{m}$ 以下、これらから推定して $2\mu\text{m}$ 程度以下である。

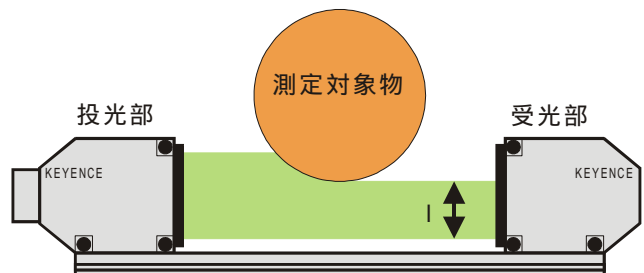


図1:デジタル寸法測定器

## 4. 中心位置偏差の測定実験

機械的中心と電気的中心との偏差を測定する装置を図2に示す。空洞やアンテナおよび各種微動ステージはすべて一つの回転ステージ(Newport、RV160MS)に載せられ、回転による偏差を検出して

<sup>1</sup> E-mail: yinoue@post.kek.jp

いるのが外側の架台に取り付けられたデジタル寸法測定器(G)である。(B)のX-Yステージは回転に対する偏差を最小にするための調整のためであり、(F)のゴニオはさらにアンテナの向きを空腔の向きに合わせるためのものである。(A)のZ軸ステージはアンテナを空腔内に導入するためのものである。図2中、測定する空腔は(D)、アンテナは(F)である。

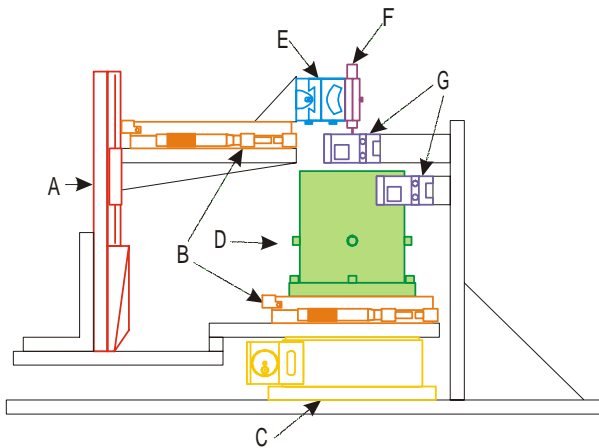


図2:絶対位置精度測定装置

A	Z軸移動ステージ	E	ゴニオステージ
B	XY軸移動ステージ	F	アンテナ
C	回転ステージ	G	デジタル寸法測定器
D	空腔		

#### 4.1cal空腔の構造とアンテナの構造

測定に使用したビーム位置モニター空腔の構造を図3、さらにアンテナを図4に示す。空腔の周波数は6.5GHzで現用のATF空腔モニターと同様の周波数としてあり、4ポートの対称スリット結合により位置信号を検出する方式のものである。空腔と外側円筒面の中心位置工作精度は $\pm 10\mu\text{m}$ で指定して製作してある。一方、アンテナは高精度に加工された中心導体と外導体をセラミックにて同軸構造に組み立ててある。総合した中心位置精度は同様に $\pm 10\mu\text{m}$ で指定して製作してある。

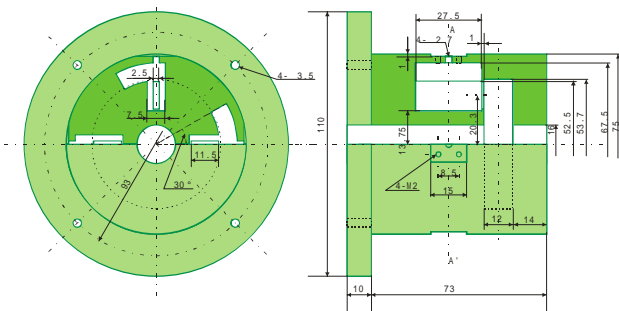


図3:試験空腔

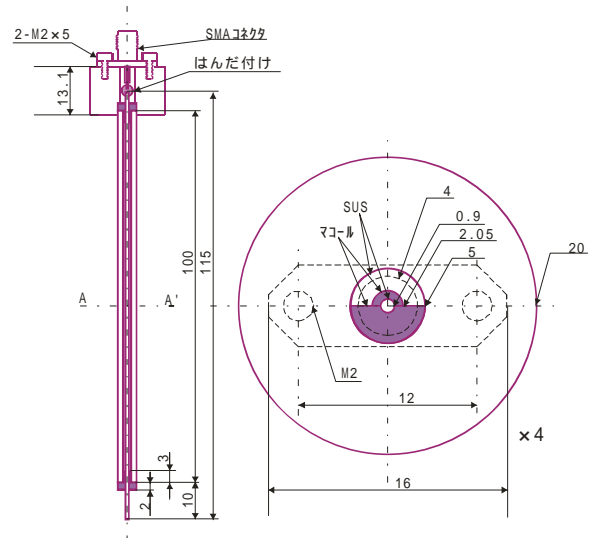


図4:アンテナ

#### 4.2cal電氣的測定の測定装置

電氣的測定に使用した装置ブロック図を図5に示す。電氣的性質の測定にはネットワークアナライザを用い、出力側はSMAコネクタを通してアンテナに接続されており、空腔からの信号は内蔵されたWave Guideを通して、Wave guide中に差し込んだアンテナから獨コネクタを通して取り出す。さらにゲイン30dBのアンプを通して信号増幅してある。使用したアンプはMITEC製のAFS4-02000800-20-20P-4である。

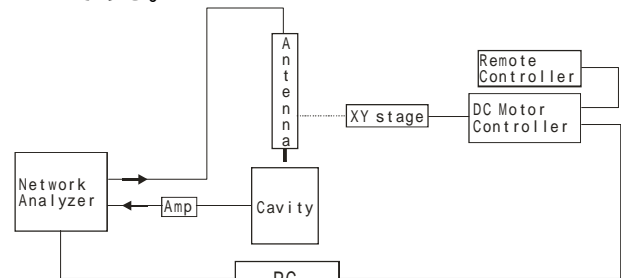


図5:電氣的測定の測定装置

#### 4.3 空腔の機械的中心の測定

測定ではまず、空腔、アンテナの機械的中心を回転中心に合わせる。これはデジタル寸法測定器を用いて、回転させたときのIの変化が最小となる点をそれぞれの機械的中心とした。これらの機械的中心はひとつの回転ステージ上にあるので一致していると考えられる。Iの変化が最小となったときの空腔、アンテナの回転に対する端面位置変化を図6、図7に示す。アンテナのほうが構造上の問題があり変化が大きいが回転中心への一致精度はどちらも $\pm 5\mu\text{m}$ 以内に収まっている。図中に見られる大きなディップは回転ステージの特定の回転位置で発生しているので回転ステージ固有の問題である。

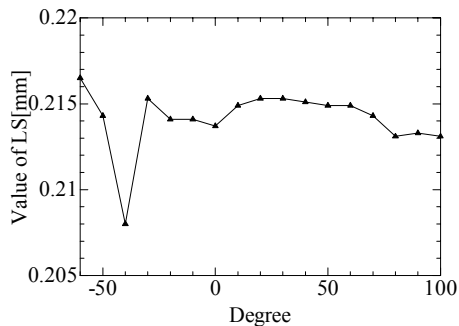


図6:空胴の回転中心への一致

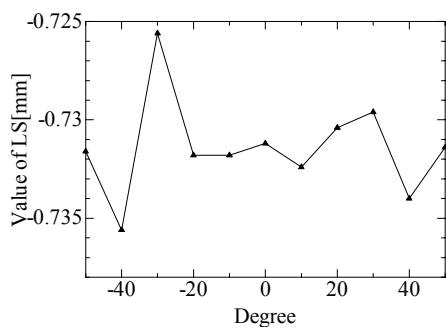
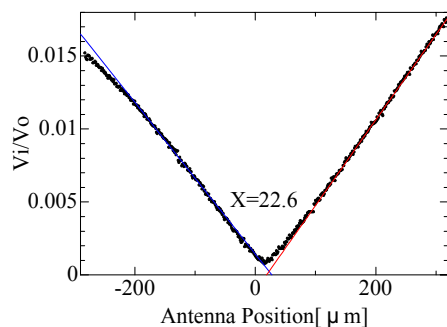


図7:アンテナの回転中心への一致

#### 4.4 空胴の電気的中心の測定

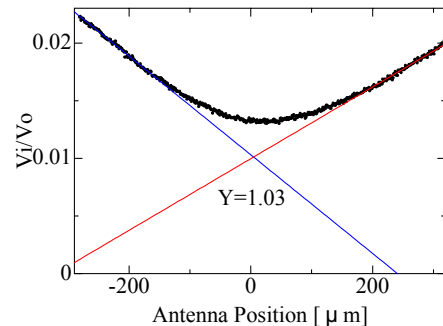
空胴の電気的中心の測定は、前述のようにアンテナを空胴の回転中心へ一致させた後、アンテナをアンテナ移動用のXY軸移動ステージによって移動させながら、ネットワークアナライザーでダイポールモード(TM<sub>110</sub>)の振幅変化を見ることによって行う。このとき、ダイポールモードが最も低くなる位置から空胴の電気的中心を求める。このようにしてアンテナをX、Y方向へ移動したときのダイポールモードの入出力比を示したグラフを図8、図9に示す。

空胴の電気的中心はグラフの中心より左側と右側でそれぞれ直線によるフィッティングをしたときの



$y = an x^n$	$y = an x^n$
$a0=1.4365206e-03$	$a0=-1.06910741e-03$
$a1=-5.19754923e-05$	$a1=5.85850511e-05$
$1.19963089e-04$	$1.06888904e-04$
$ r =9.98266063e-01$	$ r =9.99542177e-01$

図8:アンテナのX方向スキャン



$y = an x^n$	$y = an x^n$
$a0=1.03106143e-02$	$a0=9.97598435e-03$
$a1=-4.27310167e-05$	$a1=3.10648748e-05$
$1.13210282e-04$	$1.34201855e-04$
$ r =9.96841236e-01$	$ r =9.95137316e-01$

図9:アンテナのY方向スキャン

二直線の交点とした。このとき水平軸の零点は空胴の機械的中心位置である。空胴の電気的中心はこれよりもX方向に22.6 $\mu$ m、Y方向に1.03 $\mu$ mずれた位置にあることがわかった。この時X方向とY方向とで位置変化に対する応答が異なっており、アンテナと空胴との軸の傾きがまだ残っている事を示唆している。これをもとにアンテナ調整機構の見直しをした結果ゴニオステージに調整の効かない回転方向があることがわかった。このためにアンテナがX方向に傾き、斜め励起していた可能性がある。

#### 5. まとめ

測定によりX、Y方向の空胴の電気的中心と機械的中心のずれがわかった。図6、図7より機械的中心の一致精度を $\pm 5\mu$ m程度であるとする、これらより今回の測定により求められた空胴の電気的中心と機械的中心のずれは $22.6 \pm 5\mu$ mであるといえる。アンテナのX方向スキャンとY方向スキャンの非対称度から推定されるようにアンテナと空胴との軸の傾きがまだ残っていると考えられる。今回の研究では、空胴型ビーム位置モニターの絶対位置精度の測定装置の開発、測定手順の確立を目的としてきた。測定装置に関してはよい安定度が得られているが、X方向スキャンとY方向スキャンとのずれの原因の究明が必要である。今後はアンテナ調整機構の改良や装置の更なる安定化を図った上で、コモンモードの除去や実用機の開発を進め、目標とする空胴型ビーム位置モニターの絶対精度10 $\mu$ mを達成したいと考えている。

#### 6. 謝辞

本研究を行うにあたり、菅原前機構長、木村前物質構造科学研究所長、神谷加速器研究施設長の方々にご理解をいただき高エネルギー加速器研究機構との共同開発研究として進めることができました。この場を借りてお礼を申し上げます。