

## COLD TEST OF RFQ FOR NBI

Shin-ichi TAKAMA, Munehiro OGASAWARA

Toshiba Research and Development Center, Toshiba Corporation,  
4-1, Ukishima-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki 210

### ABSTRACT

4-rod type RFQ is suitable for high-current ion acceleration, and considered to be applicable to the NBI system used in the future large Tokamak Reactor. A cold model of 4-rod type RFQ has been built to study the RF characteristics. The Q-values and the resonant frequencies were measured by a network analyser. The electric field distributions were obtained by the bead-perturbation method. Results showed that the Q-value was 1460, the 0-mode resonant frequency was 110 MHz. It was found that the electric field distribution of this cold model was not symmetrical in the perpendicular direction.

### NBI用RFQのコールドテスト

#### 1. はじめに

ITER、SSTRといった次期、次次期核融合研究用大型トカマク装置において、プラズマ加熱、電流駆動の目的に高エネルギーの重水素中性粒子ビーム（1.3～2 MeV、40～60 A）を用いるNBI（中性粒子入射装置）システムを使用することが検討されている。この場合、重水素中性粒子ビームは、目的エネルギーまで加速された負イオンを中性化することによって得られる。負イオンの加速方式として、静電加速と高周波加速の二つの方式が考えられるが、静電加速方式の場合、電圧保持や絶縁破壊時の対策にかなりの困難が予想される。それに対して、高周波加速方式は、電圧的には比較的問題が少なく、特にRFQを用いたNBIシステムがBecraftらによって提案されている<sup>1)</sup>。RFQをNBIシステムに使用する場合、RFQを数十台クラスタ化する必要があり、1台当たりのRFQは、小型で、かつ、できるだけ加速電流が大きくなければならない。RFQの構造として広く使われているのは4ヴェーン方式であるが、4ヴェーン方式は、加速可能電流を大きくするために運転周波数を低くすると、空胴の径が大きくなるという欠点を持っている。NBIシステムには、空胴を小型にでき、構造が比較的簡単な4ロッド方式のRFQが適していると考えられる。そこで今回は4ロッド方式RFQの高周波特性を調べるためにコールドモデルを製作し、Q値、共振周波数、電場分布を測定した。

#### 2. コールドモデルと試験装置の概要

図1に今回製作したコールドモデルの概要を示す。ロッドは直径46.9 mm、長さ400 mmのアルミ棒であり、対角線方向に向かい合うロッドの中心間の距離は93.8 mmである。ロッドは2本ずつホルダーに、ホルダーは高さ150 mmの支持板に、支持板

は床板にそれぞれ固定されている。

共振器を簡単なTEM線路モデルによって近似して考えた場合、ロッド間の単位長当たりの静電容量をC、ロッドの長さを2L、支持板のインピーダンスをZ、支持板の長さをHとすると、共振周波数はインピーダンス整合の条件から、対称モードに対しては、

$$2cZC \tan(kL/2) = \cot(kH)$$

反対称モードに対しては、

$$cZC(\tan(kL/2) - \cot(kL/2)) = \cot(kH)$$

によって得られる。ここでcは光速、 $k = 2\pi f/c$ 、fは共振周波数である。各モードの周波数は表1に示すようになる。

測定用のアンテナは床板に取り付けられており、ネットワークアナライザによりQ値、共振周波数の測定を行った。電場分布の測定は、空洞中への摂動体の挿入による共振周波数のずれを測定することによって行った。摂動体は糸で支持された直径10mmのセラミック球を用い、容器に開けた穴を通してパルスモータにより移動させた。

### 3. 試験結果

表1に四重極電場を発生させるモードの共振周波数の測定値を示す。各モードの周波数は、先に計算した値と大きくずれており、線路モデルにおいて考慮に入れなかった、容器の影響、支持板とロッドのつなぎ部分の影響などが現れているものと思われる。図2に各モードの軸方向電場分布を示す。縦軸は摂動体の挿入による共振周波数のずれを摂動体の無いときの共振周波数で割った値であり、 $E^2$ 、すなわち、電場のエネルギーに比例している。最低次の0モードは軸方向に一様であることが分かる。0モードのQ値は当初950~980程度であったが、支持板と床板の間にインジウムを挟んだ時に1460程度まで改善することが分かった。RFQをNBIで使用するためには高周波電力の効率が大きな問題となるので、4ロッド方式を利用するにはQ値の改善が必要である。

図3に軸方向Z=-100mmの位置のロッド間水平方向、垂直方向の電場分布を示す。図より分布は2つの極大値を持っており、ロッド間に四重極電場が発生していることが分かる。図4に電場分布の水平方向、垂直方向の極大値の軸方向分布を示す。電場分布は水平方向には比較的対称性が良いのに対し、垂直方向には大きな非対称性が見られる。この非対称性は支持板がロッドの下側についているという共振器構造の非対称性に起因するものと思われる。

### 4. 今後の予定

今後は、測定結果をより詳しく説明できる等価回路解析を行うために、容器とロッド間、ロッドと支持板のつなぎ部分を考慮に入れた解析モデルを検討し、次に製作するコールドモデルでは、電場分布の対称化を図る予定である。

### 参考文献

- 1) W. R. Becraft et. al : Fusion Technology 15(1989)734

表 1. 共振周波数  $f_r$  (MHz) の計算値と測定値

モード	対称性	$f_r$ (計算)	$f_r$ (測定)
0	対称	1 1 6	1 1 0
1	反対称	3 7 9	2 9 8
2	対称	8 1 6	6 1 0
3	反対称	1 1 3 6	8 8 2

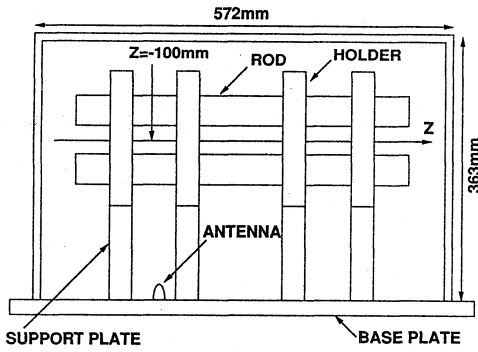
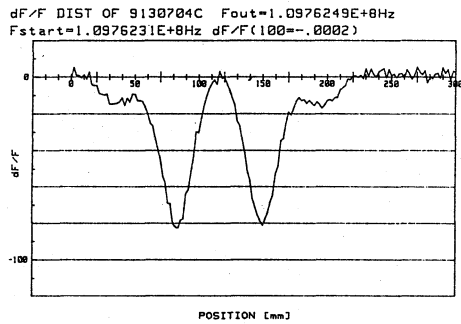
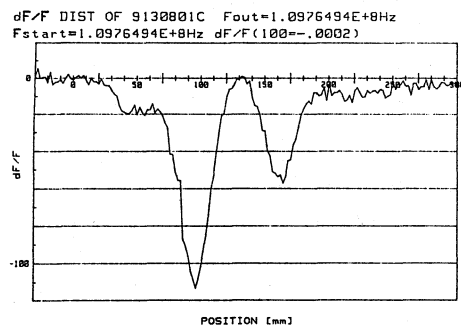


図 1 コールドモデルの概要

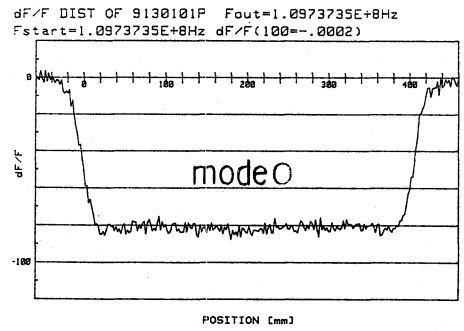


HORIZONTAL



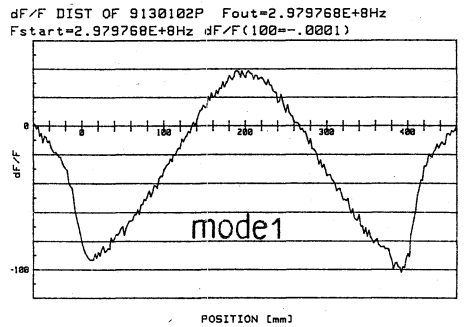
PERPENDICULAR

図 3  $z = -100$  mm での電場分布



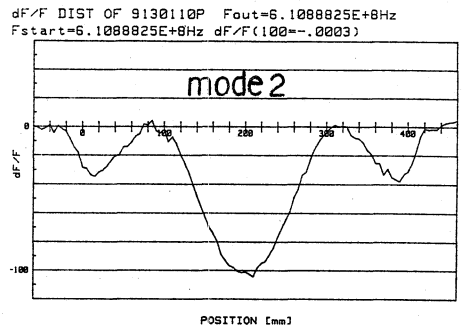
mode 0

POSITION [mm]



mode 1

POSITION [mm]



mode 2

POSITION [mm]

図 2 各モードの軸方向電場分布

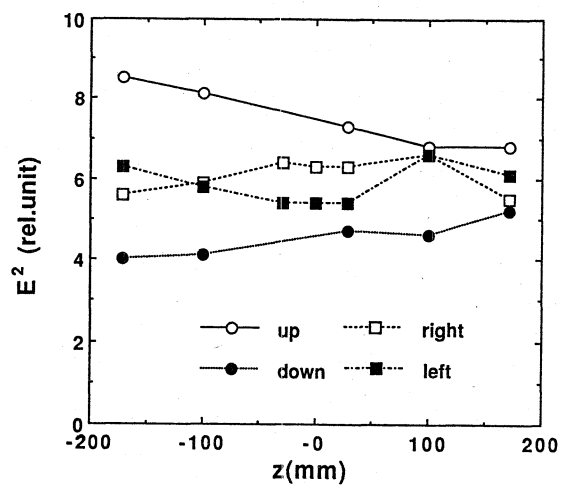


図 4 電場の極大値の軸方向分布