

## TUNABLE FREQUENCY 4-ROD RFQ

Yoshihisa IWASHITA and Hiroshi FUJISAWA\*

Accelerator Laboratory, Nuclear Science Facility  
Institute for Chemical Research, Kyoto University  
Gokanoshō, Uji, Kyoto 611 JAPAN  
\*Nissin Electric Co., Ltd.

### ABSTRACT

The frequency tunability of the 4-rod RFQ is investigated. By moving the shorting plate between the posts, which support the 4-rod electrodes, the resonant frequency can be varied almost twofold. Model studies and the calculation of the field uniformity, the variation of  $Q$ , and the shunt impedance are reported.

### 可変周波数4ロッドRFQ

#### 1. はじめに

4ロッドRFQ [1, 2, 3, 4] は共振周波数の割に、小型にできるなどの特徴をもち、重イオン等の加速に適している。種々のイオンを利用するために加速核種が変えられることが望ましく、そのため、比電荷が一定にできない場合は、電極間の電圧を変えるか、周波数を変える必要がある。従来の4ベーン型に代表されるような空洞型の分布定数共振器では、電場分布を一定に保ちつつ、周波数の可変範囲を大きくするのが容易でない。4ロッドRFQはより集中定数型共振回路に近く、電場分布は、4つの電極の配置でほとんど決まるので大幅に周波数を変える場合でも安定である。ここではコールドモデルの共振周波数を変化させたときの、電場分布の軸方向の平坦度と、 $Q$ 値、並びに、シャントインピーダンスの測定結果について述べる。またMAFIA [5]による計算も比較のため、実施した。

#### 2. 共振周波数を変える方法

電極を支えるポストの間に設けたショート板の位置を移動してポストの実効的な長さを変えることにより、インダクタンスを変えて、共振周波数を変える。ポストは平らな台の上に固定されていて、この台ごとタンクより引き出せるようになっている。この台から出た柱によりショート板を支持する。

#### 3. コールドモデルによる測定

コールドモデルによる測定を実施するため、既存

の1/3コールドモデルを使用した。現在研究中の実機の運転周波数は33MHzであるため、コールドモデルの周波数は約100MHzとなっている。(写真1参照) 4本の電極はそれぞれ2本対になっており、各対は3つのポストにより支えられていて、全部で6つのポストがある。ポストの間は5ヶ所あり、等間隔であるため、同形のショート板を5枚用意した。ショート板の厚みを20mmにし、端面にコンタクト用の銅板をねじ止めし、折曲げた。この5枚のショート板を、ポスト支持板にあいている各2個の

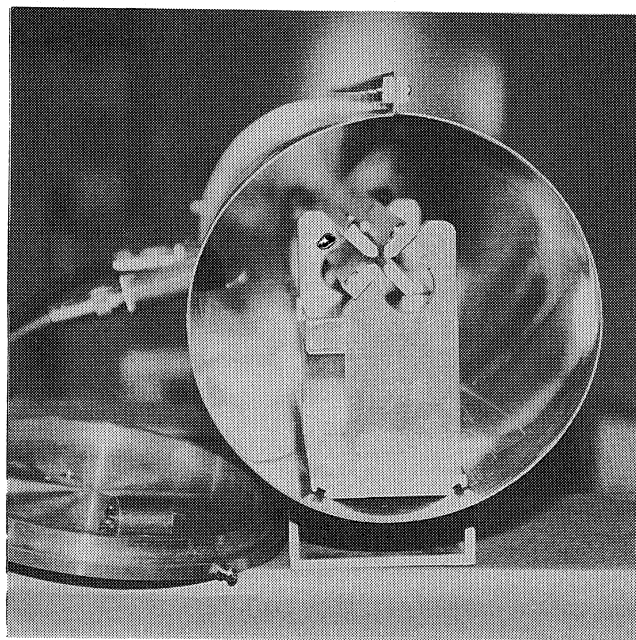


写真1 4-rod RFQ 1/3コールドモデル。

穴を利用してねじとスリーブを使って固定した。ショート板を最も下げ、支持台の上に密着させた場合、共振周波数は110.1 MHzになった。

シャントインピーダンスを測定するため、軸対称なプラスチックビーズを軸上電極に沿わせて動かし、共振周波数の変化を測った。結果を図1に示す。ショート板の位置を上げるにしたがって分布の一樣性が悪くなり、軸との距離が30mmの時、電極間電圧で最大15%の山ができています。これは、コールドモデルの剛性が十分でないため、ショート板のコンタ

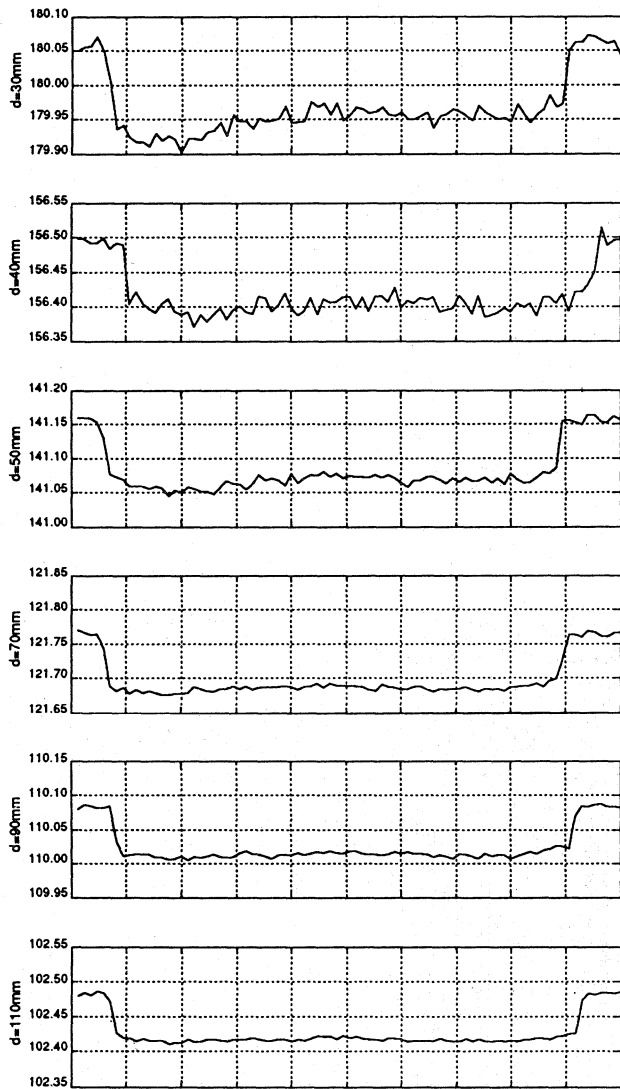


図1 Cold Model Beadpull results at 6 different shorting plate positions; d corresponds to the distance between the beam axis and the shorting plate. The numbers in ordinates are the resonant frequencies in MHz.

クト用銅板によりポストが押されて電極間距離に影響が出たためと考えている。むしろ、ショート板と電極の端との距離が10mmまで近づいていることを考えると、一樣性はむしろ良いといえる。前述のように、軸上にビーズを沿わせているため、実際には4重極成分以外の成分も関与する可能性があるので詳細な検討は必要である。また周波数を上げるに連れてばらつきが大きくなっているが、これはRFカップリング用のループの位置が低すぎて、ショート板を上げるに連れて、カップリングが下がり、ノイズが増えるためである。

2重極成分の混入が一樣である場合には4重極の中心がずれることと等価なので、極端な混入でないかぎり、ビームラインの平行移動などの補正で修正できよう。

電極間に発生させる電圧と所要電力の関係が重要なので、ここでのシャントインピーダンスは電極間の発生電圧  $V$  の2乗を消費電力  $P$  で割ったものと定義し、タンクあたりの値として用いる。シャントインピーダンス  $Z$  はつぎのように評価した。ビーズブルの測定により、

$$\frac{\Delta f}{f} \propto \frac{V^2}{W} \quad (1)$$

が得られる。ここで  $W$  はタンク内の Stored Energy である。軸上にビーズを沿わせているため、絶対値測定ではなく、相対値となっている。また、シャントインピーダンス  $Z$  は

$$Z = \frac{V^2}{P} \quad (2)$$

と表わされ、 $Q$  は定義より、

$$Q = \omega \frac{W}{P} \quad (3)$$

である。したがって、

$$\frac{Z}{Q} = \frac{V^2}{\omega W} \propto \frac{\Delta f}{f^2} \quad (4)$$

であることがわかる。そこで、

$$Z \propto \frac{\Delta f}{f^2} Q \quad (5)$$

として求めた。ショート板の位置と、共振周波数、シャントインピーダンスとの関係を図2に示す。周波数の高いほうでシャントインピーダンスが下がる

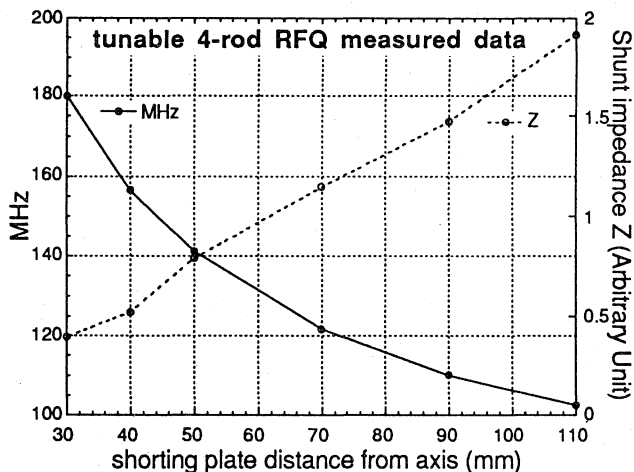


図2 Resonant frequency as a function of the shorting plate distance from the beam axis. The shunt impedance is also shown.

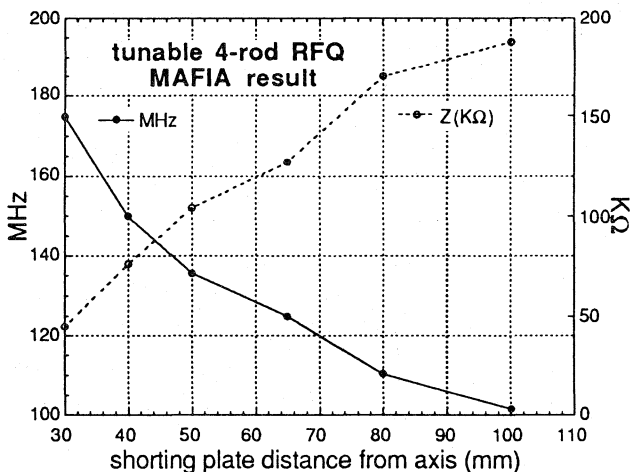


図5 MAFIA result.

傾向が見られる。ビーム軸中心とショート板との距離を30mmにしたとき、約1.8倍まで周波数を上げることができている。4ロッドRFQの場合、加速に使うモードが最低次の基本モードで、次のモードは約2倍のところであり、ショート板をいれて基本周波数を上げるに連れて多少上昇する。これはロッドの上に半波長分の定在波が乗っているようなモードで、基本周波数の可変範囲はこの高次モードの周波数に近づきすぎないようにする必要があるため、このあたりが上限となる。

#### 4. MAFIAによる計算

測定による結果と比較するため、MAFIAを使ってシミュレーションを行って見た。図3に使用したメッシュの外観を示す。また、図4に計算結果によるプロットの一例を示す。計算時間やメッシュサイズの制限などから、コールドモデルの形状を完全には再現できていない。とくに、ベーン先端については、直線で近似してしまっているが、電極間の静電容量さえ現実の形状によるものと近ければ全体の電磁場分布を考える場合は良いと考えている。図5にショート板の位置を変えたときの、共振周波数、シャントインピーダンスの計算結果を示す。ここでのシャントインピーダンスはタンク内の消費電力で、電極間の電場勾配に距離をかけて電圧としたものの2乗を割ったものである。メッシュが粗いため、絶対値については精度は不明であるが、傾向としては測定結果とよく合っているといえる。図4でもわかるように、電極に近いほうで磁場が強くなるので、シ

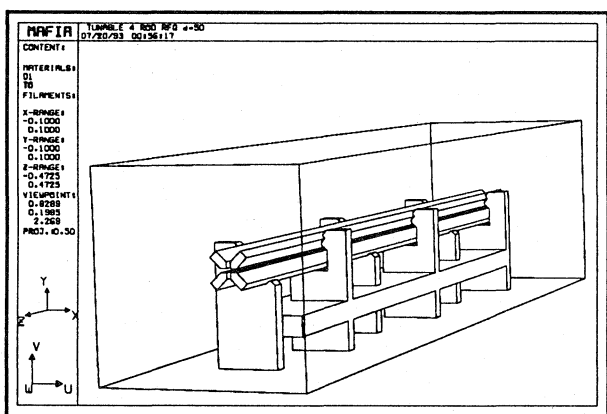


図3 Generated mesh used in MAFIA calculation.

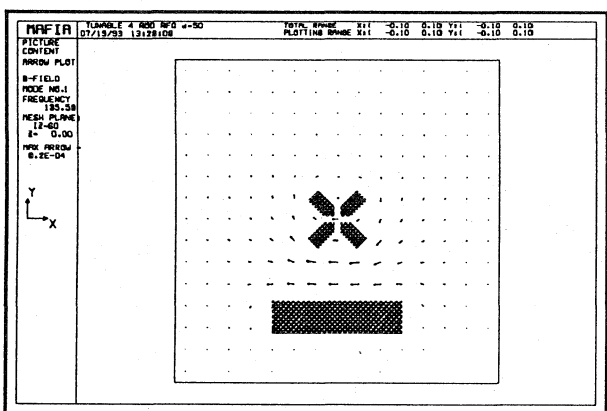


図4 Sample B plot at z=0.

ート板の位置による周波数変化は電極に近いほう、周波数の高いほうが大きくなっている。これはコールドモデルによる測定でも確認できる。計算は、京都大学化学研究所スーパーコンピューターラボラトリーのCRAY Y-MP 2 E / 2 6 4を使用して行った。

#### 5. まとめと今後の課題

ショート板を移動することにより2倍近くまで周波数を上げることができた。コールドモデルの場合で、直径は20 cmなので、これは最低周波数の波長の6.7%の大きさになっている。実物大のタンクで、+40%から-30%の可変範囲を想定した場合、動作周波数は23 MHzから47 MHzとなり、タンク内径は80 cm程度になる。周波数の高いほうでシャントインピーダンスが下がる傾向が見られるが、対策を検討中である。可変範囲を広げるにはポストの長さを延ばすのが簡単であるが、タンクの直径を大きくしなければならない。また、ポストの幅や厚みを減らしても周波数を上げることができるが、強度や、多少シャントインピーダンスを犠牲にしなければならないという問題がある。

これらの対策について考案中である。

#### 参考文献

- [1] A. Schempp, et al., "Properties of RFQ accelerators for ion implantation", Nucl. Inst. Meth. B68, (1992) pp. 36-40.
- [2] T. Ogawa, et al., "Model Study of a 4-Rod Structure of RFQ Linac", Bull. Inst. Chem Res., Kyoto Univ. Vol. 65 no.1 (1987) pp. 51-58.
- [3] H. Fujisawa, et al., "Design Study of a Heavy Ion RFQ Linac", Bull. Inst. Chem Res., Kyoto Univ. Vol. 68 no.1 (1990) pp. 121-126.
- [4] H. Fujisawa, et al., "Mechanical Design of 33.3 MHz 4-rod Heavy Ion RFQ Cavity", Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ. Vol.70 no.1 (1992) pp. 28-36.
- [5] "MAFIA USER GUIDE", The Mafia Collaboration, DESY, LANL, KFA, March 16, 1988.