

## DESIGN OF A NEW TYPE OF VARIABLE-FREQUENCY RFQ LINAC WITH A FOLDED-COAXIAL RESONATOR

Osamu Kamigaito, Akira Goto, Yoshitoshi Miyazawa, Toshiya Chiba,  
Masatake Hemmi, Shigeo Kohara, Masayuki Kase and Yasushige Yano

The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

Wako-shi, Saitama 351-01, Japan

### ABSTRACT

A new type of variable-frequency RFQ linac is proposed that will be constructed as a new injector for the RIKEN heavy-ion linac (RILAC). It is designed to accelerate ions with mass-to-charge ratios of 7 to 28 at up to 450 keV per charge by varying its operational frequency from 17 to 35 MHz. The resonator has a folded-coaxial structure, and the resonant frequency is changed by a movable shorting plate. This RFQ linac has the following distinct advantages. Firstly, the resonator is very compact even in such a low frequency region as that of the RILAC. Secondly, it can be frequency-tunable over a wide range. As a result of a low-power test on a half-scale model, the required rf power is found to be 6 kW at 17 MHz, and it increases to 34 kW at 35 MHz in cw operation.

### 折り返し同軸共振器に基づく 新しいタイプの可変周波数RFQの設計

#### 1. はじめに

理研加速器研究施設では、重イオンリニアックのビーム強度を増強するため、現存のコックロフト=ウォルトン入射器に代わり、18 GHzのECRイオン源とRFQリニアックからなる新しい入射器系を建設中である。重イオンリニアックは、17 MHzから40 MHzの範囲で運転周波数が可変であり、質量電荷比 ( $M/q$ ) が5から28のイオンを最高16 MeV /  $q$  まで加速することができる。入射器としてのRFQはこの周波数領域をできるだけ覆う必要があるが、従来のタイプのRFQのうち、この要求を満たしうるものはごくわずかであった。[1]

我々は、折り返し同軸構造と可動短絡板から構成される新しいタイプの可変周波数RFQを考案した。このRFQは17 MHzから35 MHzまでの広い範囲で周波数可変であり、しかもその共振空洞は比較的小型である。共振空洞の設計と1/2スケールのコールドモデルを用いたテストについて報告する。[2]

#### 2. 設計方針

空洞共振器の基本的な設計方針は、図1(a)の $\lambda/4$ 同軸共振器を構造的に折り畳み、図1(b)に示すような形状にし、全体を小型化したことである。すなわち、空洞の一方の壁に導体棒を固定し、もう一方の壁に導体の筒を取付けた共振器を基本構造にした。これを折り返し同軸共振器と称する。この共振器の基本モードの磁力線は、図1(b)に示すように、筒の内側と外側を同じ方向に回る。

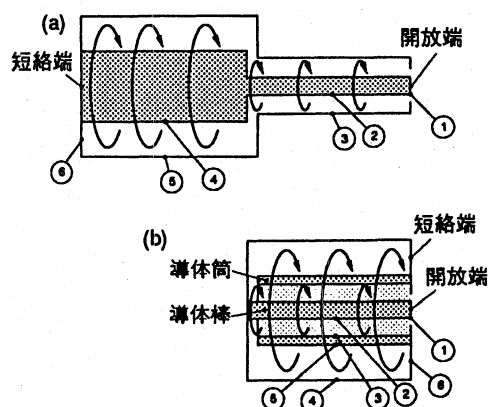


図1 同軸共振器とその折り返し

折り返し同軸共振器を実際のRFQ共振器に適用するには、図1(b)において、導体棒を一組のベインに置き換え、筒の内側にもう一組を固定すればよい。このタイプのRFQの最大の利点は、20 MHz以下の低い周波数でも共振器を小型にできることである。さらに、短絡端側の特性インピーダンスが開放端側のそれよりも大きい場合、可動短絡板を短絡端側に設ければ、広い範囲にわたって周波数を可変にすることができる。

### 3. 空洞共振器の設計

図2に空洞共振器の概略を示す。水平ベインは共振器底面に固定された台に取り付けられる。この水平ベインを取り囲むようにして、矩形の中間導体が、底面に固定されたセラミックの磚子上に据え付けられ、その内側には垂直ベインが取り付けられる。空洞の天板からはステムがつるされ、中間導体と接触している。ステムの周りには上下方向に移動する短絡板が設けられ、これにより共振周波数を変化させる。空洞側面には容量結合型の電力フィーダが、また空洞底面には、容量性チューナおよび電圧ピックアップモニタが設けられている。このほか実際の空洞側面にはターボ分子ポンプが2台取り付けられる予定である。

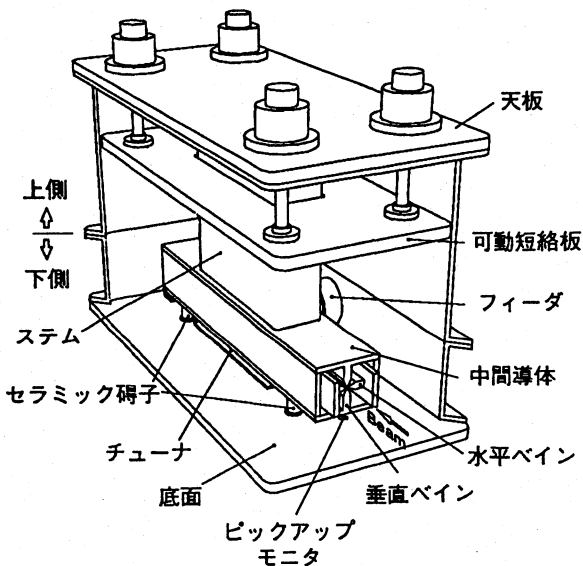


図2 空洞共振器の概形

空洞の内のは長さ1700 mm、幅700 mm、高さ960 mmである。空洞全体は図に示された位置で上下二分される。精度が要求されるベイン等の電極は下側に固定されている。ステム、可動短絡板を含む上側は一体で取り外される。このような構

造を採用することにより、特にベイン周りの組み上げ、保守が容易に行なえるようにした。

共振周波数、電磁場分布の計算にはMAFIAを用いた。その結果、短絡板を615 mm移動することにより、共振周波数が17 MHzから35 MHzまで変わることが示された。この共振器の基本モードの磁力線は、図3に示すように、ステムと中間導体を回って、さらに内側の水平ベインの周りを回る。磁力線の方向はベイン中心部で逆転する。図1(b)と比較すると、この共振器が2つの折り返し同軸共振器からなっていることがわかる。

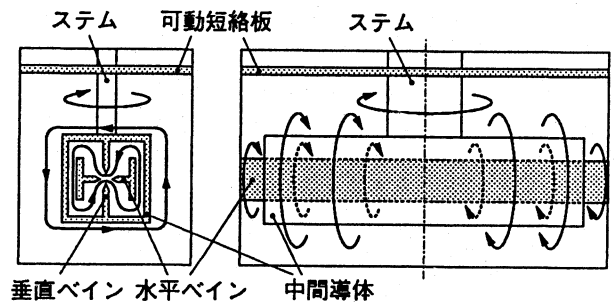


図3 基本モードの磁力線

このRFQでは、ベイン間電圧は加速方向に沿って正弦波状の分布を持ち、中心で最大、両端で最小になる。このような電場分布のビーム透過効率への影響をPARMTEQプログラムを用いて調べてみた。その結果、両端でのベイン間電圧が設計値以上になるよう、十分な電力を供給すれば透過効率は低下しないことがわかった。

Vane length	142 cm
Frequency	17.0-35.0 MHz
Mass-to-charge ratio ( $m/q$ )	7-28
Incident energy	10 keV/q
Output energy	450 keV/q
Intervane voltage (V)	33.6 kV
Emittance (not normalized)	$145\pi$ mm-mrad
Minimum bore radius	0.417 cm
Mean bore radius	0.770 cm
Maximum modulation	2.7
Focusing strength (B)	6.80
Max. defocusing strength	-0.30
Final synchronous phase	-25 deg
Transmission (0 mA)	96%

表1 ベインパラメータ

また、この共振器は上下非対称な形をしているため、周波数が高くなると電場の強さが上下非対称になる。しかしながら、その差はたかだか2%程度であり、ビーム透過効率への影響は小さいも

のと考えられる。さらに、このRFQではビームの通過する中心領域に高周波磁場が存在する。しかし磁場による力は電場の力の0.7%以下であり、その影響は非常に小さいと思われる。[2]

#### 4. ベインの設計

表1に主要なベインパラメータを載せる。M/qが7から28のイオンを最大450 keV/qまで加速する。これは現存のコックロフト=ウォルトン入射器の加速エネルギーと等しい。

#### 5. コールドモデルを用いたテスト

共振空洞の高周波特性を調べるため、1/2スケールのモデルを制作した。主な材質は銅(C1100)で、セラミックスの碍子はマコール製である。可動短絡板の周り、ステムと中間導体の間の接点にはコンタクトフィンガーを用いた。ベインは一定のボア径(3.85 mm)を持つストレートのもので、約30 $\mu$ mの精度で組み上げた。

図4に共振周波数の測定結果とMAFIAによる計算結果を示す。横軸は中間導体上面から可動短絡板下面までの距離である。図からわかるように、330 mmのストロークで、34 MHzから70 MHzまでの周波数可変範囲が得られた。これは実機の周波数可変範囲が17 MHzから35 MHzであることを意味する。また高調波の共振周波数は200 MHz以上であり、基本モードとはよく分離している。

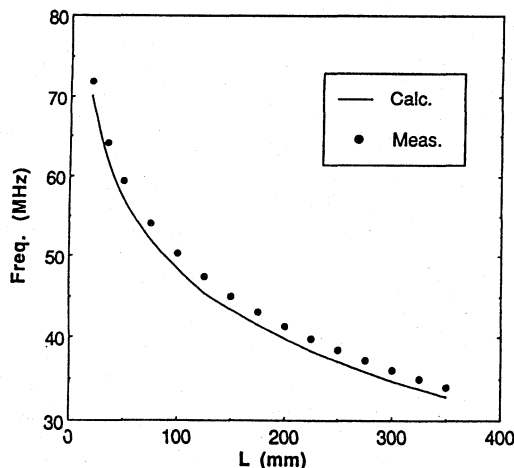


図4 共振周波数

図5にQ値とシャントインピーダンスの測定結果をMAFIAによる計算結果とともに示す。図からわかるように、測定結果は計算の60%程度の値で

ある。この原因は、電気的接触の不完全さや金属表面の粗さなど、計算には含まれていない効果が実際に寄与しているためであると考えられる。

電場分布の測定は、アルミナのビードを用い、摂動法で行なった。その結果、軸方向の分布はMAFIAによる計算と大体一致することがわかった。また、4つのクアドラント間の非対称は最大4%であった。

以上の結果をもとに考えると、実機に必要な電力は17 MHzのとき6kW、35 MHzのとき34 kWであると予想される。

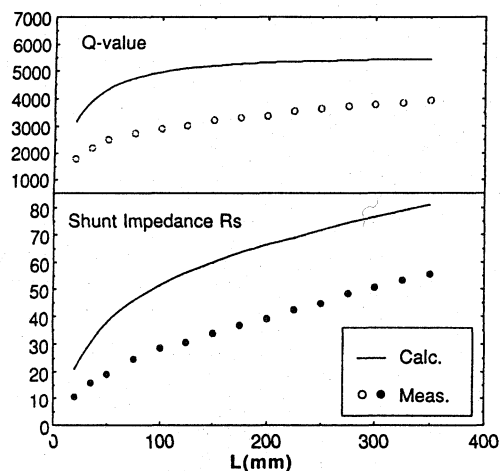


図5 Q値とシャントインピーダンス(k $\Omega$ )

#### 6. 現状

現在、コールドモデルのテスト結果と発熱計算をもとに、各部の寸法、形状の見直しを行ない、最終的な構造決定に向けて詰め作業を行なっている。また、高い周波数で運転する場合には、空洞底面にもう一つステムをとりつけると損失を減らせることがわかったので、この構造を採用すべく細部の検討を行なっている。この構造にした場合、共振周波数をさらに高い領域までのばすことも可能になる。

#### 参考文献

- [1] K. Tokiguchi, Y. Hatanaka, K. Amemiya, N. Sakudo, S. Yamada, Y. Hirao, and N. Tokuda: Proc. 8th Symp. Accelerator Science and Technology, 1991 Saitama, Japan (IONICS, Tokyo, 1991), p.128.
- [2] O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi, M. Kase, and Y. Yano: Jpn. J. Appl. Phys. **33** (1994) L537