

## DEVELOPMENT OF A VARIABLE-FREQUENCY RFQ LINAC FOR THE RILAC

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

The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)  
Wako-shi, Saitama 351-01, Japan

### ABSTRACT

Development of a variable-frequency RFQ linac which will be used for a new injector for the RIKEN heavy-ion linac (RILAC) is under progress. It is designed to accelerate ions with mass-to-charge ratios of 6 to 27 at up to 450 keV per charge by varying its operational frequency from 17.7 to 39.2 MHz. The resonator has a folded-coaxial structure, and the resonant frequency is changed by a movable shorting plate. After low and high power tests of the real RFQ structure, acceleration tests have been done using Ar ions at the frequencies of 17.7 MHz, 26.1 MHz, and 34.4 MHz. The transmission efficiency is about 70 - 80 % without any restrictions on the input beam emittance.

### 理研重イオンリニアック用可変周波数RFQの開発

#### 1. はじめに

理研加速器研究施設では、18 GHzのECRイオン源と可変周波数RFQから成る、重イオンリニアック (RILAC) 用の新しい入射器系の開発を行っている。RFQについては、これまで1/2スケールのモデルを用いて高周波特性の測定を行い、その結果をもとに実機の設計を進めてきた。ここでは、このほど製作・組立が完了したRFQ実機の概要及びこれまでに得られている試験結果を報告する。

#### 2. RFQの概要

このRFQの最大の特徴は、「折り返し同軸共振器」を基本としている点である。これにより、低い周波数で、また広い周波数範囲での運転が可能になっている。[1]

図1にRFQ空洞共振器の概形を示す。水平ベインは背板に取付けられ、この背板はその両端で、共振器底面に固定された台によって支えられる。底面には4つのセラミックズ碍子が固定されており、その上には角筒の中間導体が、水平ベインと背板を取り囲むように据え付けられる。この中間導体の内側には、垂直ベインが取付けられる。共振器の天板からはステムが吊るされ、中間導体と電氣的に接触している。ステムの周りには短絡板

が設けられ、これを上下方向に駆動することで共振周波数を変化させる。短絡板と共振器外壁及びシステムとの間の接触には、コンタクトフィンガーを使用している。共振器の一方の側面には容量結合型の電力フィーダが、もう一方には周波数微調用の容量性チューナが設けられている。さらに底面には電圧ピックアップモニターが設けられている。

以上の配置に加え、実機には図1に示す「下ステム (Detachable Stem)」を設けた。この下ステムは、低い周波数領域では共振器下部に格納され、高い周波数領域でのみ中間導体に接する構造をしている。下ステムを用いた場合、運転周波数をより高い領域に上げられるばかりでなく、ベイン部分に流れ込む高周波電流が上下のステムで分割されるため、損失を減らすことができる。[2]

共振器の内りは長さ1700 mm、幅700 mm、高さ約1000 mmである。共振器全体は図の点線の位置で上下三分割される。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、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したことにより、ベイン周りの組み上げ、保守が容易に行なえるようになっている。

冷却系の設計にあたっては、計算コードMAFIAによって各部の壁損失を見積もり、局所的な温度

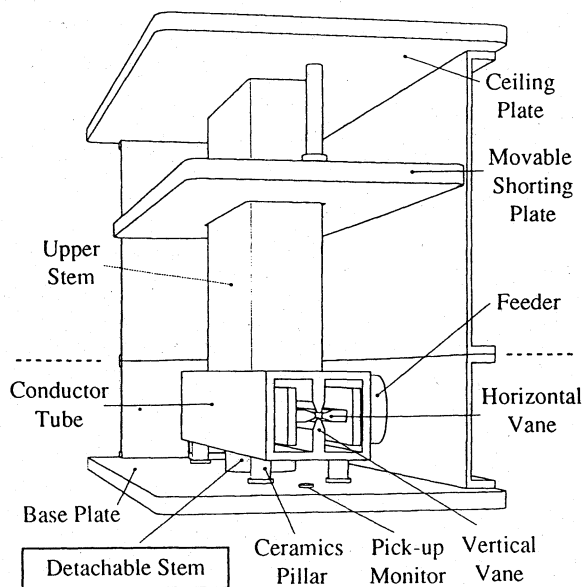


図1 RFQ空洞共振器の概形

上昇が起きないように冷却水配管を施した。この際熱歪みの評価も行った。水平ベインの冷却水は背板の取付け台から、また垂直ベイン及び中間導体の冷却水は上ステム内部を通して供給される。総水量は155 l/min (7気圧)である。また真空系として、空洞の左右側面に一つずつ1500l/sのターボ分子ポンプを取付けた。

ベインには、ボールエンドミルによる三次元加工を施した。ベインパラメータを決定する際、通常のPARMTEQプログラムの出力値をそのまま用いると、設計基準電圧でのビーム透過効率がやや低下することが見いだされたので、これを修正した。[3]

製作・組立は住友重機械工業(株)新居浜製作所で行われた。

### 3. 試験結果

#### 3-1 低電力試験

共振器の共振周波数、Q値及びシャントインピーダンスを、文献[1]に示したのと同じ方法で測定した。ここでのシャントインピーダンス $R_s$ の定義は、ベイン間電圧を $V$ 、高周波電力を $P$ としたとき、 $R_s = V^2 / (2P)$ で与えられるものである。

図2に共振周波数の測定結果とMAFIAによる計算値を示す。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。周波数可変範囲は17.7 MHzから39.2 MHzまでである。

図3にQ値とシャントインピーダンスの測定結果をMAFIAによる計算値とともに示す。図からわ

かるように、測定結果は計算値の60%程度である。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の影響と考えられる。また、高い周波数領域では、下システムを使用した場合Q値及びシャントインピーダンスが高くなるのがわかる。

以上の結果から予想される必要電力は、17.7 MHzのとき6kW、39.2 MHzのとき26 kWである。

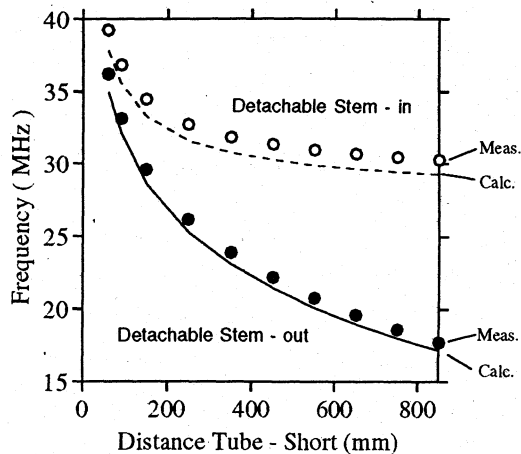


図2 共振周波数

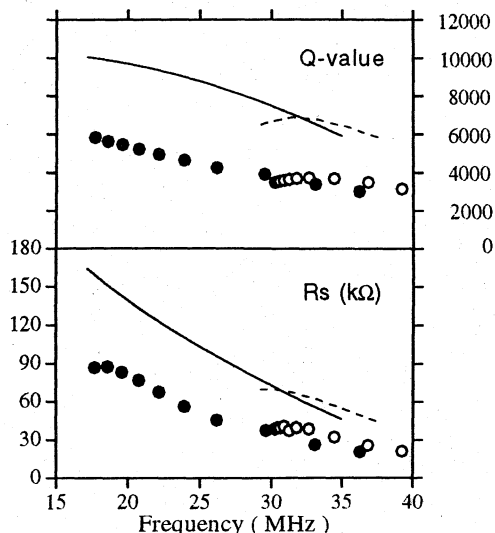


図3 Q値と $R_s$  (記号の意味は図2と同じ)

#### 3-2 高電力試験

電源の終段増幅器には四極管 (EIMAC 4CW50000E) を使用しており、16.9 MHzから40.0 MHzの範囲で最高40 kW (cw) の出力が得られる。試験の結果、(1) ベイン間電圧が20から30 kVの範囲ではRFQが安定に動作すること、(2) 35 kV以上のベイン間電圧では、セラミック碍子が赤熱すること、(3) 15 kV以下のベイン間電圧では、セラミック碍子の周りでマルチパクターリングが起

きることがわかった。(2)の原因は、碍子を中間導体に固定しているボルトの先端部に電場が集中し、誘電損失によって発熱しているためと考えられ、現在碍子の設計変更を行っている。さらにこの際(3)への対策も考慮に入れている。

### 3-3 ビーム加速試験

18 GHz - ECRイオン源[4]と接続し、加速試験を行った。図4にビームラインを示す。イオン源から引きだされたビームはアインツェルレンズによって集束され、分析電磁石によって偏向・集束(エッジフォーカス)されたあと、RFQに入射する際にソレノイド電磁石で集束される。[5]分析電磁石の後の診断箱には、ファラデーカップ、スリット、二つのプロファイルモニタが、またRFQの後の診断箱にはファラデーカップ、二つのプロファイルモニタ、およびビームの飛行時間測定のための三つの容量性ピックアップが備えられている。現在までに加速試験を行った周波数は17.7、26.1、34.4 MHzである。それぞれ3価、6価、11価のArイオンを、いずれも約20 kVのベイン間電圧で、cwモードで加速した。飛行時間測定の結果、ビームのスピードは設計値と1%以内で一致することがわかった。またRFQ前後のファラデーカップの電流値の比は70%から80%であった。この際RFQに入射するビームをスリットで制限していない。

### 4. まとめと今後の予定

以上の試験により、RFQ及び新入射器システム全体が動作することが確認された。RFQについてはさらに高い周波数での加速試験を行うとともに、碍子の形状を変更して高電力試験を行う予定である。

### 謝辞

ベインの設計にあたり貴重な助言をいただき、また三次元加工用プログラムを使わせていただきました東大核研の徳田登氏、新井重昭氏に深く感謝します。

### 参考文献

- [1] O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi, M. Kase, and Y. Yano: Jpn. J. Appl. Phys. 33 (1994) L537 and Proc. 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai (1994) p.84.
- [2] O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi, S. Kohara, M. Kase, and Y. Yano: submitted to Jpn. J. Appl. Phys.
- [3] Y. Batygin, A. Goto, O. Kamigaito, and Y. Yano: RIKEN Accel. Progr. Rep. 28 (1994) p.172 and in this proceedings.
- [4] T. Nakagawa *et al.*: RIKEN Accel. Progr. Rep. 28 (1994) p.165.
- [5] N. Inabe *et al.*: RIKEN Accel. Progr. Rep. 28 (1994) p.166.

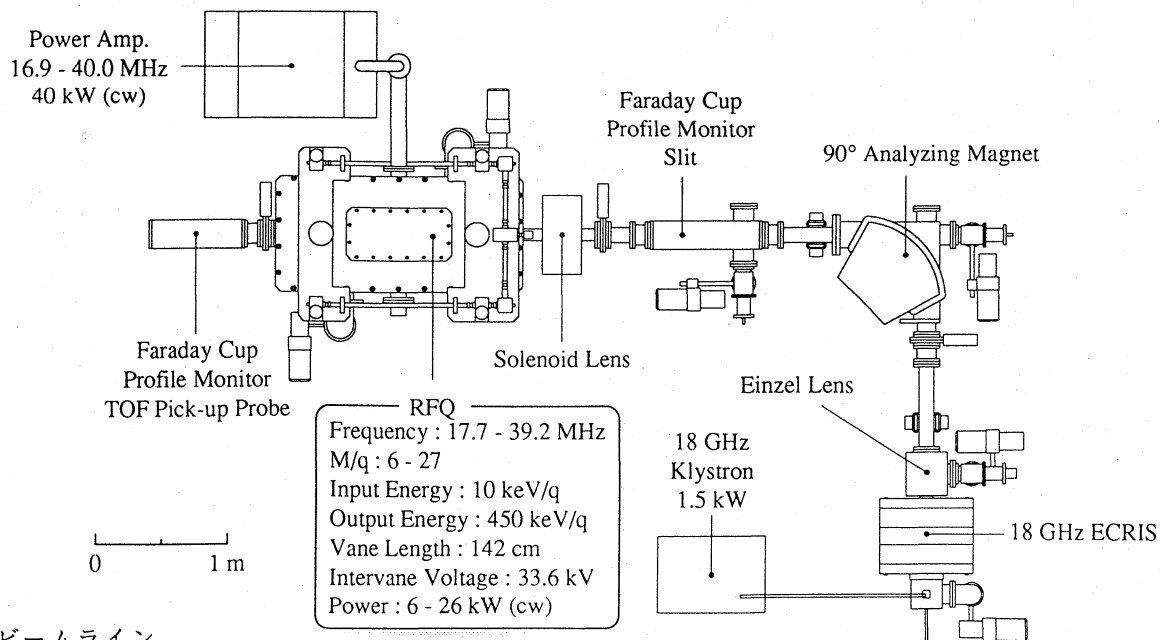


図4 ビームライン