

RF MEASUREMENT OF AN RFQ COLD MODEL FOR AN INTENSE HEAVY-ION LINAC SYSTEM

Osamu TAKEDA, Kiyokazu SATOH, Yoshio TANABE,
Toshiba Corporation, 2-4, Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, 230

Masahiro OKAMURA, Yoshiyuki OGURI, Toshiyuki HATTORI
Tokyo Institute of Technology, 12-1, Ohokayama-2, Meguro-ku, Tokyo, 152

ABSTRACT

An intense heavy ion linear accelerator system at Tokyo Institute of Technology (TIT), which consists of a four-vane RFQ linac and an IHQ (interdigital H structure with rf quadrupole focusing) linac, is to be applied for research on heavy ion pumped lasers and heavy ion inertial fusion^[1]. The four-vane RFQ linac is designed for acceleration of particles with $q/A \geq 1/16$ from 5keV/amu to 200keV/amu. The planned maximum beam current is 10mA for $^{16}\text{O}^+$. Experimental and analytical studies on this RFQ linac have been carried out. By using the computer code SUPERFISH, the vane shape has been optimized in view of shunt impedance, radial electric field distribution and the maximum surface field. A half-scaled cold model without vane modulation has been constructed in order to investigate the end cut structure, the accelerating field tuning and other fundamental rf characteristics.

大強度重イオンリニアックシステム用RFQのコールドモデルによる 高周波特性試験

1.はじめに

東京工業大学原子炉工学研究所では重イオン励起レーザーや慣性核融合の研究のために、RFQリニアックとIHQリニアックからなる大強度重イオンリニアックシステムの建設を予定している。RFQリニアックは4ベインタイプで、電荷数対質量数比が1/16以上の粒子を5keV/amuから後段のIHQリニアックにビームを入射するのに必要なエネルギーである200keV/amuまで加速する。ベインパラメータの最適化は計算機コードPARMTEQ、GENRFQを用いて行なった。決定したデザインパラメータをTable 1に示す。ベイン長は394cm、272セルで、20セルのラジアルマッチングセクションを含む。ビーム透過率は、ビーム電流0mAのとき92%、10mAのとき72%である。

空洞内での電力損失を抑制しシャントインピーダンスを向上させるためには、ベイン先端の曲率半径を小さくしベインを薄くすることが望ましいが、これにより4重極電界の線形性が乱される。計算機コードSUPERFISHを用いて、いろいろなベイン先端形状について解析を行ない、シャントインピーダンスと電界分布の観点から最適な断面形状を決定した。また、この結果に従いエンドカット構造の決定のため1/2スケールのコールドモデルを製作したのでこれらについて報告する。

2.ベイン先端形状の最適化

形状最適化のためいろいろなベイン先端形状について解析を行ない、ベイン間電界の高次の成分の評価と空洞の電力損失の評価を行なった。パラメータサーベイに用いたベイン先端の断面形状を、Fig.1に示す。先端の平板部の厚さ20mmと、この平板部と先端の円弧を結ぶ直線の傾き15度は固定とし、円弧の半径 ρ と中心角 θ をパラメータとした。加速に関する項を考えなければ、ベイン間の電位は

$$U = \frac{V}{2} \sum_{m=1}^{\infty} A_{0m} \left(\frac{r}{r_0}\right)^{2m} \cos 2m\psi,$$

と書くことができる。ここでVはベイン間電圧である。対称性から、mが奇数となる項のみを考慮すればよい。最低次の項は4重極電場を表わし、それ以降12重極、20重極・・・と続く。高次の項の割合が大きくなれば、当然ビーム透過率は小さくなると考えられるし、PARMTEQの計算では高次の項の効果を取り入れることができないので、設計通りのビーム透過率を得ようとした場合これらの項はなるべく小さい方がよい。今回の評価では、 $\rho=r_0$ と $0.75r_0$ (r_0 は特性ボア半径)のふたつの場合について、 θ が45度、60度、75度の時の A_{01} と A_{03} の混合比をそれぞれ求めた。

パラメータサーベイの結果をFig.2に示す。 $\rho=r_0$ の場合、 A_{03} は小さくなるが電力損失が大きくなってしまふ。 $\rho=0.75r_0$ の場合は、 A_{03} はおよそ2倍になるが電力損失を10%ほど減少させることができる。高次の項の解析はすでにK.R.Crandallの仕事^[2]があるが、結果はよく一致している。この時点では、ビームダイナミクスに対する電場の高次の項の効果を定量的に評価することはできなかったが、電力損失をなるべく減らすという観点から、 $\rho=0.75r_0$ の形状を採用した。空洞の断面形状は、最終的にFig.3に示す形となった。ベインチップの加工には、2次元加工法を採用することを想定している。空洞の主な諸元をTable 2に示す。

3. コールドモデル

エンドカットの大きさを決定するため、1/2スケールのコールドモデルを製作した。製作したモデルを、Fig.4に示す。空洞の外筒は鋼管を、ベインはアルミニウム合金を使用して製作し、ともに銅メッキを施した。鋼管の規格から空洞内径が32cmとなったので、それに合わせてモデルのスケールを決定した。空洞の全長はおよそ1.7mで、ふたつの空洞を中央で結合する構造になっている。これは実機を製作するとした場合、4mにおよぶベインを精度を保ちつつ一体で加工するのは困難だからで、空洞壁を長手方向に流れる電流はないので空洞を分割することによる悪影響はないと考えられる。

ベイン先端の曲率半径は1.55mmで、NCマシーンにより2次元加工を行なった。加工精度は0.02mmである。ベインは、外筒端部にはめ込む治具と位置決め用のピンを用いてアライメントを行ない、空洞外筒にボルトにより取り付ける。ベインエンドカットは3角形で、Fig.4中に破線で示したような調整板を取り付けることによりその大きさを変えることができる。チューナは端板に4本ずつの容量性チューナ(エンドチューナ)と、外筒にベインにより区切られた4つの部屋それぞれに6本ずつの誘導性チューナ(サイドチューナ)を用意した。そのほか、アンテナポートと排気ポートをそれぞれ模擬した穴と、電磁界強度をモニターするためのピックアップループを取り付けるための穴を設けた。

4. まとめ

4ベインタイプRFQの断面形状についてパラメータサーベイを行い、シャントインピーダンスと電界分布の観点から最適な形状を決定した。また、ベインエンドカットの大きさを決定するためにこの形状により1/2スケールのコールドモデルを製作した。

現在、摂動法により4つのベイン間の電界分布の測定を行いながら、これらの電界分布がある許容差の範囲内で一致するようにサイドチューナの挿入量とエンドカットの大きさを変化させてチューニングを行っている。

5. 参考文献

- [1]M. Okamura et.al., "Design of an Intense Heavy-Ion Linac", the 8th Symp. on Acce. Sci. and Tech., 131, (1991)
- [2]K. R. Crandall, "Effects of Vane-Tip Geometry on the Electric Fields in Radio-Frequency Quadrupole Linac", LA-9695-MS, (1983)

Table 1
Design Parameters of the TIT RFQ

Charge-to-mass ratio	$\geq 1/16$
Operating frequency(MHz)	80
Input energy(keV/amu)	5
Output energy(keV/amu)	200
Normalized emittance(cm·mrad)	0.05π
Vane length(cm)	394
Total number of cells	272
Characteristic bore radius, r_0 (cm)	0.49
Minimum bore radius(cm)	0.30
Margin of bore radius, a_{min}/a_{beam}	1.1
Maximum modulation, m_{max}	2.1
Focusing strength, b	3.2
Maximum defocusing strength, Δ_b	-0.048
Synchronous phase, ϕ_s (deg.)	-90 \rightarrow -30
Intervane voltage(kV)	84
Maximum field(Kilpat.)	2.2
Transmission(%)	(0mA input) 92 (5mA input) 83 (10mA input) 72

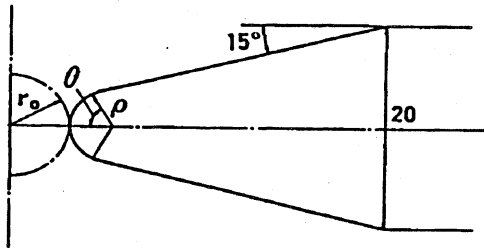


Fig.1 Vane-top cross section for analytical survey

Table 2
Main rf specifications of the TIT RFQ

Resonant frequency(MHz)	80
Calculated Q value(SUPERFISH)	21600
Wall loss(at nominal intervane voltage, kW)	81.0
Shunt impedance(M Ω /m)	29.8
Maximum field(Kilpat.)	2.0
A ₀₁	0.97
A ₀₃	0.033
Vane radius(cm)	0.37
Cavity diameter(cm)	76.6
Cavity length(cm)	400

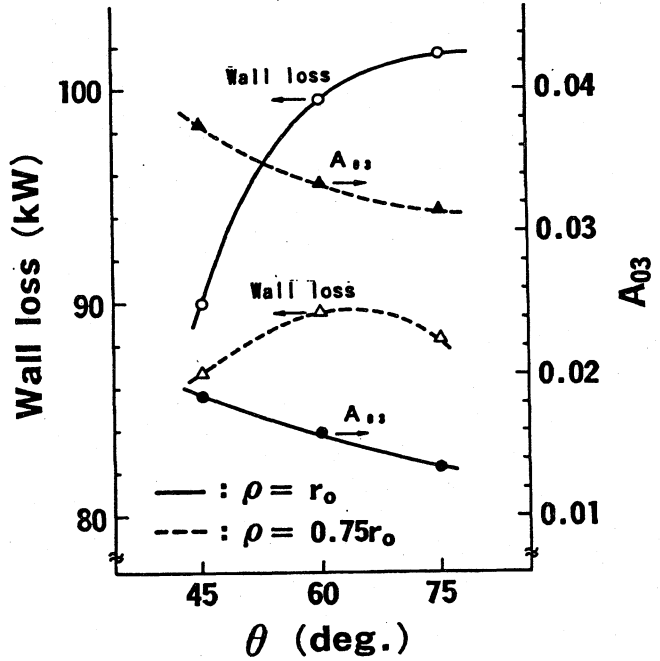


Fig.2 Wall loss and A_{03} as a function of ρ and θ

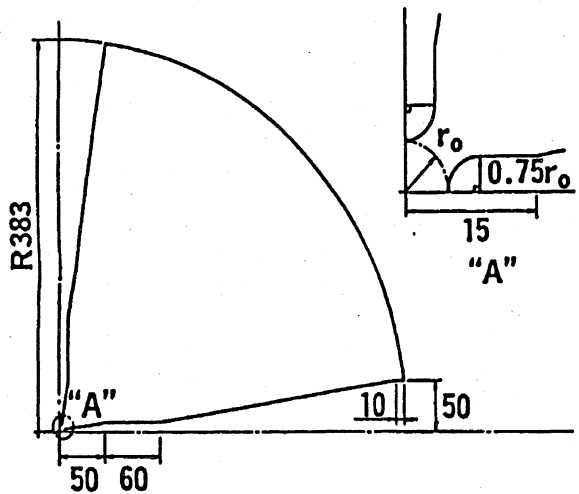


Fig.3 Cross section of one quadrant

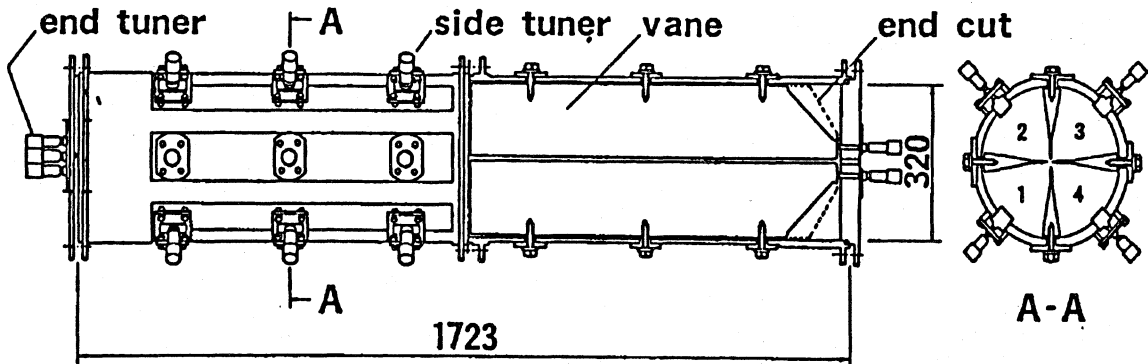


Fig.4 Half-scaled cold model