

DEVELOPMENT OF SPLIT COAXIAL RFQ FOR URANIUM ION ACCELERATION.

S.Arai, T.Fujino, T.Fukushima, T.Hattori*, E.Tojyo and N.Tokuda.

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo,
Midori-cho, Tanashi, Tokyo 188, Japan

*Tokyo Institute of Technology, Ohokayama,
Meguro-ku, Tokyo 152, Japan

Abstract

A split coaxial RFQ with modulated vanes has been developed for accelerating the uranium ions of a few keV /u. Mechanical and rf characteristics have been examined by means of a $\frac{1}{4}$ scaled model with flat vanes. based on the cold test, the $\frac{1}{4}$ scaled model is improved and the flat vanes are replaced with modulated vanes for proton acceleration test.

§1. はじめに

加速周期構造が短くて、ビームの収束が電場により行われることから、大強度、低速度の粒子ビーム加速に適しているRFQライナックは、今や大規模なコッククロフト・ワルトン静電加速器に取って換わりつつある。陽子加速に於いては、加速周波数は200～400 MHz となり four vane 型RFQが定着しているが、特にウラニウムのような非常に重いイオンの大強度ビームを加速する為には、現在のイオン源の能力からして、低電荷イオンを加速しなければならず、加速周波数は10～15 MHz ぐらゐまで低くなり、加速空洞の大きさや加速電場の安定性の面で、合理的な共振構造が必要とされる。

このような共振構造として、分割同軸型共振器がGSIでR.W.Mueller によって発明され、大強度重イオン・ビームによる慣性核融合の基礎研究の為に、分割同軸型RFQライナックの実用機の建設が既に進められている。INSでは、重イオンシンクロトロンの入射器の一部として、分割同軸型共振器に加速電極として four vane を装着したウラニウムRFQの開発が進められて来た。開発の第一段階として、4つの module 空洞からなる modulation を付けない flat vane を取りつけた $\frac{1}{4}$ スケールモデルが作られ、今までに、機械特性、高周波特性が調べられた。ここでは今までに明らかにされた高周波特性について説明し、次に開発の第二段階として、 $\frac{1}{4}$ スケールモデルの flat vane を modulated vane に取り換え、陽子加速テストを行う計画の準備状況を説明する。

§2. 高周波特性

$\frac{1}{4}$ スケール model は、同軸伝送線のインダクタンスによって、タンクのインダクタンスを近似して設計したのであるが、高周波特性の実験研究の結果、内導体の断面形状と、内導体を支える stem の、インダクタンスに対する効果によって、設計周波数が下がる事が分った。Stem の共振周波数、電場分布に対する効果を調べる為に、4つの module の境いにある stem に端板を取り付けて、stem だけによって電極が支えられた場合と、

端板によって電極が支えられた場合の差が測定された。基本 mode と高調波 mode の共振周波数がそれぞれの場合に対して表 1 に示されている。4 つの module 空洞構造の場合、stem の基本 mode の共振周波数に対する効果が図 1 に示されている。無負荷の Q 値は、stem だけの場合の方が 20% 小さくなる。軸にそった電場分布の平坦度は、図 2 に示すように、どちらの場合でも $\pm 2.5\%$ 以内で、stem だけの場合でも module 同しが強く結合しているので、問題ないことが分る。インダクタンス、共振周波数、Q 値の実験値と計算値が表 2 で比較されている。この計算では、内導体の形状と stem のインダクタンスへの効果が考慮されている。次に内導体の断面形状とインダクタンスとの関係調べる為に、長さ 28cm、直径 13.4cm の小さいアルミニウム製の空洞を使って表 3 に示すような 4 種類の電極に対して、静電容量、インダクタンス、共振周波数の測定を行った。この結果、内導体の断面が円形で分割すきまが、小さい特別な電極を除いて同軸伝送線のインダクタンスでは近似出来ない事が分った。

§ 3. 陽子加速テスト・ライナック

Flat vane を取り付けた $1/4$ スケールモデル による種々の特性試験に基づいて、この加速器の総合的性能を評価する目的で陽子加速テストが計画された。陽子加速の為に、 $1/4$ スケールモデルの flat vane が modulated vane に置き換えられる、同時に、内導体の幾何学的な寸法も新しい計算方法で周波数が 50 MHz になるように設計され、作り直される。ビーム運動学的な問題に関しては、分割同軸型 RFQ の場合、となり合う vane 電圧を 0, V とした時、ビーム軸上に $V/2$ の電位が生ずるという事がある。それ故、ビームの入射、出射時に $V/2$ の加減速を受ける為、radial matching section でこれを考慮しなければならない。Vane パラメーターは表 4 に示されている。Vane は核研にある NC 旋盤を利用して、20cm 長まで加工出来るように工夫された。これらの短い vane を継ぎ全長 200cm の vane 電極が製作される予定である。試し加工中の写真が図 3 に示されている。

テストベンチは図 4 に示されているが、出来るだけ簡単になるように設計されている。入射ビームは、pulse 動作の 2.86 GHz の ECR イオン源で作られ、イオン分析磁石を通過して、二組のアイントツェルレンズで RFQ に整合される。出射側には、分解能 0.8% のエネルギー分析系と、ビームモニターがあり、出力ビームの直径が 4mm で分散角が 26.5mrad と比較的小さいことから、収束系を加える必要もなく、コンパクトに設計されている。RFQ の RF 電源としては、5F の球を使って 200W の電源が製作されている。

参考文献

1. S. Arai, GSI-Report 83-11, 1983.
2. S. Arai et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-32, No. 5, October 1985, p. 3175.
3. R. W. Mueller et al., Proc. 1984 Linear Acc. Conf., Seeheim, Fed. Rep. of Germany, p. 77.
4. T. Fujino et al., INS-NUMA-59, 1985.
5. E. Tojyo et al., Contributed Paper to 1986 Linear Acc. Conf., SLAC.

Table 1. Resonant frequencies of structure with and without end-plates.

| No. of harmonics | Without end-plates | With end-plates |
|------------------|--------------------|-----------------|
| 0 | 37.120 MHz | 41.762 MHz |
| 1 | 75.089 | 76.269 |
| 2 | 132.994 | 132.879 |
| 3 | 185.362 | 187.968 |

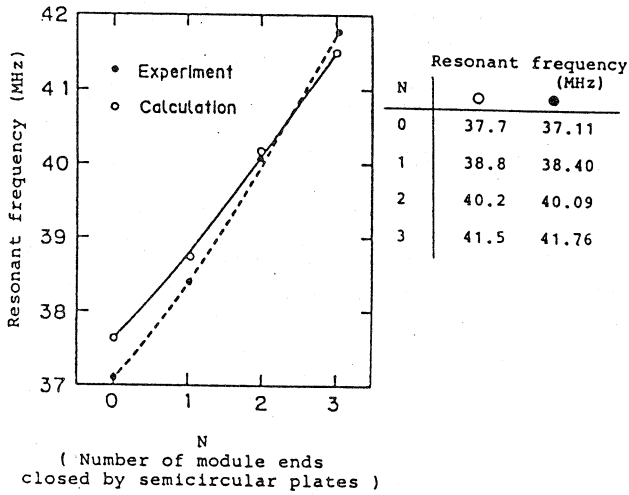


Fig. 1. Relation between the resonant frequency and the number of end-plates installed in the four-module cavity structure.

Table 3. Comparison between calculations and experiments on a small split coaxial cavity with various electrode shapes.

| Shapes of Electrodes | Measured Static Capacitance C (pF) | Inductance (nH) | | | Resonant Frequency (MHz) | | |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | | L ₁ | L ₂ | L ₃ | Measured f ₀ | Calculated f ₀ | f ₀ /f ₀ |
| | 84.0 spaced with acryl plates | 63.38 | 61.1 | | 68.97 | 70.25 | 0.98 |
| | 82.4 | 64.38 | 55.2 | 69.1 | 69.10 | 74.62 66.72 | 0.93 1.04 |
| | 89.2 | 50.75 | 45.1 | 51.8 | 74.79 | 81.10 74.00 | 0.92 1.01 |
| | 99.5 | 51.31 | 48.6 | | 70.43 | 72.71 | 0.97 |

$$L_1 = \frac{1}{(2\pi f_{0m})^2 C} : \text{Calculated from measured value.}$$

$$L_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{r_b}{r_a} : \text{Calculated by coaxial line approximation.}$$

$$L_3 = \frac{\int B ds}{I} : \text{Calculated by magnetic field integral.}$$

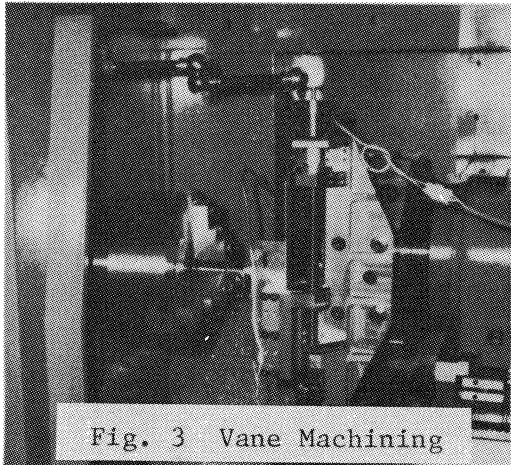


Fig. 3 Vane Machining

Table 2. Comparison between calculations and experiments on a 1/4 scaled model.

| | Without end-plates | | With end-plates | | Unit |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------------|-------------|--------------|
| | Calculation | Measurement | Calculation | Measurement | |
| Inductance | 48.4 | 49.8 | 159.5 | 157.1 | nH |
| Resonant frequency | 37.7 | 37.1 | 41.5 | 41.8 | MHz |
| Resonant resistance | 120 | 80 | 135 | | kΩ module |
| Unloaded Q | 2650 | 2000 | 3250 | 2320 | |

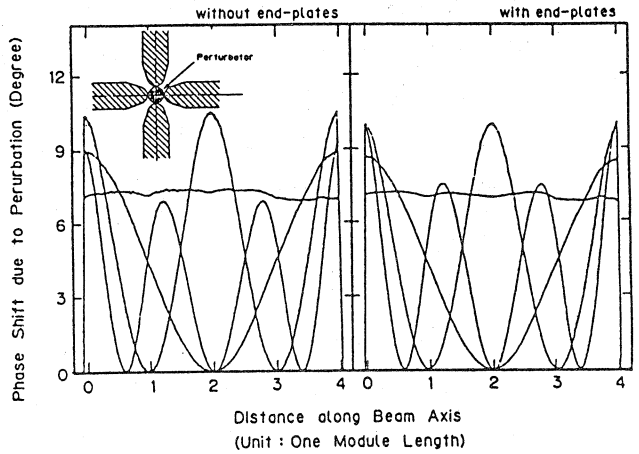


Fig. 2. Longitudinal field distributions of the fundamental and higher harmonics modes; left and right show the cases without and with end-plates.

Table 4. Design parameters of a model of uranium RFQ.

| Design | |
|--|-------------------|
| Charge to mass ratio | 0.06667 |
| Frequency (f) | 50 MHz |
| Kinetic energy (T) | 2.00 - 59.6 keV/u |
| Normalized emittance (ε _N) | 0.03 x cm·mrad |
| Kilpatrick factor | 1.23 |
| Intervane voltage (V) | 43.5 kV |
| Focusing strength (B) | 3.8 |
| Max. defocusing strength (Δ _b) | -0.075 |
| Synchronous phase (φ _s) | -90 - -30 deg |
| Max. modulation (m _{max}) | 2.48 |
| Number of cells | 168 |
| Vane length | 205.19 cm |
| Mean bore radius (r ₀) | 0.541 cm |
| Min. bore radius (a _{min}) | 0.294 cm |
| Margin of bore radius (a _{min} /a _{beam}) | 1.15 |
| Transmission (0 e mA) | 84 % |
| (2 e mA) | 69 % |
| (4 e mA) | 56 % |

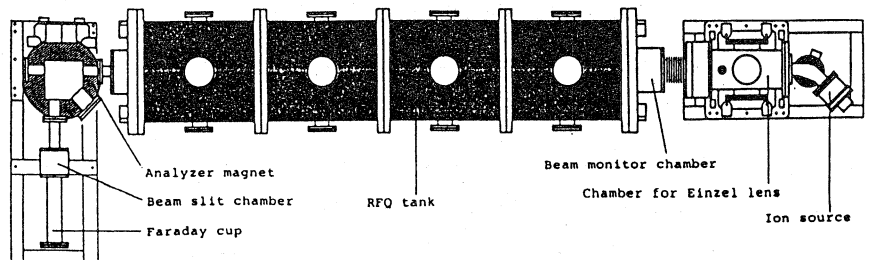


Fig. 4 Layout of Teststand