

## LOW POWER TESTS OF THE INS 25.5-MHz SCRFAQ

Takeda Y., Arai S., Imanishi A., Niki K., Okada M., Tojyo E. and Tokuda N.

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo  
3-2-1 Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188, Japan

### Abstract

We report about the low power tests of a 25.5-MHz split coaxial RFQ for short lived nuclei. The main aims for low power tests are to adjust the longitudinal voltage flatness and the resonant frequency, and to examine the rf characteristics of the cavity. The resonant frequency is tuned to 25.45MHz. The longitudinal voltage flatness and the azimuthal field balance are better than  $\pm 1\%$ . The unloaded Qvalue is 5800 which corresponds to the resonant resistance of 22k $\Omega$ .

### 核研25.5MHz分割同軸型RFQの低電力試験

#### 1 はじめに

東京大学原子核研究所では大型ハドロン計画Eアラナの開拓研究としてISOLイオン源で生成された不安定核ビームを加速する 25.5 MHz分割同軸型RFQ (SCRFAQ) を開発した。1988年からのSCRFAQ原型モデルでの研究成果に基づき1994年春、4ユニット (1ユニットは3モジュールから出ている) からなる空胴を完成させた。このSCRFAQ空胴の低電力試験の結果を報告する。

#### 2 SCRFAQの概要

SCRFAQはISOLで作られた荷電質量比 ( $q/A$ ) 1/30以上の低速イオンを2から170 keVまで伝送効率90%以上で加速するために重イオン・ライナックの前段加速器として製作された。原型モデルでは入射エネルギーは1 keV/uであったが、ISOLとビーム輸送系の性能を上げるため2 keV/uにした。また、ヴェインを全て二次元加工で製作していたものを伝送効率をよくするため第76セルの中央までは三次元加工で切削し、それ以後は二次元加工で切削することにした。

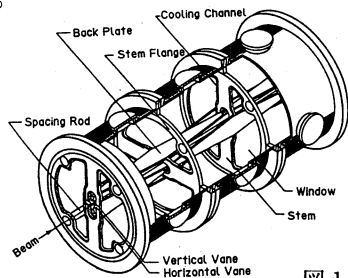


図1

SCRFAQユニット空胴の構造

表1 SCRFAQの主なパラメーター

周波数	25.5 MHz
運動エネルギー	2 - 172 keV/u
荷電質量数比	$\geq 1/30$
規格化エミッタンス	0.6 $\pi$ mm $\cdot$ mrad
ベーン長	8.585 m
セル数	172
ベーン間電圧	108.6 kV
平均アパーチャー半径	0.985 cm
集束強度	5.5
透過効率	91.4%
( $q/A = 1/30$ イオン、0 mA inputの時)	

#### 3 電極間静電容量の測定

SCRFAQ空胴の等価回路は図2のように近似的に表わすことができる。モジュール数の異なる二つの空胴の全インダクタンスが分かれば連立方程式を解くことによりタンクインダクタンス ( $L_0$ )、ステムインダクタンス ( $L_s$ ) が求まる。一方、共振モード番号の関数として測定された共振周波数に等価回路から求めた分散関数をベストフィットすることにより結合インダクタンス ( $L_c$ ) が求まる。この全てのパラメーターを求めることにより軸方向の電圧分布を表わせる。空胴製作途中にLCRメーターを用いて各ユニットの静電容量を測定したところユニット1~4はそれぞれ395 pf、408 pf、407 pf、406 pf、合計1616 pfであった。第1ユニットの測定結果が他のユニットに比べ12 pfほど小さいのはラジアル

マッチャー部の静電容量が小さいためである。これから静電容量 ( $C_0$ )は134.7 pfとなる。また、空洞完成後、モジュールを3、6、12台としたときの共振周波数は26.572 MHz、25.895 MHz、25.562 MHzであり、共振周波数のモード番号が0、1、2、3のときの共振周波数は25.562 MHz、30.935 MHz、42.468 MHz、56.611 MHzであった。これより、各インダクタンスを求めると $L_0$ 、 $L_s$ 、 $L_c$ はそれぞれ213.3 nH、20.59 nH、45.45 nHとなる。軸方向の電圧分布を再現したところ第1モジュール付近の静電容量を24 pf、第12モジュール付近を12 pf増やす必要があることがわかった。

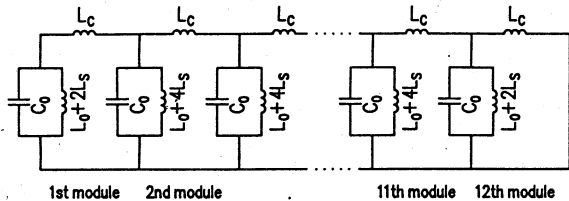


図2 SCRF空洞の等価回路

#### 4 空洞の調整

##### 4.1 ループカプラー

空洞に電力を供給するために低電力試験用のループカプラーを製作した。このループカプラーは直径2 mm、縦355 mm、横170 mmの銅の針金で作られたループ状のものでこれを空洞の第8モジュールに入れ回転させることにより空洞と伝送線とのインピーダンス整合をとった。ループ面がビーム軸に対して時計方向に7.5度傾けたときに（実効断面積は553cm<sup>2</sup>）インピーダンス整合がとれ、このときの入力電圧1000 mVに対する反射電圧は0.3 mVとなり電圧定在波比 (VSWR) は1.006となった。このループカプラーを用いて以下に述べる測定を行った。

##### 4.2 軸方向の電圧分布の調整と

###### 共振周波数の粗調整

隣り合う電極間の軸方向の電圧分布を30 × 30 × 8 mm<sup>3</sup>の四角柱形のテフロンで作った摂動体を使い摂動法により測定した。測定の目的は空洞内のキャパシタンス、インダクタンスを変化させて電圧分布を平坦にすると同時に共振周波数を25.5 MHzにピストン型の可動チューナーにより微調整の出来る範囲に収めることである。摂動体をウェインに沿わせて動かすが、ステムに近い所を通過するためステムの影響が電場分布の測定値に表れてしまう。ステムの影響を測定値から省くことで軸方向の電場分布を正確に表わすことにした（図5の中の“Best Fit”）。空洞になにも手を加えていないときの“調整前”の

電圧分布は図5.1から分かるように山形になっている。この分布を平坦に調整するためにまず、空洞前後の静電容量を増やすことにした。ステムに平行に厚さ3 mm、幅30mmの銅版で作ったキャパシティブ・チューナー (C-Tuner) を図4のようにウェイン背板に取り付けステムとの間に静電容量を作った。モジュール1に高さ170 mmのC-Tunerを4個、モジュール2と12に高さ120 mmの物を4個ずつ取り付けることによりモジュール1で15.36 pf、2と12で9.56 pf ずつ静電容量を増加させ、空洞両端で電圧持ち上げた。一方、モジュール6と7の間のステムに幅125 mmの銅板を2枚ステムの幅が大きくなりように取り付けることによりステムインダクタンスを減らし (0.32 nH 減少) 電圧を下げるると同時に、共振周波数を上げた。この調整により軸方向の電圧のズレを目標の±1 %以内である±0.9 %に収め、共振周波数もオートチューナーの駆動で微調整できる範囲である25.464 MHzにした。

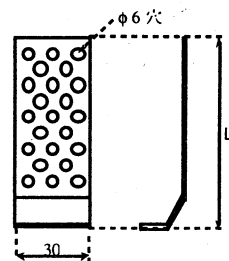


図3 C-Tunerの概念図

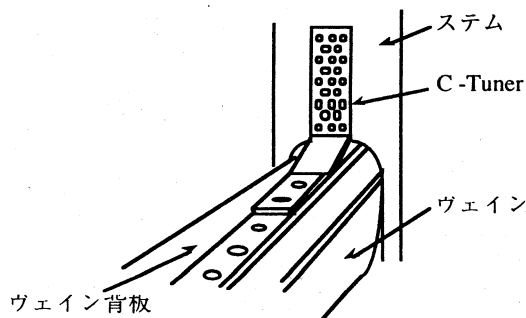


図4 C-Tunerの取り付け概念図

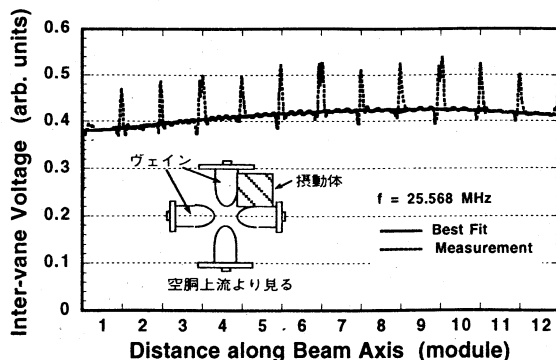


図5.1 軸方向の電圧分布 (調整前)

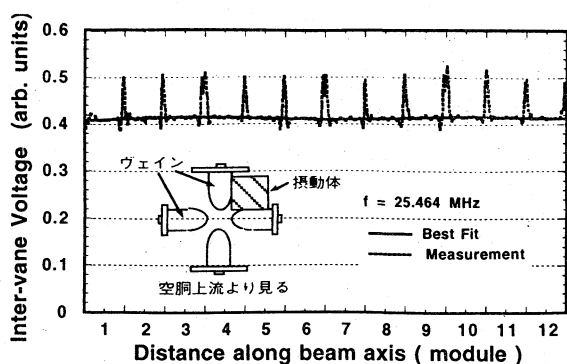


図5.2 軸方向の電圧分布 (調整後)

### 5 空洞調整後のRF特性

ループカプラーを高電力用水冷式ループ結合器に換えた。外径8mmの2本の銅パイプ製で、ビーム軸に対して37.8度の位置で取り付けたときのVSWRは1.031であった。

#### 5.1 四重極電場の四回対称性の測定

RFQでは四重極電場の四回対称性のバランスをとることが非常に重要である。四重極電場の測定は円筒形のテフロン(直径9.3mm、長さ14mm)を使用した摂動法により行った。摂動体を隣り合うヴェイン側面に沿わせるように移動させ、四重極電場の四回対称性を調べた。

測定結果より電場の強度差の最も大きい場所(モジュール4下流)から計算すると四回対称性の最大誤差は±0.9%となった。この値は電極間距離の組み立て精度の許容範囲である±75μmから求めた電場強度の誤差の±1%以内に収まっている。このことからヴェインの組み立て精度が十分満足出来るものであることが確認できた。

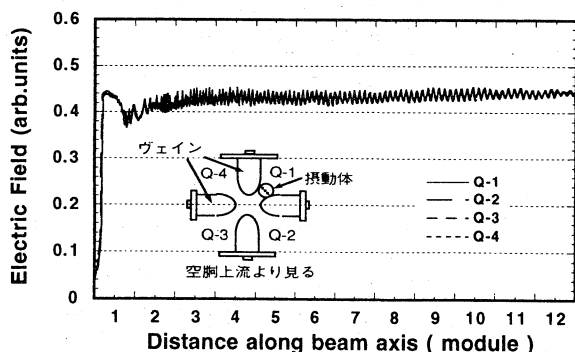


図6 四重極電場の四回対称性

#### 5.2 ラジアルマッチャーの

##### 電場分布の測定

核研SCRFQのラジアルマッチャー部ではポテンシャルを軸に沿って線形に立ち上げている。それ故、設計上は軸上に一定の軸方向の電場が生じる。しか

し実際にはビーム加速にとって電場はなめらかに立ち上がり、そして立ち下がる方が都合が良い。そこで実際の電場の形がどうなっているか調べた。ビーム軸上を直径1.8mm、長さ58mmのアルミ箔で作った摂動体を動かしてラジアルマッチャー部(1~20セル)の電場分布の測定を行った。この測定結果をラジアルマッチャー部のポテンシャル  $U = V/2(1 + r^2/a^2 \cos^2 \phi)z/d$  から求めた電場分布の計算値と比較した。(V:ヴェイン間電圧、r:ビーム軸からの距離、a:平均ボア半径、z:ビーム軸方向距離、d:ラジアルマッチャー部の長さ) 計算結果と測定結果を比較すると前半部では両者の間に差が見られるが後半部ではほぼ一致していることが確認できた。この違いがビーム加速にどう影響するかは今後調べられる予定である。

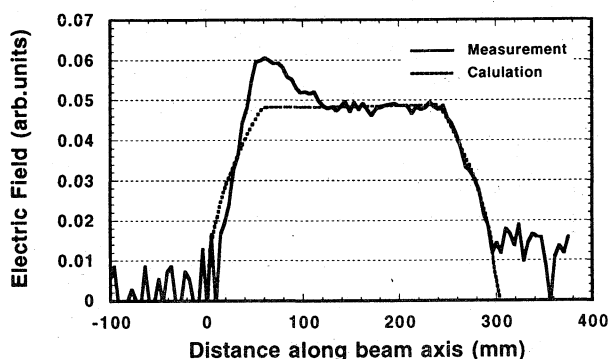


図7 ラジアルマッチャー部の電場分布

#### 5.3 Q値の測定

透過電圧が最大となる共振周波数をf、最大値の  $1/\sqrt{2}$  になる点の周波数を  $f_+$ 、 $f_-$  とすると測定より  $f$ 、 $f_+$ 、 $f_-$  はそれぞれ 25.4592 MHz、25.4549 MHz、25.4537 MHzとなった。計算より無負荷のQ値は5800となり、共振抵抗は22kΩであった。この値は設計値の約80%で予定していた値である。

### 6 まとめ

SCRFQの四重極電場の四回対称性、軸方向の電圧分布を共に目標にしていた±1%以内にした。共振周波数も微調整のできる範囲に収めることができた。ラジアルマッチャー部の電場分布の測定値から電場の立ち上がりに設計との間に差が見られることが分かった。無負荷のQ値は予定していた値であることが確認できた。

#### 参考文献

S.Arai et al.: "Cavity Construction and Low Power Tests of the INS Split Coaxial RFQ for Radioactive Nuclei"