

N₂⁺ Beam Test of the Split Coaxial RFQ Linac for Unstable Nuclei

M. Okada, S. Arai, Y. Arakaki, A. Imanishi, K. Niki,
Y. Takeda, E. Tojyo and M. Tomizawa

High Energy Accelerator Research Organization
Tanashi Branch
3-2-1 Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188 Japan

Abstract

A 25.5 MHz split coaxial RFQ linac (SCRFAQ) for unstable Nuclei is being operated at KEK Tanashi Branch. This linac was designed so as to accelerate ions with a charge-to-mass ratio (q/A) greater than 1/30 from 2 to 172 keV/u. Through the acceleration test using N₂⁺ ions, we measured the emittances and transmission. The results agree well with PARMTEQ-H simulations.

不安定核用分割同軸型 R F Q 加速器の N₂⁺ ビーム加速試験

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構田無分室(旧東京大学原子核研究所)では、JHFのEアテナの開拓研究として不安定核用重イオン線形加速器を建設した。分割同軸型RFQ(SCRFAQ)とエネルギー可変型IHからなるこの加速器は1996年春に完成し、以来いろいろなイオンを用いて加速器の性能試験やビームラインの調整を行ってきた。

今回、性能試験の一環として行ったSCRFAQによるN₂⁺ビームの加速試験について報告する。

2. SCRFAQ

不安定核用重イオン線形加速器に用いられているSCRFAQは、全長8.6m 直径0.9mのRFQ型線形加速器で、共振周波数が25.5MHzで電荷対質量数比(q/A)が1/30までのイオンを2から172keV/uまで加速できるよう設計されている。表1にSCRFAQの主なデザインパラメーターを示す。

表1 SCRFAQの主なパラメーター

運転周波数	25.5MHz
電荷対質量数比(q/A)	$\geq 1/30$
入射エネルギー	2keV/u
出射エネルギー	172keV/u
入射エミッタンス	291 π mm·mrad
(規格化)	0.6 π mm·mrad
ベイン長	8.585m
セル数	172
平均アパーチャ半径	0.985cm
最大ベイン間電圧	108.6kV
透過効率(0mA)	91.4%
(5mA)	86.0%

加速試験はN⁺を中心にさまざまなイオン(He⁺, N²⁺, Ne⁺, Ne²⁺, Ar²⁺)で行ってきた。今回SCRFAQのデザイン上の最大出力での加速テストを行うに当たり、 q/A が1/30となる適当なイオン

が無かったため、これに近く、十分なビーム電流が確保できる N_2^+ ビームを用いて加速テストを行うことにした。

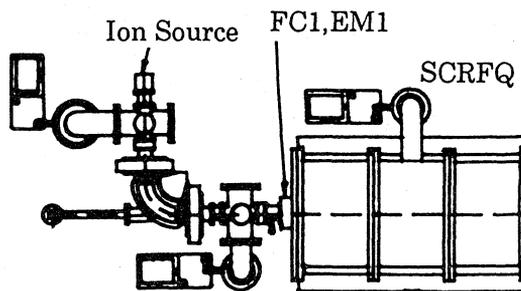


図1 入射側配置図

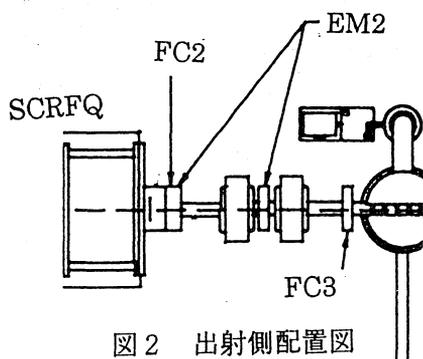


図2 出射側配置図

3. 加速試験

セットアップ

図1・2に加速試験のセットアップを示す。図1は入射側で、2.45GHzのECRイオン源・90°偏向電磁石・2台の4重極電磁石・4台のアイツェルレンズで構成されている。イオン源から出たビームは偏向電磁石により曲げられる際、エネルギーにより分析され必要とするイオンのみが入射されるようになっている。また、SCRFAQの直前にファラデーカップ(FC1)とエミッタンスモニター(EM1)が設置されていて入射ビームの状態を測定できるようになっている。

図2は出射側で、2連4重極電磁石が配置されている。さらにSCRFAQの直後にファラデーカップ(FC2)とエミッタンスモニター(EM2)が配置されていて加速器から出てきた全ての粒子のビーム電流とそのエミッタンスを測定できるようになっている。また、4重極電磁石の後ろにもファラデーカップ(FC3)が配置されている。出射ビームのうち加

速されていない粒子は4重極電磁石で散らされてしまいFC3までほとんど届かないので、FC3では加速された粒子のビーム電流が測定できる。

測定結果

最初にエミッタンスの測定結果を示す。エミッタンスの測定は加速粒子の伝送効率が最大になるよう各電磁石などのパラメーターを調整した後にを行った。この時、イオン源の運転パルス幅0.15ms、繰り返し25Hz、ビームのpeak電流は100 μA であった。SCRFAQの運転パルス幅は1.9ms、繰り返し25Hz、ベイン間電圧は101.36kV(デザイン電圧)であった。運転デューティーを4.75%と低く抑えたのはファラデーカップが溶けるのを防ぐためである。現在、高出力時の運転デューティーは目標の30%に対し20%まで達成している。

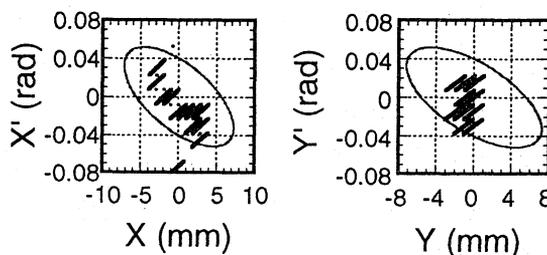


図3 入射側配置図

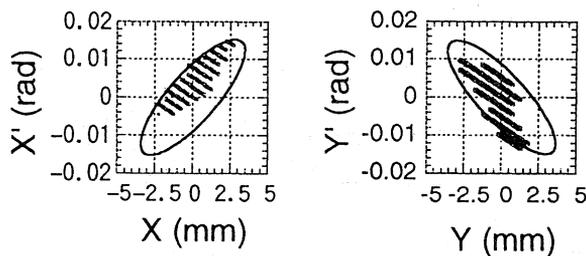


図4 出射側配置図

図3が伝送効率測定時の入射ビームのエミッタンスである。図中斜線部が測定した総電流値の90%を含む90%エミッタンス(= $\epsilon_{(90)}$)のプロファイルで、楕円はSCRFAQのアクセプタンスに相似なデザインエミッタンス(=291 mm·mrad)の楕円である。ビームの中心が若干ずれており、エミッタ

ンスはデザイン値より小さかった。

図4は出射ビームのエミッタンスである。エミッタンスプロファイル(斜線部)はシミュレーションから期待されるデザインエミッタンス楕円のなかに納まっていることが分かる。

次に伝送効率のベイン間電圧依存性の測定結果を図5に示す。図中のベイン間電圧は $q/A=1/28$ の時のデザイン値(101.36kV)を1として規格化してある。“○”は I_2/I_1 で定義された全透過粒子の伝送効率で、“●”が I_3/I_1 で定義された加速された粒子の伝送効率である。ここで I_1 は FC_1 で測定したビーム電流である。この測定の時、出射側の4重極電磁石には電磁石電源の最大値に近い290Aの電流を流していたが、計算によると加速されない粒子を完全に吹き飛ばすのには不十分であったと思われる。そのため、 I_3 には加速されていない粒子も含まれていると考えられる。実線及び破線はPARMTEQ-Hによるシミュレーションの結果である。シミュレーションでは入射ビームのエミッタンスは測定時のものに近い値を用いて行った。加速粒子の伝送効率は立ち上がりの部分で測定値とずれがあるが、前述の電磁石の影響をシミュレーションに入れるとよく合っている。全粒子の伝送効率も定性的には一致している。

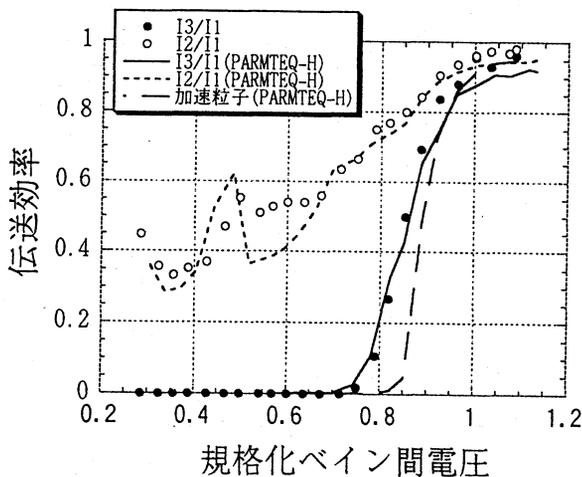


図5 伝送効率のベイン間電圧依存性

4. まとめ

加速試験の結果、 $q/A=1/28$ の N_2^+ イオンを用いた運転においても出射エミッタンス・伝送効率ともにデザイン通りの結果を得ることが出来た。以前行った N^+ イオン等による加速試験[1]と合わせると、ほぼデザイン通りの加速性能が得られることが分かった。

参考文献

- [1] K.Niki *et.al.*: "Beam Test on The INS 170-keV/u SCRFQ", The 21st linear accelerator meeting in JAPAN