

CONSTRUCTION OF A HEAVY ION LINAC FOR RADIOACTIVE NUCLEI

Masashi Okada^{1,A)}, Shigeaki Arai^{A)}, Yoshitugu Arakaki^{A)},
Suehiro Takeuchi^{B)}, Masahito Tomisawa^{A)}, Kazuaki Niki^{A)}

A) High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

B) Japan Atomic Energy Research Institute Tokai Research Establishment
2-4 Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

Abstract

Construction of the KEK-JAERI joint RNB facility, Tokai Radioactive Ion Accelerator Complex (TRIAC), was finished in 2004, and the facility is open for users from October 2005. The linac-complex comprises a split-coaxial RFQ (SCRfQ) linac, a rebuncher cavity and an interdigital-H (IH) linac. After high power tests and phase adjustments of the accelerating cavities, beam tuning of the linac was conducted. Radioactive ions, $^{138}\text{Xe}^{20+}$ ($t_{1/2}=14.1$ min.), were successfully accelerated and transported to the end of experimental beam line at March 2005.

短寿命核用重イオンリニアック(TRIAC)の建設

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)と日本原子力研究所は共同で、KEK田無で製作された短寿命核用重イオンリニアックを原研タンデム施設に移設し、短寿命核加速器(TRIAC)実験施設を建設した。[1]

この施設は、タンデムからのビームを用いて生成した短寿命核ビームを分離・再加速して天体核物理や物質科学等の実験を行なうもので、第1期の建設

計画が2004年度で完了し、今年度より共同利用を開始する。また、第2期の建設計画に向けての準備も行なっている。

リニアックは第2期計画で原研タンデム施設の超伝導リニアックと接続される予定である。そこで、超伝導リニアックとマッチングを取る為にSCRfQ・IH・リバンチャーの共振周波数が変更された。2004年に高電力試験・位相の調整などが行なわれ、2005年3月には短寿命核の加速が行なわれた。

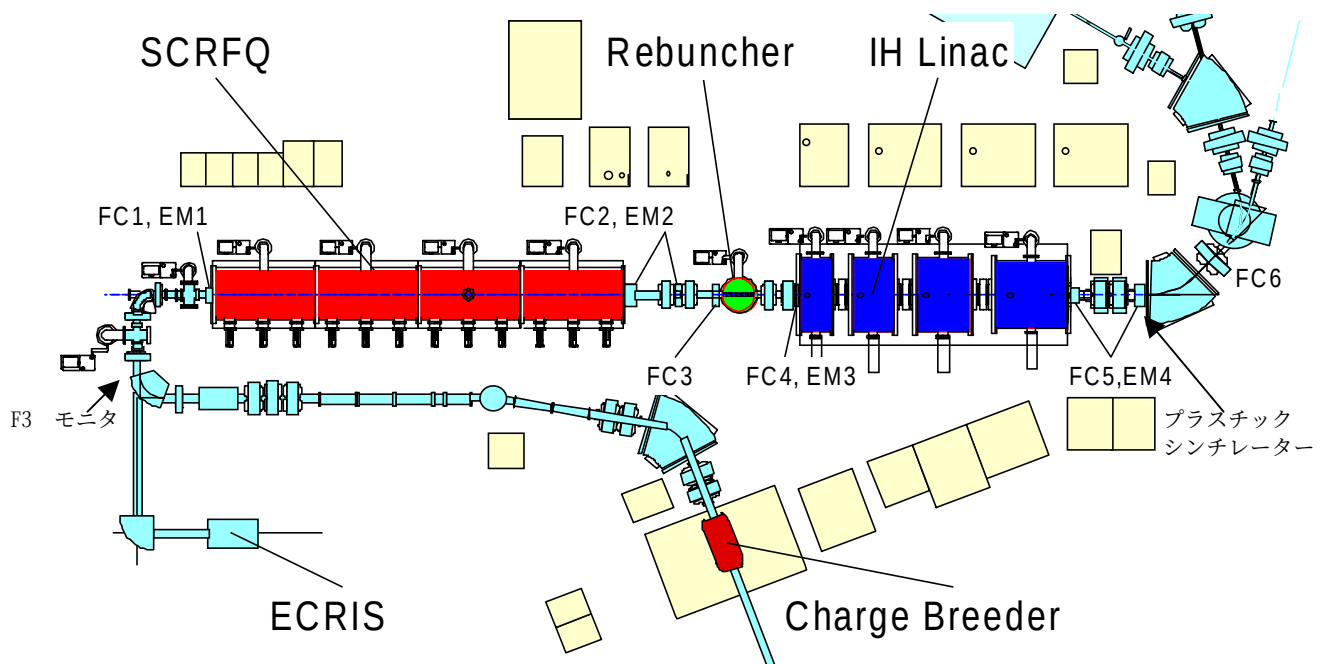


図 1 短寿命核用重イオンリニアック

¹ E-mail: masashi.okada@kek.jp

本発表ではリニアックの現状や短寿命核加速のプレリミナリーな結果について報告する。

2. 短寿命核用重イオンリニアック

リニアックは分割同軸型RFQ(SCRFAQ)とインターディジタルH型(IH)リニアック及びそれに付属するリバンチャーや四重極電磁石などで構成されている。また、IHリニアックは4つの空洞と3つの三連四重極電磁石からなる機能分離型で、加速電圧や位相を調整する事によって出射エネルギーを広い範囲で変える事が出来る。表1に加速器の主要諸元を示す。

第2期計画では、IHの後にタンデム施設の超伝導リニアックを接続して、更に高いエネルギーのビームを得る事を計画している。しかし、加速器の共振周波数はもともとSCRFAQ・リバンチャーが25.5MHz、IHが51MHzで製作されているのに対し超伝導リニアックの共振周波数は129.792MHzである。その為、このままではビームのマッチングが取れない。そこで、SCRFAQ・リバンチャーとIHの周波数を129.792MHzの1/5、2/5に相当する25.9584MHz、51.9168MHzにそれぞれ変更した。

周波数の変更はSCRFAQではCチューナー・Lチューナーを交換する事で行なった。実際の変更は等価回路計算でチューナーの寸法をおおまかに決めておき、実機で周波数や電場分布を測定しながら寸法を調整する方法で行ない、最終的には共振周波数を25.9179MHz、電場分布の平坦度を±1%以内と目標の範囲内に収めることが出来た。[2]

リバンチャーとIHリニアックの周波数変更はドリフトチューブをギャップ長の寸法を変えた新しい物に交換することで行なった。ドリフトチューブの寸法を変えるのは容易でない為、事前にシミュレーションやモデルテストを行ない、寸法を決定した。IHのドリフトチューブを交換した後の周波数測定では最大0.24%周波数がずれていたが、リッジのビー

表1：SCRFAQ/IH の主要諸元

	RFQ	IH	
Frequency (f)	25.96	51.92	MHz
Total length	8.6	5.6	m
Diameter	0.9	1.49 for tanks 1-3	m
		1.34 for tank 4	m
Synchronous phase (ϕ)	-30	-25	deg.
Charge-to-mass ratio (q/A)	1/28	1/10	
Input energy (T_{in})	2.1	178	keV/u
Output energy (T_{out})	0.178	0.14-1.09	MeV/u
Normalized acceptance (A_n)	0.86 π	1.7 π	mm·mrad
Duty factor	30	100	%
Repetition rate	20-1000		Hz

注：全て改造後の値

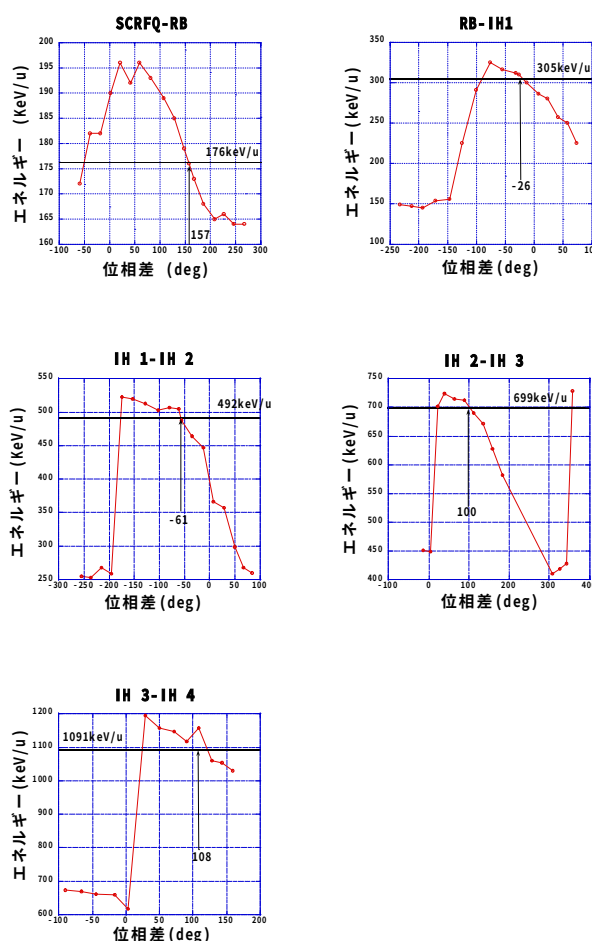


図2 空洞間の位相差と出力エネルギー

ム軸方向の端に銅板を取り付けることで目標の範囲内に収めることが出来た。[3]

3. 高電力試験

加速器の設置後、電源や真空系の整備を待って高電力試験を行なった。移設によって、IHリニアックの電源と空洞の位置関係が大幅に変わった為、電源と空洞をつなぐ同軸管の長さを変更し入になるよう設定したところ、電源内部で発振が起きてしまい、電源内部のチューナーを調整しただけでは回避できなかった。そこで、同軸管の長さを $\lambda/10$ に相当する約60cm分伸ばす事で発振を回避する事が出来た。

高電力試験は当面の実験で用いる $q/A=1/7$ の粒子ビームを加速するのに必要な電圧を目標に行なった。その結果、空洞一台あたり2日程度で所定の電圧まで印加する事が出来る様になった。

4. 位相調整

高周波を用いた加速器の場合、入射した粒子が適当な加速位相に乗らないと正常に加速する事ができない。その為、我々のリニアックの様に複数の加速

空洞を接続する場合、空洞間の位相差を調整して入射のタイミングを合わせる必要がある。そこで、空洞のRFの位相を変えながらビームのエネルギーを測定した。測定は $^{14}\text{N}^{2+}$ ($q/A=1/7$)のビームを用い、IH下流のベンディングマグネットでエネルギーを測定する方法で行なった。その結果を図2に示す。この結果を元に各空洞の出射エネルギーが次の空洞の入射エネルギーと一致する位相を決定した。また、位相を調整する事で加速ビームのエネルギーは150KeV/uから1180KeV/uまで変更することができる。

5. 短寿命核ビームの加速

2005年3月に短寿命核の加速テストとして $^{138}\text{Xe}^{20+}$ ($q/A=1/6.9$ 半減期14.1min)の加速を行なった。加速器のエネルギーは1.09MeV/u、Dutyは20%であった。加速は $^{14}\text{N}^{2+}$ ビームで加速器やビームラインのチューニングを行なった後、各パラメーターをスケールングして行なった。これは短寿命核ビームが加速器上流のF3モニタの所で約800個/secと非常に少なくファラディカップなどの通常のモニタで測定しながら調整することが出来ない為である。 $^{14}\text{N}^{2+}$ ビームを用いた調整の時点での加速器の透過効率は約70%であった。

図3に加速器下流のプラスチックシンチレーターの計数率を示す。厚さ0.2mmのアルミ板で止めた $^{138}\text{Xe}^{20+}$ が崩壊して発生する β 線を測定したもので、ビーム停止後の減少率から加速された粒子が $^{138}\text{Xe}^{20+}$ であることが分かる。

結果、加速器下流のモニタで毎秒30個の加速された $^{138}\text{Xe}^{20+}$ を確認した。この値は透過効率で言うと約20%で、 $^{14}\text{N}^{2+}$ ビームのときに比べ非常に低い。今後、RNB加速の際の調整方法について検討する必要がある。

6. まとめ

KEK・原研共同の短寿命核加速器実験施設は第1期の建設を終え、本年度より共同利用を開始する。加速器は第2期建設を目指して周波数変更をした後

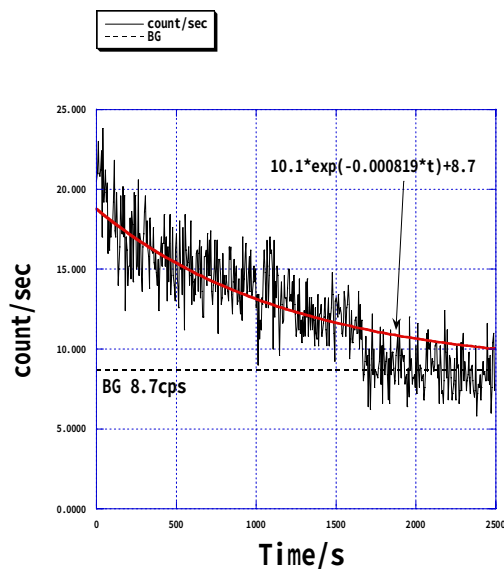


図3 IH下流のシンチレーターにおける計数率

設置された。高電力試験・位相調整を行なった後、設計エネルギーのビームの加速を確認した。また、短寿命核ビームの加速も確認した。今後RNBの強度増強にむけて、ISOL、チャージブリーダー、加速器のシステム全体で効率を向上させていく予定である。

参考文献

- [1] 新井重昭 他, "短寿命核ビームKEK・原研共同研究施設に於ける重イオンリニアック", Proceedings of The 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P40-42, 2001
- [2] 岡田雅之 他, "短寿命核用SCRFQとリバンチャーの改造", Proceedings of The 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, P215-217, 2003
- [3] 新垣良次 他, "IHリニアックの周波数変更の為の改造と低電力試験", Proceedings of The 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, P233-235, 2003