

KEK・原研 RNB 研究施設に於ける重イオンリニアックの現状

岡田雅之^{A)}、新井重昭^{A)}、新垣良次^{A)}、竹内末広^{B)}、富澤正人^{A)}、仁木和昭^{A)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

^{B)}日本原子力研究所 東海研究所

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

概要

高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所は共同で RNB 研究施設を建設している。この施設の短寿命核用重イオンリニアックは SCRFQ と IH の 2 つの加速空洞とリバンチャーなどの BT ラインで構成されていて、 $q/A \geq 1/10$ のイオンを 1.09MeV/u まで加速できる。また、将来的にはタンデム施設の超伝導リニアックとも連結し $q/A=1/7$ のイオンを 6MeV/u まで加速可能にする予定である。このために、重イオンリニアックの周波数が超伝導リニアックの周波数と同期するように、周波数を 1.8% 上げるための改造が行われた。SCRFQ の周波数変更は静電容量とインダクタンスを変えるチューナーによって、IH とリバンチャーの周波数変更はドリフトチューブ長の変更によって行われた。現在、リニアック本体が加速器室に設置され、今年度中の高電力試験を目指した電源の配線や冷却水の配管が行なわれている。

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 RNB 研究施設を原研の東海研究所に建設し、短寿命核ビームや大強度安定核ビームを用いての核物理、核化学、物質科学などの研究を行なう計画を進めている。計画の第一段階では原研タンデム施設に KEK 田無分室で製作された短寿命核分離加速実験装置を移設し、タンデムの陽子ビームを標的に当てて生成した短寿命核をイオン化し、質量分離して 1.09MeV/u($q/A \geq 1/10$)まで加速する。第二段階では、新設する IH2 加速器により 2MeV/u($q/A \geq 1/7$)までエネルギーを増強したビームをタンデムのブースター加速器である超伝導リニアックに入射して 6MeV/u($q/A=1/7$)まで加速できるようにする予定である[1]。

本発表では施設の概要やリニアックの改造・設置状況等について報告する。

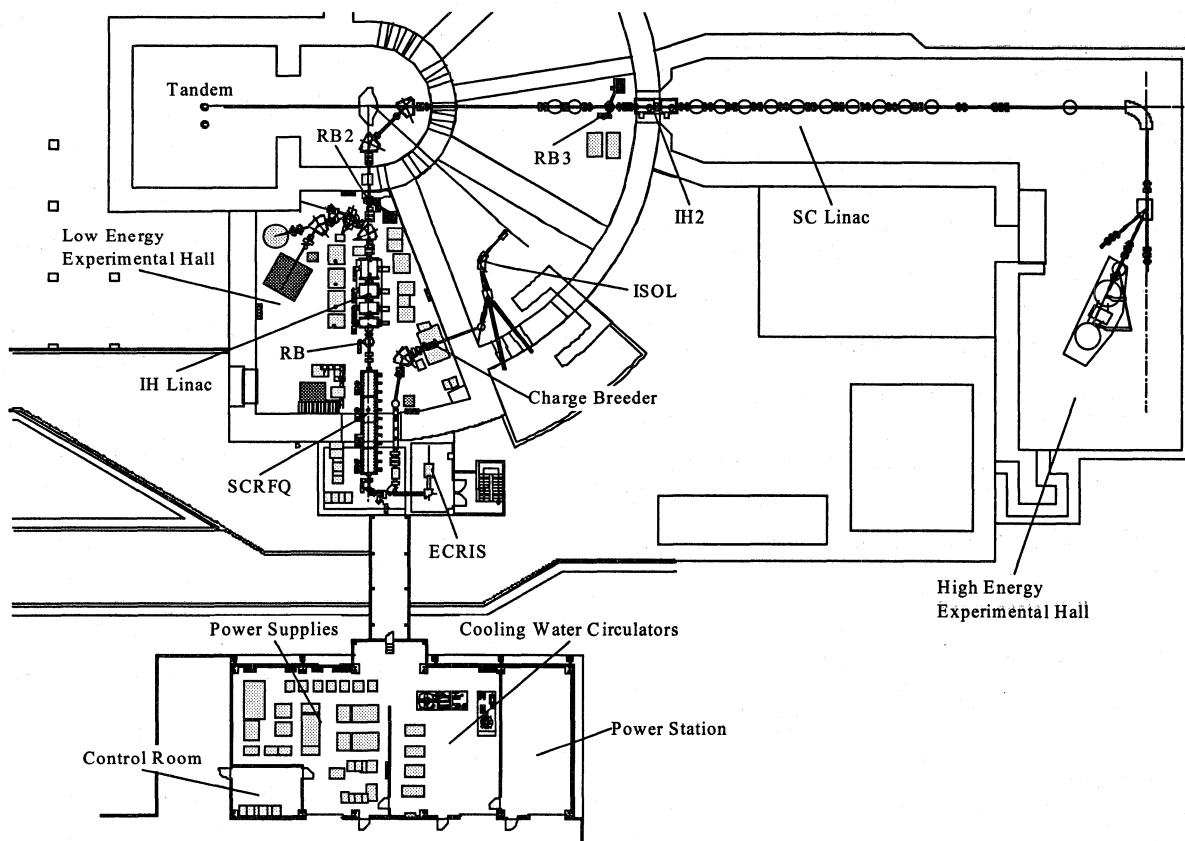


図 1 : RNB 研究施設全体図

2 施設概要

2.1 施設の構成

RNB 研究施設はタンデム棟の実験室を拡張して作られた加速器室とそれに隣接する電源室で構成されている。図1は施設の全体図である。加速器室にはオンライン同位体分離器(ISOL)等の短寿命核ビーム生成装置、分割同軸型RFQ(SCRFQ)とインターディジタルH型(IH)リニアックからなる短寿命核用加速器、そして各種実験装置が設置されている。一方、電源室にはRF、マグネットなどの電源や冷却水の循環装置等が設置されている。また、加速器の制御室もこちらにある。タンデム加速器からの36MeV陽子ビームを標的に当てて生成した短寿命核は、ISOLにより質量分離された後荷電増幅されSCRFQに入射される。イオン源は短寿命核用の他に大強度安定核ビーム用のERCイオン源も用意されており、加速器のスタディや実験等の必要に応じて切替て使える様になっている。SCRFQに入射されたビームは2keV/uから178keV/uまで加速された後、IHリニアックにより最大1.09MeV/uまで加速される。IHを出たビームは振り分け電磁石によって低エネルギー実験ラインに供給される他、IH2リニアックと超伝導リニアックによりさらに加速され、高エネルギー実験室に供給される。

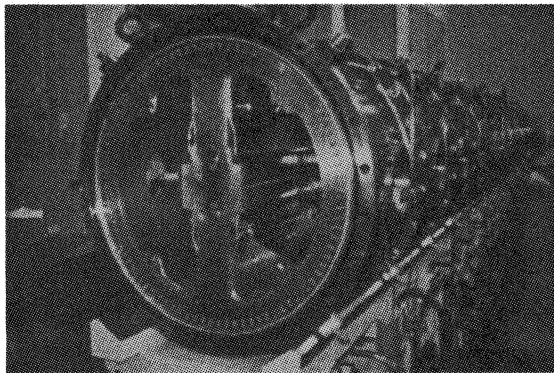


図2: SCRQ 空洞

IHリニアックは4つの加速空洞と空洞間の集束用三連四極電磁石からなる機能分離型のドリフトチューブリニアック(SDTL)である。加速・集束の機能を分離する事で加速効率を上げる事ができ、加速電圧や位相の調整により出射エネルギーを広い範囲で変化させる事が出来る特徴をもつ。KEKのものは共振周波数が51MHzで $q/A \geq 1/10$ の粒子を172keV/uから最大1.05MeV/uまで加速する事が出来る。

表1: SCRQ/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	m
		for tanks 1-3	
		1.34	m
		for tank 4	
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)	0.86π	1.7π	mm·mrad
Duty factor	30	100	%
Repetition rate	20-1000		Hz

注: 全て改造後の値

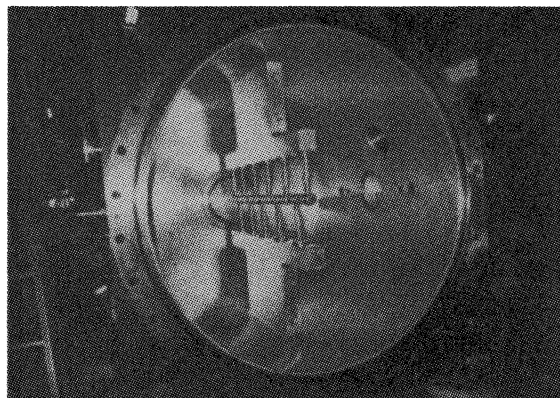


図3: IHリニアック空洞

2.2 SCRQ 加速器

SCRQ 加速器は低速域での重イオン加速用に開発されたRFQ型加速器で、分割同軸型の共振構造を採用した事で同一周波数の4ベイン型RFQに比べコンパクトなのが特徴である。KEKのSCRQは共振周波数が25.5MHz、全長は8.6m直径0.9mの大きさで、 $q/A \geq 1/30$ の粒子を2keV/uから172keV/uまで加速する事が出来る。このSCRQと次に説明するIH型加速器の主要諸元を表1に示す。

2.3 IH 加速器

2.4 IH2/超伝導リニアック

IH2リニアックは第2段階で新設される加速器で基本構造はIHリニアックと同じである。129.8MHzで運転され $q/A \geq 1/7$ の粒子を超伝導リニアックの入射エネルギーである2MeV/uまで加速する予定である。

超伝導リニアックは原研タンデム施設に既設の加速器で10台の超伝導加速空洞と空洞間に設置された9台の二連四極電磁石からなる。出射エネルギーは入射エネルギーとビームの q/A に関連していて、入射が2MeV/uの場合 $q/A=1/7$ のビームで6MeV/u、 $q/A=1/4$ のビームでは9MeV/uまで加速する事が出来る。

3 加速器の改造

3.1 改造の目的

先に述べたように、計画では加速した短寿命核ビーム

をタンデム施設の超伝導リニアックに入射して更に加速する予定である。しかしながら、超伝導リニアックの共振周波数は 129.8MHz なので、同期を取る為には SCRFQ の共振周波数を 25.5MHz から 129.8MHz の 1/5 にあたる 25.96MHz に、IH は 51MHz から 2/5 にあたるの 51.92MHz に変更する必要がある。

3.2 SCRFQ の周波数変更

SCRFQ の周波数変更はコストを下げる為ペイン等の基本構造には手をつけずに C チューナーと L チューナーを取り付ける事で行なった。調整に必要なチューナーの寸法はあらかじめ等価回路解析によって計算し、最終的には実機で測定をしながら決定した[2]。その結果、SCRFQ の共振周波数は 25.92MHz とした。共振周波数は空洞を真空に引いたり、可動チューナーを入れたりする事で約 40kHz 上昇するので運転時には 25.96MHz になる[3]。次に、この時の電場分布を図 4 に示す。スパイクはペインを支えるステムフランジによるもので、グラフはスパイクを除いた部分の平均で規格化してある。入り口のラジアルマッチャー部分を除いて目標とした±1%におさまっている。

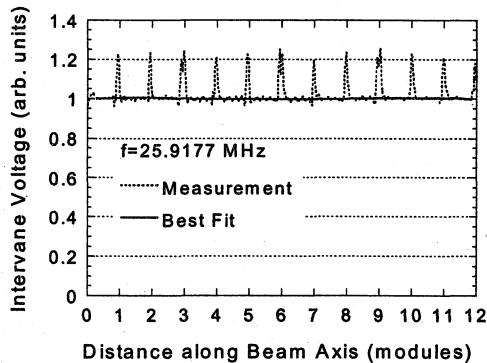


図 4 : SCRFQ 電場分布

3.3 IH リニアックの周波数変更

IH リニアックの周波数変更はドリフトチューブの長さを調整する事で行なった。新しいギャップ幅は MAFIA で計算した後モデルテストを行い決定した。これはドリフトチューブの取り付けには時間がかかる為実機で測定をしながら調整をするのが困難な上、チューナーの調整範囲が 0.45% と狭い為、設計の段階で高い精度を必要としたからである[4]。改造後の測定の結果、Tank2,4 では 0.02% 以下の精度で予想と測定値が一致したが、Tank1,3 では 0.24% 程度高くなってしまった。そこでリッジの両端に銅板を取付けて調整をした。図 5 に調整後の各 Tank の電場分布を示す。各 Tank とも十分に平坦である事がわかる[5]。

4 施設の現状と今後の予定

加速器室の拡張工事と電源室の建設は 2002 年度までに完了し、本年度は機器の設置等を行なっている。電源室への空洞冷却水循環装置の新設、各種電源の設置は今年の夏

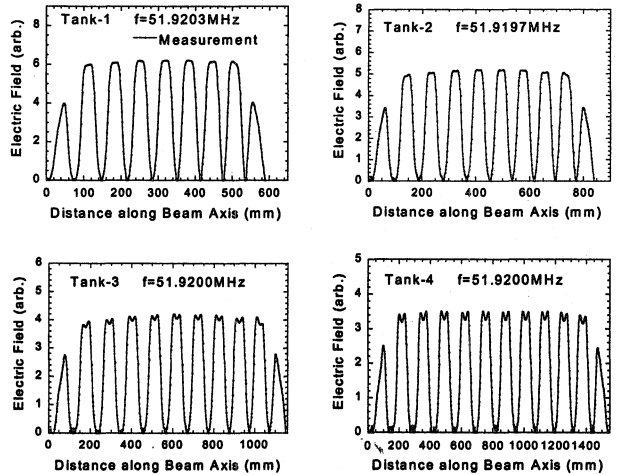


図 5 : IH リニアック電場分布

までにほぼ完了し、秋までには加速器室での電源類や加速器の設置・アライメントもほぼ終了した。

現在は ISOL とリニアック間のビームラインの設置や配線配管の作業を行なっている。これらも年度内には概ね終了し、今年度中には高電力試験を開始する予定である。

5 まとめ

KEK と原研は共同で原研タンデム施設に短寿命核分離加速実験装置を設置し、短寿命核ビームを用いた実験を行なう施設を建設中である。この施設は ISOL 等の短寿命核生成装置や実験装置の他 SCRFQ・IH リニアックからなる重イオン加速器で構成されている。

第 2 段階において短寿命核用加速器からのビームを超伝導リニアックで更に加速する為、短寿命核用リニアックの共振周波数を 1.8% 上げる必要があったので、今回その改造を行なった。その結果、予定通りに周波数を変更する事が出来た。

現在、加速器や電源の設置が終わり、今年度中の高電力試験に向けて準備をすすめている所である。

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] 新井重昭 他, "短寿命核ビーム KEK・原研共同研究施設の SCRFQ の周波数変更", Proceedings of The 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P177-179, 2001
- [3] 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
- [4] 新垣良次 他, "不安定核ビーム加速用 IH リニアック周波数変更試験", Proceedings of The 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P98-100, 2001
- [5] 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