

THE OPERATION OF THE RIKEN RIBF RING CYCLOTRONS

Hiroshi Imao^{A)}, Eiji Ikezawa^{A)}, Shigeru Ishikawa^{B)}, Yukimitsu Ohshiro^{C)}, Jun-ichi Ohnishi^{A)}, Hiroki Okuno^{A)}, Tadashi Kageyama^{A)}, Masayuki Kase^{#, A)}, Osamu Kamigaito^{A)}, Masanori Kidera^{A)}, Hironori Kuboki^{A)}, Keiko Kumagai^{A)}, Yasuteru Kotaka^{B)}, Kiyoshi Kobayashi^{B)}, Misaki Komiyama^{A)}, Ryo Koyama^{B)}, Naruhiko Sakamoto^{A)}, Junsho Shibata^{B)}, Kenji Suda^{A)}, Noritoshi Tsukiori^{B)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Makoto Nagase^{A)}, Takeshi Nakamura^{B)}, Minoru Nishida^{B)}, Makoto Nishimura^{B)}, Hiroo Hasebe^{A)}, Makoto Hamanaka^{B)}, Yoshihide Higurashi^{A)}, Seiji Fukuzawa^{B)}, Nobuhisa Fukunishi^{A)}, Masaki Fujimaki^{A)}, Takeshi Maie^{A)}, Kazuyoshi Yadomi^{B)}, Kazunari Yamada^{A)}, Shigeru Yokouchi^{A)}, Tamaki Watanabe^{A)}, Yutaka Watanabe^{A)}

^{A)} RIKEN Nishina Center, ^{B)} SHI Accelerator Service Ltd., ^{C)} CNS, the University of Tokyo
2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

Abstract

The yearly status report (July 2010-July 2011) of the ring-cyclotron complex (RRC, fRC, IRC, SRC) in RIKEN RI beam factory is provided.

理研 RIBF リングサイクロトロン(RRC, fRC, IRC, SRC)の運転報告

1. はじめに

理研に現存する 4 台のリングサイクロトロンは、1986 年完成の理研リングサイクロトロン (RRC)、と 2004~2006 年にあいついで完成した中間段リングサイクロトロン (IRC)、周波数固定型リングサイクロトロン(fRC), そして理研 RIBF の主加速器である超伝導リングサイクロトロン (SRC)である。

RRC は、リニアック(RILAC)¹⁾とサイクロトロン (AVF)²⁾ を入射器としてこれまでに 25 年間にわたり多種の重イオンビームを供給し続けてきた。

2007 年までに fRC, IRC, SRC が完成し、理研 RIBF の本格的運転が開始された。2008 年に、²³⁸U 345 MeV/n ビームの加速に成功して以来、いろいろなビームを加速してきた。

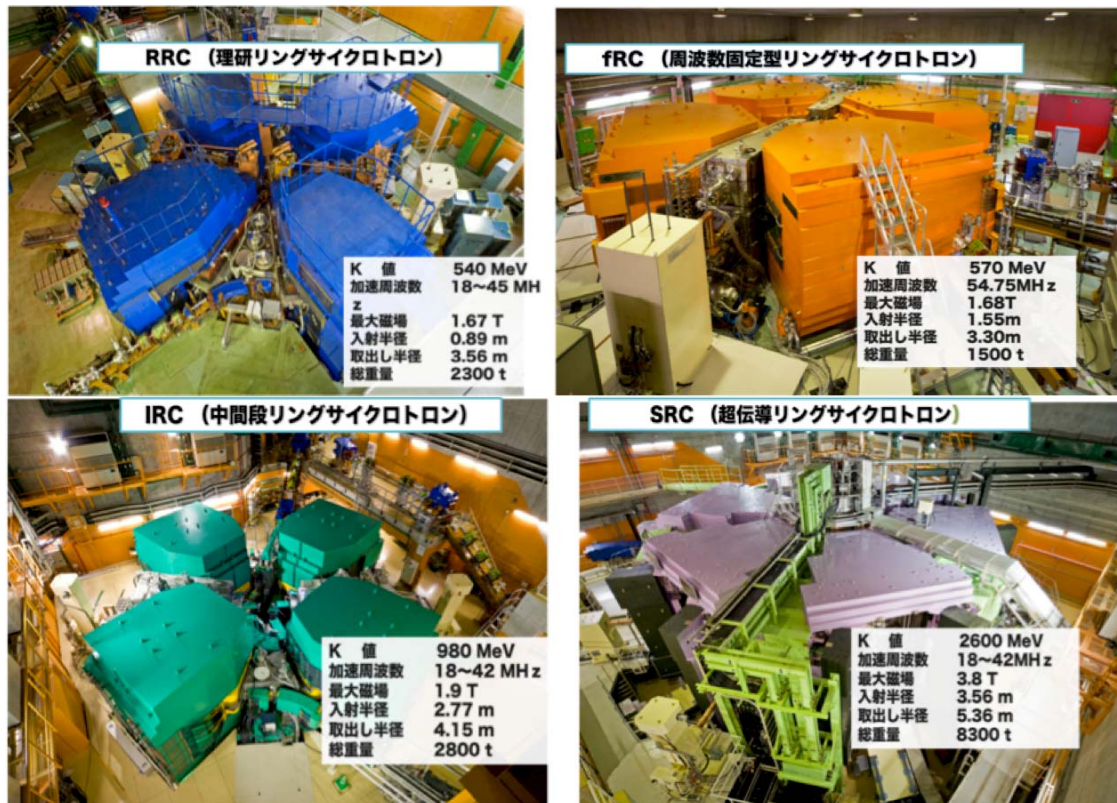


図 1 : 理研 RIBF の 4 台のリングサイクロトロン (RRC, IRC, fRC, SRC)

mkase@riken.jp

本論文では主に 2010 年 7 月から 2011 年 6 月までの一年間のこれら 4 台のリングサイクロトロン（RILAC, RRC, IRC, SRC）の運転の状況について報告する。

2. 加速モード

RIBF の加速方式を図 2 に示す。RILAC を入射器とする加速方式には 2 つあり、周波数可変方式 (mode1) と、fRC を用いる周波数固定方式 (mode2) である。このたび新入射器 RILAC2³¹ が完成したことにより mode2 は二つの入射器の選択が可能になった。新しい加速モードは、RILAC2-RRC-fRC-IRC-SRC でこれまで通り周波数固定方式で 345MeV/n の加速を行う。28GHz-ECR イオン源を装備し、大強度のウランビームが期待される。今後、基本的に、Xe と U の加速には、RILAC2 が入射器となる。mode2 方式で運転中、その間 RILAC は、単独運転で超重元素探索などの実験へのビーム供給に専念できるようになった。

AVF を入射器に用いる方式 mode3 は、軽イオン ($A < 40$) の加速に用いられ、最高 440 MeV/n までの効率的加速が可能であるが、ビーム強度は 100 pA 程度に制限される。軽イオンの加速でも強度を問題にする場合は、mode1 が用いられることになる。

3. 運転実績 (2010 年後半から 2011 年前半)

あらゆる加速モードのうち、RRC は、常に一番目のリングサイクロトロンとして運転をする。2010 年

8 月～2011 年 7 月の RRC の運転総時間数は、4058 時間であった。これは昨年同期間の 5238 時間よりもかなり少ない。これは、東関東大震災による節電によるものである。

RRC の運転総時間数のほぼ 20 % は、RILAC2 の試験に使われ Xe, U が加速試験された。並行してチャージストリッパーの開発実験が行われた。

表 1 に 2010 年 8 月～2011 年 7 月までに加速器したビームのリストをビームデータと共に示す。総照射時間は、昨年同期間は、2668 時間だったのが今年は、1700 時間に減っている。

RIBF の実験に使われた時間は全体の 60% になる。そのうちでも最も要求の多い ⁴⁸Ca 345 MeV/n ビーム加速が精力的に行われた。²³⁸U ビームは、新入射器のコミッシュニングのためにこの期間の実験は行われなかった。よって fRC は、RILAC2 の加速器試験 (マシンスターディー) にのみ使われた。

mode3 の加速方式による運転では、2 種類のビームが加速された。250 MeV/u の重陽子と、¹⁴N ビームである。2011 年 4 月に AVF が故障を起こしその後この方式による運転はできなくなった。

古い施設での実験には、全有効時間の 30 % が使われている。特に生物実験は、定期的に行われ、ビームとして ¹²C, ²⁰Ne-135MeV/n, ⁴⁰Ar-95MeV/n, ⁵⁸Fe-96MeV/n が使われた。AVF 故障後は、¹²C-135MeV/n ビームの代わりに RILAC-CSM-RRC(h7) により初めて加速され、¹²C-85 MeV/n が使われた。

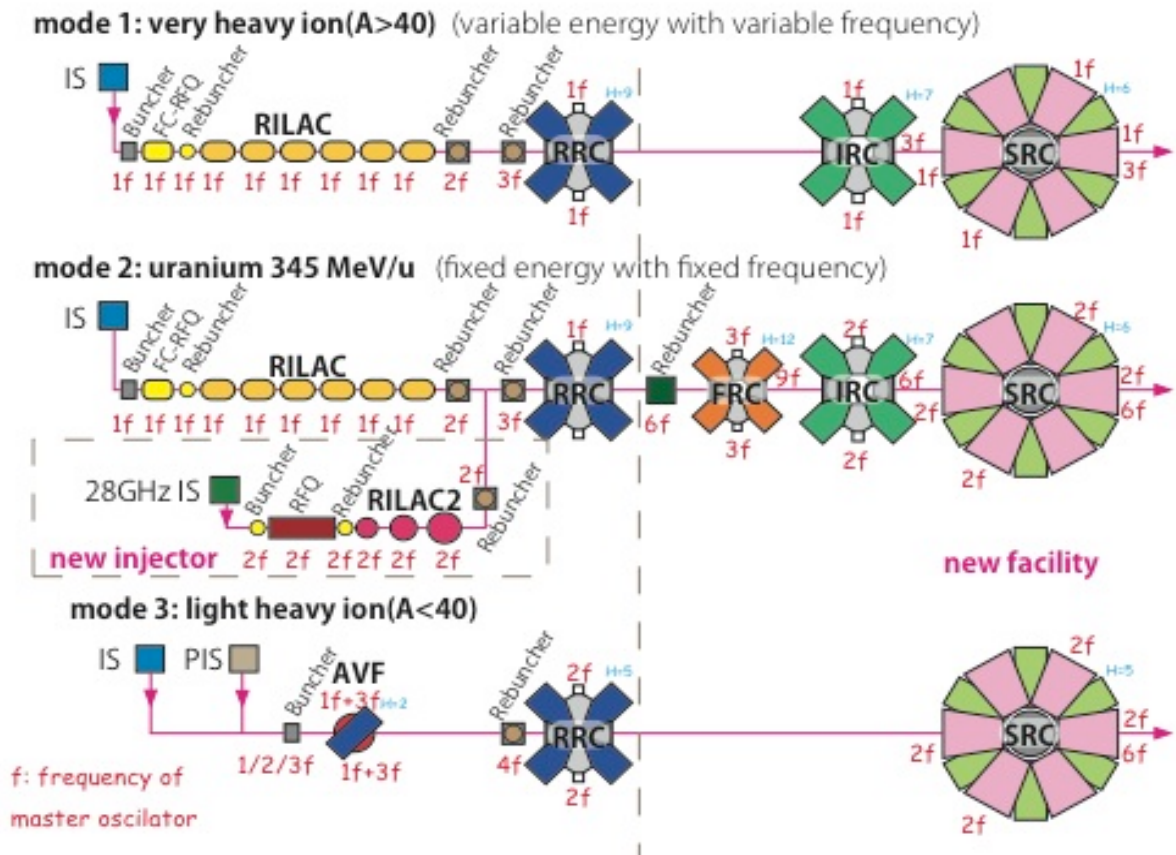


図 2 : 入射器による RRC, IRC, fRC, SRC の加速方式

RIPS 実験も引き続き行われ、 ^{87}Rb -66 MeV/n が AVF-RRC で初めて加速されメสบアウワーの実験に使われた。 ^{58}Fe と ^{23}Na の 63 MeV/n ビームが RILAC-CSM-RRC(h8)によって加速された。

4. トラブル

2010 年春におこなった ^{48}Ca -345MeV/n ビームの加速⁴⁾は非常に順調に行われた。200 pnA を越えるビームを実験中安定に供給(90%以上)した。しかし同年秋の同じビーム加速は、いろいろ問題が起こった。まずビームに原因不明の不安定性が存在し SRC の取出効率が上がらずビームを 100 pnA までに制限する必要があった。またいろいろ機器にトラブルが発生しビームの供給率も 60 % 台と低迷した。

ビーム不安定性の原因は不明であったが、2011 年 5 月に RRC のメインコイルの層間短絡が発見され、これが原因であった可能性がある。

東関東大震災の直接的影響は、ビーム輸送系のアルミビームダクトが二箇所破損しただけであった。その後、AVF は故障して、そして RRC のメインプローブ(MDP2)の真空ベローの真空リークが発生した。2010 年 3 月から節電のため加速器の運転はかなり制限をうけた。6 月に ^{18}O -250MeV/n 等のわずかの実験とウランのマシINSTAディーが行われただけで、2011 年 7 月からは停止状態になっている。

5. 開発更新

ウラン大強度化についてチャージストリッパの開発が精力的に行われている。特に RRC 直後の第 1 ストリッパについて炭素膜の超寿命化をめざし

た薄膜生成法の確立にさまざまな試みがおこなわれている。また大型炭素膜を用いた回転方式のストリッパと、差動排気を用いたガスストリッパの開発中である。

制御系については、老朽化が進んだインターフェースの更新が進んでいる。

6. 今後の予定

2011 年秋より再びウランの加速(^{238}U -345MeV/n)を始め、実験にビームを供する予定である。新入射器を使いビーム強度をこれまでの 10 倍にすることを目標にしている。新入射器のイオン源は、28GHz-ECRIS で 35+ のビームを供給する予定である。

さらにウランビームの強度を上げるためガスストリッパを開発中である。第 1 ストリッパ (RRC-fRC 間) としてこれまでの炭素薄膜 (300 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) に比しての低い荷電状態を fRC 入射するため 2012 年 3 月には、fRC の改造が予定されている。

参考文献

- [1] E.Ikezawa, et al., “理研重イオンリニアックの現状報告”, In this Proceedings.
- [2] H.Imao, et al., “理研 AVF サイクロトロン の運転状況”, In this Proceedings.
- [3] Y.Watanabe, et al., “理研リニアック新入射器システムの建設状況”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010.
- [4] M.Kase, et al., “理研 RIBF における ^{48}Ca ビームの加速”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010.

表 1 : 2010.07-2011.07 コース別加速時間

加速器運転モード	ビームコース	実験回数	加速粒子&エネルギー (MeV/u)	要求最大ビーム強度(pnA)	供給実績ビーム強度(pnA)	照射時間(h)
AVF+RRC	E3B	1	14N-135	500	500	43
	E5B	9	12C-135	>10	192	40
			40Ar-95	>10	27	
			56Fe-90	>10	1	
			20Ne-135	>10	140	
	E6	5	18O-100	500	375	376
			13C6-100	500	667	
22Ne-110			720	340		
RILAC+RRC	E3A	1	84Kr-38	>10	5	31
	E5B	1	12C-85	>10	113	7
	E6	2	58Fe-63	150	150	147
			23Na-63	100	1050	
RILAC+RRC+IRC+SRC	BigRIPS	1	48Ca-345	5000	190	447
	SHARAQ	1	18O-250	100	181	229
AVF+RRC+SRC	BigRIPS	1	d-250	100	650	59
	SHARAQ	3	14N-250	300	357	318
Total						1700h