

PRESENT STATUS OF ACCELERATORS IN RIKEN ACCELERATOR RESEARCH FACILITY

Eiji Ikezawa^{1,A)}, Naohito Inabe^{A)}, Tadashi Kageyama^{A)}, Nobuhisa Fukunishi^{A)}, Masayuki Kase^{A)},
Masaki Fujimaki^{A)}, Tadashi Fujinawa^{A)}, Akira Goto^{A)}, Hiroo Hasebe^{A)}, Yoshihide Higurashi^{A)},
Osamu Kamigaito^{A)}, Masanori Kidera^{A)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Shigeo Kohara^{A)}, Naruhiko Sakamoto^{A)},
Misaki Kobayashi-Komiyama^{A)}, Makoto Nagase^{A)}, Masanori Wakasugi^{A)}, Tamaki Watanabe^{A)}, Hiroki Okuno^{A)},
Hiromichi Ryuto^{A)}, Shigeru Yokouchi^{A)}, Akira Yoneda^{A)}, Yukimitsu Ohshiro^{B)}, Toshimitsu Aihara^{C)},
Tomonori Ohki^{C)}, Hiromoto Yamauchi^{C)}, Akito Uchiyama^{C)}, Kazuyuki Oyamada^{C)}, Ryo Koyama^{C)},
Noritoshi Tsukiori^{C)}, Ryuichi Ohta^{C)}, Kiyoshi Kobayashi^{C)}, Minoru Nishida^{C)}, Yasuteru Kotaka^{C)},
Kunikazu Masuda^{C)}, Seiji Fukuzawa^{C)}, Takeshi Nakamura^{C)}, and Yasushige Yano^{A)}

^{A)} RIKEN

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

^{B)} Center for Nuclear Study, University of Tokyo

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

^{C)} SHI Accelerator Service, Ltd.

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

Abstract

The RIKEN Accelerator Research Facility (RARF) has the heavy-ion accelerator complex consisting of a K540 RIKEN Ring Cyclotron (RRC) as a main accelerator and two different types of the injectors; a variable-frequency RIKEN heavy-ion linac (RILAC) and a K70 AVF Cyclotron (AVF). The RILAC started to supply ion beams for experiments in 1981. The combination of RILAC-RRC and AVF-RRC started its operation in 1986 and in 1989, respectively. The world-top-class radioactive-isotope-beam (RIB) facility, which is called RI beam factory (RIBF), is under construction at RIKEN. As an injector to the RIBF, many improvements have been done at the RARF. The present status of the RARF and the future plans are reported.

理研加速器施設の運転状況

1. はじめに

理研加速器施設 (RARF) は、主加速器である K540 分離セクター型理研リングサイクロトロン (RRC) と 2 台の異なるタイプの入射器で構成されている。図 1 に RARF の加速器システムを示す。1981 年に周波数可変型理研重イオン線型加速器 (RILAC) が完成し単独運転が開始された。1986 年には RRC が完成し、この年に RILAC を入射器として RRC の運転が開始された。1989 年には、K70AVF サイクロトロンを入射器とした AVF-RRC の運転が開始された。図 2 に RARF の性能を示す。

現在 RARF のイオン源として、AVF には 10GHz ECR イオン源、14GHz ECR イオン源、および偏極イオン源が、RILAC には 18GHz ECR イオン源と超電導 ECR イオン源がそれぞれ設置されている¹⁾。

RILAC には前段入射装置として周波数可変型 RFQ が、またその後段にはブースターとしての荷電状態増幅装置 (CSM) が設置されている。CSM の

導入により、RILAC 単独運転での原子核実験が可能となった。また、RILAC + CSM + RRC の運転では h=6、7、8 の RRC 運転が可能となり、これまでに h=8 での運転が行われた。

AVF では、フラットトップシステムの導入、ビームラインの改良、加速性能向上のための改良が行われた。

この他、進行中の RI ビームファクトリー (RIBF) 計画に伴い、RARF ではさまざまな改良が行われている。また、RIBF の超伝導電磁システムなどをバックアップすることを主目的として導入されたコジェネレーションシステム (CGS) が 2003 年 4 月から運転されている。CGS は天然ガスを使用した 6500 kW のガスタービン発電機で、その蒸気を利用した冷水製造装置もある。その冷水は RARF の空調及び RARF 真空系冷却水として利用されている。2006 年の RIBF 完成まで、CGS は主に RARF 運転のために電力を供給している。

¹⁾ E-mail: ikezawa@riken.jp

2. 運転状況

2004年のRRC運転時間は5091時間（供給時間は3421時間）で、入射器使用割合はAVF入射が77%、RILAC入射が23%であった。また、各入射器の単独運転も行われ、AVF単独運転が999時間（供給時間637時間）、RILAC単独運転が2716時間（供給時間2132時間）であった。2004年の運転実績は、電力予算および後期に起きたマシントラブルのため、前年比で15%減少した。（図3参照）

RRCで加速されたビームは、E1実験室以外の全ての実験室で利用された。このうち22%が非原子核実験に（主にE2、E3、E5の実験室で行われた。）、残りの78%が原子核実験に用いられた。特にE6実験室での利用は全体の77%にのぼるほど多く、RIPSで生成されるRIビームを用いた実験が多く行われた。

RILAC単独運転では、RILAC+CSMで加速されたイオンビームを用いた気体充填型反跳分離装置（GARIS）での超重元素探索研究がRILACの実験室で2002年に開始された。Z=113の超重元素探索研究は2003年9月に始まり、2005年4月までに $^{70}\text{Zn}^{16+}$ 約5 MeV/uのイオンビームを約110日間供給した。これらの全照射量は 2.5×10^{19} 個（一秒平均 2.7×10^{12} 個）であった。この実験の成果として、2004年7月23日にZ=113が初めて発見され、2005年4月2日には2個目が発見されている。

3. 維持・改善

大強度のRIビームを生成するには、1次ビームの強度を上げることが重要となる。図2にあるようにRILAC-CSM-RRCのh=8運転は、低荷数でのイオン源からの引き出し、CSM使用による荷電変換効率の増加が可能となり、ビーム強度が上げられる。この運転により、ビーム強度は従来の10倍以上になり、 ^{40}Ar で1000 pnA、 ^{48}Ca で150 pnA、 ^{58}Fe で80pnA、 ^{70}Zn で120pnA、 ^{86}Kr で90pnAのビームがRRCより得られるようになった。

2004年春にRILACの前段入射器である18GHz ECRイオン源及びRFQのビームラインの改良及びRILACイオン源室の整備が行なわれ、超電導ECRイオン源が設置された。イオン源用90度分析電磁石も改造され、1台のイオン源を加速器に使用しながら、同時にもう1台のイオン源はイオン源開発のために利用可能とした。これに伴い、RILAC建設当初からRILACの前段入射器として運転された500 kV 静電加速器及び8GHz ECRイオン源（NEOMAFIOS）は前段入射器としての役目を終えた。

AVFでは、K値を70から78に上げるために主コイル電源を1100Aから1200A用に改造した。また、トリムコイル電源2台も改造を予定している。これは東京大学原子核科学研究センター（CNS）が理研で計画するもので、CRIB実験の目標エネルギーを $^{14}\text{N}^{5+}$ で9MeV/uとしている。

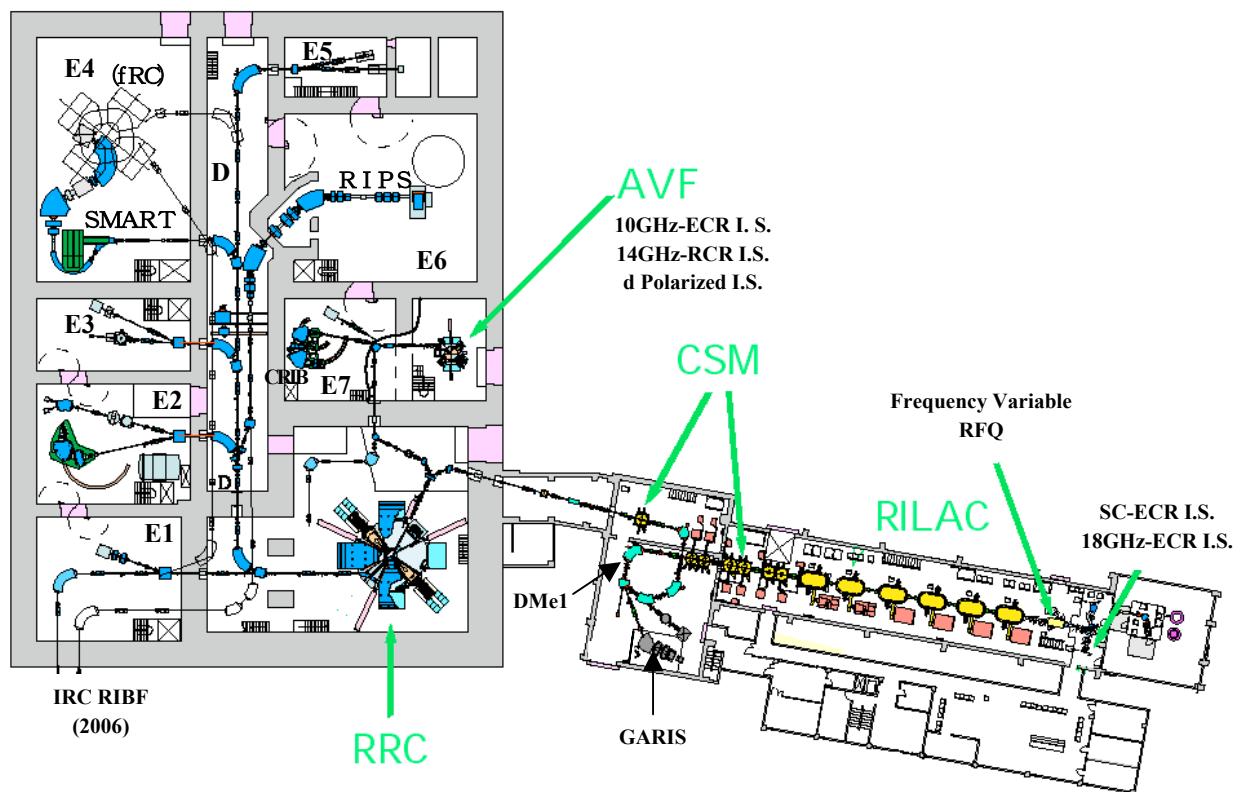


図1 RARFの加速器システム

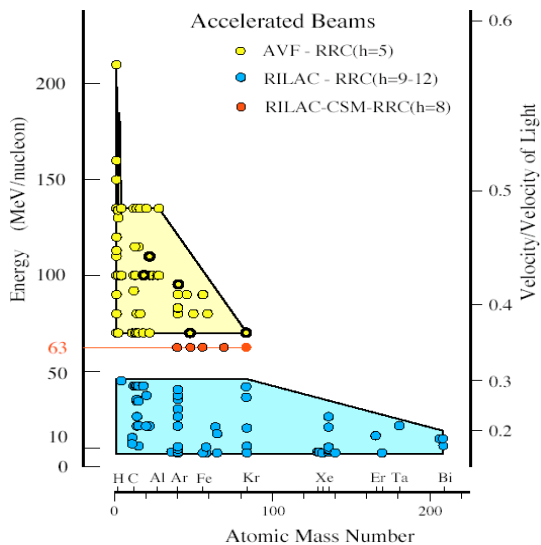


図2 RARFの性能

E4実験室では、SMARTを用いた最後の実験が2005年4月より5課題行われ、2005年6月に行われた実験でその役目を終えた。その後、SMARTは解体撤去され、跡地には周波数固定型リングサイクロロン（fRC）が2005年夏より設置される。なお、SMARTの磁石の一部（PD1、PQ1）は将来使用するため、RIBF実験棟に移設される。

RIBF計画のために、fRC及びRILACの前段入射器のための冷却水装置が導入された。また、RARF真空系およびRILAC本体の冷却水装置が更新された。

4. 故障例

2004年6月に、RRCのNo.1 RF共振器の上側ムービングボックスのコンタクトフィンガーが焼損した。原因は、ムービングボックスの制御シーケンス動作不良によるものであった。この修理のため、RRCに関係する実験スケジュールが2004年6月末から7月末にかけてキャンセルされた。

2005年3月のRILAC+CSM+RRCのh=8での運転中、CSM下流にあるエネルギー分析電磁石DMe1（図1参照）の真空チェンバーにて真空リークが発生した。このときRILAC+CSMでは、 $^{40}\text{Ar}^{9+}$ 、 $E=3.646\text{MeV/u}$ のイオンビームをDMe1直前にある炭素薄膜で荷電変換し、DMe1で振り分けた $^{40}\text{Ar}^{15+}$ をRRCに入射していた。その最中、炭素薄膜に生じた亀裂などによりプライマリービームがDMe1の真空チェンバー内壁を加熱して極微小な穴を開けた。

2005年5月に、RILACのNo.5 RF共振器のショート板のコンタクトフィンガーが焼損した。また、この故障時に行った他RF共振器の点検にてNo.2 RF共振器の補償板部にも不具合を発見した。この修理のため、RILACに関係する実験スケジュールが2005年5月下旬から6月中旬にかけてキャンセルされた。

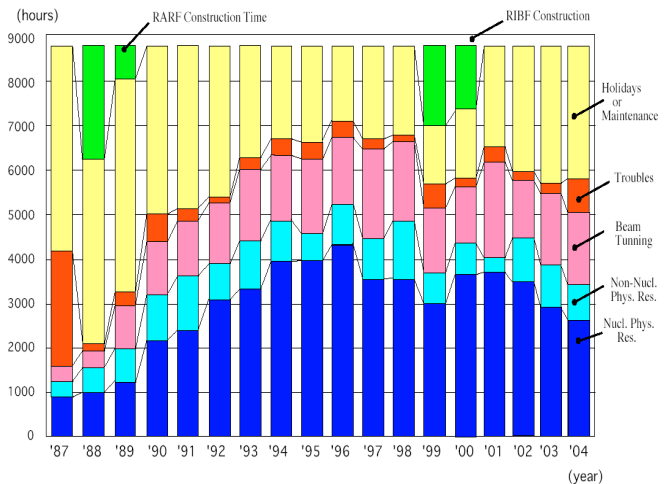


図3 RARFの運転統計
(1987年から2004年まで)

2004年春に更新したRILACの冷却水ポンプでその主軸のベアリングが破損する故障が2004年4月末に発生した。この時は原因が特定できなかった。さらに、2004年12月末に、同じ冷却水ポンプに於いてまったく同じ故障が再発した。この2回目の故障時の調査ではポンプ据付時に生じた歪や配管の振動の可能性が推定されたが原因の特定はやはりできなかった。このため、冷却水ポンプの設計を見直し、構造強度を高めた製品を製作して、2005年夏に現用のものと差し替える事とした。

5. 今後の予定

RIBF計画で使用するウラニウムイオンのための準備として、RILACのECRイオン源でのイオン生成開発及びRARFでの加速試験のための準備を進めている。また、ウラニウムイオンビームに耐え得る荷電変換装置開発が進められている^[2]。

2005年7月にE4実験室にてfRCの設置工事が開始される。2006年4月から6月には、fRCからRIBFの加速器へのビームラインの設置工事が、D室、RRC室、E1室で行われ（図1参照）、この工事期間中RRCの運転は中断される。2006年秋に、RILACとRRCはRIBFの加速器（fRC、IRC、SRC）へイオンビームを供給開始する予定である^[3]。

参考文献

- [1] Y. Higurashi, et al., “Status of RIKEN ECR ion sources for intense heavy ion beam production”, in this proceedings.
- [2] H. Hasebe, et al., “Carbon foils for the RIKEN RI-beam factory”, in this proceedings.
- [3] N. Fukunishi, et al., “Present Status of RIKEN Accelerator Facility”, in this proceedings.