

Present Status of RILAC

Eiji Ikezawa^{A)}, Tomonori Ohki^{B)}, Toshimitsu Aihara^{B)}, Hiromoto Yamauchi^{B)},
Akito Uchiyama^{B)}, Kazuyuki Oyamada^{B)}, Masashi Tamura^{B)}, Masayuki Kase^{A)}

^{A)} RIKEN Nishina Center

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

^{B)} SHI Accelerator Service, Ltd.

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

Abstract

The RIKEN heavy ion linac (RILAC) is a main linear accelerator, and now has two different types of ECR ion sources (an 18 GHz ECR ion source and a superconducting ECR ion source), a variable-frequency folded-coaxial RFQ linac (RFQ) as a pre-injector, and a Charge-State Multiplier system (CSM) as a booster. RILAC started to supply ion beams for experiments in 1981. The combination of RILAC and a K540 RIKEN Ring Cyclotron (RRC) started its operation in 1986. RILAC operation as an injector for the RIKEN RI beam factory (RIBF) started in 2006.

A GAs-filled Recoil Isotope Separator (GARIS) was moved from the E1 experiment room of RRC to the No. 1 target room of RILAC in 2000. Research experiments on superheavy elements began in March 2002 at the No. 1 target room of RILAC.

The present status of the RILAC operation for RIBF and for research experiments on the heaviest elements is reported.

理研重イオンリニアックの運転状況

1. はじめに

理研重イオンリニアック (RILAC) ^[1] は、2 台の ECR イオン源 (18G-ECRIS ^[2]、SC-ECRIS) と、周波数可変の線型加速器 (前段入射器: RFQ ^[3]、主加速器: RILAC、ブースター: CSM ^[4, 5]) で構成されており、リニアック単独運転および理研リングサイクロトロン (RRC) への入射運転を行ってきた ^[6]。現在の最大加速エネルギーは、RFQ+RILAC+CSM の運転で 5.8 MeV/nucleon である。図1に理研重イオンリニアックの構成図を示す。

RILAC は、1981年にリニアック単独運転で各種実験へのビーム供与が開始され、1986年にはRRCの入射器としての運転も始まった。2006年には、理研RIビームファクトリー (RIBF) ^[7] の入射器としての運転が開始され、RIBFのコミッションングのために、18G-ECRISで生成しRILACで加速したウランイオンビーム ^[8] など数種類のイオンビームを入射した。

また、実験装置である気体充填型反跳分離器 (GARIS) が、2000年にRILACの第1実験室のe3ラインに移設された。図1にGARISの配置を示す。RILAC第1実験室における超重元素探索関連の実験は、2002年から、18GECRIS+RFQ+RILAC+CSMの運転で加速したイオンビームを利用して再開された ^[9]。

我々は、入射器及びリニアック単独としての運転

を行うと共に、これまでに、18G-ECRISでのイオンビーム強度増強、RILACの通過効率や安定度の向上のために改良を加えてきた。昨年夏から今年にかけては、18G-ECRIS のビーム出射BT系改造、ビーム及びRFの監視装置開発、真空排気装置の改善などを行った。

本発表では、理研重イオンリニアックに関して、RIBFの入射器としての運転状況及び超重元素探索実験における運転状況について報告する。

2. RIBFの入射器としての運転状況

RIBFビームコミッションングは、RILACを入射器として2006年の7月に開始された。2006年7月から2007年6月のRIBFコミッションング関連のために、RILACは、²³⁸U、⁸⁴Kr、²⁷Al、¹³⁶Xeのイオンビームを入射し、延べ約4584時間の運転を行った ^[10, 11]。

2007年5月中旬から6月にかけては、RIBFで加速した核子当たり345MeVの²³⁸Uイオンビームが、超伝導電磁石で構成されるRIビーム生成分離装置 (BigRIPS) での実験に初めて利用され、その実験では貴重な成果が得られている。

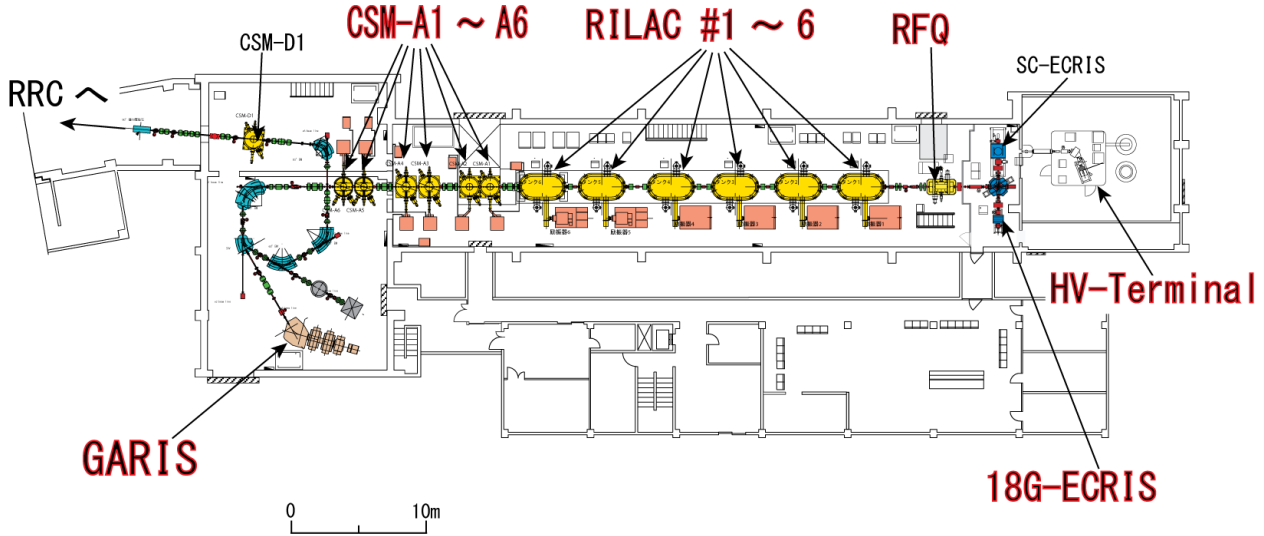


図1 理研重イオンリニアックの構成図

2007年6月下旬から2008年7月上旬にかけてのRIBFコミッシュニング^[12]としては、計7回が行われた。この1年間のRIBFコミッシュニング時のRILAC運転時間を表1に示す。これらのコミッシュニングにおいて、18GECRIS+RFQ+RILACで延べ1496時間の運転を行い、ウランイオンビームなどを入射した。また、RILACの通過効率向上のための試験やイオンのチャージストリップをする炭素薄膜^[13]の試験を行った。

実施期間	運転時間	入射粒子
2007年6月下旬～7月上旬	323時間	^{238}U
2007年9月下旬～10月上旬	246時間	^{238}U
2007年11月上旬	126時間	^{86}Kr
2008年4月下旬	361時間	^{238}U
2008年5月下旬	95時間	^{86}Kr
2008年6月上旬	165時間	^{48}Ca
2008年7月上旬	180時間	^{238}U

表1 RIBFコミッシュニング時のRILAC運転時間
(2007年6月下旬～2008年7月上旬)

3. 超重元素探索実験における運転状況

理研における超重元素探索実験は、RRCのE1実験

室で1987年に始まった。その後、2000年にRILACエネルギー増強のための改造工事と共に、RRCのE1実験室からRILACの第1実験室のe3ラインへのGARISの移設工事が行われた。

RILAC第1実験室における超重元素探索関連の実験は、2002年3月から、18GECRIS+RFQ+RILAC+CSMの運転で加速したイオンビームを利用して始まった。これまでにこの実験では、多くの貴重な成果が得られている。

超重元素探索実験のためにRILACは2002年3月から2006年3月までの間に、延べ10,366時間の加速器運転を行ない、延べ8,424時間に渡ってイオンビームを供給した。

2006年4月から2007年12月にかけては、RIBFコミッシュニングのための入射器としての運転が主に行われたため、超重元素探索実験は行われなかった。

その後、2008年には、1月から3月にかけてと6月に超重元素探索実験が行われた。RILACは1月から3月にかけては1,830時間（実験時間：1,656時間）、6月には329時間（実験時間：251時間）の運転をした。

我々は、この実験に対して、安定で必要十分な強度のイオンビームを供給してきた。

4. 主な改良

18G-ECRISでは、イオンビーム強度の増強のために、ビーム引き出し系やビーム出射BT系の改造を行うと共にイオン生成試験を行った。

ビーム診断系では、イオンビームの加速調整を行

うため及びRF加速状態を監視するために、ロックインアンプを用いてイオンビーム位相及び共振器のRF検出信号を監視するシステムを開発し導入した^[14]。

RF系では、高周波信号系を改善するために、基準信号、励振器や共振器の検出信号の高周波信号ケーブルをシールド特性の良いものに交換した。

真空系では、イオンビームの真空度に対する影響を測定し、その結果を元に真空度改善を行った。この改善では、RFQ共振器とRILAC第1共振器について、それぞれ2台設置されているターボ分子ポンプのうち1台をクライオポンプに入れ替えた。また、RFQ共振器とRILAC第1共振器との間のビームトランスポートラインにはターボ分子ポンプを追加設置した。

5. 主な故障

表2に2007年7月から2008年7月までの間に起きた各装置別の故障発生状況（動作不良も含む）を示す。さまざまな故障が総計84件起こった。これらの故障のうち部品交換などの修理を行ったのは、32件であった。これらは全故障のうちの38%にあたる。

これらの故障のほとんどは、一時的な動作不良や不調、また運転に影響しない箇所の故障などで、後日、調査や修理を行った。

ただし、RF系では、装置の老朽化によるものと思われる冷却水漏れの故障が2件起き、ともに修理に数日を要した。

装置名	故障発生件数	修理件数
RF系	31	14
イオン源系	3	0
制御系	11	4
診断系	12	3
真空系	10	6
冷却、空圧系	10	1
電磁石電源系	6	4
ビームインターロック系	1	0
設備	0	0
合計	84	32

表2 故障発生状況

6. 今後の予定

RILACの前段入射器として2003年まで8GHz ECRイオン源 (NEOMAFIOS)^[15]を搭載した500 kV高圧ターミナル (HV-Terminal) も使用していたが、2004年のSC-ECRIS導入に伴い、これは前段入射器としての使

用を止めた。また、HV-Terminalは、2004年からこの単独運転にて、イオンのチャージストリップをする炭素薄膜の照射試験に使用されていた。図1に現状のHV-Terminalの配置を示す。この秋以降に、ウランを含む重イオンビーム強度の増強のため、このHV-Terminalを改造し新たな超伝導の28GHz ECRイオン源^[16]を搭載する予定である。また、HV-Terminal系のビームトランスポートラインを設置して、RILACの前段入射器として運転を再開する予定である。

18G-ECRIS では、ウランなどのイオンビーム強度の増強のためのテストを継続して行う。

RILACの射出BT系の偏向電磁石 (DMe1, DMe3, DMe4, DMe5) 用の電磁石電源は製造から約30年が経つ。これらは、老朽化により電源の初期性能維持及び交換部品入手が困難となったため、新たな電源を製作中である。今年の9月に完成し、入れ替え工事を行う予定である。

RIBFの入射器として、また、超重元素探索実験やその他の各種実験等に対して、我々は、安定で必要十分なイオンビームを供給するために、RILACのビーム通過効率及び安定度の向上を目指し、これからも理研重イオンリニアックの装置改良や運転技術開発を行ってゆく。また、長年使用して老朽化した装置については、順次更新を行う予定である。

参考文献

- [1] M. Odera, et al., Nucl. Instr. & Meth. 227, 187 (1984)
- [2] T. Nakagawa, et al., The 12th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 206 (1999).
- [3] O. Kamigaito, et al., The 22nd Linear Accel. Meeting, 47 (1997)
- [4] O. Kamigaito, et al., The 13th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 229 (2001).
- [5] E. Ikezawa, et al., The 13th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 169 (2001).
- [6] E. Ikezawa, et al., The 2nd Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 30th Linear Accel. Meeting in Japan, 519 (2005).
- [7] O. Kamigaito, et al., in this Proceedings, WO04.
- [8] Y. Higurashi, et al., The 4th Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 32nd Linear Accel. Meeting in Japan, 176(2007).
- [9] E. Ikezawa, et al., The 3rd Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 31th Linear Accel. Meeting in Japan, 272(2006).
- [10] N. Fukunishi, et al., The 4th Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 32nd Linear Accel. Meeting in Japan, 1(2007).
- [11] E. Ikezawa, et al., The 4th Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 32nd Linear Accel. Meeting in Japan, 242(2007).
- [12] N. Fukunishi, et al., in this Proceedings, TO13.
- [13] H. Hasebe, et al., in this Proceedings, WP046.
- [14] R. Koyama et al., in this Proceedings, WP38.
- [15] E. Ikezawa, et al., The 8th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 73 (1991).
- [16] J. Ohnishi, et al., in this Proceedings, WP057.