

## Present Status of RILAC

Eiji Ikezawa<sup>A)</sup>, Tomonori Ohki<sup>B)</sup>, Toshimitsu Aihara<sup>B)</sup>, Hiromoto Yamauchi<sup>B)</sup>, Akito Uchiyama<sup>B)</sup>,  
Kazuyuki Oyamada<sup>B)</sup>, Masashi Tamura<sup>B)</sup>, Yutaka Watanabe<sup>A)</sup>, Masayuki Kase<sup>A)</sup>, Osamu Kamigaito<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> RIKEN Nishina Center 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

<sup>B)</sup> SHI Accelerator Service, Ltd. 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

### Abstract

This year is the 30th year since the RIKEN heavy ion linac (RILAC) started to supply ion beams for experiments in 1981. Since then, the RILAC has supplied various ion beams in various experiments, in beam acceleration tests, and in beam commissioning.

In order to increase in the intensity of the <sup>238</sup>U ion beam for the RIBF, the beam acceleration test at the RILAC for the superconducting ECR ion source was successfully completed.

Research experiments on the heaviest elements have been carried out since 2002 at the e3 beam course of the No. 1 target room of RILAC. A new gas-filled recoil isotope separator (GARIS-II) was installed in the e2 beam course of the No. 1 target room of RILAC.

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

## 理研重イオンリニアックの現状報告

### 1. はじめに

理研重イオンリニアック (RILAC) <sup>[1]</sup> は、1981年に単独運転が開始され、今年で30年目を迎えた。我々は、RILAC単独運転で各種実験にイオンビームを供与すると共に、理研リングサイクロトロン (RRC) への入射運転を行っている。<sup>[3]</sup>

理研RIビームファクトリー (RIBF) <sup>[2]</sup> におけるウランなどの重いイオンビームを増強<sup>[4]</sup>するため、RIBF新入射器 (RILAC2) <sup>[5]</sup> 用に新たに開発された超電導ECRイオン源 (28G-SCECRIS) <sup>[6, 7]</sup> のイオン源性能試験及びイオンビーム加速試験を2009年に行った。この年の秋には、28G-SCECRISで生成しRILACで加速したウランイオンビームをRIBF実験に利用した。

RILACの第1照射実験室のe3コースにおける気体充填型反跳分離器 (GARIS) での超重元素探索関連の実験<sup>[8]</sup>は引き続き行われた。また、新たに設計製作されたGARISの2号機が、同実験室のe2コースに新設された。

本発表では、RILACに関して、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を含めた現状について報告する。

### 2. 入射器としての運転状況

RILACは、単独運転に加え、理研リングサイクロトロン (RRC) への入射運転を行っている。表1にRRCへの入射運転時の加速器運転時間を示す。

入射器としての運転のうち、RIBF<sup>[9]</sup>のためのRILACの運転では、RIBFコミッション関連及びRIBF実験に対して、2006年の7月から18G-ECRIS及び

RFQ+RILACの運転で行っている。2007年5月には、<sup>238</sup>UイオンビームがRIBF実験に初めて供与された。また、2009年11月~12月には、RILACを入射器とした運転で、28G-SCECRISで生成した<sup>238</sup>UイオンビームをRIBF実験に利用した。RILACを入射器とした運転ではこれまでに、<sup>238</sup>U、<sup>136</sup>Xe、<sup>86</sup>Kr、<sup>84</sup>Kr、<sup>48</sup>Ca、<sup>27</sup>Al、<sup>18</sup>O、<sup>4</sup>Heのイオンビームを入射した。

2009年度、RIBF関連に対する加速器運転時間は、1763時間であった。また、2010年度4月~6月は、1611.5時間であった。

RIBFの入射器としての運転が始まった2006年からこれまでに、このRIBF関連に対する加速器運転時間は、延べ11663.5時間となった。

### 3. 超重元素探索実験における運転状況

RILACの後段には、2000年に荷電状態増幅装置 (CSM) が、東京大学原子核科学研究センター (CNS) との協力により開発され設置された。このCSMをRILACのエネルギーブースターとして運転することにより、最大加速エネルギーが5.8 MeV/nucleonとなり、RILAC単独運転での原子核実験が可能となった<sup>[10]</sup>。このため、仁科記念棟E1実験室に設置されていたGARISは、その場所からRILACの第1照射実験室に移設された。RILACでの超重元素探索関連の実験は、18G-ECRISで生成しRFQ+RILAC+CSMの運転で加速したイオンビームを利用して2002年3月に始まった<sup>[11]</sup>。

2009年度、この超重元素探索実験に対する加速器運転時間は607時間で、イオンビーム供給時間は540時間であった。この加速器運転時間のうちの

89%が実験へのイオンビーム供給時間であった。2010年度のこの実験は、9月から実施される予定である。

2002年からこれまでに、この超重元素探索実験に対しての加速器運転時間は、延べ14,616時間となった。また、イオンビーム供給時間は延べ12,272時間となった。この加速器運転時間のうちの84%が実験へのイオンビーム供給時間であった。表1にこれに関する加速器運転時間を示す。

我々は、この実験に対して、必要十分な強度及び安定度のイオンビームの供給を行っている。そしてこれまでのこの実験では、貴重な成果が得られている。

RILACの第1照射実験室のe2実験コースでは、2009年4月から新たに設計製作されたGARISの2号機(GARIS-II)の電磁石据付工事が行われ、2009年5月に完了した。その後、段階的に関連工事が行われ、2010年2月には関連装置及び設備が整った。2010年4月には、この装置の試験実験が行われた。このために、我々は<sup>40</sup>Arイオンビームを供給した。また、GARIS-IIの設置に伴い、それまでe2実験コースにて実験を行っていた2組のユーザーは、第1照射実験室のe4実験コース及び第2照射実験室のe6実験コースに各々の実験装置を移設した。GARIS-IIの設置位置及びe1~e6の各実験コースを図1に示す。

#### 4. 主な開発・改良

2009年には、RIBFにおけるウランイオンビーム増強のために、28G-SCECRISのイオン源性能試験及びイオンビーム加速試験を行った。

28G-SCECRISは、RILACの旧入射器を改造した高電圧ターミナル(HV-Terminal)上に搭載され、既存の18GHzマイクロ波電源を利用して、2009年5月にブ

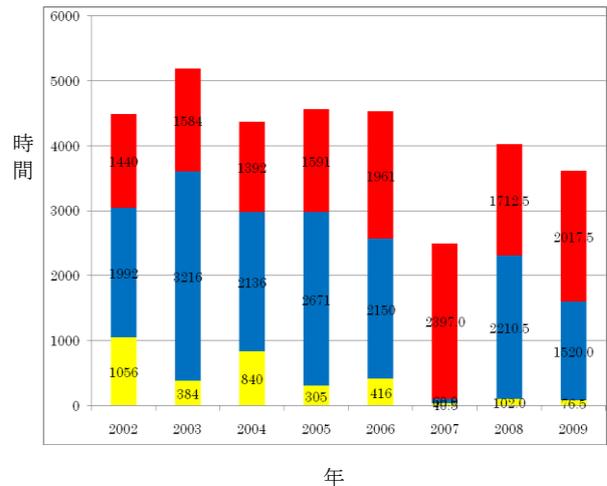


表1 2002年～2009年の加速器運転時間

- : 入射運転 (2002年～2005年 : RILAC-RRC 運転、2006年～2009年 : RILAC-RRC 運転 及び RILAC-RRC-RIBF 運転)
- : 超重元素探索関連の実験
- : その他実験

ラズマを発生させた。その後、イオン源性能試験を行い、2009年10月～11月にウランイオンビーム開発を行った<sup>[12, 13]</sup>。

この28G-SCECRISのイオンビーム加速試験のために、我々は、28G-SCECRISからRILACへの入射ビームトランスポートライン (LEBT+MEBT) の設置工事を2009年7月に完了した<sup>[14]</sup>。同月には28G-SCECRISで生成した<sup>136</sup>Xeイオンビームの加速試験をこのLEBT+MEBTを使用してRILAC入射することにより開

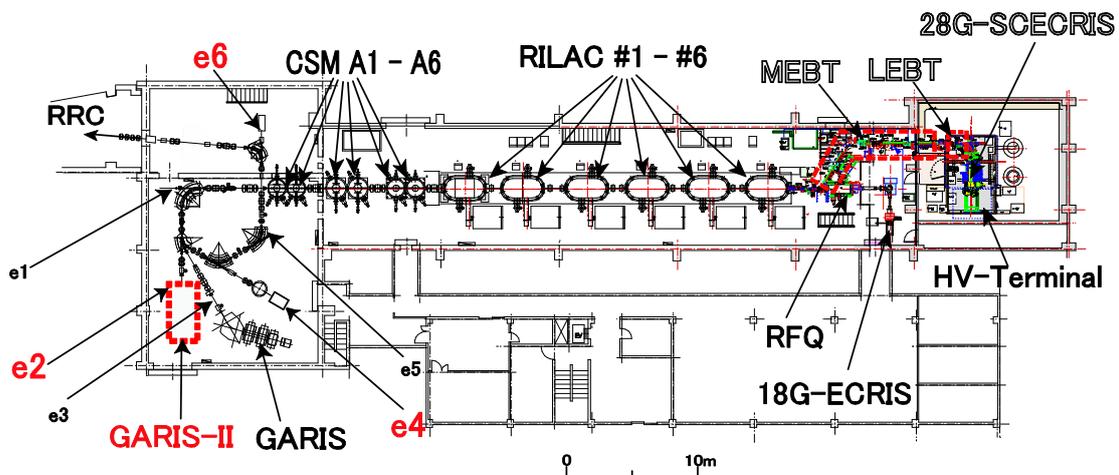


図1 現状の理研重イオンリニアックの構成図

28G-SCECRIS及びLEBT+MEBT：撤去前の配置を示す。

e1～e6：各実験コースであり、このうちe2、e4、e6実験コースにおいて実験装置の新設もしくは移設が行われた。

始した<sup>[15]</sup>。

2009年11月には、28G-SCECRISで生成した<sup>238</sup>Uイオンビームの総合試験を行った。同年11月～12月には、28G-SCECRISで生成した<sup>238</sup>UイオンビームはRIBF実験に利用された。

現在RILAC2の建設が進められており<sup>[16,17]</sup>、前述の試験を完了した28G-SCECRISは、2010年6月に仁科記念棟に沿って新設された第2イオン源室へ移設された。また、これに伴い、LEBT+MEBTの電磁石、真空ポンプ、診断装置類は、RILAC2のビームトランスポートラインで利用するため、このLEBT+MEBTの解体を行い、2010年8月に仁科記念棟AVFに移設される。撤去前の28G-SCECRIS及びLEBT+MEBTの配置を図1に示す。

この他にRILACの改良として、以下のことを行った。

RF系の安定度向上のためにローレベル系などの改良を行い、RILAC-No. 1、-No. 3、-No. 4の励振器の自動振幅調整器 (AGC) を更新すると共にこれらの共振器のRFピックアッププローブを改造した。AGCなどのローレベル回路のAC電源には、高安定化電源 (AVR) を導入した。RF基準信号の分配には、RF分配器を使用していたが、RF方結分配方式に変更した。RILACの前段入射器である入射バンチャー、RFQ、リバンチャーのRF電圧及び位相の遠隔制御盤の機能を加速器遠隔制御系 (EPICS制御系) に組み入れた。

RILAC-No. 2の共振器では、この真空排気系強化として、一部のターボ分子ポンプをクライオポンプに入れ替えた。

## 5. 主な故障

表2に2009年7月から2010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80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、29件であった。これらは全故障のうちの36%にあたる。

発生した故障のうち、重故障としては、RF系で2件、イオン源系で1件、冷却系で2件が発生した。これらはどれもマシンタイム実施中に発生したが、応急処置を施し、マシンタイムは続行させた。これらの重故障の状況としては以下のとおりである。

RF系では、RFQ共振器外筒壁面の冷却配管にピンホールが開き、水漏れが発生した。また、RILAC-No. 2励振器では、終段真空管の入力回路部の冷却水配管にピンホールが開き、水漏れが発生した。

イオン源系では、18GHz-ECRイオン源のミラーコイルNo. 2 電源において過電圧異常が発生した。

冷却系では、CSM用冷却系の温調用電動弁を接続しているフランジ部で、そのガスケットの経年劣化のため水漏れを起こした。また、RILACの共振器用冷却水ポンプの55kWモーターでは、その内部コイルに絶縁不良を起こした。この故障では、リングサイクロトロン関係の停止中の冷却系に同型モーターが設置されていたため、緊急処置としてそのモー

ターに入れ替えた。

この他の故障は、一時的な動作不良や不調、また運転に影響しない箇所故障などであったので、後日、調査や修理を行った。

装置名	故障発生件数	修理件数
RF系	35	17
イオン源系	12	4
制御系	6	0
診断系	9	3
真空系	3	1
冷却、空圧系	7	4
電磁石電源系	8	0
合計	80	29

表2 故障発生状況

## 6. 今後の予定

2010年9月以降は、RILAC単独運転での超重元素探索実験、そしてRILACを入射器としたRIBF実験が予定されている。

また、現在建設が進められているRIBF新入射器RILAC2の完成後は、RIBF実験のためのウランなどの重いイオンビーム加速はRILAC2が担うことになる。これにより、RIBF実験はRILAC2入射で行い、これと同時にRILACでは超重元素探索実験を長期間行うことが可能となる。

我々はこれらの実験のために、より安定で大強度なイオンビームを供給できるように努めて行く。このために今後も、理研重イオンリニアックの装置改良や運転技術開発に努めて行くとともに、故障対策及び老朽化対策を計画的に進めて行く。

## 参考文献

- [1] M. Odera, et al., Nucl. Instrum. & Methods. 227 (1984) 187.
- [2] Y. Yano, Nucl. Instrum. & Methods. B261 (2007) 1009.
- [3] E. Ikezawa, et al., PASJ6, TPOPA21, (2009) 622.
- [4] O. Kamigaito, et al., HIAT09, MO11T, (2009).
- [5] K. Yamada, et al., IPAC10, MOPD046, (2010) 789.
- [6] T. Nakagawa et al., Rev. Sci. Instrum. 79 (2008) 02A327.
- [7] J. Ohnishi et al., EPAC08, MOPC153, (2008) 433.
- [8] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) 064201.
- [9] N. Fukunishi et al., PAC09, MO3GRI01, (2009).
- [10] O. Kamigaito et al., Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 013306.
- [11] E. Ikezawa, et al., PASJ3-LAM31, WP02, (2006) 272.
- [12] Y. Higurashi, et al., IPAC10, THPEC060, (2010) 4191.
- [13] J. Ohnishi, et al., IPAC10, THPEC061, (2010) 4194.
- [14] Y. Watanabe, et al., PASJ6, TPOPA22, (2009) 608.
- [15] Y. Sato, et al., IPAC10, THPEB024, (2010) 3939.
- [16] Y. Watanabe, et al., in this Proceedings, THPS132.
- [17] K. Yamada, et al., in this Proceedings, WEPS018.